우리나라 기상 관측소 주변 토지 피복 변화 경향

박충선¹·이광률²

¹경북대학교 지리학과·²경북대학교 지리교육과

(2017년 5월 8일 접수, 2017년 6월 5일 수정, 2017년 6월 9일 게재 확정)

Patterns in Land Cover Changes Around Weather Stations in South Korea

Chung-Sun Park¹ · Gwang-Ryul Lee²

¹Department of Geography, Kyungpook National University

²Department of Geography Education, Kyungpook National University

(Received 8 May 2017, Revised 5 June 2017, Accepted 9 June 2017)

Abstract : Land cover around weather station can affect various climatic elements such as temperature, precipitation, wind and moisture. This study tries to reveal patterns and causes in land cover changes around weather stations in South Korea and to classify types of the land cover changes. The agricultural land, forest and used area have occupied most areas around un-relocated 47 weather stations with enough weather observation durations for the past 20-30 years. Area of the agricultural land shows steady decrease with remarkable areal decrease in the wetland, while steady areal increase is found in the used area. Due to urban expansions and new town developments around the weather stations, areas of the urbanization type (used area+barren) and suburbanization type (agricultural land+forest+grass+wetland) show steady increase and decrease, respectively. On the other hand, accurate changes in land cover are not reflected in the water-front type (wetland+water) due to errors and limitations in land cover classification using satellite images. It is expected that the results in this study can contribute to reliability and homogeneity enhancement of weather data.

Key Words : land cover, climatic data, weather station, local climate factor, urbanization

주요어 : 토지 피복, 기후 자료, 기상 관측소, 국지 기후 요인, 도시화

1. 서론

1) 연구 배경 및 목적

기상 및 기후 자료는 지표 부근의 대기 상태를 측정하는 시설인 기상 관측소에서 관측을 통해 얻

어진다. 기상 관측소에서 측정된 기상 및 기후 자료는 관측소의 위치, 해발고도, 지형, 주변 토지 피복 상태 등 기상 및 기후에 영향을 미치는 주변의 지리적 요인에 의해 영향을 받는다. 즉, 기상 관측소에서 측정을 통해 얻어진 기후 자료는 도

시, 곡저, 해안, 분지 등과 같은 수십 m~수십 km의 공간 규모에 해당하는 국지 기후를 반영한다고 볼 수 있다.

국지 기후는 지역의 지형 기복, 사면 경사와 향, 알베도, 국지풍 등과 같은 국지적인 지표 및 대기 조건의 영향을 받는다. 특히, 해발고도, 지형, 일사, 바람 등은 관측소의 위치가 이동하지 않는 한, 큰 변화가 나타나지 않지만, 관측소 주변 지역의 토지 피복 상태 변화는 관측소의 조건과 관계없이 나타나서 기온, 습도 등의 기후 자료에 변화를 유발하고 있다(Lee, 2016). 지표의 피복 또는 토지 이용 상태는 알베도, 증발산 작용, 차폐 효과(screening effect)를 통해 열 수지와 수분 수지의 차이를 유발하여, 국지적인 규모에서 나타나는 기온, 습도, 바람 등의 기후 요소에 중요한 영향을 미친다(Lee, 1995; Barry and Chorley, 2003; O'Hare *et al.*, 2005; Ahrens, 2006; Aguado and Burt, 2006; Lee, 2007; Hung, 2009; Kim *et al.*, 2010). 세계와 우리나라의 여러 도시들은 지난 수십 년 동안 시가지의 확장과 농경지 및 산림 면적의 감소와 같은 도시화 과정을 거치면서, 지표가 포장 및 건조화되고 건물과 차량으로부터 에너지 방출이 증가하는 등 토지 피복 변화의 요인으로 인해, 연 평균 기온이 0.5~1.0℃ 이상 상승하였다(Yun, 2002; Chung *et al.*, 2004; O'Hare *et al.*, 2005; Ahn *et al.*, 2010; Hu and Jia, 2010; Middel *et al.*, 2012; Misra *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2013).

토지 피복 변화가 국지 기후에 미치는 영향이 매우 큼에도 불구하고, 우리나라에서 토지 피복과 기후 사이의 관계에 대한 연구는 Lee(1995), Yun(2002), Jang and Baek(2013), Park and Tak(2013)에 불과한 정도이다. 특히, 공간적 관점에서 기상 관측소 주변의 토지 피복 변화와 국지 기후 사이의 관계에 대해 정량적으로 분석한 연구는 Lee(2016)에 불과하다. 기온, 강수, 습도, 바람

등 기후 자료를 생산하는 지점인 기상 관측소 주변의 토지 피복 변화는 관측 자료의 균질성과 신뢰성을 저해하는 요인이며, 특정 지역의 기후 자료와 기후 추이를 왜곡하는 원인임에 틀림없다. 그간의 국지 기후와 기후 변화에 대한 연구들에서는 기상 관측소와 인접한 주변 지역의 지리적이고 국지적인 조건에 크게 관심을 기울이지 않았고, 관측소 주변 지역의 지표 환경이나 지형과 같은 지리적인 조건의 변화가 관측 값에 미치는 영향에 대한 공간·통계적인 분석은 거의 이루어지지 않았다. 또한 기상학적 관점에서 기상 자료의 연속성과 균질성 연구에 초점을 두었기 때문에, 기후 인자의 변화와 기후 자료와의 상관관계에 대한 실증적인 분석이 부족하였다.

기후 자료에 대한 토지 피복 변화의 영향을 파악하기 위해서는 우선, 기상 관측소 주변 지역에 대한 지난 수십 년간의 토지 피복 변화 경향에 대한 분석부터 선행되어야 한다. 그러나 우리나라에서 기상 관측소 주변 지역을 대상으로 토지 피복의 시계열적 변화를 공간적으로 분석한 연구는 그동안 전혀 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구는 토지 피복과 기후 자료 사이의 관계를 파악하기 위한 선행 연구로서, 우리나라에서 위치 변화가 없었던 기상 관측소를 대상으로 지난 20~30년간 토지 피복의 변화 경향과 원인을 파악하여, 우리나라 기상 관측소의 주변 토지 피복 변화 유형을 구분하고자 한다.

2) 연구 방법 및 대상 지점

본 연구에서는 기상 관측소 주변 지역의 지난 20~30년간 토지 피복의 변화 경향과 원인을 파악하고, 토지 피복 변화 유형을 구분하기 위해, 환경부 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr>)에서 제공하는 1980년대, 1990년대, 2000년대 대분류 토지 피복 지도를 이용하였으며, 기상

관측소의 위치 정보는 기상청 기상자료개방포털 (<https://data.kma.go.kr>)에서 확인하였다. 대분류 토지 피복 지도의 경우, 공간 해상도가 30m인 래스터 자료로 이루어져 있으며, 시가화·건조지역(used area), 농업지역(agricultural land), 산림지역(forest), 초지(grass), 습지(wetland), 나지(barren) 및 수역(water) 등 총 7개의 항목으로 토지 피복을 분류하고 있다. 1980년대, 1990년대 및 2000년대 대분류 토지 피복 지도는 각각 1987~1989년, 1997~1999년 그리고 2008~2010년에 촬영된 Landsat 영상을 주로 이용하였다.

기상자료개방포털에서 확인된 기상 관측소는 총 123개이나, 일부 관측소의 이전, 명칭 변경, 통합

및 폐쇄 등으로 인해 중복되어 있으며, 123개의 기상 관측소 중 토지 피복 지도가 제작된 기간 동안 위치가 변화하지 않고 충분한 기간(영상 촬영 전후 5년) 동안 기상 관측이 이루어진 관측소는 총 47개로 확인되었다(Figure 1). 이 중 1980년대, 1990년대 및 2000년대 등 모든 시기의 토지 피복 변화 경향을 확인할 수 있는 관측소는 총 31개(춘천, 강릉, 울릉도, 수원, 울진, 추풍령, 안동, 포항, 울산, 부산, 제주, 강화, 양평, 인제, 홍천, 제천, 보은, 부여, 금산, 임실, 해남, 고흥, 영주, 문경, 의성, 영천, 합천, 밀양, 산청, 거제, 남해)이며, 일부 관측소의 경우 토지 피복 지도 제작 전후로 충분한 시기가 확보되지 않았거나 관측소의 이전 등으

Figure 1. Locations of weather stations studied.

Table 1. Averaged areas of 7 land cover categories around 47 weather stations and their change rates during 1980s~2000s.

	Area (km ²)			Δ%		
	1980s (n=39)	1990s (n=47)	2000s (n=39)	1980s~1990s	1990s~2000s	1980s~2000s
Used area	1,807	2,249	2,527	24.46	12.39	39.88
Agricultural land	3,916	3,417	3,228	-12.74	-5.53	-17.57
Forest	4,705	4,558	4,890	-3.13	7.30	3.95
Grass	0,624	0,713	0,395	14.22	-44.62	-36.75
Wetland	0,024	0,010	0,006	-58.27	-38.60	-74.38
Barren	0,348	0,562	0,534	61.73	-5.04	53.58
Water	1,138	1,053	0,981	-7.47	-6.82	-13.78

로 인해, 1980년대 및 1990년대(대관령, 인천, 대구, 성산, 서귀포, 진주, 순천, 성산포, 총 8개) 또는 1990년대 및 2000년대(속초, 철원, 원주, 광주, 태백, 부안, 장수, 봉화, 총 8개) 등 2개의 시기만 활용 가능하다.

ESRI의 ArcGIS 10.1을 이용해 기상 관측소의 위치를 점으로 표현한 후, 기상 관측소에서 반경 2 km 이내에 해당되는 지역을 기상 관측소 주변 지역으로 간주하였으며, 각 시기별 토지 피복 지도를 추출하여 7개 토지 피복 항목의 면적 및 비율 등을 산출하였으며, 이를 기초로 지난 20~30년간 기상 관측소 주변 지역의 토지 피복 변화 경향을 파악하였다.

2. 기상 관측소 주변 토지 피복 변화 경향

지난 20~30년 동안 기상 관측소의 위치가 변화하지 않은 47개 기상 관측소 주변 지역에서 확인된 7개 토지 피복 항목의 평균 면적과 함께, 각 시기별 면적 변화율을 Table 1에 나타냈다. 각 토지 피복 항목이 차지하는 면적의 순위는 기간에 관계

없이 거의 유사한 경향을 보인다. 즉, 산림지역이 가장 큰 면적을 그리고 농업지역이 두 번째로 가장 큰 면적을 차지하고 있다. 그 다음은 시가지·건조 지역, 수역 순이며, 7개의 토지 피복 항목 중 습지가 가장 작은 면적을 나타낸다. 1980년대와 1990년대에는 초지가 나지보다 큰 면적을 차지하고 있지만, 2000년대에는 나지가 초지보다 더 큰 면적을 차지하고 있다.

시기별 토지 피복 항목의 변화를 살펴보면, 우선 습지 면적의 감소가 가장 뚜렷하다. 예를 들어, 1980년대 습지의 면적은 약 0.024km²이었으나 1990년대에는 약 0.010km²로, 약 58.3%나 감소하였다. 또한 2000년대의 습지 면적은 약 0.006km²이며, 이는 1990년대에 비해 대략 38.6% 감소한 수준이다. 1980~2000년대 동안 습지의 면적은 약 74.4% 감소하였다. 수역의 면적도 습지 면적과 유사하게 시대에 따라 꾸준히 감소하는 경향을 보이지만, 습지에 비해 수역의 면적 감소는 그리 크지 않다. 1980년대의 수역 면적은 약 1.138km²이었으나, 1990년대에는 약 7.5%가 감소하여 약 1.053km²에 그쳤다. 2000년대 수역 면적은 1km² 미만으로 떨어졌으며, 1980~2000년대 동안 수역의 면적은 대략 13.8% 감소한 것으로 확인되었다. 농업

지역의 면적도 시대에 따라 꾸준히 감소하는 경향을 보이지만, 습지보다는 수역의 면적 감소와 유사한 경향을 보인다. 1980년대 농업지역의 면적은 약 3,916km²이었지만, 1990년대에 접어들면서 약 12.7% 감소한 약 3,417km²의 면적을 차지하고 있다. 이후 2000년대에는 감소폭이 약간 작아지는 경향을 보인다. 1980~2000년대 동안 농업지역은 대략 17.6% 감소하였다.

시대에 따라 꾸준한 면적 감소를 보이는 농업지역, 습지 및 수역과 달리, 시가화·건조지역은 꾸준한 면적 증가를 나타내고 있다. 1980년대 시가화·건조지역의 면적은 약 1,807km²이었지만, 1990년대에는 약 24.5% 증가한 약 2,249km²의 면적을 차지하고 있다. 또한 2000년대에 접어들면서 증가폭은 약간 감소하였지만 여전히 증가하는 추세를 보이고 있으며, 1980~2000년대 동안 대략 39.9% 증가하였다.

이외의 토지 피복 항목인 산림지역, 초지 및 나지의 면적은 증가와 감소가 교대로 나타난다. 산림지역의 면적은 감소하다가 증가하는 경향을 그리고 초지 및 나지의 면적은 증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 산림지역과 나지의 면적은 1980~2000년대 동안 전체적으로 증가하였지만, 초지의 면적은 전체적으로 감소한 것으로 나타났다. 전체 시기 동안 나지 면적은 크게 증가하였지만, 산림지역 면적은 4% 정도 증가한 수준에 그쳤다. 이 시기 동안 초지의 면적은 약 36.8% 감소하였다.

3. 기상 관측소 주변 토지 피복 변화의 유형과 원인

본 연구에서는 토지 피복 변화 유형을 도시화, 비도시화, 친수화의 3가지로 구분하였다. 도시화

유형은 시가화·건조지역과 나지를, 비도시화 유형은 농업지역, 산림지역, 초지 및 습지를 그리고 친수화 유형은 습지와 수역을 합한 값으로, 이러한 3가지 유형에 따라 각 유형별 토지 피복 변화의 원인을 확인해 보았다.

1) 도시화 유형

1980년대에서 1990년대 동안 시가화·건조지역 및 나지의 면적이 증가한 기상 관측소는 총 31개로, 평균적으로 약 0.638km²의 면적 증가를 보였으며, 울산의 경우 약 2.021km²가 증가하여 최대치를 나타냈고, 수원(약 1.976km²), 강릉(약 1.756km²) 및 거제(약 1.503km²)도 상당한 면적 증가를 보인다(Table 2). 이 기간 동안 시가화·건조지역 및 나지의 면적이 감소한 기상 관측소는 총 8개로, 평균적으로 약 0.139km²의 면적이 감소하였으며, 가장 큰 면적 감소는 인제(약 0.408km²)에서 확인 가능하고, 의성(약 0.348km²)도 비교적 큰 면적 감소를 보인다. 1980년대와 1990년대 사이에 울산 기상 관측소(Figure 2A) 북쪽의 농업지역과 산림지역은 나지로 그리고 2000년대에는 시가화·건조지역으로 변화하였다. 울산 기상 관측소가 위치하고 있던 지역도 1980년대 및 1990년대에는 농업지역, 산림지역 및 초지로 이루어져 있었지만, 2000년대에 접어들면서 나지로 변화되었고, 현재에는 모두 시가지가 들어선 상태이다. 인제(Figure 2D)의 경우, 1980년대에는 기상 관측소의 북동쪽에 시가화·건조지역이 그리고 기상 관측소의 동쪽에 위치한 소양강을 중심으로 나지가 분포하고 있었지만, 1990년대에는 시가화·건조지역의 면적이 상당히 줄어들었고, 특히 소양강을 따라 분포하고 있던 나지가 농업지역으로 변화된 것을 확인할 수 있다. 그러나 2000년대에는 시가화·건조지역이 농업지역을 대체하였다.

1990~2000년대 동안 총 29개의 기상 관측소 주

Table 2. Statistical parameters in areal changes (km^2) around 47 weather stations from urbanization type during 1980s~2000s.

		n	min.	ave.	max.	Example stations and ranking (area in km^2)			
						1st	2nd	3rd	4th
						5th	6th	7th	8th
1980s~ 1990s	↑	31	0.032	0.638	2,021	Ulsan (2,021)	Suwon (1,976)	Gangneung (1,756)	Geoje (1,503)
	↓	8	0.001	0.139	0.408	Inje (0.408)	Uiseong (0.348)		
1990s~ 2000s	↑	29	0.007	0.405	1,256	Andong (1,256)	Gangneung (1,210)	Miryang (1,131)	Inje (1,106)
						Wonju (0.949)	Ulsan (0.924)	Jeju (0.876)	
	↓	10	0.001	0.044	0.166	Cheorwon (0.166)			
1980s~ 2000s	↑	27	0.041	0.984	2,966	Gangneung (2,966)	Ulsan (2,946)	Suwon (2,762)	Miryang (2,241)
	↓	4	0.010	0.114	0.349	Uiseong (0.349)			

변 지역에서 시가화·건조지역과 나지의 면적 증가가 확인되었으며, 면적 증가의 평균은 약 0.405km^2 , 최대 면적 증가를 보인 기상 관측소는 안동으로 약 1.256km^2 가 증가하였다(Table 2). 이외에 강릉(약 1.210km^2), 밀양(약 1.131km^2), 인제(약 1.106km^2), 원주(약 0.949km^2), 울산(약 0.924km^2), 제주(약 0.876km^2) 등도 상당한 면적 증가를 보인다. 안동(Figure 2B)은 1980년대와 1990년대 사이에 약 0.226km^2 의 시가화·건조지역과 나지가 증가한데 반해, 1990년대와 2000년대 사이에는 시가화·건조지역과 나지의 면적이 크게 증가하였다. 안동 기상 관측소의 북쪽은 산림지역과 농업지역이 대부분을 차지하고 있으며, 시간에 따라 농업지역을 산림지역이 대체하는 양상을 보인다. 그러나 기상 관측소의 남동쪽에 위치한 시가화·건조지역이 시간에 따라 점차 확대되면서 남서쪽의 농업지역 및 산림지역을 대체하고 있다. 1990~2000년대에 시가화·건조지

역 및 나지의 면적 감소가 확인된 기상 관측소는 총 10개이며, 평균적으로 약 0.044km^2 가 감소하였고 이 중 철원(약 0.166km^2)이 가장 큰 감소폭을 보였다. 그러나 이 기간 동안 철원(Figure 2E)의 토지 피복 변화는 육안으로 쉽게 확인되지는 않는데, 농업지역 및 산림지역 사이의 일부 시가화·건조지역 및 나지가 산림지역으로 편입되면서 감소한 것으로 생각된다.

지난 30년 동안 시가화·건조지역 및 나지의 면적이 증가한 기상 관측소는 총 27개이며, 평균적으로 약 0.984km^2 가 증가하였다(Table 2). 가장 큰 증가를 보이는 기상 관측소는 강릉(약 2.966km^2)이며, 울산(약 2.946km^2), 수원(약 2.762km^2), 밀양(약 2.241km^2) 등이 그 다음을 잇는다. 동일한 기간 동안 시가화·건조지역 및 나지의 면적이 감소한 기상 관측소는 4개에 불과하며, 의성(약 0.349km^2)의 면적 감소가 가장 크다. 1980년대에 강릉 기상 관

Figure 2. Examples for land cover changes of urbanization type during 1980s~2000s (A: Ulsan, B: Andong, C: Gangneung, D: Inje, E: Cheorwon, F: Uiseong).

측소(Figure 2C) 주변에는 시가화·건조지역 및 농업지역이 주를 이루고 있었으며, 기상 관측소의 서쪽에 비교적 넓은 면적의 나지가 위치해 있었다. 그러나 1990년대에 이 나지는 대부분 시가화·건조지역으로 변화되었고, 특히 강릉 기상 관측소 북서쪽의 농업지역 및 산림지역이 나지로 변화되었다. 기상 관측소 남쪽과 남동쪽 지역도 1980년대에는 대부분 농업지역 또는 산림지역이었으나, 1990년대에는 많은 지역이 나지로 변화되었다. 1980~1990년대 동안 전반적으로 강릉 시가지도 확장되었다. 2000년대에 접어들면서 강릉 기상 관측소의 북서쪽 지역이 시가화·건조지역 또는 나지로 모두 변화되었고, 강릉 시가지 역시 지속적으로 확장되면서 전반적으로 시가화·건조지역 및 나지의 비율이 증가하였다. 이로 인해 농업지역과 산림지역의 면적이 크게 감소하였으며, 특히 농업지역의 감소가 확연하다. 의성 기상 관측소(Figure 2F)의 남동쪽에 의성읍이 위치해 있어, 이 지역을 중심으로 시가화·건조지역이 주로 분포해 있으나, 지난 30년 동안 의성읍 시가지는 크게 확장되지는 않은 것으로 보인다. 1980년대에 의성 기상 관측소의 북쪽 지역을 중심으로 소규모의 시가화·건조지역이 독립적으로 분포해 있었으나, 시간에 따라 이 지역이 점점 축소되어 농업지역 또는 초지로 변화되었다.

지난 30년 동안 대부분의 지역에서 시가화·건조지역 및 나지의 면적은 크게 증가하여 주로 농업지역 및 산림지역의 감소를 유발한데 반해, 일부 지역에서는 소규모의 시가화·건조지역 및 나지가 농업지역 또는 산림지역으로 그리고 경우에 따라서는 초지로 편입되어 약간의 시가화·건조지역 및 나지의 면적 감소를 가져왔다.

2) 비도시화 유형

1980년대에서 1990년대 동안 농업지역, 산림지

역, 초지 및 습지 등의 면적이 증가한 기상 관측소는 총 12개이며, 평균적으로 약 0.116km²가 증가하였고, 이 중 인제가 약 0.535km²로 가장 큰 증가를 그리고 의성이 약 0.347km²로 두 번째로 가장 큰 증가를 보인다(Table 3). 인제 및 의성은 전술한 도시화 유형에서 시가화·건조지역 및 나지의 면적이 크게 감소한 지역으로, 1980~1990년대 동안 인제의 경우 소양강을 중심으로 분포하고 있던 나지가 농업지역으로 그리고 의성 기상 관측소의 북쪽에 위치해 있던 소규모 시가화·건조지역이 농업지역 또는 초지로 변화되었기 때문으로 생각된다(Figure 2D, 2F).

같은 기간 동안 농업지역, 산림지역, 초지 및 습지의 면적이 감소한 기상 관측소는 총 27개로, 평균적으로 약 0.739km²의 면적이 감소하였다. 이 중 울산이 약 2.034km²가 감소해 가장 큰 면적 변화를 보였으며, 그 다음은 수원(약 1.934km²), 강릉(약 1.756km²) 그리고 영천(약 1.701km²) 순이다. 울산은 전술한 바와 같이, 기상 관측소 북서쪽 지역과 주변 지역의 농업지역 및 산림지역 중 많은 부분이 나지를 거쳐 시가화·건조지역으로 변화되었기 때문으로 생각된다(Figure 2A). 수원(Figure 3A)의 경우, 1980년대에 기상 관측소 주변 지역에는 시가화·건조지역이 독립적으로 분포하고 있었으며, 그 사이를 농업지역이 차지하고 있었지만, 시간이 흐르면서 시가지 확장으로 인해 독립적으로 분포하고 있던 시가화·건조지역이 통합되면서 농업지역이 크게 감소하였다. 2000년대에는 수원 기상 관측소의 서쪽 지역 대부분이 시가화·건조지역으로 변화되었으며, 북쪽 지역 역시 농업지역에서 나지를 거쳐 2000년대에는 시가화·건조지역으로 변화되었다.

1990~2000년대에 농업지역, 산림지역, 초지 및 습지 등의 면적이 증가한 기상 관측소는 평균적으로 약 0.046km²의 면적 증가를 보였으며, 총 12개

Table 3. Statistical parameters in areal changes (km^2) around 47 weather stations from suburbanization type during 1980s~2000s.

		n	min.	ave.	max.	Example stations and ranking (area in km^2)			
						1st	2nd	3rd	4th
						5th	6th	7th	8th
1980s~ 1990s	↑	12	0.007	0.116	0.535	Inje (0,535)	Uiseong (0,347)		
	↓	27	0.099	0.739	2.034	Ulsan (2,034)	Suwon (1,934)	Gangneung (1,756)	Yeongcheon (1,701)
1990s~ 2000s	↑	12	0.005	0.046	0.194	Cheorwon (0,194)			
	↓	27	0.009	0.450	1.261	Chuncheon (1,261)	Andong (1,246)	Gangneung (1,207)	Inje (1,195)
						Miryang (1,113)	Wonju (0,949)	Ulsan (0,926)	
1980s~ 2000s	↑	4	0.058	0.139	0.358	Uiseong (0,358)			
	↓	27	0.026	1.004	2.963	Gangneung (2,963)	Ulsan (2,960)	Suwon (2,759)	Miryang (2,399)

의 기상 관측소가 면적 증가를 나타냈다(Table 3). 철원이 약 0.194km^2 가 증가하여 가장 큰 면적 증가를 보였다. 철원은 전술하였듯이, 농업지역 및 산림지역 사이에 위치한 시가지·건조지역 또는 나지 중 일부가 산림지역으로 편입되면서 증가한 것으로 생각된다(Figure 2E). 이 기간 동안 농업지역, 산림지역, 초지 및 습지 등의 면적이 감소한 기상 관측소는 총 27개로, 평균적으로 약 0.450km^2 가 감소하였으며, 이 중 춘천이 가장 큰 면적 변화(약 1.261km^2)를 보였으며, 안동(약 1.246km^2), 강릉(약 1.207km^2), 인제(약 1.195km^2), 밀양(약 1.113km^2), 원주(약 0.949km^2), 울산(약 0.926km^2) 등도 비교적 큰 면적 변화를 보였다. 1980년대에 춘천 기상 관측소(Figure 3B) 주변 지역은 대부분 농업지역으로 이루어져 있었으며, 소양강 남쪽을 중심으로 시가지·건조지역 및 산림지역이 위치해 있었다. 그러나 1990년대에 접어들면서, 기상 관측소의 남쪽에

서 시가지·건조지역이 확대되었고 이로 인해 농업지역이 축소되었으며, 소양강 남쪽 지역도 시가지·건조지역이 점차 확대되면서 산림지역 및 농업지역이 축소되었다. 이후, 기상 관측소의 남쪽에 위치한 시가지가 더 크게 확장되면서 많은 농업지역이 시가지·건조지역으로 편입되게 되었다. 소양강 남쪽의 시가지·건조지역은 지난 30년 동안 꾸준한 면적 증가를 보인다.

지난 30년 동안 31개의 기상 관측소 중 단 4개의 기상 관측소만이 농업지역, 산림지역, 초지 및 습지의 면적 증가를 보였으며, 그 중 의성이 약 0.358km^2 로 가장 큰 면적 증가를 보였고, 4개 기상 관측소의 평균적인 면적 증가는 약 0.139km^2 이었다(Table 3). 의성은 전술하였듯이, 기상 관측소의 북쪽에 위치한 소규모 시가지·건조지역이 농업지역 또는 초지로 전환됨에 따라 면적이 증가한 것으로 생각된다(Figure 2F). 같은 기간 동안 총 27개

Figure 3. Examples for land cover changes of suburbanization type during 1980s~2000s
(A: Suwon, B: Chuncheon, C: Miryang).

의 기상 관측소가 농업지역, 산림지역, 초지 및 습지의 면적 감소를 보였으며, 평균적으로 약 1,004 km^2 가 감소하였다. 이 중 강릉이 가장 큰 면적 감소(약 2,963 km^2)를 보였으며, 울산(약 2,960 km^2), 수원(약 2,759 km^2), 밀양(약 2,399 km^2)도 상당히 큰 면적 감소를 보였다. 울산, 강릉, 수원은 전술하였듯이,

시가지의 확대 또는 신도시의 개발로 시가화·건조지역 또는 나지가 크게 증가하면서 감소한 것으로 생각된다(Figure 2A, 2C, 3A). 밀양(Figure 3C)의 경우, 1980년대에는 기상 관측소가 주로 농업지역으로 둘러싸여 있었으며, 기상 관측소의 동쪽 및 남동쪽을 중심으로 시가화·건조지역이 위치해

있었다. 그러나 밀양 시가지가 확장됨에 따라 많은 지역이 시가화·건조지역으로 변화되었으며, 특히 2000년대에는 밀양강 남쪽 대부분의 지역이 시가화·건조지역으로 편입되었고, 이전에 확인되지 않았던 나지가 밀양강 하안을 따라 넓게 분포하고 있다. 지난 30년 동안 기상 관측소 동쪽에 위치한 시가지 역시 북쪽으로 점차 확대되는 양상을 나타낸다.

지난 30년 동안 비도시화 유형의 면적 증감은 도시화 유형과는 반대되는 양상을 나타낸다. 즉, 도시화 유형은 큰 면적 증가 및 작은 면적 감소로 특징지을 수 있지만, 비도시화 유형에서는 작은 면적 증가 및 큰 면적 감소를 확인할 수 있다. 특히 시가지의 확장 및 신도시의 개발로 인해, 많은 농업지역 및 산림지역이 나지를 거쳐 시가화·건조지역으로 전환되었으며, 소규모의 시가화·건조

역 또는 나지가 농업지역 또는 산림지역으로 편입되기도 하였다.

3) 친수화 유형

1980년대와 1990년대 사이 습지 및 수역의 면적이 증가한 기상 관측소는 총 15개로, 이 중 영천(약 0.563km²), 순천(약 0.450km²) 및 울진(약 0.348km²)이 비교적 큰 면적 증가를 보였으며, 평균적으로 약 0.129km²가 증가하였다(Table 4). 영천(Figure 4A)은 1980년대에는 기상 관측소의 남쪽에 위치한 금호강의 유로가 수역으로 구분되지 않았지만, 1990년대와 2000년대에는 금호강의 유로가 수역으로 구분되면서 수역의 면적이 크게 증가한 것으로 생각된다. 영천에서 1990~2000년대 사이에는 단지 약 0.041km²의 습지 및 수역의 면적 증가가 있었을 뿐이다. 같은 시기 동안 습지 및 수역의 면적

Table 4. Statistical parameters in areal changes (km²) around 47 weather stations from water-front type during 1980s~2000s.

		n	min.	ave.	max.	Example stations and ranking (area in km ²)			
						1st	2nd	3rd	4th
						5th	6th	7th	8th
1980s~ 1990s	↑	15	0.001	0.129	0.563	Yeongcheon (0.563)	Suncheon (0.450)	Ulsan (0.348)	
	—	1				Gangneung			
	↓	23	0.001	0.110	0.331	Incheon (0.331)	Hongcheon (0.275)	Geoje (0.250)	Chuncheon (0.245)
1990s~ 2000s	↑	13	0.001	0.073	0.459	Chuncheon (0.459)			
	—	6				Wonju	Buyeo	Geumsan	Buan
						Bonghwa	Yeongju		
	↓	20	0.001	0.034	0.185	Namhae (0.185)	Jeju (0.115)	Geoje (0.095)	Sancheong (0.077)
1980s~ 2000s	↑	11	0.005	0.139	0.604	Yeongcheon (0.604)	Ulsan (0.429)		
	↓	20	0.003	0.081	0.346	Geoje (0.346)	Hongcheon (0.207)	Jeju (0.187)

Figure 4. Examples for land cover changes of water-front type during 1980s~2000s (A: Yeongcheon, B: Uljin, C: Incheon, D: Namhae, E: Geoje).

이 감소한 기상 관측소는 23개이며, 평균적으로 약 0.110km²가 감소하였고, 인천(약 0.331km²)이 가장 큰 감소폭을 보였다. 이외에 홍천(약 0.275km²), 거제(약 0.250km²), 춘천(약 0.245km²)의 면적 감소도 비교적 크다. 인천(Figure 4C)의 면적 감소는 인천항이 확장됨에 따라, 인천항 북쪽에 인천북항이 개발되면서 새로운 항만 시설 및 산업단지 건설을 위한 간척 및 매립으로 수역 면적이 감소하였기 때문으로 생각된다. 강릉은 이 기간 동안 습지 및 수역의 면적이 동일한 것으로 나타났다.

1990~2000년대 동안 총 13개 기상 관측소의 주변 지역에서 습지 및 수역의 면적 증가가 확인되었으며, 평균적으로 약 0.073km²가 증가하였다(Table 4). 춘천이 약 0.459km²가 증가하여 가장 확연한 면적 증가를 보였는데, 이는 1980년대와 2000년대에는 기상 관측소 북동쪽에 소규모 저수지(우두온수지)가 확인되었지만, 1990년대에는 수역으로 구분되지 않아 수역의 면적이 크게 증가한 것으로 생각된다(Figure 3B). 이 기간 동안 습지 및 수역의 면적이 감소한 기상 관측소는 총 20개로, 평균적으로 약 0.034km²가 감소하였으며, 이 중 남해(약 0.185km²)와 제주(약 0.115km²), 거제(약 0.095km²) 및 산청(약 0.077km²)의 면적 감소가 가장 크다. 남해(Figure 4D)는 1980년대에는 해안가를 중심으로 분포해 있는 습지가 확인되었지만, 1990년대에는 이러한 습지가 크게 줄어들고, 습지가 있던 지역의 주변으로 시가화·건조지역, 초지 및 나지 등이 위치해 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 아마도 간척지의 노출 정도에 따른 것으로 생각된다. 그러나 1990년대와 2000년대 사이에는 육상에서 확인 가능한 습지 및 수역 면적의 큰 감소는 확인되지 않는다. 1990~2000년대 동안 원주, 부여, 금산, 부안, 봉화, 영주 등의 습지 및 수역 면적은 변화가 없는 것으로 나타났다.

지난 30년 동안 습지 및 수역의 면적이 증가한

기상 관측소는 11개로, 평균적으로 약 0.139km²가 증가하였으며, 이 중 영천(약 0.604km²) 및 울진(약 0.429km²)의 면적 증가가 가장 뚜렷하다(Table 4). 울진(Figure 4B)의 경우, 1980년대에는 기상 관측소 서쪽에 위치한 수역(연호)이 구분되지 않았지만, 이후의 시기에는 수역으로 구분되면서 수역의 면적이 크게 증가하였다. 같은 기간 동안 총 20개의 기상 관측소 주변 지역에서 습지 및 수역의 면적 감소가 확인되었으며, 평균적으로 약 0.081km²가 감소하였고, 이 중 거제(약 0.346km²), 홍천(약 0.207km²), 제주(약 0.187km²)의 면적 감소가 가장 뚜렷하다. 거제(Figure 4E)의 경우, 기상 관측소 북쪽 및 북서쪽에 위치한 시가화·건조지역이 확대되면서 수역이 감소하였다.

지난 30년 동안 친수화 유형은 이전의 도시화 유형 및 비도시화 유형보다는 작은 면적 변화만을 보이고 있으며, 평균적인 면적의 증가와 감소 역시 큰 차이를 보이지 않는다. 또한 영천 및 춘천에서와 같이 영상을 이용한 토지 피복 분류의 오류로 인한 변화도 확인되고, 남해에서와 같이 영상 촬영 시간에 따라 간석지처럼 일변화를 하는 습지의 면적 변화도 확인되었다. Table 4의 기상 관측소 중, 영천, 순천, 홍천, 춘천 및 산청 등을 제외하면 모두 해안가 인근에 위치한 기상 관측소에서 상당히 큰 면적 변화가 확인되었다.

4. 결론

본 연구는 지난 20~30년 동안 위치가 변화하지 않고 충분한 기간 동안 기상 관측이 이루어진 47개의 기상 관측소를 대상으로, 환경부 환경공간정보서비스에서 제공하는 대분류 토지 피복 지도를 이용해 기상 관측소 주변 지역의 토지 피복 변화의 경향과 원인을 파악하고, 토지 피복 변화의 유

형을 구분해 보았다. 기상 관측소 주변 지역은 대부분 농업지역과 산림지역으로 이루어져 있으며, 시가화·건조지역 및 수역도 상당한 면적을 차지하고 있다. 반면 초지, 습지 및 나지 면적은 그리 크지 않다. 지난 20~30년 동안 시가화·건조지역은 꾸준한 증가를 보이는데 반해, 농업지역, 습지 및 수역은 꾸준한 감소를 보이고 있으며, 특히 습지의 면적 감소가 두드러지게 나타났다. 토지 피복 변화 유형은 시가화·건조지역과 나지를 합한 도시화 유형, 농업지역, 산림지역, 초지 및 습지를 합한 비도시화 유형 그리고 습지와 수역을 합한 친수화 유형으로 구분하여 살펴보았는데, 많은 지역에서 시가지의 확장 및 신도시의 개발로 인해 도시화 유형은 크게 증가하였으며, 도시화 유형의 증가로 인해 비도시화 유형은 크게 감소하는 경향을 나타냈다. 친수화 유형의 경우, 항만 또는 산업단지의 개발로 인한 간척 및 매립으로 면적 감소가 확인되기도 하였으나, 일부 지역에서는 영상을 활용한 토지 피복 분류의 오류 및 한계점으로 인한 변화도 발견되었다.

본 연구의 결과는 기상 관측소에서 생산된 기상 및 기후 자료의 신뢰성과 균질성을 제고하고 개선하는데 많은 도움이 될 것으로 생각된다. 또한 기상 관측소의 입지 조건과 주변 환경 조건을 설계함에 있어 기초 자료가 될 수 있는 실증적이고 객관적인 정보를 제공할 것이다. 특히, 기상 및 기후 자료의 이용과 분석에 있어, 시·공간 및 지리적인 관점에서의 접근이 매우 중요하는 점을 강조하는 연구가 될 것이다.

사사

이 논문은 2016학년도 경북대학교 복현학술연구비에 의하여 연구되었음.

References

- Aguado, E. and Burt, J. E., 2006, *Understanding weather and climate*, Prentice Hall.
- Ahn, J. S., Kim, H. D., and Kim, S. W., 2010, Effect of difference of land cover conditions on urban thermal environment in Daegu using satellite and AWS data, *Journal of the Environmental Sciences*, 19(3), 281-293 (in Korean with English abstract).
- Ahrens, C. D., 2006, *Meteorology Today: an introduction to weather, climate, and the environment*, Thomson Learning.
- Barry, R. G. and Chorley, R. J., 2003, *Atmosphere, weather and climate*, Routledge.
- Chung, U., Choi, J., and Yun, J. I., 2004, Urbanization effect on the observed change in mean monthly temperatures between 1951-1980 and 1971-2000 in Korea, *Climatic Change*, 66(1), 127-136.
- Hu, Y. and Jia, G., 2010, Influence of land use change on urban heat island derived from multi-sensor data, *International Journal of Climatology*, 30(9), 1382-1395.
- Hung, C. W., 2009, Temperature discontinuity caused by relocation of meteorological stations in Taiwan, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 20(4), 607-617.
- Jang, D. H. and Baek, S. G., 2013, Constructing Ground Information Database with Ultra-high Resolution for Regional Climate Forecasting, *Journal of Climate Research*, 8(1), 67-79 (in Korean with English abstract).
- Kim, J. H., Suh, M. S., and Hong, S. H., 2010, The relocation effect of observation station on the homogeneity of seasonal mean of diurnal temperature range, *Atmosphere*, 20(4), 437-449 (in Korean with English abstract).
- Lee, G. R., 2016, Changes in local climate data by relocation of weather stations in South Korea,

- Journal of Climate Research*, 11(2), 131-149 (in Korean with English abstract).
- Lee, H. Y., 1995, Potential effects of land-use change on the local climate, *Journal of the Korean Society of Remote Sensing*, 11(3), 83-100.
- Lee, S. H., 2007, *Climatology*, Purungil (in Korean).
- Li, Y., Zhu, L., Zhao, X., Li, S., and Yan, Y., 2013, Urbanization impact on temperature change in China with emphasis on land cover change and human activity, *Journal of Climate*, 26(22), 8765-8780.
- Middel, A., Brazel, A. J., Gober, P., Myint, S. W., and Chang, H., 2012, Land cover, climate, and the summer surface energy balance in Phoenix, AZ, and Portland, OR, *International Journal of Climatology*, 32(13), 2020-2032.
- Misra, V., Michael, J. P., Boyles, R., Chassignet, E. P., Griffin, M., and O'Brien, J. J., 2012, Reconciling the spatial distribution of the surface temperature trends in the Southeastern United States, *Journal of Climate*, 25(10), 3610-3618.
- O'Hare, G., Sweeney, J., and Wilby, R., 2005, *Weather, Climate and Climate Change: human perspectives*, Routledge.
- Park, S. Y. and Tak, H. M., 2013, Land use changes and climate patterns in Southeast Korea, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 16(2), 47-64 (in Korean with English abstract).
- Yun, J. I., 2002, Urbanization effect on the observed warming in Korea during the recent half century, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 4(1), 58-63 (in Korean with English abstract).
- <https://egis.me.go.kr>
- <https://data.kma.go.kr>

책임편집: 박지훈

영문교열: 조창현