

연구논문

## 위성영상과 임상통계를 이용한 충남해안지역의 기후변화에 따른 임상 변화

김찬수\* · 박지훈\*\* · 장동호\*\*\*

공주대학교 응용수학과\*, 공주대학교 지리교육과\*\*, 공주대학교 지리학과\*\*\*

(2011년 6월 2일 접수, 2011년 8월 11일 승인)

### Changes of the Forest Types by Climate Changes using Satellite imagery and Forest Statistical Data: A case in the Chungnam Coastal Area, Korea

**KIM, Chansoo\* · PARK, Ji-Hoon\*\* · JANG, Dong-Ho\*\*\***

Department of Applied Statistics, Kongju National University\*

Department of Geography Education, Kongju National University\*\*

Department of Geography, Kongju National University\*\*\*

(Manuscript received 2 June 2011; accepted 11 August 2011)

### Abstract

This study analyzes the changes in the surface area of each forest cover, based on temperature data analysis and satellite imagery as the basic methods for the impact assessment of climate change on regional units. Furthermore, future changes in the forest cover are predicted using the double exponential smoothing method. The results of the study have shown an overall increase in annual mean temperature in the studied region since 1990, and an especially increased rate in winter and autumn compared to other seasons. The multi-temporal analysis of the changes in the forest cover using satellite images showed a large decrease of coniferous forests, and a continual increase in deciduous forests and mixed forests. Such changes are attributed to the increase in annual mean temperature of the studied regions. The analysis of changes in the surface area of each forest cover using the statistical data displayed similar tendencies as that of the forest cover categorizing results from the satellite images. Accordingly, rapid changes in forest cover following the increase of temperature in the studied regions could be expected. The results of the study of the forest cover surface using the double exponential smoothing method predict a continual decrease in coniferous forests until 2050. On the contrary, deciduous forests and mixed forests are predicted to show continually increasing tendencies. Deciduous forests have been predicted to increase the most in the future. With these

results, the data on forest cover can be usefully applied as the main index for climate change. Further qualitative results are expected to be deduced from these data in the future, compared to the analyses of the relationship between tree species of forest and climate factors.

Keywords : Climate change, Satellite imagery, Forest cover, Double exponentially smoothing, Temperature

## 1. 서론

기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC) 4차보고서에서는 지구의 온도가 매 10년마다 0.1~0.2℃ 상승하여 2020년대에는 지구평균기온이 1℃ 상승하고, 2100년까지 지구평균기온이 최대 6.4℃까지 상승할 것이라는 예측결과를 제시하였다(IPCC, 2007). 최근 우리나라 역시 지난 30년간 연평균기온이 0.1~0.5℃ 상승하여 기후변화가 급진전된 것으로 평가하였다(기상청, 2006). 이러한 기온상승은 벚꽃의 조기 개화나 구상나무 군락지의 감소, 신갈나무 잎이 돌아나는 시기가 빨라지는 등 산림생태계에 영향을 미치고 있다(임중환·신준환, 2000; 구경아 등, 2001; 이승호·이경미, 2003).

지구온난화의 영향으로 한국의 평균기온이 상승하면 상록활엽수림의 분포는 확대되어 산림식생대가 바뀔 수 있고, 고산·아고산에 분포하는 식생들은 쇠퇴하거나 멸종하는 등 생태적 부작용이 발생할 수 있다(이동근·김재욱, 2007). 또한 지구온난화로 인한 식생의 영향은 식생에 의한 탄소저장량의 변화, 생물종 다양성의 변화, 산불발생 빈도 및 강도의 변화, 목재생산량의 변화, 생태계 기능의 교란 등 매우 다양하고 광범위하게 발생될 수 있다(한국환경정책·평가연구원, 2002). 따라서, 이러한 지구온난화로 인한 식생환경 변화와 생태계 변화를 과학적으로 예측, 평가하기 위한 연구가 최근 활발하게 진행되고 있다.

기후변화와 관련하여 변화되는 임상정보는 미래의 기후변화 영향평가의 기초자료로 활용될 수 있다. 따라서 산림 식생대의 변화 분석과 지표환경을 효과적으로 분석하기 위해서는 원격탐사 기법이 매우 유용하게 사용될 수 있으며, 이는 시계열적인 공

간 변화에 대한 신속하고 정확한 정보 구축 및 처리를 가능하게 한다.

몇몇 기후변화에 대한 산림생태계의 변화에 관한 국내 연구들을 분야별로 살펴보면, 현장 및 식생통계 자료를 이용한 산림 식생대 이동(김종원 등, 1995; 공우석, 2001; 구경아 등, 2001; 정휘철 등, 2003; 허인혜 등, 2006; 이동근·김재욱, 2007), 위성영상 및 GIS 공간자료를 이용한 식생변화 및 예측(장동호·권원태, 2007; 하림 등, 2007; 김인환 등, 2010; 이동근 등, 2010) 등이 수행되었다.

국외에서는 식생분포와 환경인자와의 관계를 다양한 통계분석과 GIS 분석 기법을 이용하여 생태학적 연구를 다수 수행하였으며(Augustin *et al.*, 2001; Calef *et al.*, 2005; Iverson *et al.*, 2005; Prasad *et al.*, 2006; Austin, 2007; Dionysios and Serafeim, 2010), 이밖에 위성영상을 이용한 기후변화에 따른 식생변화 및 예측에 관한 연구도 이루어졌다(Eidenshink, 1992; Feddema *et al.*, 2005; Dobrowski *et al.*, 2006; Peterson *et al.*, 2009; Peter and Philip, 2010)

세부적으로 산림 식생대 변화에 관한 국내 연구를 살펴보면, 김종원 등(1995)은 온량지수 자료를 일일생육적산온도로 환산하여 동백나무, 신갈나무 등에 대한 잠재식생분포 범위를 분석하였으며, 특히 평균기온이 2℃상승하면 동백나무는 2배 이상 증가할 것으로 예측하였다. 구경아 등(2001)은 상록활엽수의 종류에 따른 지리적 분포와 기후요소와의 관계를 분석하였으며, 허인혜 등(2006)은 기후특성에 따라 분포의 차이가 잘 나타나는 대나무와 마늘을 이용하여 각각의 북한계 및 기온과 분포와의 관계에 대한 연구를 실시하였다. 이밖에 이동근·김재욱(2007)은 한반도 지역의 고산·아고산 식생의

기후변화에 따른 취약성을 평가하였다.

위성영상 및 GIS 공간자료를 이용한 식생변화 예측에 관한 연구 중 하 림 등(2007)은 기상자료와 위성영상(NOAA, MODIS)을 이용하여 기후변화에 따른 미래의 식생정보 예측 기법을 제안하였다. 이동근 등(2010)은 MODIS 영상을 이용하여 기온변화에 따른 식생 탄소흐름의 공간적 변화를 예측하였으며, 이밖에 토지피복의 변화와 산림식생의 변화를 파악하고 미래의 식생변화를 추정하였다.

이렇게 기후변화에 의한 산림 식생대의 변화에 관한 연구들은 주로 위성영상을 활용한 연구보다는 현장조사, 실험, 모델링을 통한 분석 연구들이 대부분이다. 또한 통계적 기법 및 GIS를 이용하여 식생의 미래 분포를 예측하기 위한 연구가 국외에서는 활발히 진행되고 있지만 국내는 여전히 미진한 실정이다. 따라서 산림 식생대의 변화를 예측하기 위해서는 시간의 경과에 따른 지표의 공간적 변화 형태를 분석할 수 있는 위성영상의 활용이 보다 효과적일 것이다.

본 연구에서는 향후 지역단위의 기후변화 영향 평가를 위한 기초 작업으로 기후자료 분석 및 위성영상을 기반으로 임상별 변화를 분석하였다. 또한 임상 통계자료를 이용하여 미래의 임상별 면적 변화를 예측하였다. 특히, 임상별 변화 예측을 위한 통계분석 방법으로는 이중지수 평활법(double exponentially smoothing)을 제안하였다.

## II. 연구지역과 자료 및 연구방법

### 1. 연구지역

연구지역은 행정구역상 충청남도 당진군·서산시·태안군·홍성군·보령시·서천군 등 충남해안 지역의 시·군이다. 지리적 좌표는 126° 03' 45" E~126° 58' 26" E, 35° 57' 53" N~37° 04' 10" N에 해당된다(그림 1).

지형은 전체적으로 저지형의 구릉성 산지를 형성하며, 전반적으로 평야와 구릉지가 발달되어 있다. 해안선은 리아스식 해안으로 복잡하며, 해변이 비

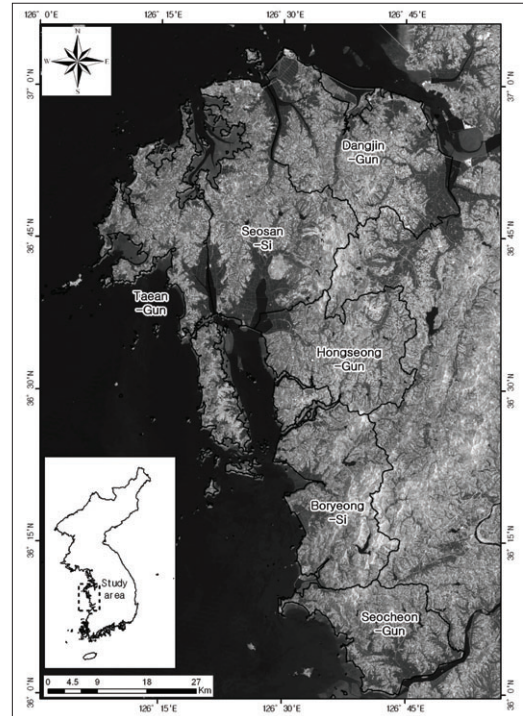


그림 1. 연구지역 위치도

교적 넓게 발달하였다. 또한 내륙 깊숙이 연결되는 천수만, 가로림만 등 내만의 발달이 두드러지며, 해안지역의 경사가 완만할 뿐 만 아니라 해안선의 총연장이 길며, 저고도의 도서가 다수 분포한다(장동호·김장수, 2009).

각 시·군별 기후 및 식생 특징을 살펴보면, 서산시는 연평균기온이 11.7°C, 8월 월평균기온은 25.0°C, 1월 월평균기온은 -1.9°C이다. 연평균강수량은 1,232.1mm로 중부지방 연평균 강수량과 비슷하며, 여름철 강수량은 654mm로 연평균 강수량의 53%이다. 식생은 주로 침엽수림(70.3%)이 대부분이며, 다음으로 혼효림(17.9%)과 활엽수(11.8%)의 비율 순이다(서산시, 2010).

보령시는 동쪽에 차령산맥의 주능선인 성주산이 남서로 뻗어 있으며, 서쪽에는 서해중부해상으로 리아스식해안과 안면도, 원산도 등 여러 섬들이 산재하여 해양성기후가 나타난다. 연평균기온은 12.1°C이며, 연평균강수량은 1,237.0mm로 내륙 평년값과 비슷하게 나타난다. 식생은 대부분 침엽수림

으로 전체 식생면적에서 54.3%를 차지하며, 다음으로 혼효림(29.2%)과 활엽수(16.3%), 죽림(0.1%)의 비율 순이다(보령시, 2010).

서천군은 기상관측소가 위치하지 않아 인접한 전라북도 군산시의 기상자료를 연구에 활용하였다. 군산시는 연평균기온은 12.5℃, 연평균강우량은 1,190.2mm이며, 특히 서해바다와 접해있어 해양성 기후특성이 나타난다(군산시, 2010). 서천군의 식생은 대부분 침엽수림으로 전체 식생면적에서 61.9%를 차지하며, 다음으로 활엽수(19.8%)와 혼효림(17.7%), 죽림(0.7%)의 비율 순이다(서천군, 2010).

## 2. 연구방법 및 사용자료

기후변화에 따른 산림식생 변화를 분석하기 위해서는 그 지역의 정확한 임상 현황 및 미래의 산림식생 변화 시나리오 선정이 필요하다. 하지만, 산림식생은 자연적인 요인 및 인간 활동에 의해 끊임없이 변화하기 때문에 시간에 따라 어떻게 변화할지 예상하는 것은 어려운 일이다.

본 연구에서는 충남 해안지역에서의 기온변화에 의한 임상별 면적변화 분석을 위해 먼저, 기온자료를 수집하여 분석하였으며, 다음으로 인공위성 영상을 이용하여 각 시기별 임상변화를 분석하였다. 또한 통계연보의 임상별 현황 자료를 이용하여 미래의 산림식생 변화를 예측하였다. 연구에 사용된 연평균기온 자료는 일평균기온 자료를 누적한 후 작성된 월평균기온 자료를 다시 누적하여 획득하였다. 또한 연평균기온 자료는 각 계절별로 구분하여 계절에 따른 기온변화와 임상과의 관계 등을 분석하였다.

본 연구에서는 다중시기 위성영상 및 산림 통계 자료를 이용한 임상별 변화 및 예측을 위해 다음과 같이 수행하였다(그림 2).

첫째, 다중시기 위성영상은 위성영상 획득 시 발생한 기하학적 왜곡을 보정하기 위하여 수치지형도(1:25,000)를 이용하여 기하학적 보정을 실시하였다. Landsat TM(MSS) 영상은 한 세트(scene)로는 충남해안 지역 전체를 주사할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 충남 해안지역 전체를 주사하기 위

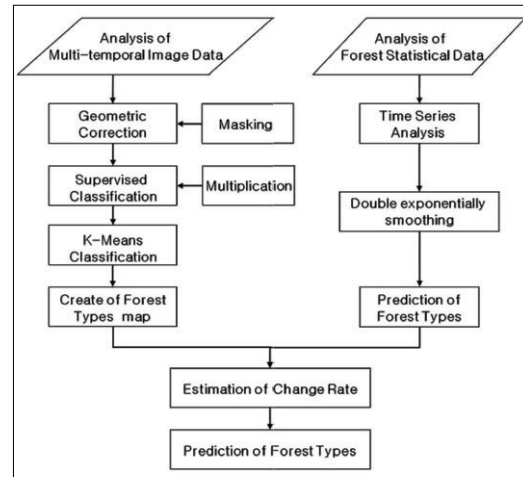


그림 2. 영상처리 흐름도

해 Landsat TM(MSS) 영상 중 path/ row가 116-35(125/35), 116-34(125/34)인 두 세트를 모자이크(mosaic) 처리하였다.

둘째, 모자이크 된 영상은 비모수적 분류처리 기법인 감독분류(최대우도법: maximum likelihood classification) 방법을 이용하여 토지피복도를 작성한 후 산림지를 각 연도별로 마스킹 처리하였다. 마스킹 처리된 각 영상들은 다시 연산처리(multiplication)를 통하여 연구기간(1984~2009) 동안 토지피복 유형의 변화가 없는 최종적인 산림지만을 재분류하였다. 또한 재분류된 영상은 다시 기존 영상의 각 밴드별로 연산처리를 통하여 산림지의 정보만 가질 수 있도록 하였다. 재분류 연산처리 기법을 사용한 이유는 도시화 및 산업화에 따른 인위적인 변화요인을 최소화하기 위해서다.

셋째, 재분류된 각 연도별 영상은 다시 무감독분류(최대우도법: K-Means) 방법을 이용하여 임상분류도를 작성하였다. 무감독분류기법인 K-Means 알고리즘은  $n$ 개의 객체들의 집합을  $k$ 개의 군집으로 분해하는 알고리즘으로, 군집 유사성은 군집에서 군집의 무게중심으로 볼 수 있는 객체들의 평균값을 측정할 수 있다. 따라서 본 알고리즘은 화소가 갖는 광학적 특성의 군집이 가능하여 임상분류에 유용하게 사용될 수 있다(한경수와 김영섭, 2004). 분류 항목은 침엽수, 활엽수, 혼효림 등 총



표 1. 연구에 사용된 위성영상 제원

Satellite	Sensor	Path/Row	Acquisition date
Landsat-2	MSS	125/34	1984. 07. 30
		125/35	1984. 07. 30
Landsat-4	TM	116/34	1989. 05. 17
		116/35	1989. 05. 17
Landsat-5	TM	116/34	1999. 05. 21
		116/35	1999. 05. 21
Landsat-5	TM	116/34	2009. 06. 01
		116/35	2009. 06. 01

3개 항목이다.

넷째, 본 연구에서는 충남해안 시·군의 임상별 현황 자료를 이용하여 시계열분석을 실시하였다. 각 임상별 시계열분석된 자료는 다시 선형, 이차추세분석, 이중지수 평활법 등을 사용하여 미래의 임상별 변화를 예측하였다. 또한 임상별 예측에 사용된 통계분석 방법 중 연구지역에 가장 적합한 통계분석 방법을 추출하기 위하여 MAPE(Mean Absolute Percentage Prediction Error)를 적용하였다. 최종적으로 임상별 예측된 결과 값은 기후변화 시나리오를 반영한 임상별 변화 예측의 기초자료로 활용하고자 2020년, 2050년의 변화율을 추정하였다.

연구에 사용된 위성영상은 1984년도부터 2009년도까지 시기가 각기 다른 Landsat 자료이며, 각 시기의 위성영상 및 제원은 다음 표와 같다(표 1). 영상분석 및 자료처리는 PCI Geomatica 7.1과 ArcMap 9.2를 이용하였다.

### III. 연평균기온 및 다중시기 위성영상을 이용한 임상 변화 분석

#### 1. 연평균기온 변화

지구온난화로 인한 산림생태계의 변화 가운데 가장 특징적인 것은 산림식생대의 변화이다. 유럽과 미국 등지에서 과거 식생의 이동속도는 100년 동안에 약 4~200km이었다. 그런데 평균기온이 1℃가 상승하면 현재의 기후대는 중위도지역의 경우 위도로는 극지방 쪽으로 약150km, 고도는 위쪽으로

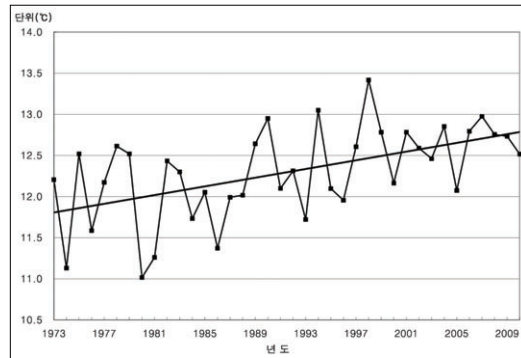


그림 3. 연구지역의 연평균기온 변화

150m정도 이동할 것으로 예상하였다(IPCC, 1997).

본 연구에서는 기온변화가 임상 변화에 다양한 영향을 미칠 것으로 판단되어 연구지역의 기온 변화 특성을 분석하였다. 특히, 기온자료 중 연평균기온 자료를 이용하여 연도별, 계절별 기온 변화 특성을 분석하였다. 그림 3은 각 지역별 연평균기온을 평균하여 작성한 변화 그래프이다. 연평균기온은 전반적으로 상승하였으며, 1998년에 가장 높은 연평균기온(13.4℃)을 보이고, 1980년에 가장 낮은 연평균기온(11.0℃)이 나타났다. 지역별로 살펴보면, 연평균기온은 군산시가 가장 높고, 서산시가 11.8℃로 가장 낮은 연평균기온 분포를 보이며, 이밖에 보령시는 12.3℃이다. 1973년 이후 장기간의 연평균기온 변화를 살펴보면, 보령시의 연평균기온 상승이 가장 크며, 다음으로 군산시의 상승률이 높다. 전반적으로 대부분의 지역에서 연평균기온이 상승하였다.

본 연구에서는 지역별 연평균기온 변화 특성을 분석하기 위해서 두 시기(a=1973~1991, b=1992~2010)에 따른 연평균기온 변화를 분석하였다. 그림 4에서 그룹 a와 b는 각각 1973~1991년, 1992~2010년까지 세 지역(서산시, 보령시, 군산시)의 연평균기온이고, 이에 따른 지역 별 연평균기온에 따른 상자그림을 나타낸 것이다. 그림 4에서 보듯이, 모든 지역에서 그룹 a의 연평균기온 보다는 그룹 b에서 연평균기온이 상승하였고, 연평균기온의 변동도 작다는 것을 알 수 있다. 이를 기반으로 두 집단 간에 연평균기온 변화에 차이가 있는지 살펴

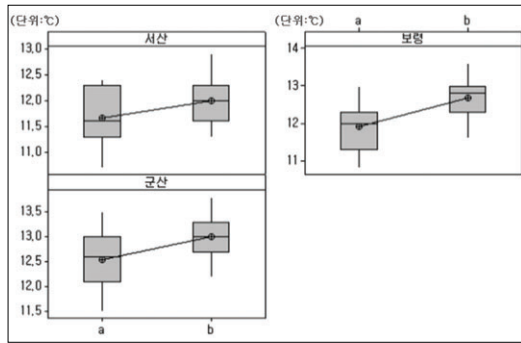


그림 4. 연도별 연평균기온에 대한 상자그림.

표 2. 연구지역의 각 시·군별 연평균기온 변화(단위: °C)

년도	지역	서산	보령	군산	전체
1973~1991		11.7	11.9	12.5	12.0
1992~2010		12.0	12.7	13.0	12.6
연평균기온 변화율		0.3*	0.8**	0.5**	0.6**
p-값		0.047	0.000	0.005	0.002

\* 유의수준 :  $\alpha = 0.05$ (양측검정)에서 유의  
 \*\* 유의수준 :  $\alpha = 0.01$ (양측검정)에서 유의

보기 위해 유의성 검정을 실시하였으며, 그 결과는 표 2와 같다.

표 2에서 서산시, 보령시, 군산시 등 세 지역은 모두 유의수준 5%에서 두 집단 간 연평균기온 변화에 대해 통계적으로 유의한 결과를 보여주고 있다. 그러나 서산시의 경우 유의수준 1%에서는 통계적으로 유의하지 않는 반면, 보령시와 군산시의 경우는 유의수준 1%에서도 상당히 유의한 결과를 보여주고 있어 두 집단 간에 연평균기온 변화가 있음을 파악할 수 있었다. 그중 보령시의 연평균기온 상승이 가장 크며(0.8°C), 다음으로 군산의 상승률이 크다

(0.5°C). 또한 세 지역 전체 연평균기온에 대한 집단별 연평균기온 변화 역시 통계적으로 상당히 유의한 결과를 보여주고 있다. 따라서, 전반적으로 연구지역의 연평균기온 변화율은 1991년을 기준으로 평균 0.6°C 정도 상승하였음을 분석할 수 있었다.

각 지역에서 연도 별 두 집단에 대해 계절별 연평균기온 변화를 살펴보기 위해 유의성 검정을 실시하였으며, 그 결과는 표 3과 같다. 서산시는 사계절에 있어 두 집단 간 연평균기온의 변화가 유의하지 않았으며, 따라서 두 집단 간 연평균기온의 변화가 있다고 보기는 어렵다.

보령시는 여름철 온도의 연평균기온 변화가 유의하지 않은 결과를 보여주는 반면, 봄, 가을 및 겨울은 유의한 결과를 얻을 수 있었다. 특히, 가을과 겨울의 연평균기온의 변화는 상당히 유의한 결과를 보여주고 있어 연평균기온 변화가 크다는 것을 파악할 수 있었다. 봄과 여름철의 연평균기온 변화는 크지 않지만 가을과 겨울의 경우 연평균기온의 변화가 크게 증가 하고 있음을 보여주고 있다.

군산시는 유의수준 5%에서 여름과 가을이 통계적으로 유의하지 않는 반면, 봄과 겨울은 유의한 결과가 나타나지만 유의수준 1%에서 유의하지 않다는 것을 파악할 수 있었다. 따라서, 봄과 겨울의 연평균기온의 변화가 크다고 볼 수는 없다. 대체로 겨울철의 온도는 전반적으로 따뜻해지고 있는 경향을 분석할 수 있었다.

그림 5는 연구지역의 계절별 연평균기온 변화 그래프이다. 연구지역에서 봄철은 전반적으로 연평균기온이 상승하였으며, 특히 1990년대 후반 이후에 최근까지 큰 폭으로 상승하였다(그림 5(a)). 여름철

표 3. 연구지역의 각 시·군별 계절별 평균기온 변화(단위: °C)

년도	시·군	서산				보령				군산			
		봄	여름	가을	겨울	봄	여름	가을	겨울	봄	여름	가을	겨울
1973~1991		10.5	23.4	13.5	-0.7	10.5	23.4	13.9	-0.1	10.9	23.8	14.8	0.7
1992~2010		10.7	23.5	14.0	-0.2	10.9	23.7	14.9	1.1	11.4	24.1	15.2	1.4
평균기온 변화율		0.2	0.1	0.5	0.5	0.4*	0.3	1.0**	1.2**	0.5*	0.3	0.4	0.7*
p-값		0.338	0.473	0.125	0.171	0.028	0.170	0.001	0.001	0.010	0.366	0.083	0.047

\* 유의수준 :  $\alpha = 0.05$ (양측검정)에서 유의  
 \*\* 유의수준 :  $\alpha = 0.01$ (양측검정)에서 유의

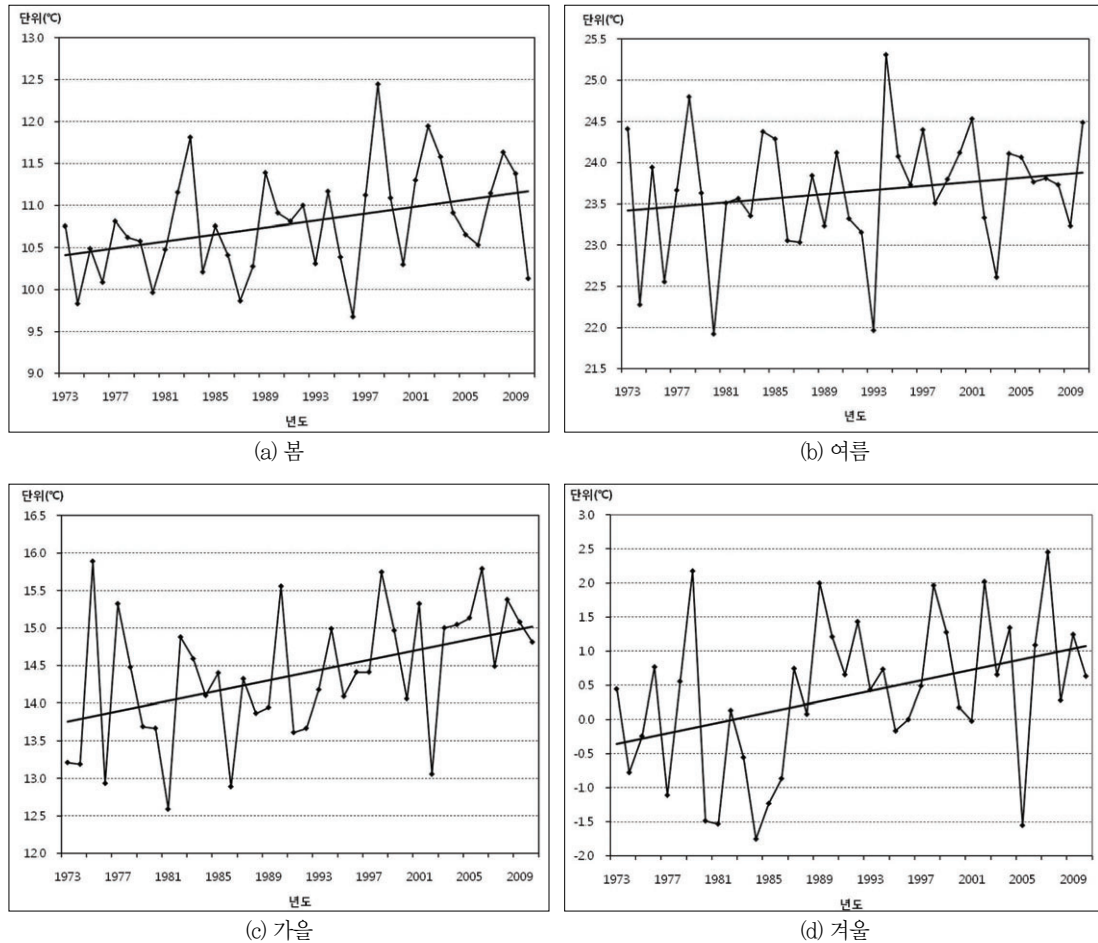


그림 5. 연구지역의 계절별 연평균기온 변화

연평균기온은 다른 계절과 달리 기온 변화가 폭이 크지 않지만 전체적으로는 약간 상승하는 경향성을 보였다(그림 5(b)). 가을철은 봄철과 유사한 연평균 기온 변화를 나타내지만, 기온 상승 폭은 더 높은 것으로 나타났다(그림 5(c)). 겨울철은 다른 계절에 비하여 연평균기온 상승 폭이 가장 크며, 특히, 1980년대 후반 이후 급격한 상승경향을 보여 전반적으로 따뜻해지고 있는 경향을 분석할 수 있었다.

이상의 연평균기온 변화 분석 결과, 본 지역에서는 전반적으로 연평균기온이 상승하였고, 특히, 겨울 및 가을철이 다른 계절에 비하여 상승률이 높은 것으로 나타났다. 따라서 이러한 계절별 기온 상승은 임상분포 변화에도 영향을 미쳤을 것이다. 특히,

겨울 및 가을철 기온의 상승은 침엽수림보다는 침 활혼효림 및 활엽수림의 성장 및 분포지역 확대에 더 큰 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

## 2. 다중시기 위성영상을 이용한 임상분류 및 검증

본 연구에서는 네 시기의 Landsat 영상을 이용하여 임상분류도를 작성하였다. 분류 항목은 총 3개, 전체 분류영상의 화소수는 2,700×4,100pixel이다. 분석에 사용된 연구지역의 전체 영상 면적은 약 9,963km<sup>2</sup>이며, 이중 임상 면적은 1,357km<sup>2</sup>로 전체 토지피복 유형에서 차지하는 비율이 약 13.7%이다.

임상별 분류 결과를 살펴보면, 혼효림 및 활엽수

표 4. 연구지역 전체 임상별 분류 결과

Class	1984		1989		1999		2009	
	area(km <sup>2</sup> )	rate(%)	area(km <sup>2</sup> )	rate(%)	area(km <sup>2</sup> )	rate(%)	area(km <sup>2</sup> )	rate(%)
Coniferales forest	958.9	70.6	936.6	69.0	824.2	60.7	746.7	55.0
Mixed forest	268.4	19.8	278.8	20.5	317.8	23.4	370.4	27.3
Deciduous forest	130.5	9.6	142.4	10.5	215.8	15.9	240.7	17.7
Total	1,357.8	100.0	1,357.8	100.00	1,357.8	100.00	1,357.8	100.00

림은 꾸준히 증가한 반면에 침엽수림은 급격히 감소하고 있음을 분석할 수 있었다(표 4). 1984년 임상별 분류 면적은 침엽수림(958.9km<sup>2</sup>), 혼효림(268.4km<sup>2</sup>), 활엽수림(130.5km<sup>2</sup>) 등의 순으로 나타났다. 1989년 임상분류에서는 침엽수림(936.6km<sup>2</sup>), 혼효림(278.8km<sup>2</sup>), 활엽수림(142.4km<sup>2</sup>) 등의 순으로 나타났다. 1984년에서 1989년 사이의 임상별 변화 특징을 살펴보면, 5년간의 짧은 기간이었지만 침엽수림의 면적은 감소한 반면에 혼효림(+11.9 km<sup>2</sup>) 및 활엽수림(+10.4km<sup>2</sup>)의 면적은 증가하였다. 이러한 임상별 면적 변화는 연구지역에서 1980년 중반 이후 연평균기온 상승, 특히 겨울기온 상승에 따른 임상 변화가 진행된 결과인 것으로 사료된다.

1999년 임상 분류에서는 침엽수림(824.2km<sup>2</sup>), 혼효림(317.8km<sup>2</sup>), 활엽수림(215.8km<sup>2</sup>) 등의 순으로 나타났다. 1989년에서 1999년 사이의 임상별 변화 특징은 침엽수림의 면적이 감소하였고, 반면에 활엽수림(+73.4km<sup>2</sup>) 및 혼효림(+39.0km<sup>2</sup>)의 면적은 증가하였다. 전년 기간(1984~1989)에 비해 이 기간 동안 임상의 가장 큰 변화는 침엽수림이 크게 감소하고 활엽수림 및 혼효림의 면적이 급격히 증가한 것이다. 이러한 원인은 산림지 내의 저산성 구릉지에서 참나무 및 밤나무 인공림이 조성되어 활엽수림의 면적이 늘어난 결과이기도 하지만, 연평균기온 상승도 어느 정도 반영된 결과인 것으로 판단된다.

2009년 임상 분류에서는 침엽수림(746.7km<sup>2</sup>), 혼효림(370.4km<sup>2</sup>), 활엽수림(240.7km<sup>2</sup>) 등의 순으로 나타났다. 1999년에서 2009년 사이의 임상별 면적 변화 특징을 살펴보면, 전년 기간(1989~1999)에 비해 침엽수림의 면적 감소는 다소 둔화되었지만

여전히 감소하였다. 반면에 혼효림 및 활엽수림의 면적은 계속 증가 경향을 보였는데, 그중에서도 혼효림의 증가 면적이 가장 크게 나타났다. 이러한 원인은 전년 기간과 유사한 원인의 결과인 것으로 판단되지만, 그 증가 경향성은 다소 둔화된 결과이다.

임상별 면적 변화를 종합 고찰하면, 1984년에서 2009년 사이의 가장 큰 증가를 보인 임상 항목은 활엽수림으로 나타났다. 활엽수림의 증가 면적은 110.2km<sup>2</sup>이며, 다음으로 혼효림이 102.0km<sup>2</sup> 증가하였다. 이러한 원인은 전술한 바와 같이 산지지역에서 참나무 및 밤나무 등의 인공림이 조성되어 활엽수림 및 혼효림의 면적이 늘어나기도 하였지만, 연평균기온 상승도 어느 정도 반영된 결과인 것으로 판단된다.

각 연도별 임상분류도는 그림 6과 같다. 1984년 임상분류도에서는 침엽수림이 전체 임상면적의 70% 이상을 차지할 정도로 대부분의 면적을 차지하며, 주로 가야산 및 차령산맥 서사면을 중심으로 분포한다. 이밖에 태안반도 북쪽 및 가로림만 주변과 금강 북단 구릉지에 침엽수림이 분포한다. 활엽수림은 차령산맥의 동사면에 주로 분포하며, 특히 보령시의 성주산 일대에서 군락을 이루었다. 혼효림은 연구지역의 저산성 구릉지와 곡지를 중심으로 분포하고 있으며 약 20%정도를 차지하였다(그림 6(a)).

1989년 임상분류도에서는 활엽수림과 혼효림이 약 1%씩 증가한 것을 알 수 있다. 침엽수림의 분포는 1984년 임상분류도와 크게 변화를 보이고 있지는 않았다. 혼효림은 침엽수림대의 가장자리에서 증가를 보이며, 이에 따라 침엽수림대의 고도가 더 높아진 것을 파악할 수 있었다. 활엽수림은 혼효림대를 대체하는 경향을 보이는데, 특히 보령시 성주



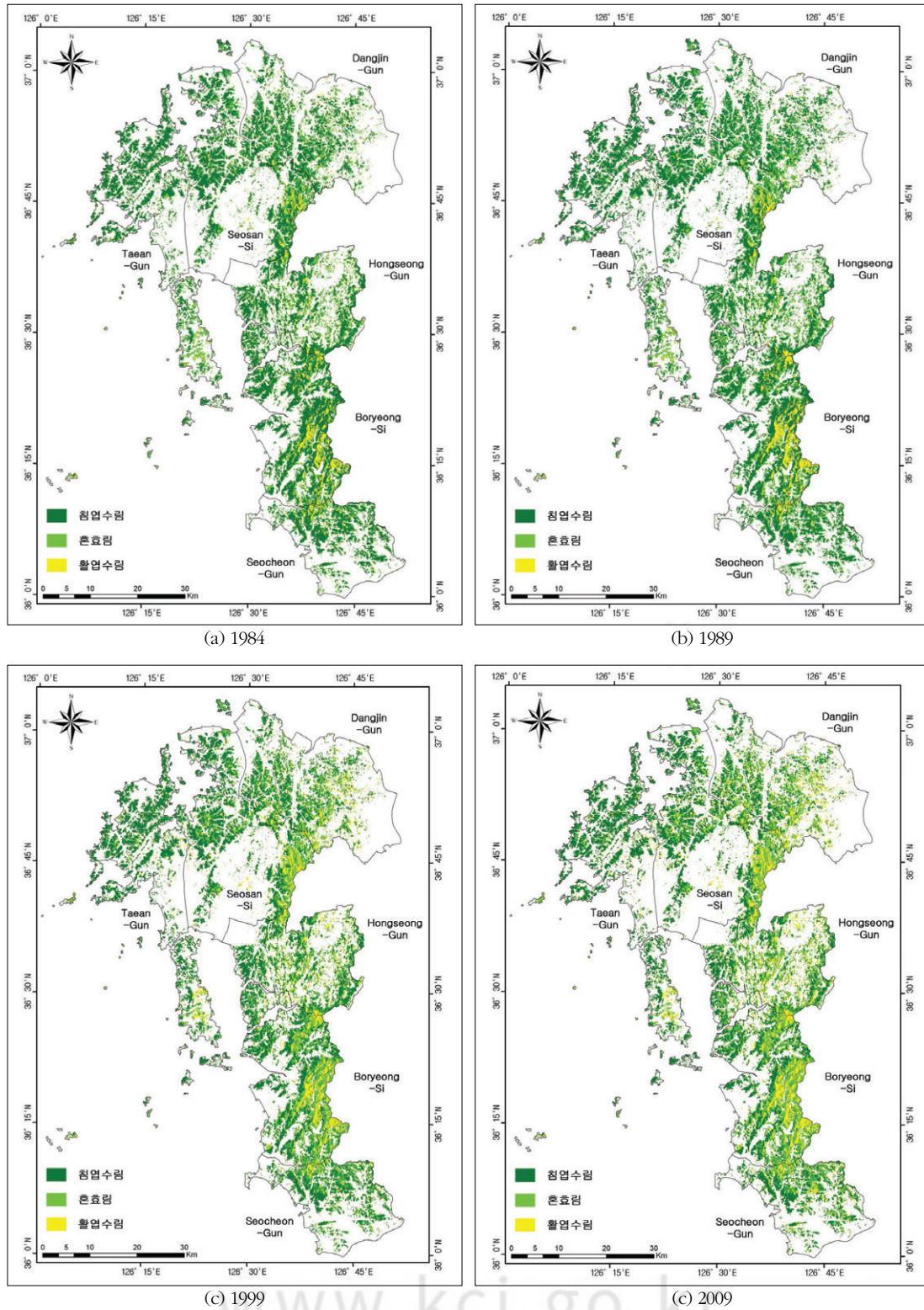


그림 6. 임상 분류 결과

표 5. 토지피복 분류 검증 결과

Class \ Year	1984		1989		1999		2009	
	user's accuracy(%)	producer's accuracy(%)	user's accuracy(%)	producer's accuracy(%)	user's accuracy(%)	producer's accuracy(%)	user's accuracy(%)	producer's accuracy(%)
Coniferales forest	92.4	88.7	95.2	92.8	95.7	96.6	98.2	97.3
Mixed forest	74.4	82.0	83.7	89.8	84.4	84.4	89.4	85.7
Deciduous forest	89.2	89.1	84.9	85.1	86.8	84.6	86.4	92.7
overall accuracy	87.5		90.9		91.5		93.5	
Overall Kappa Statistic	0.775		0.833		0.852		0.891	

산 일대에서는 활엽수림이 침엽수림과 혼효림을 잠식하고 그 분포 범위가 눈에 띄게 넓어졌음을 파악할 수 있었다(그림 6(b)).

1999년 임상분류도를 살펴보면 침엽수림이 10년 전(1989년)에 비해 약 8%가 감소하고, 활엽수림은 약 5%, 혼효림은 약 3% 증가했음을 파악할 수 있었다. 침엽수림의 경우 태안반도 북단과 안면도 북단을 제외하고 전 지역에서 혼효림과 활엽수림에 잠식당하고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 차령산맥 남사면 및 동사면과 저구릉지를 중심으로 침엽수림의 분포 범위가 눈에 띄게 축소되었다. 지역적으로 살펴보면 서산시의 가야산과 보령시의 오서산, 성주산을 중심으로 한 산지와 태안군 안면도 및 삽교천 주변의 구릉지에서 혼효림과 활엽수림의 분포 범위가 확대되었음을 확인할 수 있었다(그림 6(c)).

2009년 임상분류도를 살펴보면 침엽수림의 면적은 55%까지 감소하였고, 반면에 혼효림과 활엽수림은 약 45%까지 증가하였음을 알 수 있었다. 침엽수림은 태안반도 북단과 서해 연안에 인접한 산지와 구릉지에 주로 분포하고, 그 외 지역은 대부분 혼효림과 활엽수림이 분포하고 있는 것으로 나타났다(그림 6(d)).

임상분류도 분석 결과, 침엽수림 분포지역은 1984년에 차령산맥 및 가야산, 오서산, 성주산의 서사면의 고지대와 태안반도 일대에 분포하던 것이 2009년에 대부분 지역이 혼효림과 활엽수림에 잠식당해 태안반도 북단과 안면도의 북단, 그리고 서해 연안에 인접한 산지로 그 분포범위가 후퇴하였다. 특이할만한 점은 고도와 상관없이 내륙지방에서 혼효림과 활엽수림의 확장률이 해안가보다 높게

나왔다는 점이다. 이는 차령산맥의 서사면과 서해 연안의 구릉지들은 겨울철 차가운 북서풍을 직접 받고 있는 지역으로 겨울철 기온 상승이 침엽수림의 임상 변화에 영향을 주었을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 임상분류도의 분류 항목별 정확도 검증을 위해 분류 오차 행렬(Error matrix)을 이용하여 정확도 검증을 실시하였는데, 검증자료는 무작위로 표본 추출한 자료를 이용하여 정확도를 평가하였다. 임상분류도의 검증 자료의 화소 수는 각 연도별로 총 200개 화소를 사용하였다. 검증의 기초자료는 수치임상도(1996~2005) 및 고해상도의 항공사진 등을 활용하였다.

전체 정확도를 살펴보면, 2009년 영상이 93.5%로 매우 정확하게 분류되었음을 알 수 있으며, 1982년 영상은 87.5%로 가장 낮은 정확도를 보였다(표 5). 이는 1982년 영상이 Landsat MSS 영상으로 다른 영상에 비해 공간해상도가 낮기 때문에 분류 결과도 상대적으로 정확도가 떨어진 결과이다. 그러나 대부분의 영상들이 87% 이상의 정확도를 보여 전체적으로 정확한 분류가 이루어졌다. 다만 생산자 정확도와 사용자 정확도를 보면, 전체적으로 혼효림의 정확도가 다른 임상분류 항목에 비해 낮음을 알 수 있다. 이는 혼효림의 분광 특성이 다른 임상분류 항목과 비슷하여 분류의 오차가 상대적으로 크게 나타난 결과이다. 하지만 사용자 및 생산자 정확도도 전체적으로 비슷한 비율로 비교적 높은 신뢰성을 보여준다.

## IV. 산림 통계자료를 이용한 임상별 면적 변화 및 예측

### 1. 임상별 면적변화 분석

본 연구에서는 통계연보의 임상별 면적 자료를 이용하여 임상별 변화를 분석하였으며, 이를 통하여 향후 미래의 임상별 면적 변화 예측을 검토하였다. 임상별 구분 항목은 침엽수림, 활엽수림, 혼효림, 죽림 등 4개 항목이다. 각 임상별 시계열자료는 1981년부터 2009년까지 매년 자료를 이용하였으며, 그중에서 위성영상의 임상분류도 작성 해의 자료는 표 6과 같다.

1984년 임상별 면적은 침엽수림(1,436.1km<sup>2</sup>), 혼효림(362.3km<sup>2</sup>), 활엽수림(118.6km<sup>2</sup>), 죽림(0.7km<sup>2</sup>) 등으로 나타났으며, 1989년 임상별 면적은 침엽수림(1,408.7km<sup>2</sup>), 혼효림(344.7km<sup>2</sup>), 활엽수림(129km<sup>2</sup>), 죽림(0.7km<sup>2</sup>) 등으로 나타났다. 이 기간 동안 임상별 면적 변화 특징을 살펴보면, 전체적으로 임상 면적이 감소하였고, 특히 침엽수림(-27.4km<sup>2</sup>)과 혼효림(-17.6km<sup>2</sup>)의 면적이 약간 감소하였다. 반면에 활엽수림(+10.4km<sup>2</sup>)은 다소 증가한 경향을 보였고, 죽림은 변화가 없었다.

이러한 임상별 면적 변화는 위성영상을 이용한 임상분류 결과와 다소 차이가 나타났는데, 특히 혼효림이 위성영상을 이용한 임상분류에서는 면적이 증가하였는데, 실제 통계를 이용한 임상 변화에서는 감소한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 연구지역에서 인위적인 개발에 따라 침엽수림 및 혼효림의 면적이 감소한 결과이지만, 위성영상에서의 임상 분류에서는 이러한 부분을 제외하였기 때문에

상대적으로 혼효림이 증가한 것으로 나타났다. 따라서 이 기간 동안 활엽수림의 면적이 증가한 것은 1980년 중반 이후 연평균기온 상승, 특히 겨울기온 상승에 따른 임상 변화가 어느 정도 반영된 결과인 것으로 판단된다.

1999년 임상별 면적은 침엽수림(997.1km<sup>2</sup>), 혼효림(331.4 km<sup>2</sup>), 활엽수림(241.6km<sup>2</sup>), 죽림(1.1km<sup>2</sup>) 등으로 나타났다. 1989년에서 1999년 사이의 임상별 변화 특징을 살펴보면, 전체적으로 임상 면적이 크게 감소하였고, 특히 침엽수림(-411.6km<sup>2</sup>)의 면적이 큰 폭으로 감소하였다. 또한 혼효림(-13.3km<sup>2</sup>) 역시 다소 감소하였고, 반면에 활엽수림(+112.6km<sup>2</sup>)은 크게 증가한 경향을 보였고, 죽림도 0.4km<sup>2</sup> 증가하였다.

이러한 임상별 면적 변화는 전년기간(1984~1989)과 유사한 변화 경향성이 나타났다. 특히 침엽수림의 감소 폭이 크고, 활엽수림의 증가 폭이 큰 것은 연구지역의 구릉지 내에서 침엽수림을 벌목하고 활엽수림을 중심으로 인공조림이 실시된 결과이기도 하다. 하지만 위성영상에서 분석된 결과에 의하면, 침엽수림 지역이 활엽수림과 혼효림에 의해 잠식당하고 있는 것으로 보아 연평균기온 상승도 어느 정도 반영된 결과인 것으로 판단된다.

2009년 임상별 면적은 침엽수림(1,004.2km<sup>2</sup>), 혼효림(471.4km<sup>2</sup>), 활엽수림(311.2km<sup>2</sup>), 죽림(1.9km<sup>2</sup>) 등으로 나타났다. 1999년에서 2009년 사이의 임상별 변화 특징을 살펴보면, 전체적으로 임상 면적이 다소 증가하였고, 특히 혼효림(+140.0km<sup>2</sup>)의 면적이 큰 폭으로 증가하였다. 또한 활엽수림(+69.6km<sup>2</sup>) 역시 증가하였고, 침엽수림(+7.1km<sup>2</sup>)

표 6. 임상별 면적 변화

Class \ Year	1984		1989		1999		2009	
	area(km <sup>2</sup> )	rate(%)	area(km <sup>2</sup> )	rate(%)	area(km <sup>2</sup> )	rate(%)	area(km <sup>2</sup> )	rate(%)
Coniferales forest	1,436.1	74.9	1,408.7	74.8	997.1	63.4	1,004.16	56.1
Mixed forest	362.3	18.9	344.7	18.3	331.4	21.1	471.4	26.4
Deciduous forest	118.6	6.2	129.0	6.9	241.6	15.4	311.2	17.4
Bamboo forest	0.7	0.0	0.7	0.0	1.1	0.1	1.9	0.1
Total	1,917.7	100.0	1,883.1	100.0	1,571.2	100.0	1,788.6	100.0

고 죽림(+0.8km<sup>2</sup>)도 미미하지만 증가 경향을 보였다.

이러한 임상별 면적 변화는 전년기간(1989~1999)과 다른 변화 경향성이 나타났다. 즉 모든 임상에서 면적이 증가하였으며, 특히 활엽수림의 면적 증가가 두드러진다. 이러한 원인은 연구지역 내에서 대규모 조림이 이루어진 결과이며, 특히 혼효림의 증가 면적이 큰 것은 위성영상 분류 결과의 원인과 일치한다고 볼 수 있다.

통계자료를 이용한 임상별 면적 변화를 종합 고찰하면, 1984년에서 2009년 사이의 임상별로 가장 큰 증가를 보인 항목은 활엽수림으로, 증가 면적은 192.6km<sup>2</sup>이며, 다음으로 혼효림이 109.1km<sup>2</sup> 증가하였다. 이밖에 침엽수림은 큰 감소폭을 보였는데, 이러한 원인은 주변 구릉지의 인위적인 개발에 따른 산림식생 훼손도 포함되지만, 기온상승으로 인한 혼효림 및 활엽수림의 증가에 의한 부분도 분명히 있을 것으로 판단된다.

## 2. 임상별 변화 예측

본 연구에서는 임상별 시계열 자료에서 일반적인 추세 모형을 적합 시키고 예측 값들을 구하기 위해 선형, 이차추세 모형과 이중지수 평활법을 적용하였으며, 최종적으로 예측의 정도를 비교하였다. 먼저  $\{Y_t, t=1, 2, \dots, T\}$ 를 시계열 자료라고 하면, 각 범주에 해당하는 자료에 대해 선형회귀모형과 같이 선형추세모형  $Y_t = a + bt$ 과 이차추세모형  $Y_t = a + bt + ct^2$ 을 적용하였다. 또한, 모형을 설정하지 않고 시계열도를 보고 과거의 관측치의 값을 이용하여 예측치를 구하기 위해 지수 평활법을 적용하였다.

지수 평활법은 동일한 가중치를 부여하는 것과는 달리 다른 가중치, 즉, 최근 관측치에 큰 가중치를 부여하고 이전으로 갈수록 낮은 가중치를 사용하는 방법이다. 적용되는 자료는 경향성이 존재하므로 이중지수 평활법을 적용하여 예측치를 분석하였다.  $Y_t = \mu_t + \beta_t + e_t$ 의 이중지수 평활법은 다음과 같다.

$$S_t^{[1]} = wY_t + (1-w)S_{t-1}^{[1]}, S_t^{[2]} = wS_t^{[1]} + (1-w)S_{t-1}^{[2]} \quad (1)$$

여기서  $S_t^{[1]}$ 은  $Y_t$ 의 스무딩 값이고, 가중치  $0 < w < 1$ ,

표 7. 선형추세, 이차추세 모형과 이중지수 평활법에 의한 MAPE 비교

Model Class	Linear trend	Quadratic trend	Double exponential smoothing
Coniferales forest	6.0	4.0	5.0
Mixed forest	9.0	6.0	5.0
Deciduous forest	19.0	16.0	7.0
Bamboo forest	15.45	11.04	5.05

$S_t^{[2]}$ 는  $S_t^{[1]}$ 의 스무딩 값이다. 그리고  $k$ 기간 이후 예측치는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{Y}_{t+k} = \left(2 + \frac{w}{1-w}k\right)S_t^{[1]} - \left(1 + \frac{w}{1-w}k\right)S_t^{[2]} \quad (2)$$

임상별 각 유형에 대해 선형추세모형, 이차추세 모형과 이중지수 평활법에 의한 예측의 정도를 비교하기 위하여 MAPE(Mean Absolute Percentage Prediction Error)를 적용하였다. MAPE는 다음과 같이 정의되어진다.

$$MAPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \times 100 \quad (3)$$

여기서,  $\hat{Y}_t$ 는  $Y_t$ 의 예측치이다. 예측의 정도가 좋으면 MAPE의 값은 거의 0에 가까운 값을 가지므로 MAPE가 작은 값을 가질수록 예측의 정도가 높다고 할 수 있다. 표 7은 모든 임상에 대한 MAPE의 값을 나타낸 것인데, 대체로 임상 예측에서 이중지수 평활법에 의한 적합된 MAPE의 값이 다른 추세 모형을 적용한 것 보다 좋게 나타났다.

각 임상별 이중지수 평활법에 대한 결과는 그림 7과 같으며, 여기서 실선은 실측된 자료의 시계열이고, 점선은 이중지수 평활법에 의해 적합된 자료의 시계열이다. 침엽수림의 경우 연도에 비해 가파르게 감소하는 경향을 가지고 있는 반면에 활엽수림, 혼효림과 죽림은 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 또한, 전반적으로 이중지수 평활법에 의해 예측의 패턴이 잘 따르고 있음을 분석할 수 있었다.

이중지수 평활법을 이용하여 2010년에서 10년 간격으로 각 항목에 대한 임상별 변화를 예측하였으며, 그 결과는 표 8과 같다. 임상 면적 변화 예측 결과, 2010년에서 2050년까지 침엽수의 경우 지속

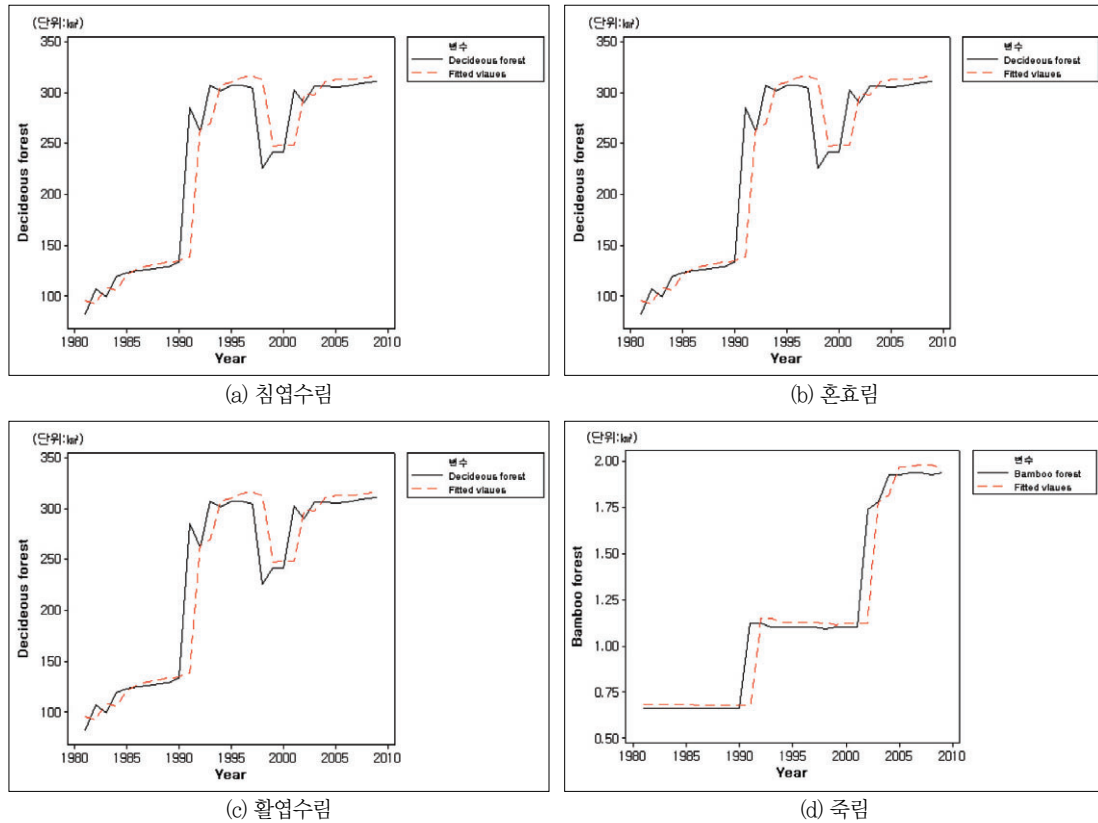


그림 7. 각 임상에 대한 이중지수 평활법 적용

표 8. 이중지수 평활법에 의한 임상 변화 예측

(단위: km<sup>2</sup>)

Class Year	Coniferales forest	Mixed forest	Deciduous forest	Bamboo forest
2010	975.4	470.9	317.8	2.0
2020	747.9	478.2	374.7	2.3
2030	520.1	485.4	431.5	2.7
2040	292.2	492.7	488.3	3.1
2050	64.4	500.0	545.2	3.4

적으로 급속하게 감소하는 반면, 활엽수, 혼효림과 죽림은 계속해서 증가하는 경향을 보였다. 특히 활엽수림의 경우 예측 값들이 가장 많이 증가한 것으로 나타났다. 이러한 경향은 구릉지의 인위적인 개발에 따른 산림식생 훼손도 포함되지만, 향후 현재와 같은 기온 상승이 일어난다면 침엽수림 지역을 중심으로 활엽수림과 혼효림지역으로 변화가 일어날 수 있을 것으로 판단된다.

산림지의 전체 면적은 2010년에 1,766.1km<sup>2</sup>에서 2050년 1,113.0km<sup>2</sup>로 약 653.1km<sup>2</sup>가 감소하였으며, 특히, 침엽수림의 면적 감소폭이 가장 큰 것으로 예측되었다. 즉, 침엽수림은 2010년 975.4km<sup>2</sup>에서 2050년 64.4km<sup>2</sup>로 약 911.0km<sup>2</sup>가 감소하는 것으로 예측되었고, 반면에 가장 증가가 큰 활엽수림은 2010년 317.8km<sup>2</sup>에서 2050년 545.2km<sup>2</sup>로 약 227.4km<sup>2</sup>가 증가가 예측되었다. 이밖에 혼효림은 2010년 470.9km<sup>2</sup>에서 2050년 500.0km<sup>2</sup>로 약 29.1km<sup>2</sup>의 증가가 예측되었다.

#### IV. 결론

기후변화 영향평가의 기초자료로 활용 될 수 있는 임상 정보는 원격탐사 기법을 이용하여 미래의 산림 식생대의 변화를 효과적으로 분석할 수 있다. 본 연구에서는 향후 지역단위의 기후변화 영향 평



가를 위한 기초 작업으로 기후자료 분석 및 위성영상을 기반으로 임상별 면적 변화를 분석하였다. 또한 임상 통계자료를 이용하여 미래의 임상별 변화를 예측하였으며, 예측을 위한 통계분석 방법으로 이중지수 평활법을 제안하였다. 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 연평균기온 분석 결과, 연구지역은 전반적으로 연평균기온이 상승하였으며, 특히, 보령시의 연평균기온 상승이 1991년을 기준(0.8℃)으로 가장 크게 나타났다. 계절별 기온 변화에서는 겨울 및 가을철이 다른 계절에 비하여 상승률이 높은 것으로 나타났다. 이러한 기온 상승은 임상분포 변화에도 영향을 미쳤을 것이며, 특히, 침활혼효림 및 활엽수림의 성장 및 분포지역 확대에 큰 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

둘째, 위성영상을 이용한 임상별 면적 변화를 분석한 결과, 임상 중 가장 큰 증가를 보인 항목은 활엽수림과 혼효림으로 나타났다. 이러한 원인은 저산성 구릉지의 침엽수림 지역을 중심으로 참나무 및 밤나무 등의 인공림이 조성되어 활엽수림 및 혼효림의 면적이 늘어나기도 하였지만 연평균기온 상승도 어느 정도 반영된 결과인 것으로 판단된다.

셋째, 침엽수림의 분포지역은 과거 차령산맥 및 가야산, 오서산, 성주산의 서사면의 고지대와 태안반도 일대에서 2009년에는 대부분 지역이 혼효림과 활엽수림에 잠식당해 태안반도 북단과 안면도의 북단, 그리고 서해 연안에 인접한 산지로 그 분포범위가 후퇴하였다. 특히 해발고도와 상관없이 내륙지방에서 혼효림과 활엽수림의 확장률은 해안가보다 높게 나타나는데, 이는 겨울철 기온 상승이 임상 변화에 영향을 주었기 때문이다.

넷째, 통계자료를 이용한 임상별 면적 변화 분석에서는 위성영상의 임상분류 결과와 유사한 결과가 나타났다. 즉, 1980년 이후 침엽수림은 큰 폭으로 감소하였고 반면에 활엽수림과 혼효림은 큰 폭으로 증가하였다. 이러한 원인은 주변 구릉지의 인위적인 개발에 따른 산림식생 훼손도 포함되지만, 기온 상승으로 인한 혼효림 및 활엽수림의 증가도 어느

정도 있을 것으로 추정되었다.

마지막으로, 통계자료와 위성영상에서의 임상별 면적 변화가 유사하다는 가정 하에 이중지수 평활법을 이용하여 2010년 이후의 임상 면적 변화를 예측하였다. 그 결과, 2010년에서 2050년까지 침엽수의 경우 지속적으로 감소하는 반면, 활엽수, 혼효림과 죽림은 계속해서 증가하는 경향을 보였다. 특히 활엽수림의 경우 예측 값들이 가장 많이 증가한 것으로 나타났는데, 이러한 경향은 구릉지의 인위적인 개발에 따른 산림식생 훼손도 포함되지만, 향후 현재와 같은 기온 상승이 일어난다면 침엽수림 지역을 중심으로 활엽수림과 혼효림지역으로 변화가 일어날 수 있을 것으로 예측되었다.

이상의 연구결과를 종합 고찰하여 보면, 연구지역에서 기온 상승에 따른 임상 변화가 급격히 진행되고 있음을 파악할 수 있었다. 특히 침엽수림의 큰 감소폭은 인위적인 개발에 따른 산림지 훼손도 포함되지만, 기온 상승으로 인한 침활혼효림 및 활엽수림의 증가에 기인 한 부분도 분명히 있을 것으로 판단된다. 따라서 기후변화의 주요 지표로서 임상자료는 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 추후 다른 기후요소 및 산림 수종별 관계 등을 분석하여 보다 더 정성적인 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션 환경기술개발사업”으로 지원 받은 과제임.

## 참고문헌

- 공우석, 2001, 대나무의 시·공간적 분포역 변화, 대한지리학회지, 36(4), 444-457.
- 구경아, 박원규, 공우석, 2001, 한라산 구상나무의 연륜연대학적 연구-기후변화에 따른 생장 변동 분석-, 한국생태학회지, 24(5), 281-288.
- 군산시, 당진군, 보령시, 서산시, 서천군, 홍성군, 태

- 안근, 1981~2010, 시·군 통계연보.
- 기상청, 2006, 기후변화 영향평가 및 적응방안에 관한 연구, 기상지진개발사업.
- 김인환, 한경수, 김상일, 2010, 1KM NDVI 10년 자료를 이용한 한반도 식생의 경년변동 분석, 대한원격탐사학회지, 27(1), 17-24.
- 김종원, 신준환, 임종환, 1995, 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구(II), 한국과학기술연구원.
- 임종환, 신준환, 2000, 지구온난화가 산림생태계에 미치는 영향, 자연보존, 111, 19-25.
- 이동근, 김재욱, 2007, 한반도지역의 기후변화에 의한 고산·아고산 식생 취약성 평가, 한국환경복원녹화기술학회지, 10(6), 110-119.
- 이동근, 김재욱, 박찬, 2010, 토지피복 변화를 반영한 미래의 산림식생 분포 예측에 관한 연구, 환경영향평가, 19(2), 117-125.
- 이승호, 이경미, 2003, 기온변화에 따른 벚꽃 개화 시기의 변화 경향, 환경영향평가, 12(1), 45-54.
- 장동호, 권원태, 2007, 위성영상을 이용한 남서해안지역의 기온변화에 따른 식생분석, 한국지형학회지, 14(1), 67-75.
- 장동호, 김장수, 2009, 충남 연안지역에서 기후변화에 의한 해수면 상승에 따른 취약성 평가, 한국지형학회지, 16(2), 1-13.
- 정희철, 전성우, 이동근, 송강양, 2003, 삼림의 이동속도를 고려한 한반도 자연 식생의 기후변화 적응성 평가, 환경영향평가, 12(5), 383-393.
- 하림, 신형진, 김성준, 2007, 위성영상을 이용한 기후변화에 따른 미래 식생정보 예측 기법 제안, 한국지리정보학회지, 10(3), 58-69.
- 하림, 신형진, 박근애, 김성준, 2007, 리모트센싱 응용: NOAA AVHRR 위성영상과 기후변화 시나리오에 의한 기상자료를 이용한 미래 식생정보 예측 기법 개발, 한국지형공간정보학회지, 춘계학술대회 발표논문, 162-168.
- 한경수, 김영섭, 2004, SPOT/VEGETATION 영상을 이용한 눈과 구름의 분류 알고리즘, 대한원격탐사학회지, 20(4), 235-244.
- 한국환경정책·평가연구원, 2002, 기후변화에 따른 생태계 영향평가 및 대응방안 연구(III).
- 허인혜, 권원태, 전영문, 이승호, 2006, 우리나라에서 기온 상승이 식생분포에 미치는 영향, 한국환경영향평가학회지, 15(1), 67-78.
- Augustin, N. H., Cummins, R. P., and French, D. D., 2001, Exploring spatial vegetation dynamics using logistic regression and a multinomial logit model, Journal of Applied Ecology, 38(5), 991-1006.
- Austin, M., 2007, Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches, Ecological Modelling, 200(1-2), 1-19.
- Calef, M. P., McGuire, A. D., Epstein, H. E., Rupp, T. S., and Shugart, H. H., 2005, Analysis of vegetation distribution in Interior Alaska and sensitivity to climate change using a logistic regression approach, Journal of Biogeography, 32(5), 863-878.
- Dionysios, M. and Serafeim, P., 2010, Deforestation processes in Greece: A spatial analysis by using an ordinal regression model, Forest Policy and Economics, 12(6), 457-472.
- Dobrowski, S. Z., Greenberg, J. A., Ramirez, C. M., and Ustin S. L., 2006, Improving image derived vegetation maps with regression based distribution modeling, Ecological Modelling, 192(1-2), 126-142.
- Eidenshink, J. C., 1992, The 1990 Conterminous U.S. AVHRR Data Set, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 58(6), 809-813.

- Feddema, J. J., Oleson, K. W., Bonan, G. B., Meams, L. O., Buja, L. E., Meehl, G. A., and Washington, W. M., 2005, The importance of land-cover change in simulation future climates, *Science*, 310(5754), 1674-1678.
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*.
- Iverson, L. R., Prasad, A. M., and Schwartz, M. W., 2005, Predicting potential changes in suitable habitat and distribution by 2100 for tree species of the Eastern United States, *Journal of Agricultural Meteorology*, 61(1), 29-37.
- Peter, T. W. and Philip, A. T., 2010, Multi-sensor data fusion for estimating forest species composition and abundance in northern Minnesota, *Remote Sensing of Environment*, 115(2), 671-691.
- Peterson, L. K., Bergen, K. M., Brown, D. G., Vashchuk, L., and Blam, Y., 2009, Forested land-cover patterns and trends over changing forest management eras in the Siberian Baikal region, *Forest Ecology and Management*, 257(3), 911-922.
- Prasad, A. M., Iverson, L. R., and Liaw, A., 2006, Newer classification and regression tree techniques, *Ecosystems*, 9(2), 181-199.
- Woodward, F. I., 1987, *Climate and Plant Distribution*, Cambridge Univ., Press, Cambridge.

최종원고채택 11. 08. 16