

TSPN15081-074-12

알래스카 카운실 사이트의 잎 특성,  
식생군락의 구조와 기능 정량화

Quantifying leaf trait and canopy structure of  
tundra in Alaska, Council



서울대학교

# 제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “북극권 동토층 환경변화 관측 거점 확보 및 관측기술 개발에 관한 연구” 과제의 위탁연구 “알래스카 카운실 사이트 식생의 구조와 기능 정량화에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



2016 . 07 . 15

(본과제) 총괄연구책임자	:	이 방 용
위탁연구기관명	:	서 울 대 학 교
위탁연구책임자	:	류 영 렬
위탁참여연구원	:	이 승 준
“	:	김 종 민

## 보고서 초록

위탁연구과제명	알래스카 카운실 사이트 식생의 구조와 기능 정량화에 관한 연구				
위탁연구책임자	류영렬	해당단계 참여연구원수	3	해당단계 연구비	25,000,000원
연구기관명 및 소속부서명	서울대학교		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	27
<p>○ 해당 연구는 탄소 순환을 이해하기 위해 알래스카 카운실 사이트의 잎 특성, 식생군락의 구조와 기능을 정량화하기 위해 LED 센서를 이용해 정규화식생지수(NDVI)를 측정하고, MODIS 위성 과 비교해 해당 년도 패턴을 보였다. LED센서를 이용하여 카운실 지역의 생물 계절을 정량화 할 수 있었을 뿐만 아니라 눈이 녹는 시점을 계산할 수 있었다.</p> <p>○ 2015년 7월 1일부터 10일까지 현장을 방문해 잎 특성, 식생 군락 구조를 측정하였다. 관측 결과, 수종별 최대 광합성 량은 <i>Betula nana</i>의 Amax가 7.9 <math>\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}</math>, Cloudberry는 7.7 <math>\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}</math>, 그리고 Blueberry가 5.2 <math>\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}</math>이다. C:N ratio는 Blueberry가 31.41로 가장 높았으며 <i>Betula nana</i>는 26.99 그리고 Cloudberry는 17.07이다.</p> <p>○ 현장 답사 결과 NDVI와 LAI의 상관관계가 낮았으며 (<math>R^2=0.068</math>; <math>R^2=0.025</math>; <math>R^2=0.059</math>) 정량화 하는데 어려움이 있었다. 그 이유는 식생 군락 속에 있는 이끼, 지의류 그리고 낙엽에 의해 형성되는 이질적인 배경 반사도가 군락 정규화 식생 지수 값에 영향을 미쳤다. 또한 다발식물체와 다 각 구조체에 형성된 굴곡 지형 특징은 엽면적을 추정하는데 영향을 주었다.</p>					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	광합성, 잎 특성, 엽면적, 군락구조, 정규화 식생지수			
	영 어	Photosynthesis, Leaf Trait, Leaf Area Index, Canopy Structure, Normalized Difference Vegetation Index			

# 요 약 문

## I. 제 목

알래스카 카운실 사이트의 잎 특성, 식생군락의 구조와 기능 정량화

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

알래스카 카운실 사이트의 탄소순환을 이해하기 위해 필수적으로 요구되는 잎 식생 군락의 구조와 기능을 관측

## III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 현장 관측을 통해 다양한 수종별로 잎 특성들을 관측

- ① 광합성 파라미터 ( $V_{cmax}$ ,  $J_{max}$ )
- ② 잎의 탄소와 질소 비율
- ③ 잎의 단위면적당 질량
- ④ 잎의 분광 반사율, 투과율, 흡수율

2. 현장 관측을 통해 식생 군락의 구조와 기능 관측

- ① 엽면적 지수
- ② 군락 군집도 지수
- ③ 분광 반사율
- ④ 군락에 의해 흡수되는 photosynthetically active radiation (PAR) 비율

## IV. 연구개발결과

1. 측정과 샘플링 방법

2. 잎 수준 관측

3. 군락 수준 관측

- ① Transect 360m
- ② Transect A, B, C 결과

4. 배경 반사도

5. Near-Surface Remote Sensing

6. 위성 Remote Sensing - WorldView II

## V. 연구개발결과의 활용계획

1. LED Sensor

2. LAI를 모델링에 input 변수로 사용

## S U M M A R Y

(영 문 요 약 문)

Understanding the type of canopy structure and function is important to link the effects of climate change on carbon, water, and energy exchanges between vegetation in tussock tundra and the atmosphere. Interpreting vegetation spatial variability with satellite products alone is a challenge, due to the patchiness of vegetation in the Arctic ecosystems with transient cloud over during the summer season that obstructs retrieval of land surface images. To compare and correlate spatial variation of vegetation with satellite data, we collected leaf area index (LAI) and hyperspectral reflectance data in Council, Alaska. To better understand canopy structure and functional variables, we further examined arctic leaf traits by measuring C:N ratio, leaf mass area (LMA), chlorophyll content, and hyperspectral leaf optical properties. We obtained WorldView-2 Satellite data, which has 8 multispectral bands with 2 m resolution, centered on our study site. Results show remarkable variation in spectral reflectance and LAI across three 100-m transects. In-situ observed canopy properties were difficult to upscale into landscape scale in tandem with the high-resolution satellite image because the data had high temporal and spatial variation.

## C O N T E N T S

### I. Title

Quantifying leaf trait and canopy structure of tundra in Alaska, Council

### II. Purpose and Necessity of R&D

To understand the carbon cycle in Alaska, Council, it is necessary to measure leaf traits and canopy structure

### III. Contents and Extent of R&D

#### 1.Characterize leaf character of species in-situ measurements

- ① Photosynthetic parameters ( $V_{cmax}$ ,  $J_{max}$ )
- ② Leaf Carbon and Nitrogen ratio
- ③ Nitrogen per leaf area
- ④ Spectral reflectance, transmittance and absorbance

#### 2.Quantifying Canopy structure and function in-situ W

- ① Leaf Area Index (LAI)
- ② Canopy Clumping Index
- ③ Spectral Reflectance
- ④ Fraction of absorbed PAR (Photosynthetically Active Radiation) in canopy

### IV. R&D Results

1. Observation and Sampling Method
2. Leaf-level Observations
3. Canopy-level Observation
  - ① Transect 360m
  - ② Transect A, B, C 결과
4. Background Reflectance
5. Near-Surface Remote Sensing
6. Satellite Remote Sensing – WorldView II

### V. Application Plans of R&D Results

1. LED Sensor
2. LAI input parameter into models

## 목 차

- 제 1 장 연구개발과제의 개요
  - 제1절 연구개발 목표
  - 제2절 연구내용 및 범위
- 제 2 장 국내외 기술개발 현황
  - 제1절 국내현황
  - 제2절 국외현황
  - 제3절 국내외 기술개발 현황의 제한적 이유
- 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과
  - 제1절 측정과 샘플링 방법
  - 제2절 잎 수준 관측
  - 제3절 균락 수준 관측
- 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도
  - 제1절 연구개발의 최종목표
  - 제2절 목표달성도
- 제 5 장 연구개발 결과의 활용계획
  - 제1절 연구개발 결과의 활용계획
  - 제2절 기대효과
- 제 6 장 연구개발 과정에서 수집한 해외과학기술정보
  - 제1절 시료분석
  - 제2절 현장관측
- 제 7 장 참고문헌

## 제1장 연구개발과제의 개요

### 제1절 연구개발 목표

알래스카 카운실 사이트의 잎 특성, 식생군락의 구조와 기능 정량화

- 잎 특성과 식생군락의 구조와 기능을 대표하는 변수들을 현장관측을 통해 집중 조사

### 제2절 연구 내용 및 범위

알래스카 카운실 사이트의 탄소 순환을 이해하기 위해 플럭스 타워의 관측범위 내에 식생 조사

세부연구목표	세부연구개발내용 및 범위	평가목표 및 착안점
잎 특성 관측	수종별 leaf mass per area, 광합성 변수( $V_{cmax}$ , $J_{max}$ ), 탄질비, 클로로필, 초고해상도분광반사율 관측	수종 별 잎 특성 자료 그래프
식생 군락 구조와 기능 관측	엽면적 지수, 군락의 초고해상도분광반사율 관측	식생 군락의 구조와 기능을 실험 구 별로 정량화한 그래프

2015년 7월 현장방문계획도



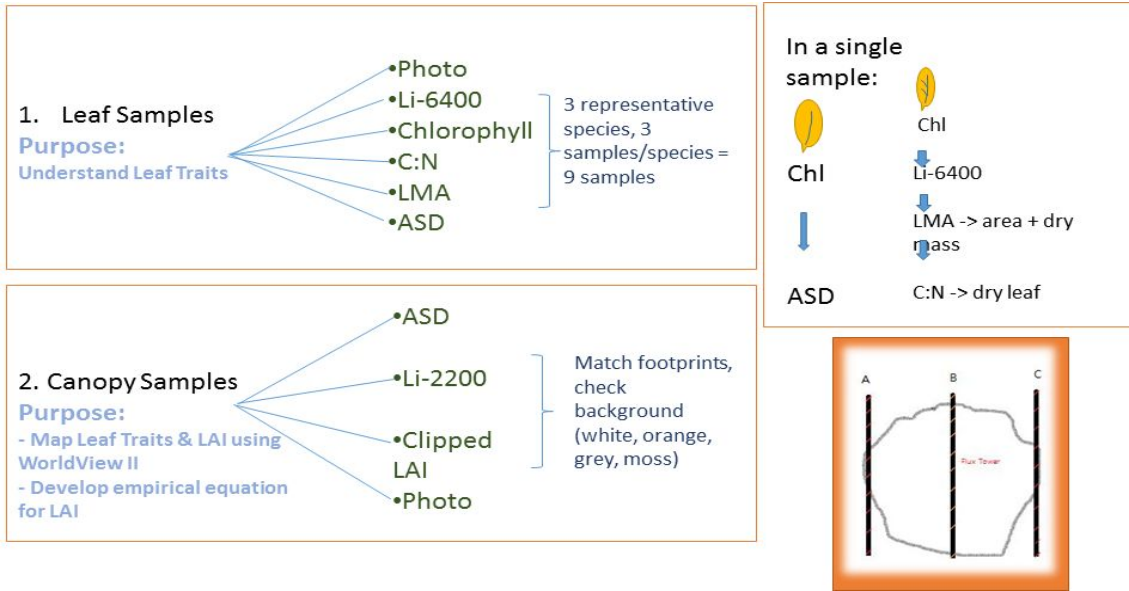


그림 1 관측 방법



## 제2장 국내외 기술개발 현황

### 제1절 국내 현황

1. 극지 동토층 식생의 잎 특성(leaf traits), 분광 특성, 군락의 구조와 기능에 대한 현장에서 관측한 자료는 전무한 상황이다.

### 제2절 국외 현황

1. 극지방 식생은 기후변화에 매우 민감하게 반응하여 전 지구 탄소순환에서 중요한 역할을 담당하고 있으며, 최근 들어 활발한 연구가 전개되고 있다. NASA에서는 ABoVE (Arctic-Boreal Vulnerability Experiment)과제를 추진하며 알래스카와 캐나다 지역의 식생과 탄소순환에 대한 연구를 진행하고 있다.

2. 연구수행기관인 'University of Alberta'에서 TRAM 시스템을 이용한 툰드라 식생의 고해상도 반사율을 관측하고 있으며, 이는 위성영상 기반의 식생 정규 지수를 평가하는데 활용될 것이다.

### 제3절 국내외 기술개발 현황의 제한적 이유

1. 알래스카 카운실 지역의 식생은 다양한 종들로 구성된 매우 이질적인 경관을 구성하고 있다. 특히 대표적 식생인 선대류 식물들이 넓게 분포하는 가운데, 교목이 듚성듬성 위치하고 있다. 광합성은 식생이 탄소순환에 미치는 영향을 이해하기 위한 중요한 요소이다. 이질적 지형 구조와 적은 량의 현장관측 값으로 부터 광합성을 추정하는 것은 매우 어려운 실정이다.

2. 광합성 모형에서 가장 중요한 식생 변수는 광합성 파라메타, 면적당 잎의 질량 그리고 N content이다 (Farquhar et al., 1980). 하지만, 툰드라 지방에서 관측된 자료들은 매우 제한적이다(Kattge et al., 2011). 특히 광합성의 핵심 변수인  $V_{cmax}$ 와  $J_{max}$ 는 더욱 제한적이다. 광합성과 위성영상을 결합하기 위해서는 잎 수준의 분광 반사율, 흡수율, 투과율에 대한 관측 자료가 필요하나, 이 정보 또한 매우 제한적이다.

3. 잎 수준의 광합성 모형을 군락단위로 확장하기 위해서는 보다 정확한 엽면적 지수, 군락군집도 지수가 필요하다. 하지만 높이가 작은 툰드라 식생의 엽면적 지수를 산출하는 것은 현실적으로 여러 기술적인 문제를 포함하고 있다(van Wijk et al., 2005).

## 제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제1절 측정과 샘플링 방법

1. 알래스카 카운실 방문기간 : 2015년 7월 1일 ~ 10일
2. 장비 : ASD(Analytic Spectral Devices Inc.) FieldSpec 4(반사도를 이용한 정규화식생지수 측정), Licor-6400, LAI-2200 Plant Canopy Analyzer (엽면적지수 측정), GPS (Fig. 212)
3. 정규화식생지수와 엽면적지수의 공간적 분포를 확인하기 위하여 Flux 타워를 기준으로 360m transect 내에 20m 간격으로 2×2m의 총 18개의 공간을 나눔. 각 공간 별로 (Fig. 212. 우) 노란색 점에서 ASD를 이용하여 정규화식생지수를 추정하고 LAI-2200를 이용하여 엽면적지수를 추정함.
4. Transect A, B, C는 각 100m이며 1m간격으로 1×1m plot 속에 0.15×0.15m plot으로 구성됨.
5. 1×1m plot에서는 9번의 ASD를 이용한 반사도 관측과 6번의 LAI - 2200를 이용한 엽면적 지수를 추정함
6. 0.15×0.15m plot에서 ASD관측을 이용하여 추정한 정규화식생지수와 LAI - 2200을 이용한 엽면적 지수 그리고 plot내의 잎을 모두 따고 스캔하여 얻은 엽면적 지수와 비교함 (Fig. 3)

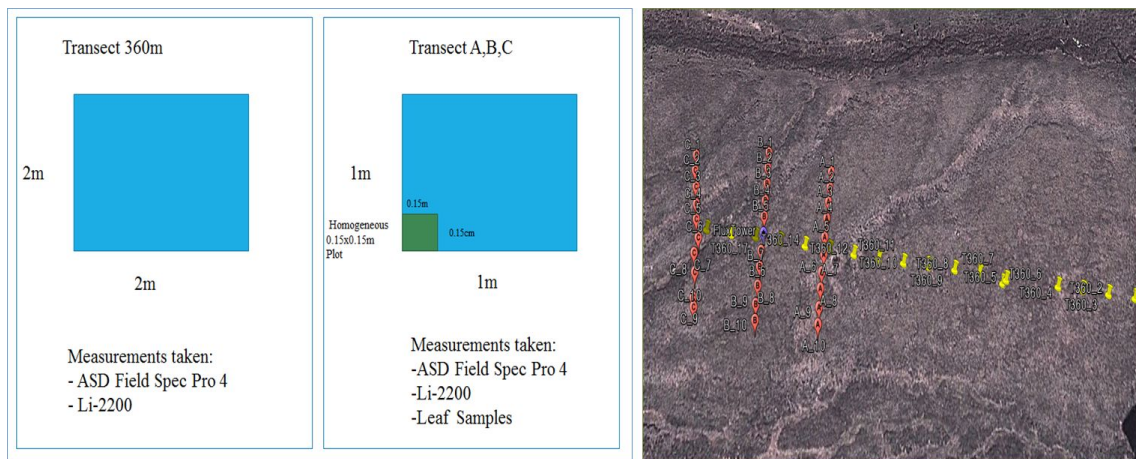


그림 2 좌) Transect 360m, A, B, C 관측 방법 우) Transect의 plot GPS 점들

1)



3)



2)

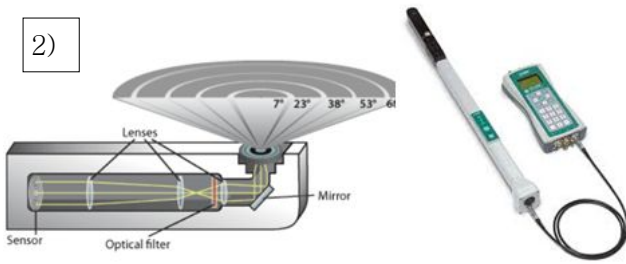


그림 3 1) 잎 스캐닝 2) LAI-2200 3) ASD 측정

## 제2절 잎 수준 관측



1. 광합성 변수 ( $V_{cmax}$ ,  $J_{max}$ ) 측정은 고압의 이산화탄소 실린더(Licor-6400)가 필요하지만 운송이 불가하여 관측하지 못함 (Fig. 4)
2. 대기 중의 일정 이산화탄소 농도에서 광량을 변화 시켜 종별 최대 광합성량 Maximum Photosynthetic Assimilation Rate ( $A_{max}$ )을 측정함
3. Maximum Photosynthetic Assimilation rate가 Betula Nana에서  $7.9 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 으로 가장 높았으며 그 다음은 Cloudberry가  $7.7 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  그리고 Blueberry가  $5.2 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 였음 (Fig. 5)

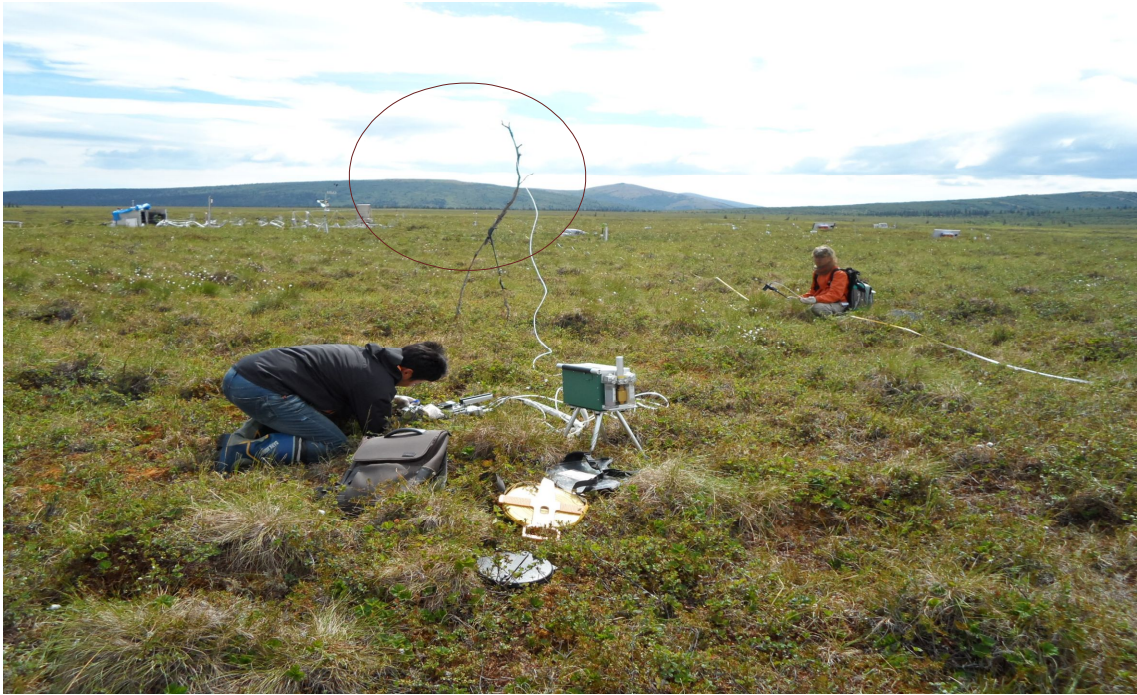


그림 4 대기 중 이산화탄소 이용하여 maximum photosynthesis rate(Amax)을 구함

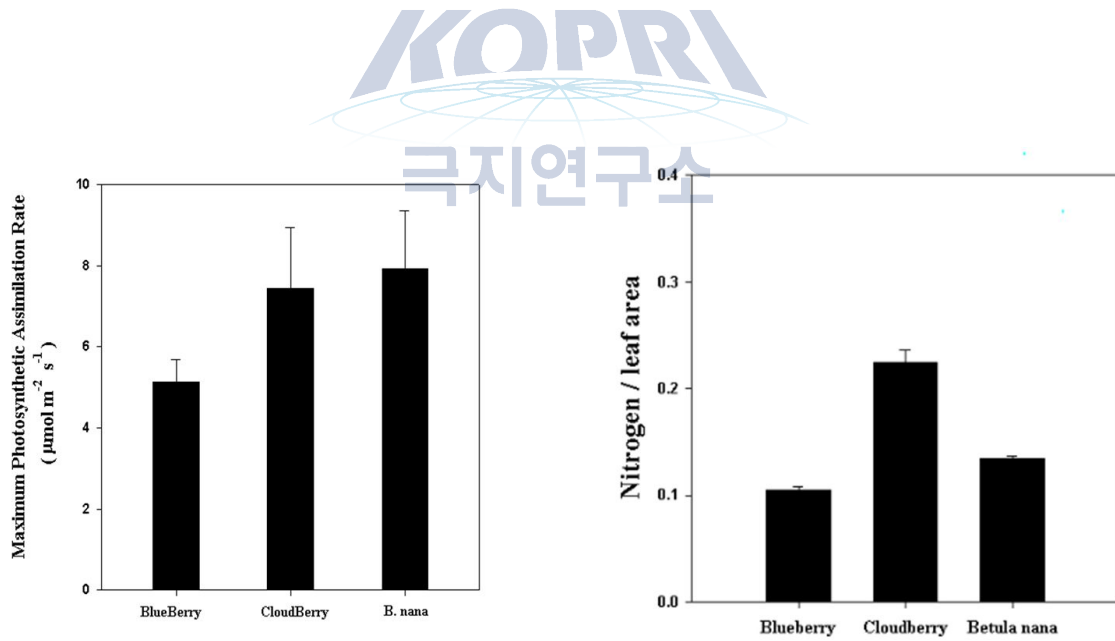


그림 5 1) 종별로 Amax 2) 식생 종 별 잎 단위 면적당 질량

### 제3절 군락 수준 관측

#### 1. Transect 360m 결과

- 가) 정규화식생지수(NDVI)의 최솟값이 0.56, 최댓값이 0.72이며 평균은 0.64이다.
- 나) 엽면적지수(LAI)의 최솟값이 0.41, 최댓값이 1.95이며 평균은 0.96이다.
- 다) 정규화식생지수와 엽면적지수의 상관관계는 ( $R^2=0.0672$ )이다 (Fig. 216).
- 라) 2 x 2m plot에서 관측된 식생지수들이 좋은 상관관계를 보이지 않아 1 x 1m와 0.15 x 0.15m plot에서 추가로 관측하였다.

#### 2. Transect A, B, C 결과

- 가) 1x1m내에서 정규화식생지수의 최솟값이 0.49, 최댓값 0.77이며 평균은 0.65이다.
- 나) 1x1m내에서 엽면적지수의 최솟값이 0.49, 최댓값 0.13이며 평균은 1.66이다.
- 다) 0.15x0.15m내에서 정규화식생지수의 최솟값이 0.38, 최댓값 0.82이며 평균은 0.66이다.
- 라) 0.15x0.15m내에서 엽면적지수의 최솟값이 0.08, 최댓값 3.45이며 평균은 0.68이다.
- 마) 0.15x0.15m내에서 직접 스캔하여 얻은 엽면적지수의 최솟값이 0.16, 최댓값 2.16이며 평균은 0.76이다.
- 바) 1 x 1m (Fig. 217. 파란색 점)에서 측정된 정규화식생지수와 엽면적지수의 상관관계는 ( $R^2=0.058$ )이다.
- 사) 0.15 x 0.15m (Fig. 217. 빨간색 점)에서 측정된 정규화식생지수와 엽면적지수의 상관관계는 ( $R^2=0.027$ )이다.
- 아) 0.15 x 0.15m (Fig. 218)에서 측정된 스캔한 엽면적지수와 정규화식생지수의 상관관계는 ( $R^2=0.34$ )이다.

#### 3. 배경 반사도

- 가) 식생 밑에 깔려있는 이끼, 지의류, 그리고 낙엽의 분광 반사도 측정하였다.
- 나) 서로 다른 배경 마다 분광 반사도가 달랐다. (Fig. 219~223) 정규화 식생지수의 값 또한 다른 것을 확인 할 수 있었다.(Table 17).
- 다) 주황색과 초록색 배경 반사 도는 Bubier *et al.* (1997)의 이끼 분광 반사도와 비슷하다.

## Transect 360m

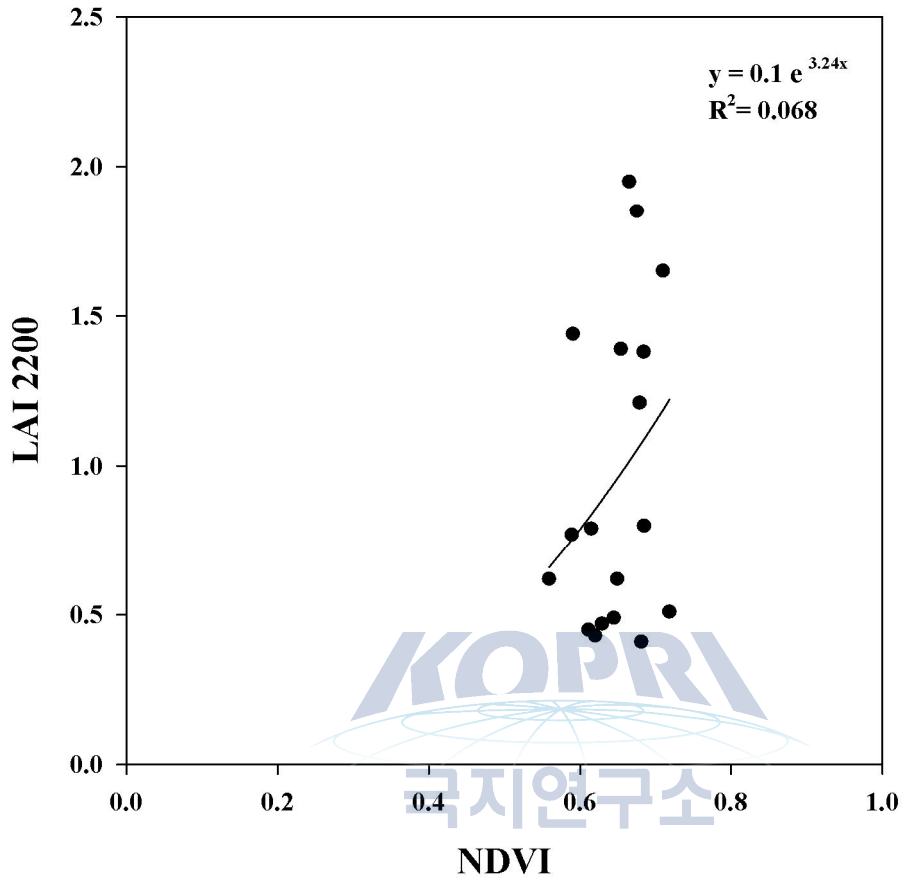


그림 6 Transect 360m안에서의 정규화 식생 지수와 (NDVI) 엽면적 (LAI) 상관관계

## LAI 2200 vs ASD NDVI

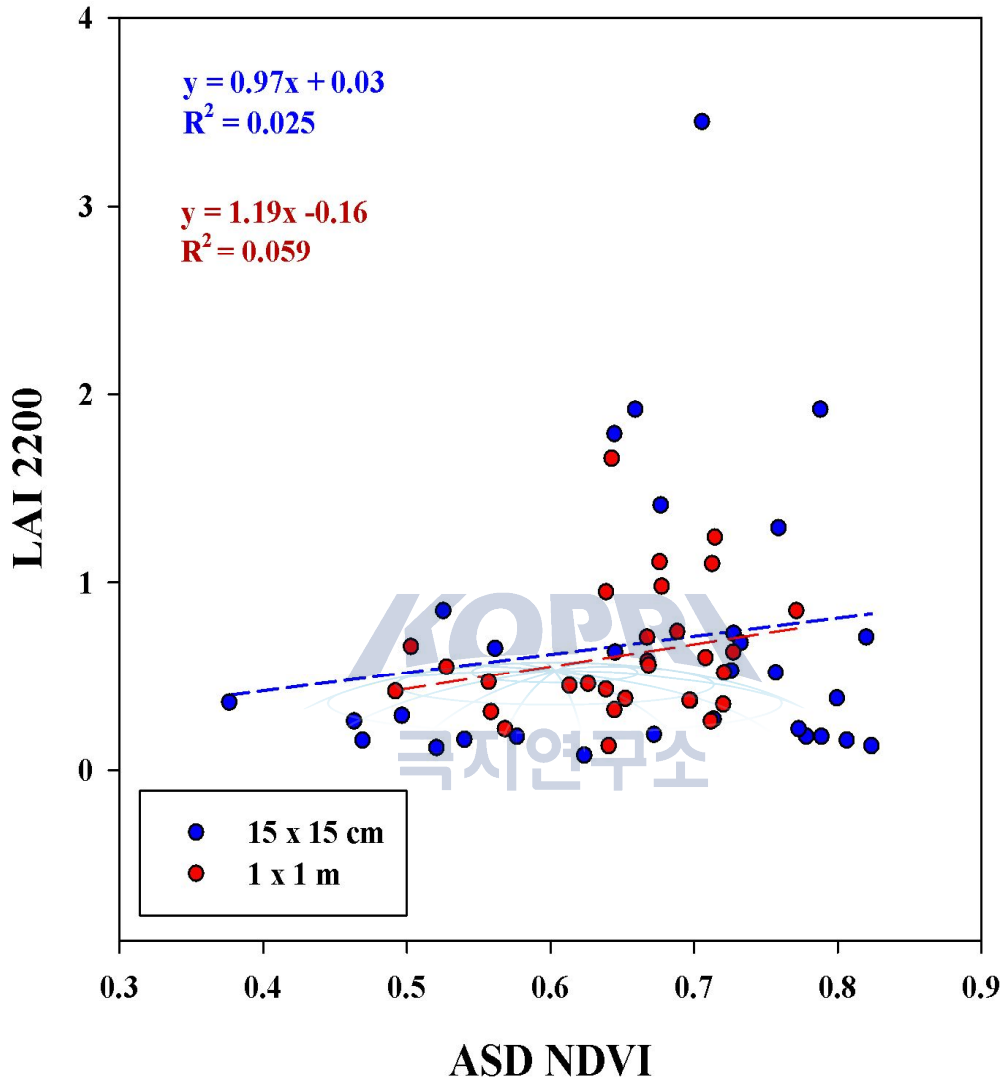


그림 7 1x1 m plot과 0.15x0.15m plot의 정규화식생지수(NDVI)와 엽면적지수 (LAI)의 상관관계



## True LAI vs LAI 2200

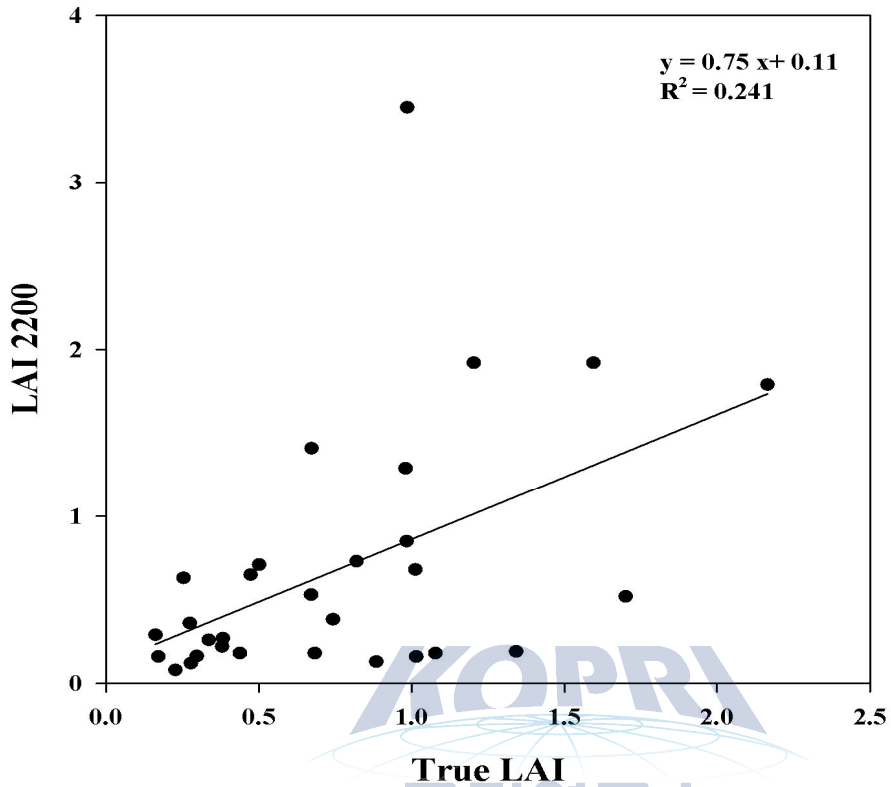


그림 8 스캔한 엽면적지수와 정규화식생지수의 상관관계

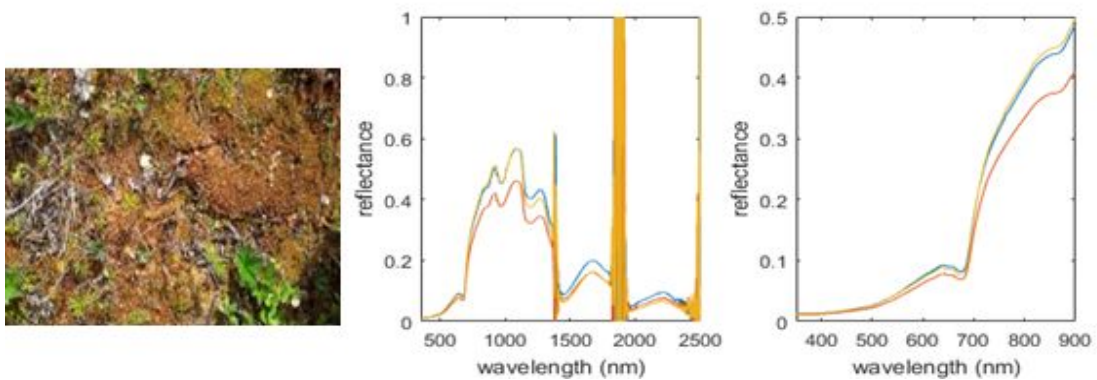


그림 9 주황색 배경 반사도- 이끼

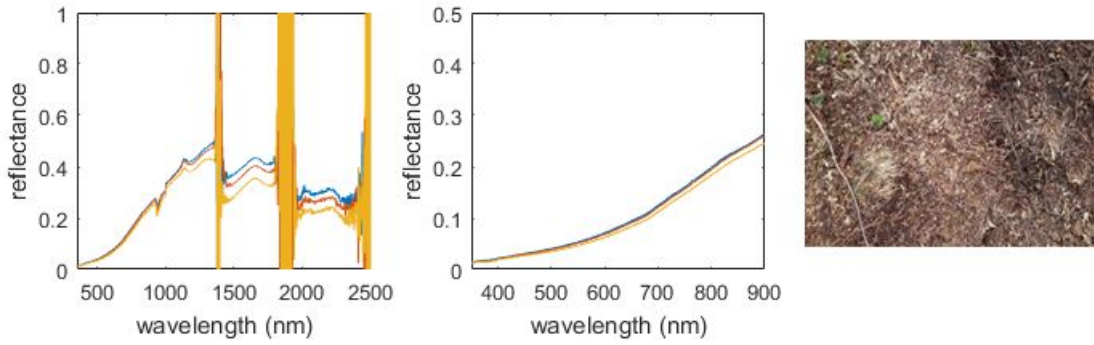


그림 10 갈색 배경 반사도 - 낙엽

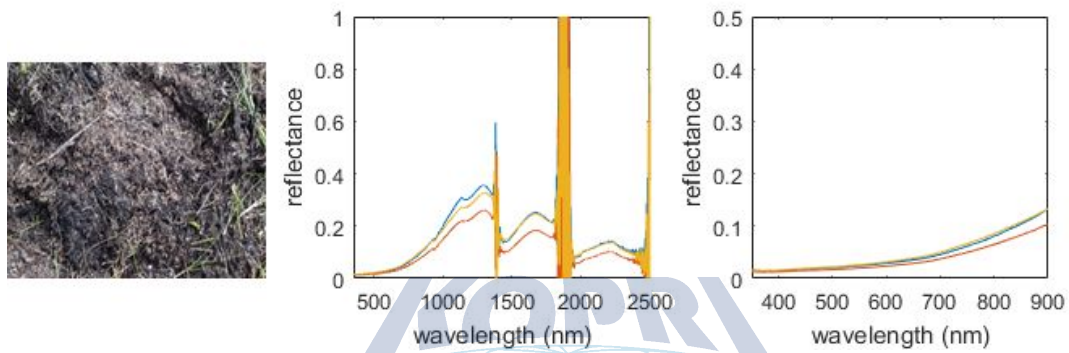


그림 11 검은색 배경 반사도 - 토양

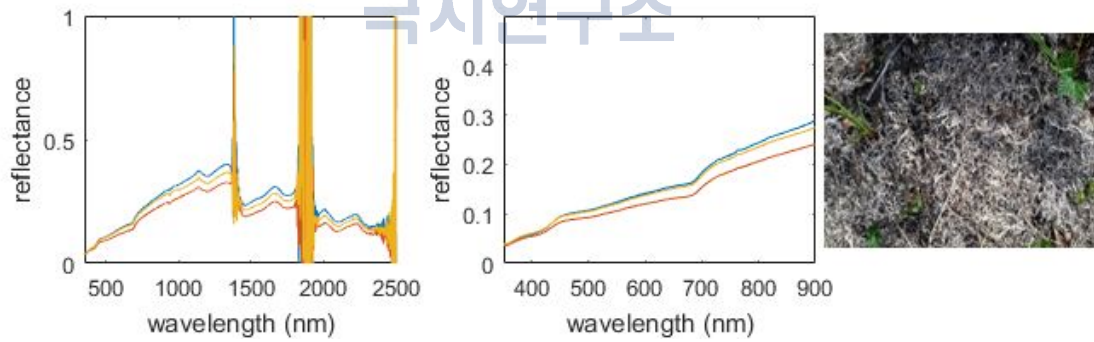


그림 12 흰색 배경 반사도 - 지의류

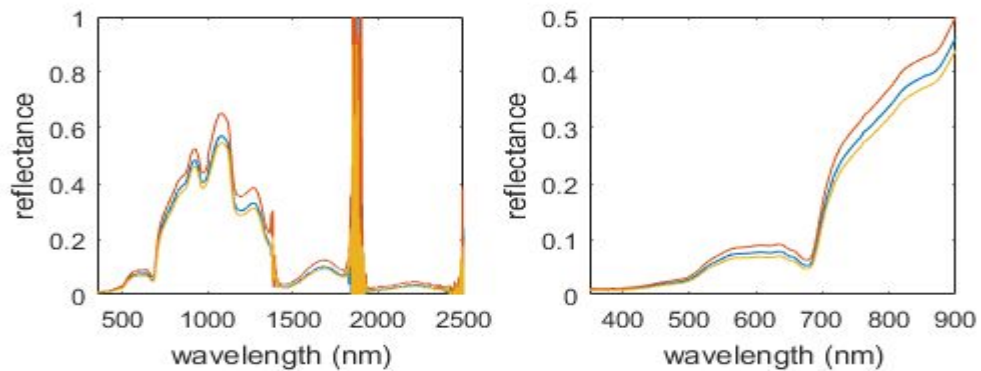


그림 13 초록색 배경 바사도 (Control) - 초록색 이끼

배경 반사도의 색깔	정규화 식생 지수
흰 색 (지의류)	0.270
주황 색 (이끼)	0.670
갈 색 (낙엽)	0.453
검은 색 (토양)	0.502
초록 색(Control)	0.696

표 1 Background color의 NDVI



그림 14 정규화식생지수를 삼십분 간격으로 측정하는 LED spectral sensor

#### 4. Near-Surface Remote Sensing

가) 2014년도에 설치한 LED센서가 생물 계절과 snow dynamics을 측정 한다 (Fig. 14).

나) MODIS와 LED의 NDVI비교 했을 때 유사함을 보여 준다 (Fig. 14).

#### 5. 위성 Remote Sensing - WorldView II

가) 8월 4일에 찍힌 WorldView II (WVII) 위성 영상은 해상도는 2m로 8개의 다중 분광 밴드가 (Coastal blue, yellow, red edge, NIR1, NIR2, Red, green, blue) 있다.

나) 영상을 pre-processing과정을 거친 후, digital number를 atmosphere radiance 로 변경하고 6S 모델을 이용하여 surface reflectance로 변환하였다. 변환된 Surface reflectance 값으로 정규화 식생 지수를 계산하였다 (Fig.

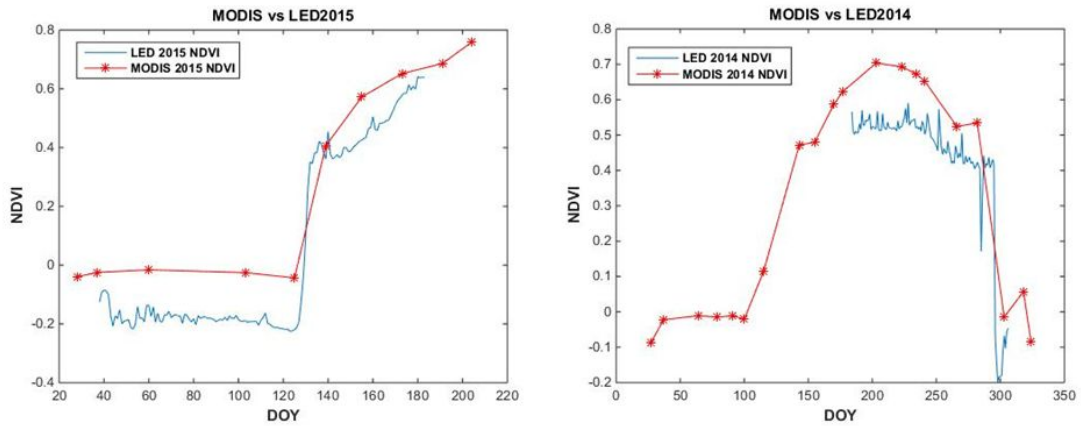


그림 15 LED Sensor와 MODIS 위성의 정규화식생지수를 비교

15).

다) 현장 측정 날짜와 위성 영상을 얻은 날짜가 달라 위성의 데이터와 현장에서 측정한 값을 이용한 확대가 가능하지 않았다. 하지만 transect A, B, 그리고 C의 정규화식생지수의 공간적 차이를 확인 할 수 있었다 (Fig. 17). 본 연구에서 사용한 장비의 내용은 Table 18과 같다.

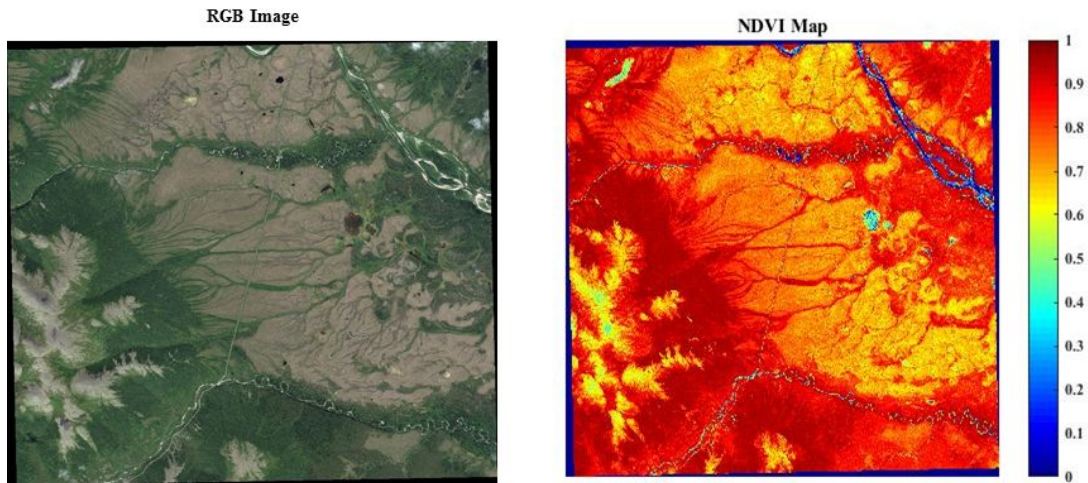


그림 16 1) WVII RGB(Red, Green, Blue) 영상 2) 정규화식생지수 영상

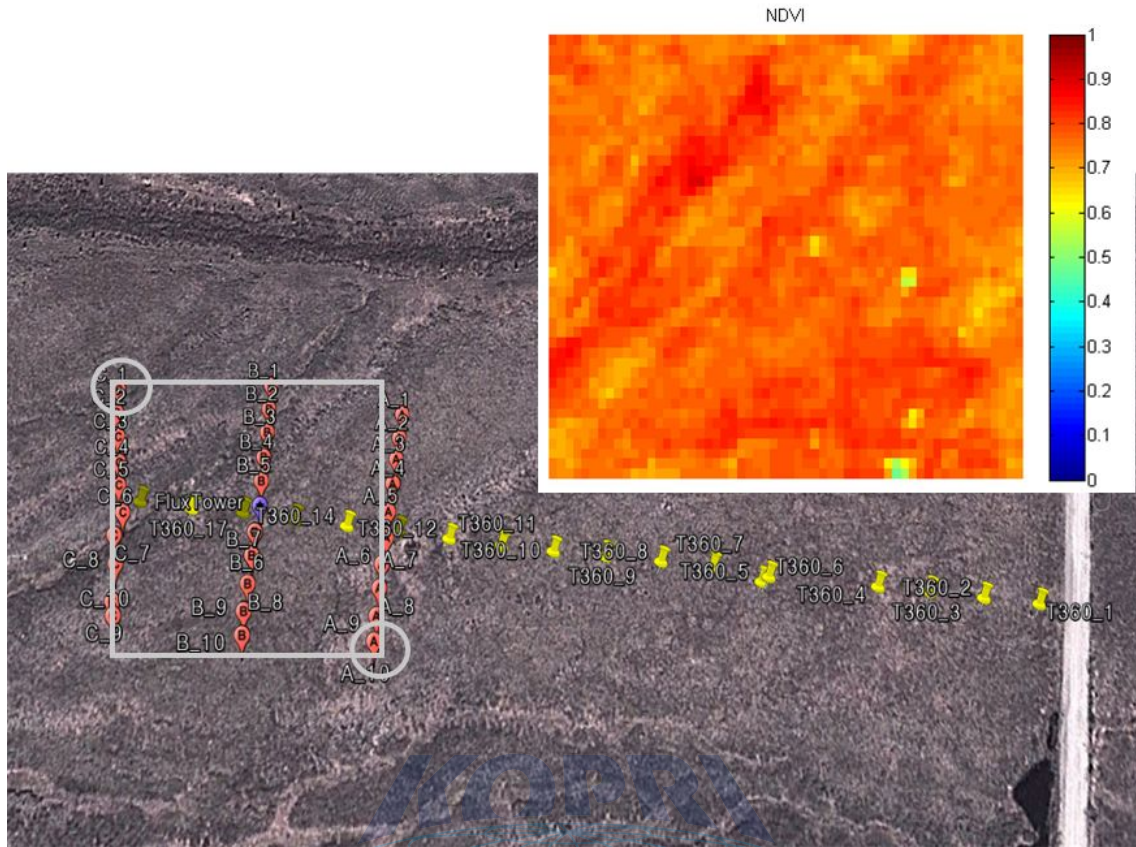


그림 17 Transect A, B, C의 지형을 WVII NDVI map으로 보기

극지연구소

## 제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제1절 연구개발의 최종 목표

1차년도 (2015)	알래스카 카운실 플릭스 타워의 관측범위 내에 위치한 식생 조사
----------------	------------------------------------

### 제2절 목표 달성도

세부연구목표	세부연구개발내용 및 범위	평가목표 및 착안점	가중치	달성도
잎 특성 관측	수종별 leaf mass per area, 광합성 파라미터( $V_{cmax}$ , $J_{max}$ ), 탄질비, 클로로필, 초고해상도분광반사율 관측	수종 별 잎 특성 자료 그래프	50%	80%
식생 군락 구조와 기능 관측	엽면적 지수, 군락의 초고해상도분광반사율 관측	군락의 구조와 기능을 플랫폼으로 정량화한 그래프	50%	100%

본 과제를 수행함에 있어서 2015년도 7월에 알래스카 카운실 사이트를 방문하였을 때, 예상치 못한 문제들을 겪었다.

#### 1. 광합성 측정 불가능

- : 공항에서 이산화탄소 실린더를 비행기로 운송하지 못하였다.
- 광합성 파라미터 ( $V_{cmax}$ ,  $J_{max}$ ) 관측이 불가능하게 되었다.
- 대안으로, Maximum photosynthetic Assimilation Rate을 측정하였다.

#### 2. LAI-2200과 ASD분광계로 측정된 엽면적의 낮은 상관관계 (van Wijk *et al.*, 2005 논문 기반)

: 다발 식물체와 평평하지 않은 지형 구조가 LAI-2200 관측에 불확실성을 높였다.

#### 3. 수고가 충분히 크지 않은 사이트 내에 식물들은 LAI-2200 사용 시 불확실성을 높였다.

: 매뉴얼에 따르면, LAI-2200 측정 시 가장 가까운 잎의 넓이의 4배 이상의 거리를 두고 관측 되어야 한다.

4. NDVI 측정의 불확실성

: 다양한 종류의 배경들 (이끼, 지의류, 낙엽 그리고 standing water)이 전체 반사도에 영향을 미친다.

5. 관측범위의 불일치

: LAI-2200과 ASD 센서의 관측범위를 정확하게 일치하는 것은 불가능하였다. 이는 NDVI-LAI 상관관계가 낮은 원인이 될 수 있다.

장비	기간	시공간해상도
ASD-FieldSpec	7월 3-7, 2015	~30 cm
LAI-2200		148°(field-of-view)
LED	2014 (half-hourly) ~	~1 m
WorldView-II	4 Aug, 2015	2 m
Landsat	1982 (16-daily) ~	30 m
MODIS	Since 2000 (daily) ~	250 m

KOPRI  
극지연구소

## 제5장 연구개발결과의 활용계획

### 제1절 연구개발 결과의 활용계획

1. 동토 층 식생의 광합성 변수 및 잎 특성에 대한 관측결과는 향후 동토 층의 탄소순환 모형을 개발하는데 필수적인 자료로 활용될 것이다.
2. 동토 층 식생의 분광특성에 대한 자료는 위성영상 기반의 생태계 모니터링의 검증자료로 활용될 수 있다.
3. 동토 층 식생의 엽면적지수는 위성영상 기반의 엽면적지수 예측 결과들을 검증하는데 활용될 수 있다.

### 제2절 기대효과

#### 1. 기술적 측면

-동토층 식생의 잎과 군락 규모의 구조와 기능에 대한 연구는 매우 미비하다. 목본류와 달리, 이끼류는 잎의 구조와 기능을 관측하는 것이 기술적으로 난해하다. 이 과제를 통해 알래스카 카운실 지역에 서식하는 여러 이끼, 관목류들의 구조를 관측하는 방법을 제안함으로써, 향후 다른 연구그룹들에서의 발전에 기여할 것이다.

#### 2. 경제적·산업적 측면

-동토층 탄소순환에 대한 기초자료 구축을 통해, 향후 대한민국이 극지 연구에서 글로벌 리더쉽을 취하는데 기여할 것이다.



## 제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

### 제1절 시료 분석

극지연구소의 질량분석기를 이용하여 채취한 잎의 C, N 농도 정량화합

1. 잎을 가루같이 grinding 함.
2. C/N분석전 plate에 Standard시료는 1,2,3,4,5,5mg씩, blank는 5개씩 캡슐을 쌓아놓는다.
3. grinding한 잎 시료를 캡슐로 쌓아주고, 이때 값의 흔들림을 알기위해 10번째 혹은 20번째 순서에 reference 시료를 쌓아준다. (값의 흔들림을 더 잘 알고자 한다면, ref값을 sample사이에 자주 넣어준다.)

### 제2절 현장 관측

낮은 군락 구조에서 엽면적을 Li-2200와 ASD NDVI으로 측정된 방법을 사용함 (van Wijk et al., 2005)

1. 직사 광선이 아닐 때 45° cap을 써서 군락 위와 아래에서 LAI 2200으로 측정
2. Skye Instruments 2 Channel Sensor SKR 1800 (Skye Instruments, Powys, UK)으로 반사도를 측정함. Channel 1 (0.725-1.1 um)과 Channel 2 (0.58-0.68 um)를 이용하여 정규화 식생지수를 계산
3. Maximum Likelihood 방법을 이용하여 NDVI-LAI 관계를 분석함

## 제7장 참고문헌

- Farquhar, G.D., Caemmerer, S.V., & Berry, J.A. (1980). A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> species. *Planta*, 149, 78-90
- Bubier, J.L., Rock, B.N., & Crill, P.M., (1997). "Spectral reflectance measurements of boreal wetland and forest mosses." *Journal of Geophysical Research* 102(D24): 483 - 494.
- Sharkey, T.D., Bernacchi, C.J., Farquhar, G.D., & Singsaas, E.L. (2007). Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C<sub>3</sub> leaves. *Plant Cell and Environment*, 30, 1035-1040
- van Wijk, M.T., & Williams, M. (2005). Optical instruments for measuring leaf area index in low vegetation: Application in Arctic ecosystems. *Ecological Applications*, 15, 1462-1470
- Kattge, J., Diaz, S., Lavorel, S., Prentice, C., Leadley, P., Bonisch, G., Garnier, E., Westoby, M., Reich, P.B., Wright, I.J., Cornelissen, J.H.C., Violle, C., Harrison, S.P., van Bodegom, P.M., Reichstein, M., Enquist, B.J., Soudzilovskaia, N.A., Ackerly, D.D., Anand, M., Atkin, O., Bahn, M., Baker, T.R., Baldocchi, D., Bekker, R., Blanco, C.C., Blonder, B., Bond, W.J., Bradstock, R., Bunker, D.E., Casanoves, F., Cavender-Bares, J., Chambers, J.Q., Chapin, F.S., Chave, J., Coomes, D., Cornwell, W.K., Craine, J.M., Dobrin, B.H., Duarte, L., Durka, W., Elser, J., Esser, G., Estiarte, M., Fagan, W.F., Fang, J., Fernandez-Mendez, F., Fidelis, A., Finegan, B., Flores, O., Ford, H., Frank, D., Freschet, G.T., Fyllas, N.M., Gallagher, R.V., Green, W.A., Gutierrez, A.G., Hickler, T., Higgins, S.I., Hodgson, J.G., Jalili, A., Jansen, S., Joly, C.A., Kerkhoff, A.J., Kirkup, D., Kitajima, K., Kleyer, M., Klotz, S., Knops, J.M.H., Kramer, K., Kuhn, I., Kurokawa, H., Laughlin, D., Lee, T.D., Leishman, M., Lens, F., Lenz, T., Lewis, S.L., Lloyd, J., Llusia, J., Louault, F., Ma, S., Mahecha, M.D., Manning, P., Massad, T., Medlyn, B.E., Messier, J., Moles, A.T., Muller, S.C., Nadrowski, K., Naeem, S., Niinemets, U., Nollert, S., Nuske, A., Ogaya, R., Oleksyn, J., Onipchenko, V.G., Onoda, Y., Ordonez, J., Overbeck, G., Ozinga, W.A., Patino, S., Paula, S., Pausas, J.G., Penuelas, J., Phillips, O.L., Pillar, V., Poorter, H., Poorter, L., Poschlod, P., Prinzing, A., Proulx, R., Rammig, A., Reinsch, S., Reu, B., Sack, L., Salgado-Negre, B., Sardans, J., Shiodera, S., Shipley, B., Siefert, A., Sosinski, E., Soussana, J.F., Swaine, E., Swenson, N., Thompson, K., Thornton, P., Waldram, M., Weiher, E., White, M., White, S., Wright, S.J., Yguel, B., Zaehle, S., Zanne, A.E., & Wirth, C. (2011). TRY - a global database of plant traits. *Global Change Biology*, 17, 2905-2935

## 주 의

1. 이 보고서는 극지연구소 위탁과제 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 위탁연구과제로 수행한 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.