

MODIS LAI 데이터를 이용한 툰드라-타이가 경계의 식생 공간분포분석

Vegetation Spatial Distribution Analysis of Tundra-Taiga Boundary Using MODIS LAI Data

이 민 지* 한 경 수**
Min Ji Lee Kyung Soo Han

요약 본 연구에서는 툰드라-타이가 경계영역의 변화를 확인하기 위해 식생의 분포 변화를 관측하였다. 툰드라-타이가 경계영역은 인간 활동 혹은 기후 변화에 따른 신호로 나타나는 식생패턴의 이동을 관측하기 위해 사용된다. 극지의 툰드라-타이가 경계영역은 조금의 변화에 대해서도 두드러진 반응을 관찰할 수 있으므로 다른 곳에 비해 기후변화에 대한 반응과 확인이 명확하다. 연구 자료로서 2000년에서 2009년까지 총 10년간 매년 8월을 Terra위성 MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)센서로부터 취득한 LAI(Leaf Area Index) 8-Day 자료를 사용하였고, 보조 자료로서 기후지도와 GLC 2000(Global Land Cover 2000)토지피복 지도를 사용하였다. 본 연구에서는 엽면적 지수의 10년치 장기간 자료를 이용하여 시·공간 분석과 식생의 밀도가 저조한 지역을 중심으로 위도대 별, 토지피복 별 분석을 시행하였다. 연구대상 지역에 대하여 엽면적 지수의 기준값을 바탕으로 한 분석에서 2000년에서 2009년까지 LAI의 변화를 확인하였다. 툰드라 기후에서 식생의 감소가 일어난 면적(22,372km²) 보다 식생의 성장을 보인 면적은 730,325km²로서 식생의 발달을 확인할 수 있었다. 또한 위도대 별 면적 분석을 통해 위도 62° N의 주위와 위도 64° N~66° N을 중심으로 면적 증가가 나타났으며, 툰드라-타이가 경계영역의 식생은 2000년부터 2009년까지 전반적인 증가 추세가 나타났다. 전체적으로 식생 감소가 일어나는 면적 변화는 다소 적은 것에 비해 식생의 성장과 발달이 일어나는 곳의 면적은 크게 증가하는 것을 확인하였다.

키워드 : 툰드라-타이가, 툰드라-타이가 경계, 모디스, 엽면적 지수

Abstract This study observed distribution of vegetation to confirm change of tundra-taiga boundary. Tundra-taiga boundary is used to observe the transfer of vegetation pattern because it is very sensitive to human activity, natural disturbances and climate change. The circumpolar tundra-taiga boundary could observe reaction about some change. Reaction and confirmation about climate change were definite than other place. This study used Leaf Area Index(LAI) 8-Day data in August from 2000 to 2009 that acquire from Terra satellite MODerate resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS) sensor and used Köppen Climate Map, Global Land Cover 2000 for reference data. This study conducted analysis of spatial distribution in low density vegetated areas and inter-annual / zonal analysis for using the long period data of LAI. Change of LAI was confirmed by analysis based on boundary value of LAI in study area. Development of vegetation could be confirmed by area of grown vegetation(730,325km²) than area of reduced vegetation(22,372 km²) in tundra climate. Also, area was increased with the latitude 64° N~66° N as the center and around the latitude 62° N through area analysis by latitude. Vegetation of tundra-taiga boundary was general increase from 2000 to 2009. While area of reduced vegetation was a little, area of vegetation growth and development was increased significantly.

Keywords : Tundra-taiga, Tundra-taiga Boundary, MODIS, LAI

[†] 이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 5006-4106)의 지원으로 수행되었습니다.

* 부경대학교 위성정보과학과 석사과정 lee.minji87@gmail.com

** 부경대학교 위성정보과학과 교수 han.kyungsoo@gmail.com(교신저자)

1. 서론

전 세계적으로 기후변화에 대한 심각성이 대두되는 가운데 지구온난화 문제가 전지구적으로 나타나고 있다. 인간 활동에 따른 산림 감소 등에 의해 식생변화가 일어나거나 기후대의 변화가 나타나며 이외에도 폭염, 집중호우, 해수면 상승 등의 문제가 있다. 이러한 기후변화에 따른 변화를 관측하기 위해서 지표의 선택이 필요하다[13]. 많은 과학자들은 최근 관측에서 고위도 생태계 활동의 한 부분으로 타이가의 숲이 툰드라로 확장되고 있음을 지구온난화의 지표로 제안하고 있다[11]. 이러한 고위도 생태계 활동은 기후변화에 대한 반응을 파악하는데 중요한 지표가 될 수 있다. 또한 극지의 툰드라와 타이가의 경계영역은 조금의 변화에 대해서도 두드러진 반응을 관찰 할 수 있으므로 다른 곳에 비해 기후변화에 대한 반응과 확인이 명확하게 나타난다. 툰드라-타이가 경계영역은 북반구 주변으로 13,400 km 이상 뻗어있고 기후변화와 인간 활동에 민감하게 반응한다[9, 10]. 이에 툰드라-타이가 경계영역은 변화에 따른 신호로 나타나는 식생 패턴의 이동을 관찰하기 위해 사용되며 여러 연구에서 툰드라-타이가 경계영역 변화의 경향을 예측하고 관측하는 것에 대한 중요성을 지적한다[4, 5]. 지구온난화가 가속화되고 있는 시점에서 만약 식생의 성장과 번식이 온도에 의해 조절된다면, 툰드라-타이가의 수목한계선(tree line)의 급속한 진전을 예상할 수 있다[3]. 또한 몇몇 연구들은 툰드라의 절반이 2100년에는 나무로 뒤덮일 것으로 예상한다[8, 9, 10]. 이처럼 툰드라-타이가 경계영역이 중요하고 역동적이지만 사실상 경계영역의 위치와 정량적인 토지피복 특징에 대해서는 여전히 무지한 상태이다[9, 10]. 툰드라-타이가 경계탐지는 원격탐사 데이터 타입에 따라 탐지하는 방법[1, 5, 7]이 대부분인 반면 식생 분포 변화에 따라 탐지하는 방법은 드물게 나타난다. 식생관계에 따른 연구들은 보통 장기간 관측에 의한 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 통해 결과를 도출하는 것이 대부분인[2] 반면 LAI(Leaf Area Index)를 이용한 툰드라-타이가 경계변화 탐지에 대한 정량적 체시는 부족한 실정이다. 식생지수는 식생의 시공간적 변화탐지를 효과적으로 수행할 수 있는 도구가 되며[14] 본 연구에서 사용한 LAI는 엽면적 지수로서 식물의 엽에서

발생하는 에너지, 이산화탄소, 질소의 교환과 식물의 구조적 특징, 개체군의 엽면적 크기와 번무 정도를 나타내는 중요한 지수이며 환경생태 등 다양한 분야에서 활용되고 있다[12]. 또한 LAI는 식물과 지표면에 관련된 생물학적이고 물질적인 과정을 이해하기 위한 중요한 변수로서 기후와 광범위한 스케일의 생태계 모델에 있어서 주요한 입력 에너지가 된다[6]. 본 연구에서 사용한 MODIS(MODerate resolution Imaging Spectroradiometer) LAI는 시계열 분석이 가능하며 비교적 광범위한 지역의 식생 정보를 얻기에 적절하다. 따라서 본 연구는 2000년에서 2009년까지 총 10년간 알래스카 지역을 연구 영역으로 선정하여 식생 변화의 파악이 용이한 8월을 지정해 툰드라와 타이가의 경계영역 변화를 식생을 통해 관측하여 정량적, 정성적으로 분석하고자 한다. 이를 위해 년도에 따른 식생의 변화를 파악하기 위해 회귀분석을 시행하여 LAI 변화량을 산출하였다. LAI 변화량과 기후지도, GLC 2000(Global Land Cover 2000)의 비교를 통해 토지피복 별 변화와 기후에 따른 식생의 변화를 확인하였다. 또한 2000년을 기준으로 LAI로부터 산출한 경계기준값을 바탕으로 2000년부터 2009년까지 공간적 분포 변화를 확인하고 각 위도대 별 변화하는 툰드라-타이가 경계를 면적으로 정량화하였다.

2. 자료 및 연구영역

본 연구의 범위는 위도 60.0°N~70.0°N, 경도 130.0°E~169.0°E이며 북아메리카 북서쪽 끝에 존재하는 알래스카의 툰드라-타이가 지역이 주요 연구영역이다(그림 1). 연구영역의 기후를 파악하기 위한 보조 자료로 사용한 쾨펜의 기후지도에서 툰드라 기후는 한대 기후에 속하며 강수량 자체는 많지 않지만 증발량이 매우 적어 습지가 형성되는 특징이 있다. 이에 연구영역에 해당하는 기후 중에서 Polar, Moderate polar를 툰드라 기후로 간주하였다. 타이가의 기후는 기온의 일교차가 큰 것이 특징으로 쾨펜의 기후지도에서 냉대 기후에 속하며 Extreme subpolar, Marine subpolar를 툰드라 기후로 간주하였다.

연구 자료는 2000년에서 2009년까지 각각의 8월을 Terra 위성 MODIS 센서로부터 취득한 LAI 8-Day L4 Global 1km SIN Grid v005 자료를 사용

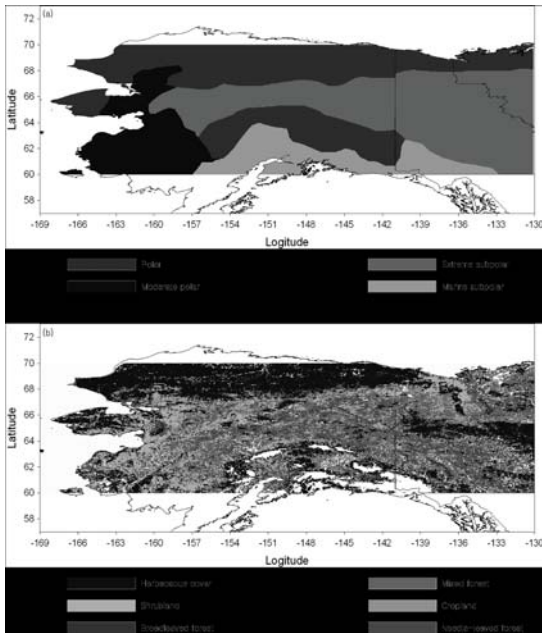


그림 1.(a) Climate Map and(b) Global Land Cover 2000 of study area

하였다. 툰드라는 낮은 온도에 의해 식물의 생육기간이 60일 이하로 짧고 제한적이므로 계절적 특성상 식생의 상태를 파악하기 적절한 8월로 결정하였다. 본 연구에서 사용한 MODIS 자료의 projection은 sinusoidal grid로 지정되어 있다. Grid는 tile로 구성되며 본 연구에서는 4개의 tile(h10v02, h11v02, h12v02, h13v02)을 사용하였다. Sinusoidal projection은 곡면인 지구 표면을 평면 위에 작도하는 지도투영법 중 하나로서 경선과 위선의 길이가 같으므로 일정한 위도대의 면적은 모두 같게 나타난다. Sinusoidal projection에 의해 세계지도를 그릴 경우 가로와 세로의 비율이 2:1의 방추형으로 나타나므로 지구 중심부는 비교적 정확한 반면 지도 가장자리 지역은 심한 왜곡이 발생하게 된다. 이에 지도 가장자리에 위치한 본 연구 영역의 왜곡을 보정하기 위한 작업을 수행하였다.

보조 자료로서 연구 영역의 기후 파악을 위해 쾨펜의 기후 지도를 사용하였고, 토지피복 종류와 비율을 파악하기 위해 23종으로 분류된 GLC 2000을 사용하였다. GLC 2000은 SPOT VEGETATION daily 1km 데이터로서 요건에 따라 세계의 각 부분을 각각 다른 분류기술을 사용하여 지역적인 토지 피복 파악에 효과적이다.

3. 연구방법

본 연구의 전체적인 연구 방법은 그림 2에 나타내었다. Terra 위성 MODIS 센서로부터 취득한 LAI 8월 자료의 projection은 sinusoidal로 지정되어 있다. 지구가 구체인 특성 때문에 곡면의 자료는 왜곡이 일어나므로 평면으로 변환하는 작업이 필요하다. 이를 위해 sinusoidal projection인 기존 tile의 픽셀 좌표 값과 변환될 픽셀 좌표 값이 서로 일치되면 값을 부여하여 공간적 일치를 위해 geographic projection으로 변환하였다. Projection 변환 작업 후 연구영역(위도 60.0° N~70.0° N, 경도 130.0° E~169.0° E)에 맞게 자른 자료는 픽셀 단위로 식생이 가장 활발한 시기인 매년 8월 평균으로 산출하였다. 매년 변화하는 LAI 값의 평균 변화를 관측하기 위해 회귀분석을 시행하였고 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$LAI_{(i,j)} = a \cdot Y_r + b$$

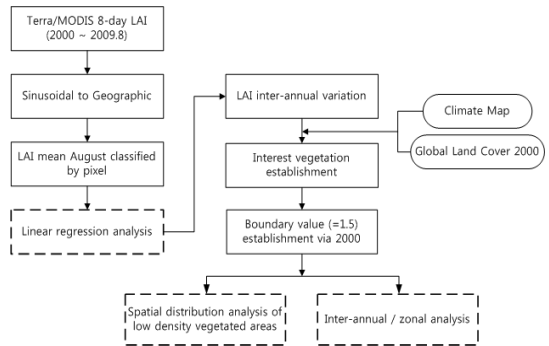


그림 2. Flowchart for synthesis methodology of the study

이는 2000년에서 2009년까지 변화하는 LAI 평균의 각 픽셀 좌표를 나타낸다. 여기서 Y_r 은 년도를 나타내며 기울기 a 는 년도 별 변화하는 LAI 변화량을 의미한다. 이렇게 산출된 LAI 변화량을 통해 년도에 따라 변화하는 식생의 변화를 파악하였다. 산출된 LAI 변화량(LAI inter-annual variation)분포 값이 작은 범위로 분포하여 일정한 차이(0.05)로 범위를 나누었다. 이는 LAI 변화량을 단순화하기 위해 0.01 단위로 단계별 분석을 수행하여 범위를 결정하였다. 이를 Negative($\Delta LAI/year < -0.05$), Static ($-0.05 \leq \Delta LAI/year \leq 0.05$), Positive($0.05 < \Delta LAI/year$)

의 상태 별로 나누었다(그림 3). 어느 기후대에서 LAI 변화량이 가장 크게 변화하며 시간이 지남에 따라 어떻게 변화하는지 확인하기 위해 보조 자료인 기후지도와 LAI 변화량을 교차행렬 분석하여 비율과 면적을 산출하였다. 마찬가지로 LAI 변화량이 큰 부분의 주요 식생을 파악하기 위해 보조자료 GLC 2000을 이용하여 동일한 방법을 시행하였다. GLC 2000과 교차행렬 분석한 결과로 변화하는 주요 식생을 관심대상으로 정하고 2000년에서 2009년까지 변화를 보기 위해 2000년을 기준으로 관심식생에 대해 평균과 표준편차를 구하여 경계기준값을 설정하였다. 경계기준값은 평균과 표준편차에 의해 최대값으로 정하며, 경계기준값 이상·이하로 나누어 관심식생의 변화를 확인하였다. 또한 위도 60.0° N~70.0° N 을 10등분 하여 각 위도대 별 LAI 경계

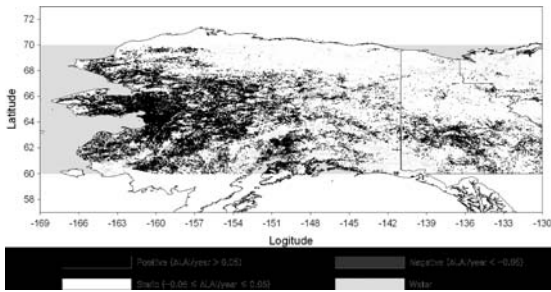


그림 3. Extract LAI inter-annual variation from linear regression analysis

기준값 이상에 해당하는 픽셀 수를 계산하여 관심식생이 변화하는 과정에서 각 위도대 별 면적 변화에 대해 정량적으로 확인하였다.

보조 자료로 사용한 GLC 2000은 식생 종의 분포가 23개의 class로 나누어져 있다. 이를 LAI 변화량과 교차행렬 분석하여 본 연구의 연구영역에 맞는 식생으로 분류하였다(13개 class). 그 후 연구영역에 맞는 식생 중 중복되는 식생을 통합하여 최종적으로 8개의 class로 단순화 하였다(표 1).

4. 결과 및 분석

LAI 변화량의 변화가 큰 곳의 기후대를 확인하기 위해 기후지도와 비교한 결과를 그림 4와 표 2에 나타내었다. 비교한 결과를 퍼센트(%)로 나타낼 경우 단순히 변화한 정도만 나타내어 정확한 판단이 어려우므로 각 영역에 대한 변화를 픽셀수로 표현하여 면적을 통해 정량적으로 나타내었다. 표 2에 나타난 기후대 별 LAI 변화량을 통해 식생의 변화가 감소한 곳의 면적은 매우 작은 반면에 전반적으로 연구영역에 속하는 모든 기후대에서 식생의 성장이 일어나고 있음을 확인하였다. 특히 Polar, Moderate polar, Extreme subpolar에서 LAI 변화량의 증가가 나타나는데, Polar와 Moderate polar는 툰드라 기후로서 이곳의 식생이 성장했음을 뜻한다. 또한 LAI 변화량을 추출한 그림 3과 기후 지도를

표 1. Global Land Cover 2000 that classify according to study area

Class number	Land cover class name of study area	Combined class name	Count (km ²)	%
1	Tree Cover, broad-leaved, deciduous, closed	Broad-leaved forest	16431	0.3
2	Tree Cover, needle-leaved, evergreen	Needle-leaved forest	581809	10.36
3	Tree Cover, mixed leaf type	Mixed forest	1085841	19.34
	Mosaic: Tree Cover/Other natural vegetation			
4	Tree Cover, burnt	Herbaceous cover	1742763	31.03
	Herbaceous Cover, closed-open			
	Sparse herbaceous of sparse shrub cover			
5	Regularly flooded shrub and/or herbaceous cover	Shrubland	870434	15.5
6	Shrub Cover, closed-open, evergreen	Cropland	19049	0.34
7	Shrub Cover, closed-open, deciduous	Water Bodies	1103608	19.65
	Mosaic: Cropland/Shrub and/or grass cover			
8	Water Bodies	Snow and Ice	195917	3.48
	Snow and Ice			

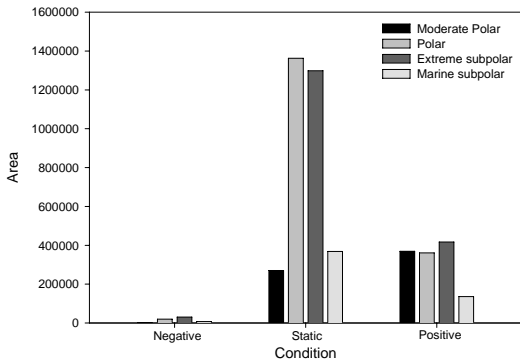


그림 4. Area that LAI inter-annual variation occupies in Climate Map. Area of Negative is too small, while area of Positive in all climatic regions is mostly seen.

비교하면 Polar의 서쪽영역과 Moderate polar, Extreme subpolar의 서쪽영역을 중심으로 LAI 변화량의 확연한 증가가 나타난다. 이를 통해 식생의 생육이 낮은 툰드라에서 식생의 감소보다 성장이 나타남을 확인하였다. 표와 그래프를 통해서 Polar와 Extreme subpolar에 식생의 감소가 미미하게 나타나는데 이는 두 영역을 차지하고 있던 기존 식생이 감소하고 대신 그 자리에 Moderate polar의 식

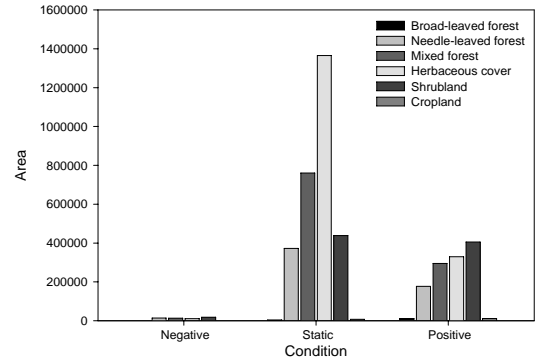


그림 5. Area that LAI inter-annual variation occupies in Global Land Cover 2000. Vegetation that area of Positive appears most greatly is Herbaceous cover and Shrubland.

생 분포가 다양해지면서 범위가 확장된 것으로 사료된다. 이는 Polar보다 상대적으로 온난한 Moderate polar의 확장으로서 기후가 변화하고 있다는 것과 그에 따라 식생 분포 또한 증가했다는 것을 간접적으로 나타낸다.

연구영역에 맞게 8개의 class로 나누어진 GLC 2000과 LAI 변화량을 비교하여 변화가 크게 나타나는 지역의 식생 종을 파악하였고 토지피복 별 LAI

표 2. Area that LAI inter-annual variation occupies in Climate Map

	Moderate polar	polar	Extreme subpolar	Marine subpolar
Negative ($\Delta\text{LAI}/\text{year} < -0.05$)	2622	19750	30510	7626
Static ($-0.05 \leq \Delta\text{LAI}/\text{year} \leq 0.05$)	270363	1363102	1298384	368205
Positive ($0.05 < \Delta\text{LAI}/\text{year}$)	369322	361003	417064	136281

표 3. Area that LAI inter-annual variation is positive in Global Land Cover 2000

Class Name	Count (km ²)	%
Broad-leaved forest	10624	0.83
Needle-leaved forest	176979	13.76
Mixed forest	294544	22.90
Herbaceous cover	329792	25.64
Shrubland	405147	31.50
Cropland	11370	0.88
Water bodies	54271	4.22
Snow and ice	3421	0.27

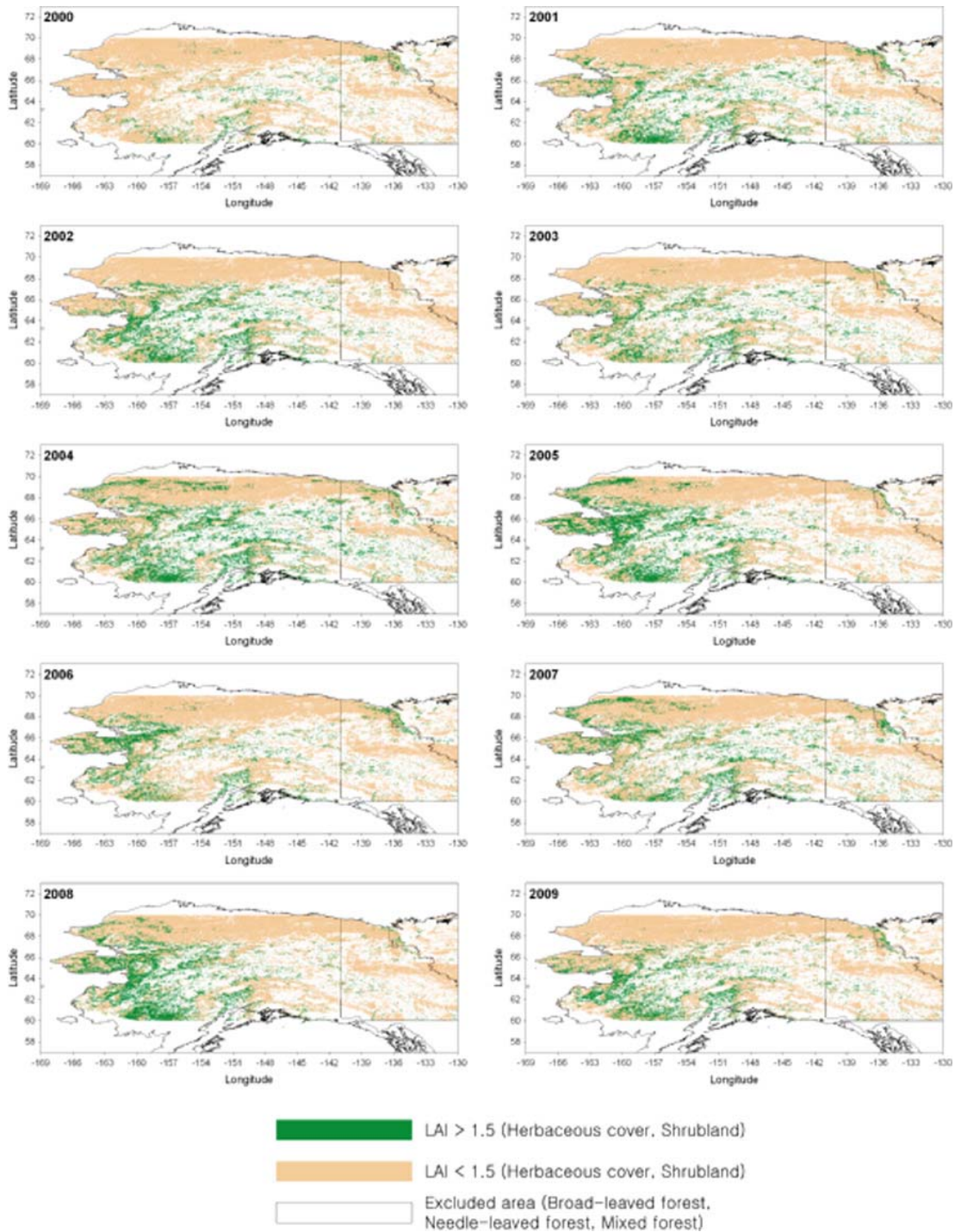


그림 6. Distribution of low density vegetated areas(Herbaceous cover, Shrubland)

의 연간 변화량 정도를 그림 5에 나타내었다. 식생의 감소가 일어나는 지역의 면적 변화는 매우 적은 것에 비해 식생의 성장과 발달이 일어난 지역의 면

적이 크게 증가한 것을 확인하였다. 식생의 성장을 보인 대부분의 면적은 Needle-leaved forest, Mixed forest, Herbaceous cover, Shrubland로서 그 중에

서 Herbaceous cover와 Shrubland의 면적이 가장 크게 나타남을 표 3에서 확인할 수 있다. 툰드라는 식물의 생육기간이 60일 이하로 짧고 제한된 요인에 의하여 큰 나무가 자라지 못하여 초본 류, 관목 등이 생육하는 곳이다. Herbaceous cover와 Shrubland의 증가는 식물의 생육이 낮은 척박한 땅인 툰드라의 식생을 대표하는 것으로서 그 변화를 단적으로 나타낸다. Herbaceous cover와 Shrubland의 비율이 높다는 것은 기존의 지역에 존재하던 침엽수림의 분포는 감소하고 이 자리에 Herbaceous cover와 Shrubland가 대신한 것으로 사료된다. 성장이 일어나는 식생 중 Mixed forest의 비율이 높다는 것은 식생 분포의 확장과 함께 식생 종의 다양성이 나타남을 의미한다.

LAI 변화량과 GLC 2000을 비교한 결과에서 Herbaceous cover와 Shrubland의 면적 변화가 크게 나타남을 확인하였다. Needle-leaved forest, Mixed forest의 경우 기존의 성장이 활발한 반면 Herbaceous cover와 Shrubland는 종의 특성상 성장이 제한적이다. 이러한 제한적인 성장을 보이는 식생의 면적이 증가했다는 것에 대해 초점을 맞추고 Herbaceous cover와 Shrubland를 관심식생으로 설정하였다. 두 식생의 변화 정도와 기존의 지역에서 다른 지역으로 진출하는 변화를 확인함으로써 툰드라-타이가의 경계영역의 변화를 관측할 수 있었다. 2000년에서 2009년까지 식생의 변화를 확인하기 위하여 기준이 되는 경계기준값을 설정하여 진출하는 정도를 확인하였다. 2000년을 기준으로 관심식생인 Herbaceous cover와 Shrubland일 때 평균과 표준편차를 산출하여 최대값으로 1.5를 경계기준값으로 설정하고 이를 기준으로 이상·이하로 나누어 그림 6에 나타내었다. 전체적으로 2000년부터 2009년 까지 LAI가 1.5 이상인 값은 툰드라 영역에 집중되어 있음을 확인할 수 있으며 이는 툰드라의 식생이 변화하고 있음을 나타낸다. 2000년에는 LAI가 1.5 이상인 값은 다소 적게 나타남을 확인할 수 있으며 2001년부터 서쪽영역의 아래쪽 중심의 확장은 LAI 변화량과 기후지도의 비교와 동일하게 나타나므로 기후에 의한 영향을 받았을 것으로 사료된다. 2004년부터 고위도에서 급격한 변화가 일어나는데 이는 2004년, 2005년, 2007년까지 지속적으로 나타나며 2008년부터 점차 감소경향을 보인다. 2000년을 기준으로 2004년에 식생의 가장 큰 증가를 보이

고 있으며, 연구기간 동안 관심식생의 면적확장이 진행되는 가운데 2003년, 2006년, 2009년에 LAI 면적이 잠시 감소하는 경향을 보인다.

일시적인 감소 경향과 전반적인 면적증가가 어느 위도대에서 나타나는지 확인하기 위해 각 위도대별 LAI가 차지하는 면적을 각 식생 별로 그림 7에 나타내었다. Herbaceous cover와 Shrubland 모두 기준이 되는 2000년의 경계기준값으로 나타낸 결과에 비해 시간에 따라 변화하는 식생의 면적을 더 명확히 확인하였다. Herbaceous cover의 경우 위도 65° N~66° N 에서 식생 면적이 눈에 띄게 증가하고 있으며 위도 68° N~69° N 에서도 면적 증가가 나타난다. 상대적으로 위도 60° N~64° N 에서의 변화는 크게 나타나지 않았다. Shrubland의 경우 위도 62° N 의 주위와 위도 64° N~66° N 에서 면적 증가가 나타나는 반면에 위도 67° N~70° N 에서는 변화의 정도가 미미하게 나타난다. Shrubland가 Herbaceous cover보다 변화 폭이 크게 나타나는 경향이 있지만 두 식생 모두 전반적인 증가를 확인하였다. 두 식생을 종합한 결과에서는 Shrubland의 변화와 비슷하게 나타나며 위도 67° N~70° N에서의 변화는 2004년을 제외하고는 크게 나타나지 않았다.

기후지도와 LAI 변화량의 비교를 통해 툰드라 기후에서 식생의 감소가 일어난 면적은 22,372km² 인 것에 비해 식생의 성장을 보인 면적은 730,325km² 로서 식생의 발달이 상대적으로 크게 나타남을 확인하였다. GLC 2000과 LAI 변화량의 비교에 따라 기존의 알래스카에서 성장이 활발한 식생이 아닌 제한적인 성장을 보이는 Herbaceous cover와 Shrubland를 관심식생으로 정하여 시간에 따른 면적 변화를 확인하였다. 툰드라의 식생을 나타내는 Herbaceous cover와 Shrubland의 수는 점차 증가하고 있으며 성장을 보이는 식생 중 Herbaceous cover는 329,792km², Shrubland는 405,147km² 로 다른 식생보다 많은 면적을 차지하고 있음을 알 수 있었다. 또한 LAI의 변화가 집중되는 서쪽 영역과 위도 64° N~66° N 을 중심으로 면적이 확대되고 있음을 확인하였다. Shrubland의 비율이 높다는 것은 낮은 기온으로 식생의 생육이 낮은 툰드라의 기후가 조금씩 변화하고 있음을 나타낸다. 이는 기온이 낮은 곳에서는 Needle-leaved forest 또는 Broad-leaved forest를 볼 수 있으나 기온이 높아지고 건조도가

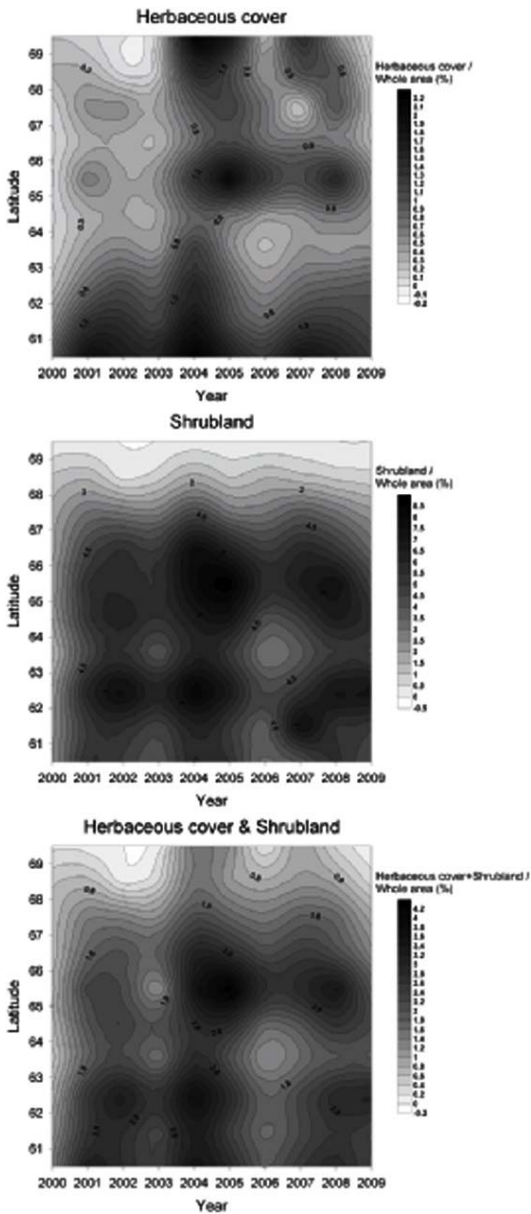


그림 7. In the Herbaceous cover, Shrubland and Herbaceous cover & Shrubland, distribution of area when is LAI more than 1.5 by latitude

심해짐에 따라 Shrubland가 차지하는 비율이 커지므로 기후에 의한 식생의 반응으로 사료된다.

5. 요약 및 결론

본 연구는 Terra위성 MODIS센서로부터 취득한 LAI 8-Day 2000년부터 2009년까지 각각의 8월 자

료를 사용하여 알래스카 툰드라-타이가 경계영역의 식생 변화 탐지를 분석하였다. 현재 전 세계적으로 기후 변화에 대한 심각성이 주목 받고 있다. 이러한 세계적 추세에 따라 기후 변화에 대한 식생의 두드러진 변화를 파악하는데 적절한 툰드라-타이가 경계영역은 본 연구에 있어 가장 적합한 연구영역이었다. 2000년에서 2009년까지의 LAI 자료를 상태별로 분류하였고, GLC 2000은 식생 종의 분포에 따라 영구영역에 맞게 8개의 class로 단순화하였다. 최종적으로 자료 각각을 분류하고 회귀분석에 의한 LAI 변화량과 기후지도, GLC 2000의 비교, 면적변화는 툰드라-타이가 경계영역의 식생 변화 추세를 정량적으로 설명 가능하게 하는 요소로 사용되었다. LAI 변화량과 기후지도의 비교분석을 통해 식생이 잘 성장하지 못하는 Polar, Moderate polar의 서쪽 영역과 Extreme subpolar 서쪽 영역을 중심으로 LAI 변화량이 증가함으로써 기후대가 변화하고 있음을 확인하였다. 특히 Polar와 Moderate polar의 변화는 툰드라의 기후가 변화하고 있음을 단적으로 나타낸다. LAI 변화량과 GLC 2000의 비교분석을 통해 식생의 성장이 일어나는 지역에서 툰드라의 식생을 대표하는 Herbaceous cover와 Shrubland의 면적이 가장 크게 나타남을 확인하였으며 이는 척박한 툰드라의 식생이 발달하고 있음을 단적으로 나타낸다. Herbaceous cover와 Shrubland를 관심식생으로 설정하고 2000년을 기준으로 경계기준값을 정하여 2009년까지 면적 변화를 확인하였다. 또한 위도대 별 면적 변화를 통해 2003년, 2006년, 2009년의 식생 면적이 잠시 감소하는 경향을 보이나 2000년에서 2009년까지 전반적인 증가가 나타나며 그 중 2004년에는 가장 큰 증가를 보였다. 다음과 같은 분석의 흐름에 따라 종합한 결과에서 연구영역의 식생 감소가 일어나는 곳의 면적 변화는 다소 적은 것에 비해 식생의 성장과 발달, 식생 종의 증가가 일어난 곳의 면적은 크게 증가한 것을 확인하였다.

본 연구는 툰드라 식물의 생육기간이 짧고 제한적이므로 계절적 특성상 식생의 상태를 파악하기 적절한 8월 자료만을 사용하였기 때문에 계절적 특성에 따른 임의의 영향을 적게 받는 점에서는 특징적이지만, 특정시기인 8월뿐 아니라 8월 전·후 시기적 상관관계도 비교 분석한다면 연장적 측면에서 더 명확한 분석이 가능할 것이다. 또한 연구결과에

서 2003년, 2006년, 2009년에 식생 면적이 감소하는 경향을 보이는데, 이러한 변화가 일시적인 것인지 지속적인 현상인지 꾸준한 연구가 필요할 것이다. 1970년부터 시작된 온실 가스 배출이 꾸준한 증가 추세를 보이고 있음을 고려하면 본 연구에서 수행한 연구 자료의 양은 부분적인 통계에 지나지 않으므로 더욱 장기적인 통계적 비교분석이 필요할 것이다. 지구온난화에 따른 식생탐지는 많은 연구에서 수행되고 있지만 툰드라-타이가 경계영역 탐지는 지구온난화의 아성에 비해 활발한 연구가 부족한 현실이므로 본 연구와 같은 툰드라-타이가 경계영역의 탐지는 생태계의 변화와 더 나아가 그에 따른 경제적 효용성을 강조하는데 기여 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D. A. Stow, A. Hope, D. McGuire, D. Verbyla, J. Gamon, F. Huemmrich, S. Houston, C. Racine, M. Sturm, K. Tape, L. Hinzman, K. Yoshikawa, C. Tweedie, B. Noyle, C. Silapaswan, D. Douglas, B. Griffith, G. Jia, H. Epstein, D. Walker, S. Daeschner, A. Patersen, L. Zhou and R. Myneni, 2004, "Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic tundra ecosystems," Remote Sensing of Environment, vol. 89, no. 3, pp. 281-308.
- [2] I. Olthof and R. H. Fraser, 2006, "Mapping northern land cover fractions using Landsat ETm+," Remote Sensing of Environment, vol. 107, pp. 496-509.
- [3] J. Grace, F. Berninger and L. Nagy, 2002, "Impacts of climates change on the tree line," Annals of Botany, vol. 90, no. 4, pp. 537-544.
- [4] J. Heiskanen, 2008, "Evaluation of global land cover data sets over the tundra-taiga transition zone in northernmost Finland," International Journal of Remote Sensing, vol. 29, no.13, pp. 3727-3751.
- [5] K. J. Ranson, G. Sun, V. I. Kharuk and K. Kovacs, 2004, "Assessing tundra-taiga boundary with multi-sensor satellite data," Remote Sensing of Environment vol. 93, pp. 283-295.
- [6] G. B. Bonan, 1996, "A Land Surface Model(LSM version 1.0) for ecological, hydrological, and atmospheric studies: Technical Description and user's guide," NCAR/TN--417-STR pp. 88-102.
- [7] G. Rees, I. Brown, K. Mikkola, T. Virtanen and B. Werkman, 2002, "How can the dynamics of the tundra-taiga boundary be remotely monitored?," AMBIO Special Report, vol. 12, pp. 56-62.
- [8] R. Harding, P. Kuhry, T. R. Christensen, M. T. Sykes and R. Dankers, 2001, "Climate feedbacks at the taiga/tundra interface," AMBIO Special Report, vol. 12, pp. 47-55.
- [9] T. V. Callaghan, R. M. M. Crawford, M. Eronen, A. Hofgaard, S. Payette, W. G. Rees, O. Skre, J. Sveinbjornsson, T. K. Vlassova and B. R. Werkman, 2002a, "The dynamics of the tundra-taiga boundary: An overview and suggested coordinated and integrated approach to research," AMBIO Special Report, vol. 12, pp. 3-5.
- [10] T. V. Callaghan, B. R. Werkman and R. M. M. Crawford, 2002b, "The tundra-taiga interface and its dynamics: Concepts and applications," AMBIO Special Report, vol. 12, pp. 6-14.
- [11] V. I. Kharuk, S. G. Shiyatov, M. M. Naurzbaev and E. V. Fedotova, 1998, "Forest-tundra ecotone response to climate change." In Severin Woxhott, Proceeding of IBFRA-98, pp. 19-23.
- [12] 국립산림과학원, 2007, "극다중분광 영상자료의 산림정보해석 및 활용기법 개발," 국립산림과학원, pp. 53-62.
- [13] 박정술, 김정탁, "가뭄모니터링을 위한 MODIS NDVI의 활용성 평가. 가뭄지수와의 비교를 중심으로", 한국GIS학회지, 제 17권, 제1호, 2009, pp. 117-129.
- [14] 최현아, 이우균, 곽한빈, 최성호, 변재균, 유성진, Guishan Cui, "시·공간정보기반 기후변화 취약성 평가", 한국공간정보시스템학회지, 제11권 제3호, 2009, pp. 63-69.

논문접수 : 2010.10.25

수정일 : 2010.12.06

심사완료 : 2010.12.07



이 민 지

2010년 부경대학교 위성정보과학과
(공학사)

2010년~현재 부경대학교 대학원 위성
정보과학과(석사과정)

관심분야는 생태기후 모니터링, 식생

분포 변화탐지



한 경 수

1995년 강릉대학교 대기과학과
(이학사)

1997년 부경대학교 대학원 대기과학과
(이학석사)

2002년 Laval University, Geomatic
Sciences(이학박사)

1997년~2002년 Laval University Geomatic Research
Center 연구원

2002년~2004년 프랑스 국립우주국/프랑스기상청
(CNES/Meteo-France) 연구원

2005년~현재 부경대학교 위성정보과학과 조교수

관심분야는 생태기후 원격탐사, 수문기상학, 지표해석
원격탐사