

인공위성을 활용한 북극 동토층 물리특성 연구

A Study on the Physical properties in the
permafrost using satellite data



캘거리대학교

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “북극권 동토 연구 인프라를 활용한 공동연구 네트워크 구축” 과제의 위탁연구 “인공위성을 활용한 북극 동토층 물리특성 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.



2013 . 1.

총괄연구책임자 : 윤 영 준
위탁연구기관명 : 캘거리대학교
위탁연구책임자 : 김 정 우
위탁참여연구원 : 백 진
“ : 안 지 영

요 약 문

I. 제 목

인공위성을 활용한 북극 동토층 물리특성 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 북극권의 물리, 화학, 지구물리학적 특성을 이해하는 것은 극지뿐만 아니라 전 지구 환경 변화 이해에 중요한 역할을 함.
- 이 연구는 인공위성 레이더영상, 광학영상 및 수치고도모델을 이용하여 북극권 관측 거점지역 중의 하나인 알래스카 동토층의 물리적 특성을 밝히는데 있음.
- 이를 위해 극지 동토층의 지표물 전자기 특성으로 분류하는 기술을 개발하고, 온도와 식생분포 상관성 연구를 위한 식생분류 기술을 확보함.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 연구지역인 알래스카 카운실 지역을 연구지역으로 선정함.
- 동토층에 적용 가능한 두 가지 지표분류 기술, 즉 미국 지질 조사소 기준의 전통적인 분류 및 전자기 성질에 따른 분류법 개발함.
- 온도와 식생분포 상관성 연구를 위한 동토층 식생지수 (NDVI) 및 식생분류 기술 연구함.

IV. 연구개발결과

- 취득된 인공위성 영상 (Landsat-5/7)과 지표면 특성에 대한 사전 정보를 이용하여 지표 분류를 수행하였으며 연구지역을 총 7개의 지표특성 (물, 구름, 빙하, 눈, 식생 3종)으로 구분 후 지도 형식으로 영상화함.
- 인공위성 영상의 특정 밴드를 이용하여 녹색식물의 분포, 밀도, 활력도 등을 분석하는데 효과적인 식생지수를 산출함으로써 연도별 식생 분포 및 생

산성 분석이 가능함.

- 식생지수와 기상자료와의 1차 상관분석 수행 결과, 전반적인 식생지수 변화는 지구 온난화 현상과 관련이 있고, 지역적인 식생지수 변화 양상은 강수량에 민감한 것으로 추정됨.
- 여름기간 (7월-9월)에 획득된 연구지역의 인공위성 영상으로부터 산출된 식생지수는 약 16년에 걸쳐 감소하였으며 앞서 관찰된 기상조건의 변화에 따른 녹색식물의 밀도, 분포 또는 활력도 감소로 인한 현상으로 추정됨.

V. 연구개발결과의 활용계획

- 지구 온난화에 의해 조만간 북극 횡단 항로가 다시 열릴 것으로 예측되고, 이에 따라 북극해의 해빙 및 빙하 모니터링에 개발된 기술의 직접 적용이 가능함.
- 궁극적으로 북극권 동토층 환경변화 관측기술 개발 및 특성을 규명함으로써 북극권의 환경변화가 중·저위도 지역에 미치는 환경변화 연관성 평가가 가능함.
- 전통적인 방식의 지표 분류기술과는 별도로 제안하는 전자기 특성에 따른 분류기술이 완성되면, 예를 들어 지표 유전율 지도는 무선통신의 cell planning을 위한 전파 (wave)의 전파 (propagation) 모델에 사용될 수 있음.
- 기후변화에 따른 식생변화분석을 통해 미래 북극권의 지표변화 모델링이 가능함.

Summary

I. Title

A study on the physical properties in the permafrost using satellite data

II. Significance and Objectives of the Study

- Understanding of physical, chemical, and geophysics properties in Arctic plays an important role in understanding global environmental changes.
- Investigation of physical properties in Alaska permafrost using radar and optical remote sensing data, and Digital Elevation Model (DEM).
- Development of the electromagnetic land surface classification and vegetation classification algorithms for the analysis of relationship between surface temperature and vegetation represented by Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

III. Contents and Scope of the Study

- Establishment of the study area in Council, Alaska.
- Development of two land surface classification algorithms which are applicable in Arctic permafrost regions; one based on the conventional USGS (United States Geological Survey) standards and another using electromagnetic properties, respectively.
- Studying vegetation index and vegetation classification using remote sensing data to analyze the relationship between vegetation distribution and land surface temperature.

IV. Results of the Study

- Land surface classification into 7 different categories (water, cloud, glacier, snow and 3 different vegetation species) using Landsat-5/7 images and a priori information on land surface classes.
- Investigation of vegetation density, distribution and productivity retrieved from NDVI utilizing specific bands from the optical satellite images.

- Assumed that overall vegetation changes are influenced by global warming while regional vegetation changes are sensitive to the amount of precipitation from the result of linear regression analysis between vegetation index and weather data.
- Decreases of vegetation index for 16 years, retrieved from the satellite images taken from July to September are possibly due to the decrease of green vegetation density, distribution and productivity.

V. Further Application of the Study

- Applicable to monitoring of glacier and thawing permafrost.
- Contribution to assesment of interrelationship between environmental changes in the Arctic and in the middle-low latitude regions by applying the developed monitoring technology.
- Application of the proposed electromagnetic classification to the wave propagation model for cell planning.
- Modelling surface changes in Arctic through the investigation of vegetation changes depending on the climate changes.



Contents

Chapter 1 Introduction	10
Section 1 Significance and Objectives of the study	10
Chapter 2 Overview of domestic and oversea study	13
Section 1 Overview of land surface classification analysis	13
Section 2 Overview of vegetation study using remote sensing data	15
Chapter 3 Contents and Results of the study	17
Section 1 Study methodology	17
Section 2 Contents and Results of the study	21
Chapter 4 Progress of the study	25
Section 1 Objectives and Progress of the study	25
Chapter 5 Further application of the study	26
Section 1 Future work	26
Section 2 Further application	27
Chapter 6 Reference	28

List of Tables

Table 1. Electromagnetic parameters used in this study 14



List of Figures

Figure 1. The study area in Council, Alaska	11
Figure 2. Main study area near Council, Alaska	12
Figure 3. Flowchart of the data processing for electromagnetic land surface classification using remote sensing data	14
Figure 4. Example of the electromagnetic land classification	15
Figure 5. NDVI trends in North America derived from MODIS taken from 2001 to 2008	16
Figure 6. Pan-sharpened Landsat-5 TM images of the study area	18
Figure 7. Classified land surface image of Landsat-5 of the study area	20
Figure 8. Characteristics of vegetation in Council, Alaska	21
Figure 9. Map of NDVI trends from Landsat-5/7 acquired from 1985 to 2010 on August and September	22
Figure 10. Analysis of maximum and average NDVI trends of the study area on August and September	23
Figure 11. Analysis of average temperature and precipitation derived from weather data on August and September	23

목 차

제 1 장 서론	10
제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성 및 범위	10
제 2 장 국내외 기술개발 현황	13
제 1 절 동토층 물성연구를 위한 전자기 성질에 따른 지표분류기술	13
제 2 절 인공위성 자료를 이용한 식생분석 연구	15
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	17
제 1 절 연구개발 방법	17
제 2 절 연구내용 및 결과	21
제 4 장 연구개발목표 달성도	25
제 1 절 연구개발 세부목표 및 달성도	25
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	26
제 1 절 추가연구의 필요성	26
제 2 절 연구개발의 활용 및 파급효과	27
제 6 장 참고문헌	28

제 1 장 서론

제 1 절 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발 목표

지구온난화가 진행됨에 따라 지난 10년 동안 북극권의 환경이 눈에 띄게 변화하고 있다. 북극권의 물리, 화학, 지구물리학적 특성을 이해하는 것은 극지뿐만 아니라 전 지구 환경 변화를 이해하는데도 중요한 역할을 한다. 특히 북극권 동토층의 특성을 이해하는 것은 극지 및 전 지구의 기후, 생물, 천연자원 연구에 있어서 필수적이다. 따라서 북극 동토층의 지표에 대한 연구를 통해 북극권의 물리적 특성을 이해하는 것은 중요한 과제이다.

북극권 동토층은 접근이 어려운 지역이므로 현장자료 수집의 한계를 갖고 있다. 이처럼 현장 탐사가 불리한 지역의 정보는 인공위성 자료 수집을 통해 획득될 수 있으며, 북극권의 동토층 지표변화에 관한 연구는 다중해상도 및 다중시기의 인공위성 자료를 취득함으로써 가능하다. 이 연구의 목표는 인공위성 레이더영상, 광학영상 및 수치고도모델 (Digital Elevation Model (DEM))을 이용하여 북극권 관측 거점지역 중의 하나인 알래스카 동토층의 물리적 특성을 밝히는데 있다. 이를 위해 극지 동토층의 지표를 dielectric constant, conductivity, temperature, slope, roughness 등의 전자기 특성으로 분류하는 기술을 개발하고, 특히 온도와 식생분포 상관성 연구를 위한 동토층 식생지수 및 식생분류 기술을 확보하고자 한다. 개발된 기술을 연구지역인 알래스카 카운실 지역에 적용한 후 지표 및 현장자료와 비교 검증하여 연구지역에서 발생한 지표변화의 이해를 돕도록 한다.

2. 연구의 내용

이 과제의 연구지역은 알래스카에 위치하고 있으며 북위 64.8도, 서경 163.7도의 알래스카 카운실 지역 (Figure 1)을 포함하는 지역을 광범위 연구지역으로 선정하였다. 지표 및 식생 연구를 위해서 알래스카 카운실 지역을 중심으로 10 × 10 km (Figure 2)를 주 연구 대상지역으로 선정하였으며, 이 지점을 중심으로 1985년부터 2010년 사이에

획득된 인공위성 영상 및 기상자료를 수집하였다.

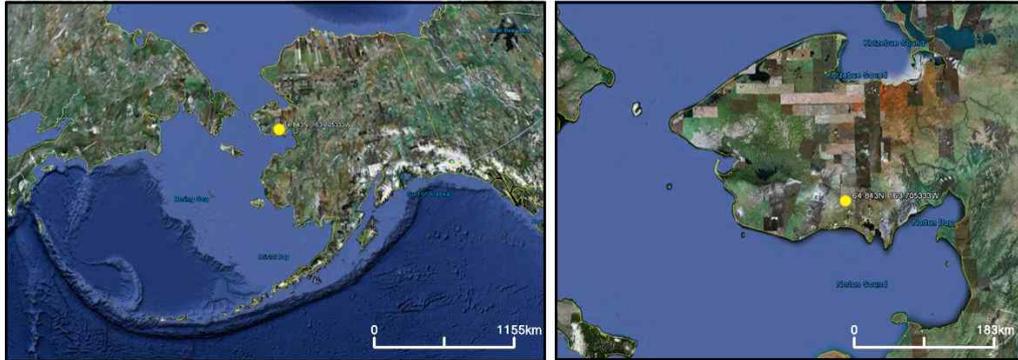


Figure 1. The study area in Council, Alaska (Yellow point: 64.8° N, 163.7° W).

동토층은 일반 토층과는 전혀 다른 물성을 보유하고 있으므로, 동토층에 적용 가능한 두 가지 분류 기술, 즉 미국 지질조사소 (United States Geological Survey (USGS)) 기준의 전통적인 분류 및 전자기 성질에 따른 새로운 분류법을 개발하도록 하며, 온도와 식생분포 상관성 연구를 위한 동토층 식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) 및 식생분류 기술 개발 연구를 중점적으로 수행한다. 지표분석을 위해 개발된 두 가지 분류법을 연구지역에 적용하여 현장자료 및 토양, 온도 등과 같은 지표자료를 통해 비교 검증하고자 한다.

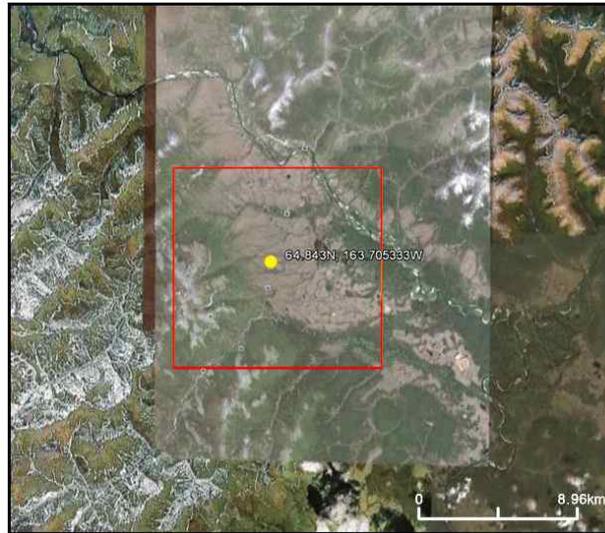


Figure 2. Main study area near Council, Alaska (Yellow point: 64.8° N, 163.7° W, Red box: main study area covering 10 × 10 km).



제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 동토층 물성연구를 위한 전자기 성질에 따른 지표분류 기술

지표를 전자기 성질로 분류하는 기술은 1999년 Dötling and Wiesbeck 등이 영상레이더 자료를 이용하는 가능성을 제시한 바 있고, 실제로 Kim et al. [2004]이 2004년 미국 알래스카에서 열린 IEEE 원격탐사학회에서 논문을 발표한 이후 최근 Baek et al. [2011]이 캐나다 앨버타 주에 이 기술을 적용하여 번개 및 이에 따른 산불 위험 지도를 작성한 바 있다. 이 연구에서는 전술한 두 논문을 근거로 북극 거점지역의 지표를 dielectric constant, conductivity, temperature, slope, roughness 등을 기준으로 분류하고자 한다. 이는 일반적인 미국 지질조사소 기준인 forest, wetland 등의 분류방식과는 전혀 다른 지표분류법으로 이를 이용하면 지표의 다양한 물성 연구가 가능하다. 예를 들어 지표 유전율 (dielectric constant)은 무선통신의 cell planning을 위한 전파 (wave)의 전파 (propagation) 모델에 사용될 수 있을 뿐 만 아니라 (Kim et al., 2004) 번개 및 이에 따른 산불확률 위험지도 작성 등에도 사용될 수 있다 (Baek et al., 2011).

Figure 3은 광학 및 레이더 영상을 이용, 지표를 전자기 성질로 분류하는 방법을 요약한 것으로 (Baek et al., 2011) 이 연구에서 동일한 방식으로 적용하고자 한다. 이를 위해 필요한 전자기 물성은 Table 1에 요약되어 있으며 이는 야외 및 실험실 측정을 바탕으로 한 Kim et al. [2004]의 자료에 근거한다 (Table 1).

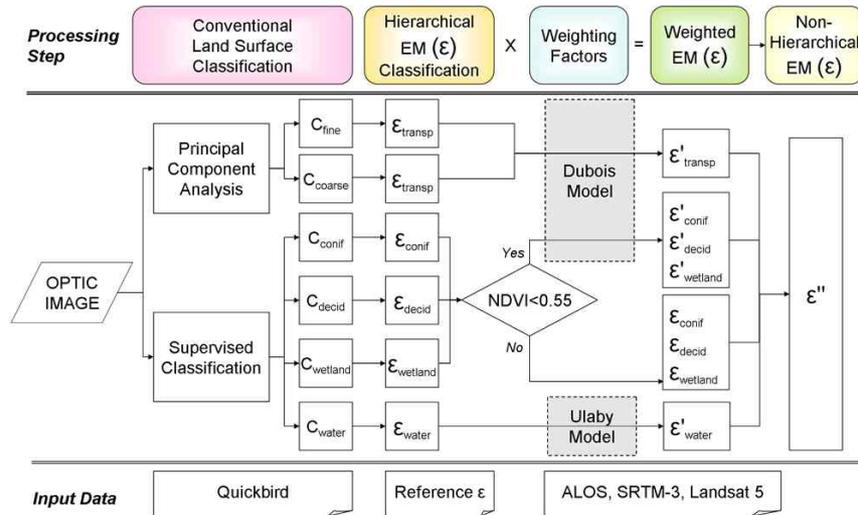


Figure 3. Flowchart of the data processing for electromagnetic land surface classification using remote sensing data (Baek et al., 2011).

Table 1. Electromagnetic parameters used in this study (Kim et al., 2004; Baek et al., 2011).

EM Class	Class	ϵ_{r0}	ϵ_{r1}	f_r	K	$Re(\mu_r)$	$Im(\mu_r)$	h_v	σ	L	η	ν	γ
Suburban	C_{fine}	4.000	4.000	1.0E+30	.010	1	0	12.25	.03	1.0	0.0	0	0.0
Transportation	C_{coarse}	3.875	3.875	1.0E+30	.078	1	0	0.00	.003	0.1	0.0	0	0.0
Deciduous	$C_{deciduous}$	1.004	1.004	1.0E+30	.317	1	0	17.50	.15	0.1	0.2	0	0.6
Coniferous	$C_{coniferous}$	1.004	1.004	1.0E+30	.317	1	0	17.50	.15	0.1	0.2	0	0.6
Water	C_{water}	74.167	5.000	1.7E+10	.349	1	0	0.078	.122	0.1	0.0	0	0.0
Wet land	$C_{wetland}$												

ϵ_{r0} is the real part of complex permittivity (or relative permittivity, dielectric constant), ϵ_{r1} is the imaginary part of complex permittivity, f_r is the frequency, K is the conductivity, $Re(\mu_r)$ is the real part of permeability, $Im(\mu_r)$ is the imaginary part of permeability, h_v is the mean layer height, σ is the standard deviation of surface roughness, L is the correlation length, and $\eta / \nu / \gamma$ are specific attenuation parameters.

지표의 온도와 기복 (roughness)은 Landsat-5/7로부터 획득된 인공위성 영상과 ASTER로부터 획득된 수치고도모델 (Global DEM (GDEM))을 이용하며, 지표의 전자기 성질을 산출하기 위해 Dubois [1995]와 Ulaby [1986]의 모델을 이용하고자 한다 (Figure 3). 또한 Quickbird, Ikonos 같은 고해상도 인공위성 영상이 존재하면 이를 이용, 해상도를 높이고자 한다. Figure 4는 전자기 지표분류의 예로서 (Baek et al., 2011) 연구지역은 캐나다 앨버타주 Conklin 주변이며 컬러는 지표 유전율을, 바탕은 Landsat-5 인공위성 영상이다. 이렇게 분류된 북극 거점의 표면 특성으로부터 전술한 다양한 응용연구가 가능하다.

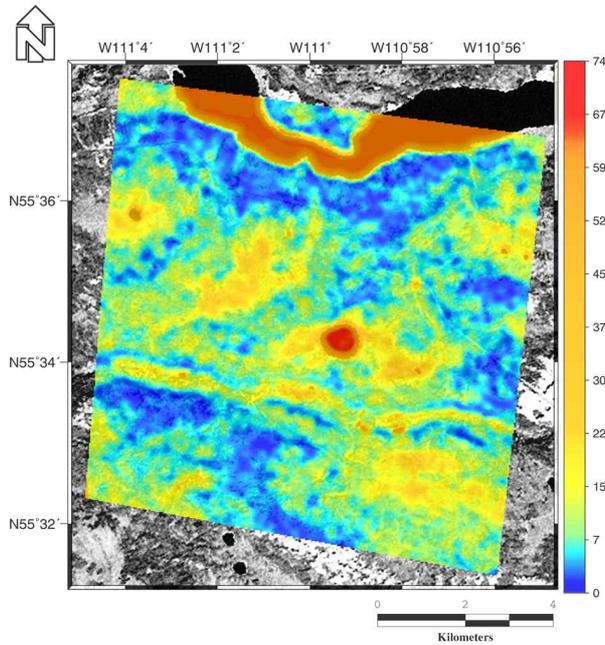


Figure 4. Example of the electromagnetic land classification (Baek et al., 2011). Study area is near Conklin, Alberta in Canada. (Color represents the dielectric constant superimposed on Landsat-5 image)

극지연구소

제 2 절 인공위성 자료를 이용한 식생분석 연구

인공위성 영상을 활용한 극지 연구지역의 식생변화분석은 다양한 논문을 통해 발표되어져 왔다. 최근에 발표된 논문으로는 Beck and Goet [2011]가 북미와 유라시아 극지대의 tundra 및 boreal 지역의 식생 활력도에 대해 연구한 바 있다. Advanced very high resolution radiometer (AVHRR)와 Moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS) 영상으로부터 식생지수 (NDVI)를 추출해 알래스카 지역의 활엽수와 shrub의 변화를 분석하였으며, 식생변화 뿐 아니라 gross productivity에 대한 변화도 분석이 가능함을 보였다 (Figure 5). Silapaswan et al. [2001]의 연구에서는 알래스카 Seward Peninsula 지역의 기후변화에 따른 식생변화에 대해 연구한 바 있으며 Classification, Change vector analysis 및 항공영상과의 해석을 통해 shrub 지역이 증가하고 있음을 예상하기도 했다. 국내에서도 식생분류기술을 위해 위성영상을 활용한

연구가 활발히 진행되어 왔으며, 영상에서 추출된 식생변화 결과는 많은 현장자료와의 상관성 분석을 통해 입증되었다.

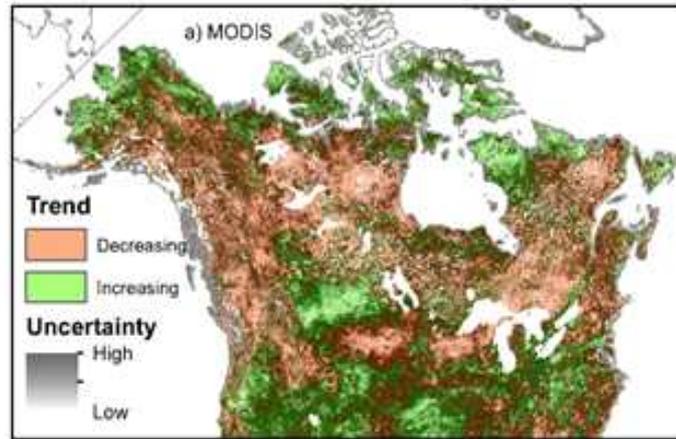


Figure 5. NDVI trends in North America derived from MODIS taken from 2001 to 2008 (Beck and Goetz, 2011).



제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 방법

1. 자료수집

가. Landsat-5/7

이 연구에서 제안된 지표분류에 필요한 기본적인 인공위성 광학영상 자료로 7 밴드인 Landsat-5/7을 이용하였다. 알래스카 연구지역 뿐만 아니라 다산기지 지역을 연구하기 위해 같은 위성영상을 사용하였으며, Landsat-5/7 자료는 미국 지질조사소의 National Center for Earth Resources Observation and Science로부터 무상으로 취득이 가능하다. 인공위성은 과거의 지표정보를 영상으로 저장하므로 1985년부터 2010년간 취득된 연구지역의 인공위성 자료 중 눈의 영향이 비교적 적은 여름 기간 (7월-9월)에 해당하는 영상을 수집하였다 (Figure 6).

나. 기상자료 데이터

현장 기상자료와의 비교검증을 위해 연구지역에서 가장 가까운 기상센터가 위치한 Nome Airport의 일별 기상자료를 National Weather Service로부터 획득하였다. 이 자료는 추후 검증단계에서 월 평균 온도 및 강수량의 자료로 사용되었다.

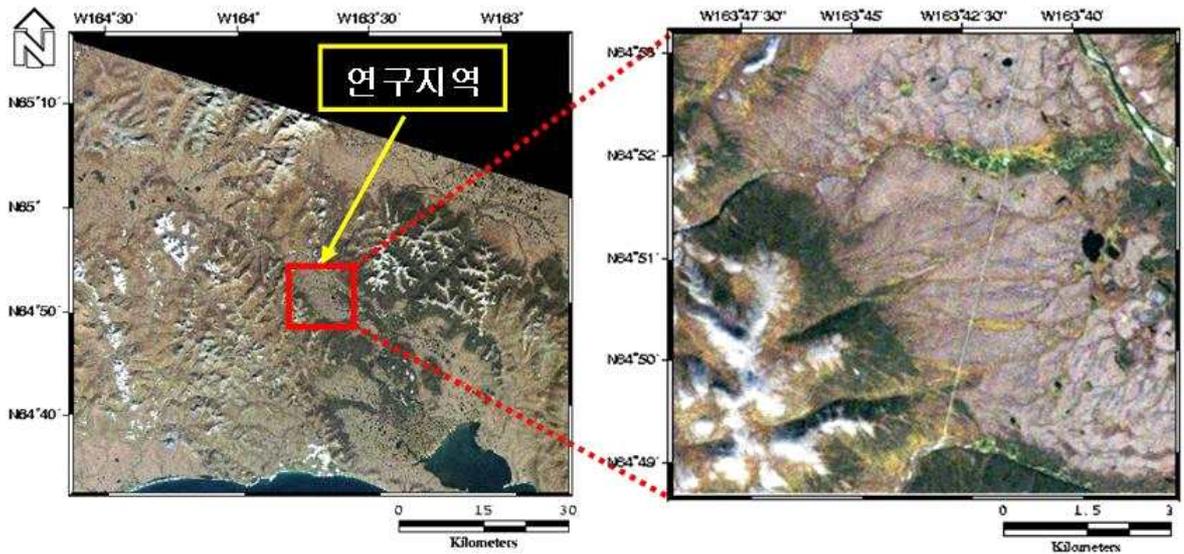


Figure 6. Pan-sharpened Landsat-5 TM images of the study area (Acquisition date: 2010/09/20).

2. 연구방법

가. 인공위성 영상 전 처리 (Pre-processing)

이 연구에서 사용된 인공위성 영상은 기하보정만 적용된 Landsat-5/7의 Level 1 단계의 영상이다. 따라서 정확한 식생지수를 산출하기 위해서는 인공위성 영상의 전 처리 과정이 필수적이다. 우선, 영상의 8비트 수치 값 (Digital Number)을 영상 획득 당시의 반사 값 (Reflectance)으로 변환하였다. 다중시기의 다중분광 영상자료를 이용한 변화 연구의 경우, 각 시기별 영상자료의 태양고도 및 대기의 조건 등이 다르므로 이들 자료의 정규화를 통해 위와 같은 영향을 최소화 하기위한 대기보정 (Atmospheric correction)을 수행하였다. Landsat-7은 SLC (Scan Line Corrector)의 기계적 결함으로 인해 2003년 5월 31일 이후에 취득된 영상에 한해 선형무늬 노이즈를 포함하고 있으며, 이를 제거하기 위해 Radiometric Adjustment Algorithm을 적용하여 영상을 복원하였다. 위성영상은 연구지역 뿐 아니라 광범위 지역을 포함하고 있으므로 1985-2010년 사이에 획득된 영상 중 연구지역을 중심으로 가능한 많은 영상이 중첩되는 지역을 선정하여 추출하였다. 또한 연구지역의 일부분은 눈, 빙하, 강, 지류등과 같은 무식생 지역이

므로 정확한 식생 분석을 위해 위와 같은 지역을 지표분류 결과와 인공위성 영상 밴드 1번 자료를 이용하여 제거하도록 하였다.

나. 인공위성 영상 처리

(1) 지표분류

(가) 통계 분석

인공위성 자료의 가시광선 밴드를 조합한 영상과 연구지역에 관한 참고문헌을 바탕으로 같은 지표특성을 가진 지역에 대한 통계분석을 수행하였다. 이를 위해 각 영상의 수치값을 이용하여 평균, 중간값, 표준편차, 공분산 등의 다양한 통계값을 계산하였으며, 이는 영상의 지표분류 수행 시 중요한 입력 자료로 사용된다.

(나) 감독 분류

계산된 각 지표 특성별 통계 정보를 바탕으로 Maximum likelihood enhanced 방법을 이용한 감독 분류를 수행하였으며 인공위성 영상의 각 픽셀을 사용자가 미리 정의한 지표특성에 따라 분류하였다 (Figure 7).

(2) 식생지수 산출

원격탐사 자료를 이용하여 산출된 식생지수는 녹색식생의 분포와 활동성을 나타내며, 이는 위성영상 자료의 특정 밴드 조합으로 계산될 수 있다. 대표적인 식생지수로는 NDVI가 있으며, 필요에 따라 Enhance Vegetation Index (EVI)도 사용하도록 한다. 이 연구에서는 NDVI를 사용하였으며, Landsat-5/7 영상의 4번 밴드, 즉 근적외선 파장대의 밴드가 식물에 민감하게 반응하므로 4번과 3번 밴드를 이용해 (수식 1 참조) 각 픽셀 별 식생지수를 추출하였다.

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3}$$

수식 1. Landsat-5/7의 3번 및 4번 밴드를 활용한 NDVI 산출 공식.

식생지수는 일반적으로 -1에서 +1사이의 값을 가지며 값이 클수록 활발한 녹색 식물의 활력도 또는 높은 분포 · 밀도를 의미한다. 획득된 인공위성 자료를 이용하여 1985년부터 2010년까지 눈이 영향이 가장 적은 여름기간 (7월-9월) 동안의 식생지수를 계산하여 영상화 하였다.

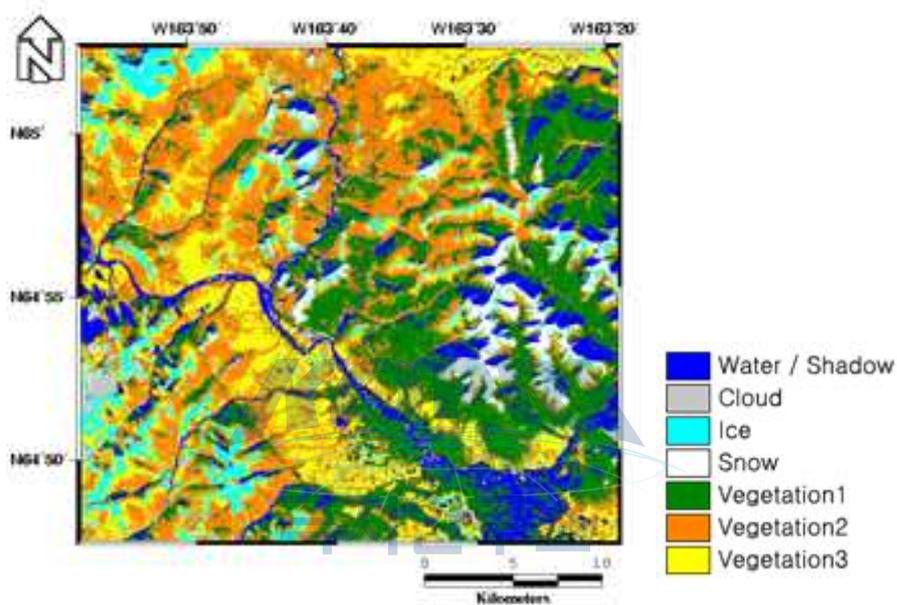


Figure 7. Classified land surface image of Landsat-5 of the study area.

(3) 지표온도 산출

지표온도를 산출하기 위해서는 위성영상의 열 밴드를 사용한다. Landsat-5/7의 열 밴드는 6번 밴드이므로 연구지역의 지표온도를 계산하기 위해 획득된 위성영상의 6번 열 밴드를 이용해 지표온도를 계산하였다. Landsat-5/7 위성영상의 6번 밴드는 지표온도에 따라 반사도 (Reflectance)의 값이 변화하게 된다. 영상의 픽셀은 수치 값으로 나타나므로 반사 값으로 변환한 후 지표온도를 계산하도록 한다. 계산된 온도의 단위는 기본적으로 Kelvin (K)이며 간단한 관계식을 적용하여 °C로 변환하였다.

다. 비교 및 분석 (Verification)

(1) 현장사진 자료와 지표분류 결과 분석

감독분류법을 이용하여 도출된 연구지역의 지표분류 결과와 현장사진 자료 (Figure 8)를 이용한 비교·분석을 수행하였으며, 현장사진으로부터 대표적인 식생을 파악하여 지표분류 결과의 식생지대에 관한 정보를 수집하였다. 참고문헌 및 현장사진 자료로부터 얻을 수 있는 연구지역의 식생에 관한 정보를 분석한 결과 주로 3가지 종류의 식생이 전반적으로 분포하고 있음을 알 수 있으며 각각의 식생에 대한 특성을 고려하여 연구지역의 지표분류 결과를 해석하였다.



Figure 8. Characteristics of vegetation in Council, Alaska (Left: Council Tundra site, middle: Blueberry Hill, Council, right: White Spruce forest).

(2) 기상자료와 식생지수 분석

산출된 식생지수와 Nome airport 기상센터에서 획득된 월 평균 기온 및 강수량 자료를 토대로 선형 회귀법을 이용한 1차 상관성 분석을 수행하였으며, 위성영상으로부터 산출된 온도와 현장 기상자료와의 통합 분석 실행하였다. 이러한 상관성 분석을 통해 식생변화와 기상 조건간의 관계분석 및 산출된 지표온도와 실제 기상 자료와의 비교 검증을 실시하였다.

제 2 절 연구내용 및 결과

1. 연구내용

1985-2010년도에 획득된 Landsat-5/7 영상을 이용하여 산출된 연구지역의 7월-9월 식생지수 변화 관측을 수행하였다. 처리 가능한 연구지역의 7월 영상은 2개뿐이므로 추세분석에 적절하지 않은 것으로 판단하여 분석에서 제외시키도록 하였다. 8, 9월의 식생지수를 분석한 결과, 최대 및 평균 식생지수가 대체적으로 감소하는 추세를 보였다 (Figure 9, 10). 반면, 연구기간동안 관측된 전반적인 월평균 온도와 강수량은 상승하는 경향을 보이고 있다 (Figure 11). 전반적인 식생지수 변화 양상은 월평균 온도 및 강수량 패턴과 관련이 있는 것으로 추정되며, 특히 식생지수의 변화 양상은 월평균 강수량의 변화 양상과 상당히 비슷한 점으로 보아 상호간의 밀접한 관련이 있을 것으로 추측된다. 따라서 식생지수의 감소로부터 1985년부터 2010년 간 연구지역에 분포하는 식생의 밀도, 분포 또는 활력도가 감소하였음을 알 수 있으며, 특히 월 평균 강수량과 식생지수의 비교를 통해 강수량과 식생의 밀도, 분포 또는 활력도가 비례관계에 있다는 해석이 가능하다.

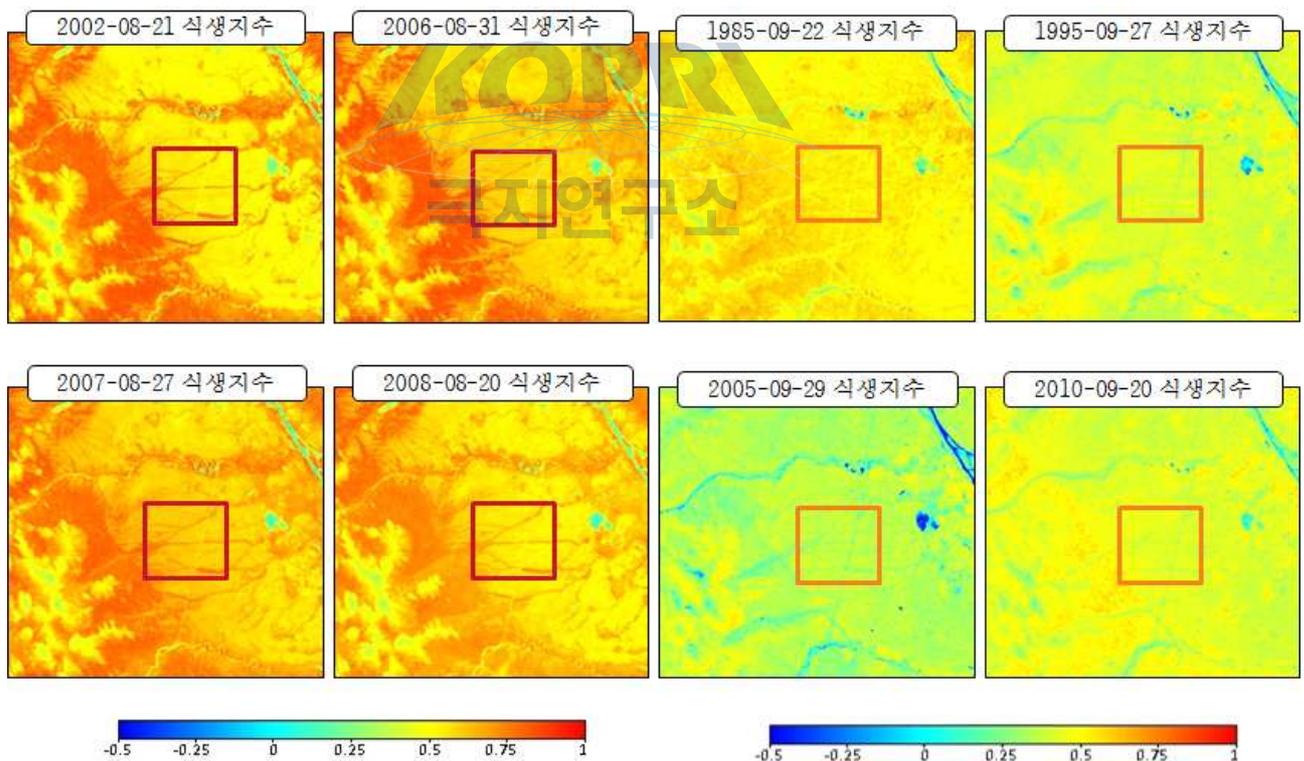


Figure 9. Map of NDVI trends from Landsat-5/7 acquired from 1985 to 2010 on August and September.

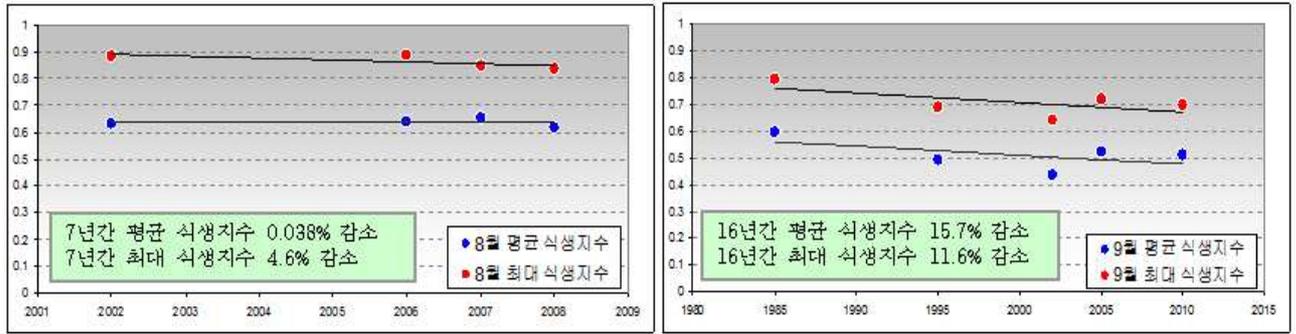


Figure 10. Analysis of maximum and average NDVI trends of the study area on August and September.

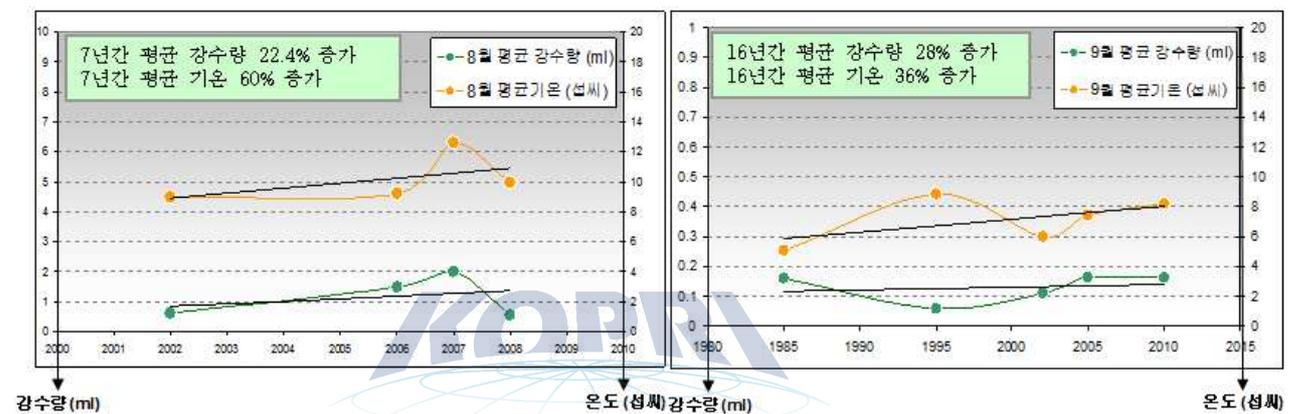


Figure 11. Analysis of average temperature and precipitation derived from weather data on August and September.

2. 연구결과

연구지역은 주기적인 접근 및 탐사가 어려운 지역이므로 인공위성 자료를 이용한 연구가 비용과 시간 면에서 효율적이다. 결과의 정확도를 높이기 위해 대기에 의한 영향 (구름, 안개 등)이 최소화 된 인공위성 영상과 연구지역의 지표특성에 관한 사전 정보 입수하여 보다 더 정확한 결과를 획득하도록 하였다. 취득된 인공위성 영상 (Landsat-5/7)과 지표면 특성에 대한 사전 정보를 이용하여 지표분류를 수행하였으며 연구지역을 총 7개의 지표특성 (물, 구름, 빙하, 눈, 식생 3종)으로 구분 후 지도 형식으로 영상화하여 지표의 특성을 이해하였다. 또한, 인공위성 영상의 특정 밴드를 이용하여 녹색식물의 분포, 밀도, 활력도 등을 분석하는데 효과적인 식생지수를 산출함으로써 연도별 식생 분포 및 생산성 분석이 가능함을 보였고, 식생지수와 기상자료와의 1차 상

관분석 수행 결과, 전반적인 식생지수 변화는 지구 온난화 현상과 관련이 있고, 지역적인 식생지수 변화 양상은 강수량에 민감한 것으로 추정할 수 있다.

연구지역의 8, 9월 인공위성 영상으로부터 산출된 식생지수는 약 16년에 걸쳐 감소하였으며 이는 앞서 관찰된 기상조건의 변화에 따른 녹색식물의 밀도, 분포 또는 활력도 감소로 인한 현상으로 추정된다. 이 밖의 가능한 원인으로는 전반적인 온도증가에 따른 장기간의 식생 변화가 있을 수 있으며 이로부터 여러 식생이 섞이는 현상, 주로 분포하는 식생종류의 변화 등으로 인한 녹색식물의 분포, 밀도 또는 활력도 감소를 예상할 수 있다.



제 4 장 연구개발목표 달성도

제 1 절 연구개발 세부목표 및 달성도

성과목표	세부목표	달성 주요내용	달성도(%)
1. 극지 동토층 전자기 분류	1-1 연구지역의 지표분류	<ul style="list-style-type: none"> - 대기에 의한 영향이 가장 적은 인공위성 영상과 지표특성에 대한 사전 정보 입수 - 감독분류 작업을 통해 물, 빙하, 눈, 식생 지역으로 구분 - 지표분류 결과의 영상화 	100%
	1-2 연구지역의 전자기적 지표 분류	<ul style="list-style-type: none"> - 지표분류 결과와 지표특성에 따른 전자기 값을 통합하여 1차 전자기 지표분류 수행 - 인공위성 레이더영상, 온도 자료 및 수치고도모델 등을 추가적으로 활용한 2차 전자기 지표분류 수행 	80%
2. 인공위성 자료를 이용한 식생분석	2-1 인공위성 자료를 이용한 식생지수 (NDVI) 산출	<ul style="list-style-type: none"> - 1985년부터 2010년간 취득된 인공위성 자료 중 눈의 영향이 가장 적은 여름 기간 (7월-9월)에 해당하는 자료 수집 - 수집된 인공위성 자료를 이용한 식생지수 (NDVI) 산출 - 월별 최대 및 평균 식생지수 산출 	100%
	2-2 식생지수와 기상자료의 상관성 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 위성 영상 획득 시기의 월 평균 온도 및 강수량 자료 획득 - 산출된 식생지수와 기상자료와의 통합 분석 	100%

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 추가연구의 필요성

1. 연구수행에 따른 문제점 또는 원인

인공위성 자료 부족으로 인한 상관성 분석 결과의 부정확성과 기상센터 (Nome airport)와 실제 연구지역간의 거리차이로 인한 기상자료의 부정확성이 연구결과의 오차를 초래할 수 있다. 또한, 실제 연구지역에 관한 자세한 정보 부족으로 인한 식생과 기상자료와의 분석 결과 해석이 정확하지 않을 수 있다.

2. 개선방향 또는 대책

연구지역에 해당하는 더 많은 인공위성 자료의 확보가 필요하며, 다른 기관에서 수집된 연구지역 근처의 기상 자료 확보 및 인공위성 영상의 열 밴드 (6번)를 이용하여 위성영상 획득 당시의 온도계산이 필수적이다. 마지막으로, 연구지역의 식생 및 기상에 관한 각종 문헌 참고 및 연구지역의 현장자료 수집이 요구된다.

3. 추가연구의 필요성

북극권 동토층 식생분류의 정확한 분석을 위해 식생분류기술 뿐 아니라 식생변화에 영향을 주는 외부요인 (토양특성, 온도, 눈 및 빙하) 연구가 필수적이다. 이 연구에서 개발된 기술을 바탕으로 연구지역인 알래스카의 식생분포와 외부요인과의 상관성 연구를 통해 보다 더 정확한 해석을 가능하게 한다. 또한, 추가 개발된 기술을 연구지역인 알래스카에 적용한 후 지표 및 현장자료와 비교 검증하여 정확한 식생분류 해석이 가능하도록 한다.

제 2 절 연구개발의 활용 및 파급효과

1. 연구개발의 활용

지구 온난화에 의해 조만간 북극 횡단 항로가 다시 열릴 것으로 예측되고, 이에 따라 북극해의 해빙 및 빙하 모니터링에 개발된 기술 직접 적용이 가능하게 된다. 온난화가 지속됨에 따라 러시아 및 캐나다 북극권에 잠재된 무한한 자원탐사가 가능해질 것이고 따라서 새로운 동토층 지표분류는 자원탐사 및 운송의 기초 자료로써 활용될 수 있다.

궁극적으로 북극권 동토층 환경변화 관측기술 개발 및 특성을 규명함으로써 북극권의 환경변화가 중·저위도 지역에 미치는 환경변화 연관성 평가가 가능하게 되며, 이를 수치적으로 재현하여 북극권 동토층 환경변화 관측 거점과 극한지 첨단 관측기술 확보할 수 있게 된다.

전통적인 방식의 지표 분류기술 (미국 지질조사소 기준 등)과는 별도로 제안하는 전자기 특성에 따른 분류기술이 완성되면, 예를 들어 지표 유전율 지도는 무선통신의 cell planning을 위한 전파 (wave)의 전파 (propagation) 모델에 사용될 수 있으며, 전자기특성에 따른 지표특성은 번개 및 이에 따른 산불확률 위험지도 작성 등에도 활용이 가능하다. 식생분류 기술을 통해 기후변화에 따른 식생변화분석을 통해 미래 북극권의 지표변화 모델링이 가능하다.

2. 파급효과

- 이 연구의 기술은 북극항로 모니터링이 가능해짐에 따른 비용을 절감시킬 수 있다.
- 극지 자원탐사를 위한 기초 자료를 우리 기술로 획득함에 따른 비용 절감 및 자원 확보가 가능하다.
- 캐나다 북부 연안의 경우 (맥켄지 델타 등) 미래의 자원인 가스 하이드레이트 등이 풍부해 무한한 투자 가치가 있는 지역으로 해외자원 확보의 기초자료를 마련함으로써 외화 절감효과를 기대할 수 있다.

제 6 장 참고문헌

- 미국 지질조사소 (USGS, United States Geological Survey). [Online] Available: <http://earthexplorer.usgs.gov>
- National Weather Service. [Online] Available: <http://pafg.arh.noaa.gov>
- Kim, J.W., D.-C. Lee, J.H. Yom, and J.K. Park, 2004, Telecommunication modeling by integration of geophysical and geospatial information. *in Proc. IGARSS*, Anchorage, AK, Sep. 2004, pp.4105-4108.
- Dubois, P.C., J. Van Zyl, and T. Engman, 1995, Measuring soil moisture with imaging radars. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol.33, no.4, pp.915-926.
- Ulaby, F.T., R.K. Moore, and A.K. Fung, 1986, *Microwave Remote Sensing, Active and Passive*. Dedham, MA: Artech House.
- Dötling, M.W., and W. Wiesbeck, 1999, A hierarchical electromagnetic use parameter database for wave propagation modeling. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Newslett.*, no.109, pp.6-10.
- Baek, J., J.W. Kim, G.J. Lim, and D.-C. Lee, 2011, Electromagnetic land surface classification through integration of optical and radar remote sensing data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol.49, no.4, pp.1214-1222.
- Beck, P.S.A., and S.J. Goetz, 2011, Satellite observations of highnorthern latitude vegetation productivity changes between 1982 and 2008: ecological variability and regional differences. *Environ. Res. Lett.*, vol.6, pp.045501.
- Silapaswan, C.S., D.L. Verbyla, and A.D. McGuire, 2001, Land cover change on the Seward Peninsula: The use of remote sensing to evaluate potential influences of climate change on historical vegetation dynamics. *Can. J. Remote Sens.*, vol.27, pp.542-554.

주 의

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

극지연구소