기상 관측소 이전에 의한 국지 기후 자료의 변이

이광률

경북대학교 사범대학 지리교육과

(2016년 4월 12일 접수, 2016년 6월 2일 수정, 2016년 6월 28일 게재 확정)

Changes in Local Climate Data by Relocation of Weather Stations in South Korea

Gwang-Ryul Lee

Department of Geography Education, Teachers College, Kyungpook National University

(Received 12 April 2016, Revised 2 June 2016, Accepted 28 June 2016)

Abstract : Relocation of weather station leads to changes in geographical climate factors such as latitude, longitude, elevation, topographical relief and land cover of surrounding area that influence on local climate. This study analyzes spatio-temporal characteristics and relationships between geographical factors such as location, topographical relief and land cover, and changes in climate data such as temperature, precipitation and wind due to relocation of 12 weather stations in South Korea. Changes in temperature and moisture are attributed to changes in land cover by the relocation. Wonju and Gumi where the stations were relocated from rural to new built-up area show increases in temperature, while temperature in Sokcho, Changwon, Cheonan, Daejeon, Gunsan and Mokpo decreased with the relocations from urban to rural area. Relative humidity in Mokpo, Gunsan and Daejeon increases due to increase in farming land. Changes in topographical relief influence on precipitation, wind and duration of sunshine. The relocation in Chungju to interior of basin led to decreases in precipitation and duration of sunshine, and Boryeong shows decrease in precipitation by the relocation from windward slope to hilly coastal area. Wind speed in Gunsan with the relocation from coastal to inland area decreased due to influence of neighboring hills. Shadow effect by neighboring building or vegetation can be attributed to changes in duration of sunshine in Gwangju and Wonju.

Key Words : climate data, weather station relocation, topographic relief, land cover, local climate factor

주요어 : 기후 자료, 기상 관측소 이전, 지형 기복, 토지 피복, 국지 기후 요인

1. 서론

기온, 강수량, 습도, 기압, 풍속과 같은 기상 및 기후 자료는 기상 관측소(weather station, meteo-

rology station)에서 관측을 통해 얻어진다. 기상 관측소는 기상 관측에 필요한 시설과 장비를 갖추고 지표 부근의 대기 상태를 관측하는 곳이다. 기상 관측소에서 측정된 기상 및 기후 요소는 관측

소의 위치에 따라, 해발고도, 지형, 주변 토지 피복 상태 등 기상 및 기후 현상에 영향을 미치는 지리적 인자들이 달라진다. 즉, 기상 관측 자료에는 온실 기체에 의한 광역적인 기후 변화뿐만 아니라 도시화, 기상 관측소 이전, 댐 건설 등 기상 관측소 주변 지역의 환경 변화의 영향도 포함하고 있다(Hung, 2009; Kim *et al.*, 2010).

도시, 습지와 같은 작은 공간 규모에서 나타나는 국지 기후(local climate)는 지역의 지형 기복, 사면 경사와 향, 알베도, 국지풍 등과 같은 국지적인 지표 및 대기 조건에 의해 영향을 받는다(Mayhew, 2009). 따라서 관측소의 이동은 국지 기후 요인의 변화에 따른 기후 자료의 균질성과 연속성에 문제를 유발하므로, 국지 기후 변화를 분석하는데 있어 신뢰성과 정확성을 떨어뜨린다(Hung, 2009; Mamara *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2013; ZhongWei *et al.*, 2014).

관측소 이전에 따른 기후 자료의 신뢰성에 대한 연구는 종종 이루어졌다. Ryoo *et al.*(2006)은 서울, 부산, 대구, 광주, 강릉의 5개 지점을 대상으로, 이전 전후의 기온, 증발량, 풍속 자료를 분석한 결과, 이전 후에 모든 지점에서 풍속과 증발량의 감소가 나타났다고 하였다. Kim and Lee(2007)는 충주 기상 관측소의 자료를 대상으로 관측소 이전 전후의 기상 요소의 변화를 살펴본 결과, 기온, 상대습도, 안개일수, 풍향이 변화하였음을 증명하였다. Hung(2009)은 대만의 기상 관측소 이전이 이루어지지 않은 Tansui 지점과 기상 관측소가 이전한 Taipei 지점 사이에 온도 편차가 발생함을 증명하였다. 또한 관측소 이전뿐 아니라 관측 시간, 관측 기기의 변화도 기온 자료의 균질성에 영향을 미칠 수 있다고 제시하였다. 그리고 Kim *et al.*(2010)은 우리나라 60개 지점에서 관측한 기온, 상대습도, 바람 자료를 대상으로 분석한 결과, 완도, 진주와 같이 기상 관측소가 해안의 영향을 덜

받는 곳이나 시 외곽으로 이전한 지점은 이전 후에 최고 기온이 상승되고 최저 기온은 하강되어 일교차가 크게 증대된 반면, 원주, 대전과 같이 해안가나 하천 부근으로 이전한 관측소는 이전 후 해풍의 영향으로 최고 기온은 큰 변화가 없으나 최저 기온이 상승되어 일교차가 감소되었다고 제시하였다. 마지막으로 Yang *et al.*(2013)은 중국 Anhui 성의 52개 관측소를 대상으로, 도시화와 관측소 이전이 기온 자료에 미치는 영향을 연구하여, 장기적인 기후 변화를 해석하는데 있어 도시 외곽으로 이전한 관측소의 자료는 연속성과 균질성에 영향을 미친다고 설명하였다.

우리나라에는 2014년 1월 현재, 기상청과 기상대를 포함해 79개의 기상 관측소가 운영 중이다. 이 가운데 서울, 부산, 광주, 목포 등 40개가 넘는 기상 관측소가 위치를 이전하였다(Kim and Lee, 2007). 특히 역사가 오래된 1980년대 이전에 설치된 62개 기상 관측소 중에서 34개에 달하는 관측소가 이전하였는데, 대체로 청사 신축과 함께 도심에서 벗어나 신시가지나 근교로 이전한 경우가 많다. 이렇게 주변 환경이 변화된 이전 기상 관측소의 자료를 보정 없이 그대로 분석한다면, 관측소 이전이라는 변수를 고려하지 않아 실제 해당 지역의 기후 변화 양상과는 전혀 다른 결과가 도출되는 자료 분석의 오류를 범할 수 있다. 그러나 기상 관측소의 이전에 따른 국지적인 기후 인자의 변화와 기후 자료와의 상관관계에 대해서는 그리 많은 연구가 이루어지지 않았다. 또한 그간의 연구들은 기상학적 관점에서 기상 자료의 연속성과 균질성 연구에 초점을 두었기 때문에, 관측소 이전에 따른 주변 지표 환경이나 지형과 같은 지리적인 조건의 변화가 관측 값에 미치는 영향에 대한 공간·통계적인 분석은 거의 이루어지지 않았다.

본 연구는 국지 기후적인 공간 규모에서 우리나라에 기상 관측소의 이전으로 인한 지리적 기후 자

료의 변이에 대한 공간적인 분석을 실시하였다. 이를 위해, 관측소 이전이 이루어진 12개 기상 관측소 입지 지역을 대상으로, 이전 전과 후의 위치, 고도, 지형 기복, 토지 피복과 같은 지리적 요인의 변화에 대한 공간 분석을 실시하였다. 그리고 관측소의 이전이 이루어진 지점과 이와 인접한 이전이 이루어지지 않은 지점의 기온, 강수, 바람 등 기후 요소의 변화를 비교·분석하여, 관측소 이전으로 야기된 기후 자료의 변이를 분석하였다. 마지막으로 각 지점별로 국지 기후 자료의 변이와 지리적 기후 요인 사이의 상호관계를 종합적으로 분석하였다.

2. 연구 지역과 연구 방법

1) 연구 대상 지역

연구 대상은 속초, 원주, 충주, 천안, 보령, 대전, 군산, 광주, 목포, 구미, 창원, 진주의 12개 기상 관측소로 선정하였다(Figure 1, Table 1). 이들

Figure 1. Study sites.

지역은 관측소 이전 전후 주변 지역의 항공사진, 지형도 등의 지리 정보를 획득할 수 있고, 관측소 이전 전후의 기후 자료가 최소 10년 이상 확보될 수 있는 지역 중에서도, 기상청 홈페이지나 인터

Table 1. Study sites and comparison sites.

Study sites			Comparison station name (distance to study site, km)
Station name	Relocation time	Relocation distance (km)	
Sokcho	1988.12.	5.4	Inje(40.8), Gangneung(55.7)
Wonju	1986.11.	2.7	Jecheon(29.6), Hongcheon(38.9), Chungju(40.7), Yangpyeong(43.4)
Chungju	2001.06.	5.9	Jecheon(30.0), Wonju(40.7), Mungyeong(41.9)
Cheonan	1997.10.	11.2	Cheongju(32.8), Suwon(55.9)
Boryeong	1995.10.	4.2	Buyeo(33.2), Jeonju(73.8)
Daejeon	1995.04.	7.5	Cheongju(30.3), Geumsan(31.2), Boeun(34.9), Buyeo(42.0)
Gunsan	2003.12.	5.2	Buan(30.9), Buyeo(32.9), Jeonju(36.9), Jeongeup(50.0)
Gwangju	1992.05.	3.4	Jeongeup(43.5), Goheung(70.8)
Mokpo	1997.10.	3.2	Haenam(33.9), Goheung(84.8)
Gumi	1994.11.	11.7	Chupungryeong(31.0), Daegu(38.3), Uiseong(41.5)
Changwon	2004.12.	2.3	Geoje(31.4), Tongyeong(38.2), Milyang(38.9), Busan(42.5)
Jinju	2005.01.	8.7	Sancheong(31.3), Namhae(39.9)

넷 자료를 통해 이전 전후 관측소의 위치를 정확하게 확인할 수 있는 곳이다. 그리고 이들 기상 관측소와 직선거리 50~80km 이내에 위치한 2개 이상의 인접 기상 관측소 중에서 연구 대상 관측소가 이전한 시점 전후 10년의 시기 동안 관측소의 위치 변화가 없었던 지점을 파악하여, 연구 대상 지점과의 기후 자료의 연속성과 균질성을 비교하고 검증하기 위한 비교 관측소로 선정하였다(Figure 1, Table 1).

2) 연구 방법

먼저, 관측소 이전으로 발생한 국지 기후 자료의 변이 원인을 파악하기 위해, 관측소 이전 전후의 위치, 지형 기복, 토지 피복 현황을 분석하였다. 관측소의 위경도와 고도 등의 위치 정보는 기상청 자료(Korea Meteorological Administration)와 구글 어스(Google Earth)를 통해 수집하였다. 지형 기복 특성은 Lee(2015)에 의해 제시된 비고와 기복량을 측정하였는데, 비고는 관측소가 위치한 지점과 주변 지역의 고도 차이이며, 기복량은 주변 지역에서 나타나는 고도차의 정도를 의미한다. 비고와 기복량은 1:25,000 수치 지형도를 토대로 ArcGIS 프로그램을 이용해 DEM을 작성한 후, 지형 분석 기법을 통해 산출하였다. 비고와 기복량의 분석은 12개 관측소 중에서 이전 거리가 가장 짧은 창원의 2.3km를 감안하여, 자료의 공간적 중복을 피하기 위해 관측소를 중심으로 반경 2km 범위의 면적을 대상으로 하였다.

관측소 일대의 토지 피복의 변화를 파악하기 위해, 각 지역에서 관측소 이전 전후 시기에 촬영되거나 편집된 항공사진, 지형도, 수치지형도를 토대로, ArcGIS 프로그램을 이용해 해당 시기의 토지 피복도를 제작하였다. 토지 피복은 지형 특성에 비해 공간 규모가 작은 기후 요인이라는 점에서, 관측소를 중심으로 반경 1km 범위 지역을 대

상으로 작성하였다. 토지 피복도의 범례는 1) 포장 지역, 2) 건조 지역, 3) 농경지, 4) 산림, 5) 초지, 6) 수역, 7) 군사 지역 및 기타로 구분하였다. 포장 지역에는 시가지, 도로, 어항 등을, 건조 지역에는 촌락, 나지, 학교, 철도, 제방, 해변, 암석해안 등을, 초지에는 초지, 습지, 소하천, 하천 둔치, 상부 조간대 등을 포함하였다. 이렇게 제작된 토지 피복도를 기반으로 ArcGIS 프로그램을 이용하여 관측소 이전 전과 후의 주변 토지 피복 현황의 변화를 분석하였다.

다음으로, 12개 연구 대상 관측소와 비교 관측소를 대상으로 관측소 이전 연도를 제외한, 전후 각 10년 동안의 기후 자료를 비교 분석하였다. 분석한 기후 자료는 기상청 국가기후자료 센터(National Climate Data Service System)를 통해 수집한 일 최고 기온, 평균 기온, 일 최저 기온, 연 강수량, 평균 풍속, 최대 풍향, 상대 습도, 일조 시간이다. 이들 8개 기후 자료를 대상으로 관측소의 위치가 변화하지 않은 인접한 비교 관측소 자료의 평균 값과의 비교를 통해서 연구 대상 관측소의 이전 시점 전후 10년 동안에 발생한 기후 자료의 변이 경향과 정도를 계산하고 분석하였다. 이로써, 관측소 이전이라는 변수를 통해 발생한 각 지역의 국지 기후 자료의 변이 특성을 파악하였다.

마지막으로, 12개 각 지점별로, 기후 자료 변이에 영향을 미치는 관측소와 주변의 위치, 지형, 토지 피복 자료와 기온, 강수, 바람 등의 기후 요소 자료와의 상호관계를 토대로, 관측소 이전에 따른 기후 자료의 변이 원인을 종합 분석하였다.

3. 관측소 이전에 의한 기후 인자의 변화

1) 위치와 지형 기록의 변화

위도는 태양의 입사각, 낮의 길이, 태양 복사에너지가 대기를 통과하는 거리에 영향을 미쳐 일사량과 기온의 변화를 유발하는(Barry and Chorley, 2003; Aguado and Burt, 2006; Lee, 2007) 중요한 요인이다. 기상 관측소는 해당 지역의 기상 및 기후 자료를 대표하는 지점이기 때문에, 자료의 균질성을 고려하여, 우리나라에서 기상 관측소의 이전은 대부분 위도 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 정도의 짧은 거리에서 이루어졌다(Table 2). 그러나 구미 관측소는 구미시 선산읍에서 남쪽의 남통동으로 이전하면서, 위도가 $6^{\circ}11'$ 감소하여 남남동쪽으로 약 11.7km가 이동한 가장 큰 거리 변화를 나타냈다(Table 1, 2). 반면, 대전 관측소는 이전 후에 위도가 $3^{\circ}42'$ 증가하여, 북쪽으로 가장 멀리 이전한 관측소이다.

경도는 일출과 일몰 시각을 좌우하며, 위도에 비
해 상대적으로 기후에 미치는 영향이 미미한 요인

이다. 12개 이전 관측소 중에서 경도 변화가 가장 큰 곳은 천안으로 이전 후 경도가 7'32" 증가하여 동쪽으로 약 11.2km 이동하였다.

해발고도는 공기의 밀도 변화와 지구 복사에너지 흡수량의 차이를 유발하여 기온에 미치는 영향이 크고, 수증기량의 변화에 따른 운량과 강수량에도 변화를 유발하며, 지형적 장애물의 유무에 따라 바람에도 영향을 미친다(Barry and Chorley, 2003; O'Hare *et al.*, 2005; Aguado and Burt, 2006; Ahrens, 2006; Lee, 2007). 그러나 12개 관측소 모두 해발고도의 변화가 50m 미만에서 이루어져서, 고도 변화로 인한 뚜렷한 국지 기후 변화를 예상하기 어렵다(Table 2). 해발고도가 가장 크게 변화한 곳은 충주로서 이전 후 해발고도가 45m 상승하였고, 다음으로는 창원이 29m 상승하였으며, 원주와 보령은 모두 해발고도가 13m 하강하였다.

국지 기후에 있어, 경사, 사면 향, 기복 등 지표의 형상은 태양의 입사각의 차이와 지형에 의한 장벽 효과(barrier effect)를 일으켜, 기온, 강수,

Table 2. Before and after locations at 12 relocated weather station.

[illegible]

Table 3. Topographic changes by relocation of 12 weather stations.

Stations	Relative height(m)			Amount of relief(m)		
	Before	After	Difference(Δ)	Before	After	Difference(Δ)
Sokcho	11.9	6.0	-5.9	7.7	9.0	1.3
Wonju	-22.6	-3.7	18.9	38.9	18.0	-20.9
Chungju	-16.4	-63.1	-46.7	29.8	102.2	72.4
Cheonan	4.4	-15.2	-19.6	17.0	20.6	3.6
Boryeong	-8.8	-15.7	-6.9	25.6	24.6	-1.0
Daejeon	-34.8	16.3	51.1	74.9	21.0	-53.9
Gunsan	6.5	4.3	-2.2	17.5	24.9	7.4
Gwangju	13.9	34.8	20.9	11.2	9.6	-1.6
Mokpo	13.7	27.6	13.9	26.7	12.7	-14.0
Gumi	-14.1	-24.6	-10.5	32.4	44.9	12.5
Changwon	-46.8	-3.0	43.8	84.1	59.1	-25.0
Jinju	-10.4	-23.5	-13.1	17.8	25.7	7.9

Figure 2. Topography around Chungju site.

Figure 3. Topography around Daejeon site.

바람 등 많은 기후 요소의 변화를 유발한다(Barry and Chorley, 2003; O'Hare *et al.*, 2005; Ahrens, 2006; Lee, 2015). 12개 이전 관측소의 지형 변화를 파악하기 위해, 관측소에서 반경 2km 범위 지역의 평균 고도에 대한 관측소가 위치한 지점의 고도 차이인 비고와 관측소 주변 2km 지역 내 각 지점의 고도차의 정도를 의미하는 기복량을 분석하였다

(Table 3).

기상 관측소 이전으로 인해 지형의 변화가 크게 나타난 곳은 충주, 대전, 창원이다. 충주는 관측소 이전으로 인해 평균 고도에 대한 관측소의 고도인 비고는 작아지고 주변 지역의 고도 차이인 기복량은 커졌다. 충주는 관측소 이전 후에 비고가 46.7m 작아졌고, 기복량은 72.4m 커져 기복량의

변화가 12개 지역 중 가장 큰 것으로 나타났다. 충주 기상 관측소는 달천 하류의 넓고 평탄한 범람원 상에서 계명산(774m)과 남산(636m) 사이의 산록 하단부 곡지로 이전함으로서, 기복량이 증가하고 비고가 감소하여 주변의 높은 산지로 관측소가 둘러싸인 극단적으로 오목한 지형 구조로 변화하게 되었다(Figure 2).

반면, 대전과 창원은 관측소 이전으로 비고가 높아지고 기복량이 낮아졌다. 대전은 관측소 이전 이후 비고가 51.1m 높아지고, 주변 지역의 기복량은 53.9m 낮아졌다. 이전 전의 대전 기상 관측소는 보문산 남사면 산록 하단부에서 위치하여 상대적으로 주변에 비해 낮은 고도에 위치하였으나, 갑천 하안의 구릉지로 이전하면서 관측소의 비고가 상대적으로 상승하고 기복량은 작아져서, 관측소의 주변 지역이 상대적으로 볼록한 지형 구조를 이루게 되었다. 또한 창원도 주변 지역에 대한 관측소의 비고가 43.8m 커지고 기복량은 25.0m 작아졌다. 창원 기상 관측소는 마산만의 평탄한 해안에서 남쪽의 구릉 남사면 산록으로 이전하여 비고가 커지고 기복량이 작아지면서, 관측소 이전으로 인해 상대적으로 볼록한 지형 구조로 변화하였다.

2) 토지 피복의 변화

지표의 피복 또는 토지 이용 상태는 알베도(albedo), 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). 12개 기상 관측소에서 관측소 이전에 따른 반경 1km 범위 지역에 대한 토지 피복 현황의 변화는 Table 4와 같다.

관측소 이전으로 인해 모든 지역에서 토지 피복의 변화가 발생하였으며, 그 중에서 변화가 매우 큰 곳은 속초, 천안, 창원이다(Figure 4). 속초는 1988년 도심인 속초시 중앙동에서 농어촌 지역인 고성군 토성면 봉포리로 기상 관측소가 이전함에 따라, 시가지와 같은 포장 지역의 면적이 1,338km²에서 0.060km²로 1,278km² 감소하고, 산림의 면적은 0.190km²에서 0.886km²로 0.696km² 증가하였다. 기상 관측소의 이전으로 속초에서는 도시 경관에 해당하는 포장 지역과 건조 지역을 합한 면적이 전체 면적의 49.2%에 해당하는 1,545km² 감소하였고, 반대로 농촌 경관에 해당하는 농경지, 산림, 초지, 수역의 면적도 1,545km² 증가하는 큰 변화가 나타났다.

천안은 시가지인 아산시 실옥동에서 농촌 경관인 천안시 신방동의 하천 주변으로 기상 관측소가 이전하면서, 건조 지역의 면적이 1,158km²에서 0.294km²로 약 0.864km² 감소하고, 농경지의 면적은 1,373km²에서 2,022km²로 약 0.649km² 증가하였다. 이에 따라 천안에서는 관측소 이전에 의해 전체 면적의 38.9%에 해당하는 1,222km²의 도시 경관이 농촌 경관으로 변화하였다.

창원은 과거 마산의 도심에 위치하던 기상 관측소를 2004년 시가지 남쪽의 교외 구릉지로 이전하면서 포장 지역의 면적이 1,850km²에서 0.192km²로 약 1.658km² 감소하고, 산림의 면적은 0.196km²에서 1.089km²로 약 0.893km² 증가하였다. 이로서 창원에서는 기상 관측소의 이전으로 인해 전체 면적의 40.2%에 해당하는 1,262km²의 도시 경관이 농촌 경관으로 변화하였다.

속초, 천안, 창원뿐 아니라 대전, 군산, 목포 또한 기상 관측소 이전으로 인해 토지 피복이 도시 경관에서 농촌 경관으로 변화한 지역이다. 대전에서는 전체 면적의 35.0%인 1,100km², 군산에서는 32.3%인 1,014km², 목포에서는 26.6%인 0.834km²

Table 4. The areal changes(km²) of land cover patterns by relocated weather station.

		Impermeable areas	Dry lands	Farmlands	Forests	Grass lands	Waters
Sokcho	Before	1,338	0,570	0,031	0,190	0,010	1,003
	After	0,060	0,305	0,578	0,886	0,111	1,202
	Δ%	-95.6	-19.8	40.9	52.0	7.5	14.9
Wonju	Before	0,115	0,479	1,544	0,489	0,137	0,019
	After	0,959	0,706	1,110	0,367	0,000	0,000
	Δ%	63.0	17.0	-32.5	-9.1	-10.2	-1.4
Chungju	Before	0,101	0,275	1,955	0,219	0,237	0,355
	After	0,468	0,240	2,257	0,151	0,024	0,000
	Δ%	27.5	-2.6	22.6	-5.1	-15.9	-26.5
Cheonan	Before	0,419	1,158	1,373	0,187	0,004	0,000
	After	0,061	0,294	2,022	0,634	0,079	0,052
	Δ%	-26.8	-64.6	48.5	33.4	5.6	3.9
Boryeong	Before	0,269	0,200	2,274	0,077	0,320	0,000
	After	0,065	0,051	1,713	1,286	0,027	0,000
	Δ%	-15.3	-11.2	-42.0	90.4	-21.9	0.0
Daejeon	Before	1,683	0,341	0,513	0,604	0,000	0,000
	After	0,194	0,730	1,058	0,818	0,211	0,131
	Δ%	-111.3	29.1	40.7	16.0	15.8	9.8
Gunsan	Before	1,004	0,317	0,000	0,285	0,000	1,536
	After	0,110	0,196	1,159	1,139	0,195	0,343
	Δ%	-66.8	-9.0	86.6	63.8	14.5	-89.2
Gwangju	Before	2,203	0,208	0,344	0,323	0,036	0,028
	After	1,521	0,587	0,515	0,353	0,103	0,062
	Δ%	-51.0	28.4	12.8	2.2	5.0	2.5
Mokpo	Before	1,835	0,332	0,030	0,577	0,000	0,367
	After	0,941	0,391	0,905	0,419	0,159	0,326
	Δ%	-66.8	4.4	65.4	-11.8	11.9	-3.0
Gumi	Before	0,220	0,222	2,460	0,175	0,065	0,000
	After	0,586	0,416	0,974	0,933	0,223	0,009
	Δ%	27.4	14.5	-111.0	56.6	11.9	0.7
Changwon	Before	1,850	0,093	0,033	0,196	0,000	0,970
	After	0,192	0,488	0,044	1,089	0,006	1,322
	Δ%	-123.9	29.5	0.8	66.8	0.4	26.3
Jinju	Before	0,130	0,735	1,559	0,235	0,224	0,259
	After	0,163	0,548	0,754	0,855	0,060	0,761
	Δ%	2.5	-14.0	-60.2	46.3	-12.2	37.6

면적의 도시 경관이 농촌 경관으로 대체되었다.

이에 반해, 원주와 구미는 기상 관측소가 농촌 경관에서 도시 경관으로 이전한 지역이다(Figure 4). 원주는 1986년 농촌 지역이었던 판부면 면사

무소에서 도심 주변에 신시가지로 조성된 명륜동으로 기상 관측소가 이전하였다. 이로 인해, 원주에서는 포장 지역이 0.115km²에서 0.959km²로 0.844 km² 증가하고, 농경지는 1.110km²에서 1.544km²으로

Figure 4. The changes of land cover at 8 sites by weather station relocation.

0.434km² 감소하는 등의 변화가 나타나면서, 전체 면적의 34.1%인 1,070km² 면적의 농촌 경관이 도시 경관으로 변화하였다.

구미는 선산을 이문리의 농촌 지역에서 신시가 지인 남통동으로 기상 관측소가 이전하면서, 포장 지역과 건조 지역의 면적이 각각 0.220km², 0.222

km²에서 0.586km², 0.416km²로 증가하였고, 농경지는 2,460km²에서 0.974km²로 감소하였다. 구미는 관측소에 이전에 따라 전체 면적의 17.8%인 0.560km²의 면적이 농촌 경관에서 도시 경관으로 변화되었다.

이들 8개 지역에 비해, 보령, 충주, 광주, 진주는 상대적으로 토지 피복의 변화가 크지 않은 편이

다. 보령은 기상 관측소 이전으로 인해 산림의 면적이 0.077km^2 에서 1.286km^2 로 크게 증가하였지만, 전체적으로 보면 0.354km^2 면적의 도시 경관이 농촌 경관으로 변화하였다. 충주는 관측소 이전으로 포장 지역이 0.101km^2 에서 0.468km^2 로 다소 증가하였지만, 전체적으로 0.333km^2 면적의 농촌 경관이 도시 경관으로 변화하였다. 광주와 진주는 이보다 적은 각각 0.302km^2 와 0.154km^2 면적의 도시 경관이 농촌 경관으로 변화하였다.

한편, 진주, 충주, 대전은 바다와 접하지 않은 내륙 지역임에도 수역의 비율이 증감하였다(Figure 4). 진주는 시가지의 하류 쪽에 위치한 남강의 범람원에서 상류 쪽의 남강댐 바로 아래로 기상 관측소가 이전하면서 진양호에 의한 영향으로 수역이 0.503km^2 증가하였다. 충주는 달천 하류의 범람원에서 분지 내 곡저로 관측소가 이동하면서 수역의 면적이 0.355km^2 감소하였다. 그리고 대전 기상 관측소는 산록 하단부에서 갑천 하안의 구릉지로 이전하면서 수역의 면적이 0.131km^2 증가하였다.

4. 관측소 이전에 의한 기후 자료의 변이

위치가 변동된 12개 기상 관측소에서 관측소 이전에 따른 기후 자료의 변이를 파악하였다. 이를 위해, 이전 관측소와 비교 관측소에서 관측소 이전 전후 10년 동안 관측된 각 기후 요소의 변화 경향을 비교하고, 각 기후 요소에 대해 비교 관측소의 평균 기후 값을 기준으로 하여 이전 관측소에서 나타나는 이전 전후 10년 평균 기후 자료의 변화량을 계산한 결과는 Table 5와 같다.

1) 기온 자료의 변이

12개 연구 대상 지역과 같은 도시 지역에서 국지 기후 규모의 기온 변화를 유발하는 가장 큰 요인은 도시화이다(Souch and Grimmond, 2006). 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 방출

Table 5. The variations of climate data at 12 study weather stations in 10 years before and after relocation compared to average of comparison stations.

	Max. temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Mean temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Min. temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Precipitation (mm)	Wind speed (m/s)	Relative humidity (%)	Sunshine duration (hr.)
Sokcho	0.06	0.00	-1.35	70	-0.11	3.15	7
Wonju	0.56	0.61	1.83	-76	-0.26	0.45	-536
Chungju	0.45	0.09	-0.42	-100	-0.06	-0.07	-252
Cheonan	-0.60	-0.69	-2.45	16	0.17	2.00	-40
Boryeong	0.23	0.06	1.07	-113	-0.13	-1.80	-138
Daejeon	-0.16	-0.15	-1.50	127	0.22	4.38	126
Gunsan	-0.01	-0.41	-2.21	54	-1.51	5.38	164
Gwangju	0.54	0.30	-0.19	-32	-0.17	2.75	414
Mokpo	0.36	-0.29	-0.80	-5	-0.72	7.25	93
Gumi	0.51	0.66	1.89	27	-0.14	-1.73	-16
Changwon	-0.77	-0.53	-0.63	113	-0.10	0.67	174
Jinju	-0.50	-0.20	0.11	123	-0.59	-2.20	194

이 증가하는 등의 요인으로 인해, 연 평균 기온이 0.5~1.0℃ 이상 상승하였다(Yun, 2002; O'Hare *et al.*, 2005; Chung *et al.*, 2004; Seto and Shepherd, 2009; Hu and Jia, 2010; Middel *et al.*, 2010; Ahn *et al.*, 2010; Cui and Shi, 2012; Janković and Hebbert, 2012; Kim and Yeom, 2012; Misra *et al.*, 2012; Park and Tak, 2013; Li *et al.*, 2013; Robaa, 2013).

관측소의 위치가 변동된 12개 연구 대상 기상 관측소를 대상으로, 일 최고 기온 최고, 연 평균 기온, 일 최저 기온 최저 값을 위치가 변동되지 않은 인접 관측소의 값과 비교·분석한 결과, 속초, 원주, 천안, 군산, 광주, 구미, 창원, 진주에서 유의한 변화가 나타났다(Table 5, Figure 5). 원주, 광주, 구미는 관측소 이전으로 인해 대체로 기온이 상승하였고, 속초, 천안, 군산, 창원, 진주는 관측소 이전 후에 대체로 기온이 하강하였다. 이 중에서도 기온의 변화가 가장 뚜렷하게 나타나는 곳은 원주, 구미, 천안, 창원 관측소이다.

원주는 인접한 제천, 홍천, 충주, 양평 관측소의 자료의 이전 전후 10년 평균값과 비교할 때, 관측소 이전으로 인해 최고 기온은 0.56℃, 평균 기온은 0.61℃, 최저 기온은 1.83℃ 상승하였다. 구미도

원주와 마찬가지로 관측소 이전으로 인해 기온 상승이 뚜렷하게 나타나서, 인접한 추풍령, 대구, 의성 관측소 자료의 이전 전후 10년 평균값과 비교할 때, 관측소 이전으로 인해 최고 기온 0.514℃, 평균 기온 0.66℃, 최저 기온 1.89℃의 상승을 나타냈다.

반면, 천안은 인접한 청주, 수원 관측소 자료의 10년 평균과 비교하여, 관측소 이전으로 인해 최고 기온 0.60℃, 평균 기온 0.69℃, 최저 기온 2.45℃가 하강하여, 가장 큰 기온 하강을 보였다. 또한 창원도 거제, 통영, 밀양, 부산 관측소의 10년 평균과 비교하여, 관측소 이전으로 최고 기온이 0.77℃, 평균 기온이 0.53℃, 최저 기온이 0.63℃ 하강한 것으로 나타났다.

2) 강수와 바람 자료의 변이

연구 대상 지역과 같이 도시에서는 대기오염 물질과 에어로졸과 같은 응결핵의 증가로 인해 운량과 강수량이 증가하는 경향이 있다(Souch and Grimmond, 2006). 한편 관측소 이전에 따른 주변 지형의 구조와 방향 배치의 변화와 토지 피복의 변화에 따른 기온의 변화는 국지적인 기압의 차이와 풍향 및 풍속의 변화를 유발하고, 국지적

Figure 5. Major temperature changes sites by weather station relocation (null value years at center of graph is relocation time).

Figure 6. Major changes sites of precipitation and wind speed by weather station relocation (null value years at center of graph is relocation time).

인 지형성 강수의 조건에 변화를 일으켜 강수량에도 영향을 미칠 수 있다(Van Hooff and Blocken, 2010; Guo *et al.*, 2011; Cui and Shi, 2012; Robaa, 2013).

관측소 이전에 따른 연 강수량의 변화는 충주, 보령, 대전, 창원, 진주에서 상대적으로 크게 나타났다(Table 5, Figure 6). 관측소 이전 전후 10년 평균 연 강수량의 변화량이 가장 큰 곳은 대전으로, 인접한 청주, 금산, 보령, 부여 관측소의 10년 평균값과 비교할 때 관측소 이전으로 인해 연 강수량이 127mm 증가하였다. 진주 관측소도 인접한 산청, 남해 관측소의 평균값과 비교할 때, 이전 후에 연 강수량이 123mm 증가하였고, 창원 관측소도 인접한 거제, 통영, 밀양, 부산 관측소의 평균값과 비교할 때, 이전 후에 강수량이 113mm 증가하였다.

이에 반해, 보령은 인접한 부여, 전주 관측소의 평균값과 비교할 때, 관측소 이전으로 인해 연 강수량이 113mm 감소하여 가장 큰 강수량 감소를 보였으며, 충주는 인접한 제천, 원주, 문경 관측소의 평균값에 비해 연 강수량이 100mm 감소하였다.

연 평균 풍속은 다른 기후 요소에 비해 상대적으로 관측소 이전으로 인한 자료의 변화 정도가 심하지 않았다. 관측소 이전으로 인해 풍속이 뚜렷하게 증가한 곳은 나타나지 않았고, 단지 군산 관측소에서는 이전 이후 연 평균 풍속의 뚜렷한 감소가 나타났다(Table 5, Figure 6). 군산 관측소는 인접한 부안, 부여, 전주, 정읍 관측소의 10년 평균값과 비교할 때, 관측소 이전 이후 평균 풍속이 1.51% 감소한 것으로 나타났다.

Figure 7. Major changes sites of humidity and sunshine duration by weather station relocation (null value years at center of graph is relocation time).

3) 습도와 일조 시간 자료의 변이

국지 기후 규모에서 습도는 지표의 증발산 작용과 기온에 의한 영향이 크며(Um *et al.*, 2007; Rim, 2009; Ko and Lee, 2013), 일조시간의 변화는 구름이나 장애물에 의한 태양 광선의 차단이 가장 큰 원인이다(Matzarakis and Katsoulis, 2006; Matuszko, 2012). 따라서 습도와 일조의 변화는 관측소 이전에 따른 토지 피복과 지형 조건의 변화 모두 중요한 영향을 미칠 것으로 판단된다.

관측소 이전으로 인해 연 평균 상대습도가 크게 변화한 지역은 대전, 군산, 목포, 진주이다(Table 5, Figure 7). 변화가 가장 큰 곳은 목포로서 인접한 해남, 고흥 관측소의 10년 평균값과 비교할 때, 관측소 이전 후에 연 평균 상대습도가 약 7.3% 상승한 것으로 나타났다. 또한 군산은 인접한 부안, 부여, 전주, 정읍 관측소의 10년 평균값과 비교할 때, 이전 후에 상대습도가 5.4% 증가하였고, 대전은 인접한 청주, 금산, 보령, 부여 관측소와 비교하여, 이전 후에 상대습도가 4.4% 증가하였다. 이와 반대로 진주는 인접한 산청, 남해 관측소의 10

년 평균값과 비교해서 관측소 이전 후에 상대습도가 2.2% 감소하였다.

연 일조시간은 원주와 광주에서 관측소 이전 후에 크게 변화하였다(Table 5, Figure 7). 원주는 관측소 이전 전후 10년 동안 인접한 제천, 홍천, 충주, 양평 관측소의 평균값과 비교할 때, 관측소 이전 후에 연 일조시간이 536시간 감소하였다. 이에 비해, 광주는 인접한 정읍, 고흥 관측소의 10년 동안의 평균값과 비교할 때, 관측소 이전 후에 연 일조시간이 414시간 증가한 것으로 나타났다.

5. 지점별 기후 자료 변이의 원인

위치가 이전된 12개 기상 관측소에서 관측소 이전으로 인한 기후 자료 변이의 원인을 파악하기 위해서, 위치, 지형, 토지 피복 등의 지리적인 기후 요인의 변화와 기온, 강수, 바람, 습도, 일조 등 기후 자료 변화 사이의 관계를 종합 고찰하였다(Table 6).

Table 6. The summary on variations of climate data at 12 study weather stations in 10 years before and after relocation.

	Relocation type	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Precipitation(mm)	Wind speed (m/s)	Sunshine duration (hr.)
Sokcho	urban → rural	↓	↑	↑	—	—
Wonju	rural → urban	↗	—	↓	↓	↘
Chungju	plain → basin	—	—	↘	—	↓
Cheonan	urban → rural	↘	↑	—	—	—
Boryeong	slope → coast	↑	↓	↘	—	↓
Daejeon	urban → suburban	↘	↗	↗	↑	↑
Gunsan	urban → rural	↘	↗	↑	↘	↑
Gwangju	urban → suburban	↑	↑	—	—	↗
Mokpo	urban → suburban	—	↗	—	↓	—
Gumi	rural → urban	↗	↓	—	—	—
Changwon	urban → rural	↘	—	↗	—	↑
Jinju	plain → lake	↓	↘	↗	↓	↑

↗: big rise, ↑: rise, —: no change, ↓: drop, ↘: big drop

관측소 이전에 따른 기온 변화와 토지 피복 변화 사이의 관계는 원주, 구미, 속초, 창원, 천안, 대전, 군산, 목포에서 잘 나타난다. 먼저, 원주와 구미는 관측소 이전으로 인해 도시화의 특징을 갖는 토지 피복으로 변화된 곳으로, 전체의 약 34%와 18%에 해당하는 면적이 관측소 이전으로 인해 농촌 경관에서 도시 경관으로 변화되었다. 그리고 두 지점 모두 관측소 이전 후에 최고, 평균, 최저 기온이 모두 상승하여, 평균적으로 원주는 1.00℃, 구미는 1.02℃의 기온 상승이 나타났다. 따라서 원주와 구미는 관측소 이전으로 인해 포장 지역과 건조 지역이 증가하고 산림과 농경지는 감소하면서, 이러한 도시 경관으로의 토지 피복 변화가 기온 상승을 초래한 것으로 판단된다.

이에 반해, 속초, 창원, 천안, 대전, 군산, 목포는 기상 관측소가 교외로 이전하면서 주변 토지 피복 현황에서 도시화가 약화된 대표적인 지역이다. 관측소 이전 후에 속초는 전체의 약 49%, 창원은 약 40%, 천안은 약 39%, 대전은 약 35%, 군산은 약 32%, 목포는 약 27% 면적이 농촌 경관에서 도시 경관으로 변화되었다. 그리고 이들 지역 모두 관측소 이전 후에 기온의 하강이 뚜렷하게 나타나고 있어서, 최고, 평균, 최저 기온을 평균하여 속초는 0.43℃, 창원은 0.64℃, 천안은 1.24℃, 대전은 0.68℃, 군산은 0.87℃, 목포는 0.25℃ 하강한 결과가 나타났다. 따라서 관측소 이전으로 인해 토지 피복 중에서도 도시 경관에 해당하는 포장 및 건조 지역의 면적과 농촌 경관에 해당하는 농경지, 산림, 초지, 수역 면적의 변화는 지역의 열 수지에 미치는 영향이 매우 커서 실제로 관측 기온의 변이를 초래하고 있음을 잘 보여준다.

관측소 이전에 따른 토지 피복의 변화 중에서도 농경지의 증감은 상대 습도의 변화와 상관성이 높은 것으로 보인다. 그 증거로서, 관측소 이전 후에 상대습도가 크게 상승한 목포, 군산, 대전은 관측

소 이전 후에 모두 농경지의 증가가 두드러진 곳이다. 관측소 이전 후에 연 평균 상대습도가 7.25% 증가한 목포는 관측소 이전으로 농경지가 0.030km²에서 0.905km²로 약 29배 증가하였다. 또한 관측소 이전 후에 상대습도가 5.38% 증가한 군산은 농경지가 0.000km²에서 1.159km²로 증가하였으며, 상대습도가 4.38% 증가한 대전도 농경지가 0.513km²에서 1.058km²로 증가하였다. 이와 반대로 진주는 관측소 이전으로 인해 상대습도가 2.20% 감소하였는데, 농경지 또한 1.559km²에서 0.754km²로 약 60% 감소하였다. 이들 지역의 농경지는 대부분 논으로서 수면, 토양층, 농작물로부터의 활발한 증발산 작용의 결과 대기 중 수증기의 공급이 활발하기 때문에, 농경지 면적과 상대습도 사이에는 매우 뚜렷한 양의 상관관계가 나타나는 것으로 판단된다.

충주는 기상 관측소 이전 후에 기온의 변화는 미약하지만 강수량과 일조시간의 변화는 뚜렷하게 나타나서, 연 강수량은 100mm, 연 일조시간은 252시간이 감소하였다. 충주는 관측소 이전 후에 토지 피복의 변화에 비해 지형 기복의 변화가 매우 크게 나타난 곳으로, 관측소 이전으로 비고가 크게 감소하고 기복량이 크게 증가하면서, 관측소 일대의 지형이 오목한 분지 형태를 띠게 되었다. 이에 따라 이전 후에 남동쪽 약 2.5km에 위치한 관측소보다 약 520m 더 높은 남산(636m) 산정부 능선에 의한 그림자에 의해 남동쪽 방향으로 태양고도가 낮은 오전과 동절기의 일조시간이 감소되었을 것으로 추정된다(Figure 2). 그리고 충주는 강수가 집중되는 여름철에 서풍 계열의 바람이 우세하기 때문에, 충주 분지 내에서도 서부에서 동부로의 관측소 이전은 강수량의 감소를 유발하였을 가능성이 크다. 이전 전의 관측소 위치는 습기를 머금은 서풍에 대한 접근성이 높기 때문에 강수 발생에 상대적으로 유리하였겠지만, 이전 후에는 서풍의 접근 거리가 멀어지면서 강수 발생의 기회가 상

대적으로 감소하였을 것으로 추정된다.

보령은 관측소 이전 후에 강수량이 113mm 감소하였다. 관측소 이전에 의한 보령의 강수량 변화는 지형적인 영향으로 판단된다. 보령시 일대는 차령산맥이 서해안에 접하는 말단부로서 보령시의 동부는 해발고도 500~600m에 달하는 산지 능선이 남북으로 길게 이어져 있으며, 서부는 해안의 낮은 구릉지가 발달해 있다(Figure 8). 보령 기상 관측소는 차령산맥 말단부 산지 능선으로부터 서쪽으로 약 2km 떨어진 산지와 인접한 지점에서 서쪽으로 약 8km 떨어진 해안 구릉지로 이전하였다. 따라서 이전 전 관측소의 위치는 서해로부터 유입하는 습한 공기가 차령산맥 말단부의 산지를 타고 상승하면서 지형성 강수의 형성이 용이한 바람받이 사면에 위치한다. 그러나 관측소 이전 후에는 산지로부터 떨어져 지형성 강수의 발생이 감소함으로써 연 강수량의 감소가 나타난 것으로 판단된다.

관측소 이전에 따른 풍속의 변화는 군산 기상 관측소에서 가장 뚜렷하게 나타난다. 군산은 관측소 이전 후에 연 평균 풍속이 1.51% 감소하여 12개 지점 중에서 가장 큰 변화를 나타냈다. 군산 기상 관측소는 군산 시가지와 접한 월명 공원 내에 위치하였으나 2003년 동쪽으로 5.2km 떨어진 내륙의 금강 하굿둑 동쪽 하안으로 이전하였다(Figure 9).

군산의 평균 풍향은 서풍, 서북서풍, 동북동풍, 동풍의 빈도가 가장 크게 나타난다. 따라서 서부의 해안에서 내륙 쪽으로 관측소가 이전함에 따라, 주변의 구릉성 산지에 의한 지형적 영향과 특히, 이전 관측소 바로 동쪽에 위치한 오성산(227m)에 의한 장벽 효과(barrier effect)로 인해, 풍속이 감소하였을 가능성이 높다.

광주는 관측소 이전으로 인해 토지 피복의 뚜렷한 변화가 없었음에도 불구하고, 이전 후에 최고 및 평균 기온이 다소 상승하였다. 한편, 광주는 관측소 이전 후에 연 일조시간이 414시간이나 증가하였다. 이전 전의 광주 기상 관측소는 노장에서 남동쪽 약 50m 거리에 위치한 12층 건물인 KBS 광주방송 사옥에 의한 그림자로 인하여 정상적인 일조가 방해되었지만, 이전 후에는 구릉 상부에 노장이 위치하면서 주변 건물에 의한 일조의 방해 효과가 사라지게 되면서, 일조시간이 증가한 것으로 판단된다(Figure 10). 그리고 이러한 일조 시간의 증가가 최고 및 평균 기온이 다소 상승하는 데에도 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

원주는 광주와는 반대로의 관측소 이전 후에 연 일조시간이 536시간 감소하였다. 원주 기상 관측소는 과거에 판부면 면사무소 내에 위치하다가 1986년 명륜동의 신시가지로 이전하였다. 이전한 원주 기상 관측소의 노장은 남쪽으로 가로수가 식

Figure 8. Topographic scene around Boryeong site.

Figure 9. Topographic scene around Gunsan site.

Figure 10. The change of landscape near Gwangju weather station by station relocation
(Circles in figure are observation fields. Data source: Daum Map).

재된 2차선 도로, 서쪽은 2층 건물과 완충 공간 없이 바로 접해 있다. 따라서 관측소의 노장에는 태양고도가 낮은 겨울철 낮 동안에는 가로수에 의한 그림자가, 여름철 오후에는 건물에 의한 그림자가 형성된다. 결국, 원주에서 기상 관측소 이전 후의 일조시간 감소는 관측소와 접한 지형·지물에 의해 형성된 그림자의 영향이 클 것으로 판단된다.

6. 결론

기상 관측소의 위치가 변동되면 국지 기후에 영향을 미치는 관측소의 위경도, 해발고도, 지형 기복, 주변 지역의 토지 피복 현황 등의 지리적 기후 요인이 변화한다. 본 연구는 기상 관측소가 이전된 우리나라의 12개 지역을 대상으로 관측소 이전에 따른 위치, 고도, 지형 기복, 토지 피복과 같은 지리적 요인과 기온, 강수, 바람 등과 같은 기후 자료의 시·공간적 변이 특성과 인과관계를 종합적으로 분석하였다.

기상 관측소 이전에 따른 토지 피복의 변화는 기온 변화에 큰 영향을 미친다. 원주와 구미는 농촌에서 신시가지로 관측소가 이전함에 따라, 관측소 이전 후에 포장 및 건조 지역이 증가하고 산림

과 농경지가 감소하였다. 이렇게 토지 피복의 도시화가 진행된 원주와 구미는 일 최고 기온, 평균 기온, 일 최저 기온이 모두 상승하였다. 반면, 시가지에서 교외 또는 농촌으로 관측소가 이전하여 토지 피복의 교외화가 진행된 속초, 창원, 천안, 대전, 군산, 목포는 산림과 농경지가 증가하고 포장 및 건조 지역이 감소하면서, 기온이 대부분 하강하였다. 또한 관측소 이전으로 농경지의 면적이 상당히 증가한 목포, 군산, 대전에서는 이전 후에 상대습도가 크게 증가하였다.

관측소 이전에 따른 고도와 지형 기복의 변화는 상대적으로 강수와 바람에 영향을 미친다. 충주 기상 관측소는 상대적으로 평지에서 분지의 내부로 이전하면서 강수량과 일조시간의 감소가 뚜렷하게 나타났다. 보령은 바람받이 사면에서 해안의 구릉지로 관측소와 이전하면서 강수량이 감소하였고, 군산은 주변이 개방된 해안에서 보다 폐쇄적인 내륙 쪽으로 관측소가 이전하면서 주변 구릉지의 영향으로 풍속이 감소하였다. 그리고 광주와 원주에서는 관측소 이전으로 인해 주변 건물이나 식생에 의한 그림자 효과가 제거되거나 발생되면서 일조시간의 변화가 크게 나타났다.

따라서 부득이하게 기상 관측소의 위치를 이전해야 하는 경우에는 관측소의 고도, 주변의 지형

기복과 토지 피복 현황 등을 잘 고려하여 지리적 조건이 유사한 지점으로 입지를 선정해야 한다. 이를 통해, 관측소 이전에 따른 기후 요인의 변화를 최소화하여, 기후 자료의 불연속성이나 불균질성 등의 변이가 나타나지 않도록 유의해야 한다.

본 연구는 지리적인 관점에서 기상 관측소 이전을 주제로 관측소 주변의 공간 조건과 국지 기후 변화 사이의 관계를 분석하였다. 기상학적 관점에서 진행된 대부분의 선행 연구들과 비교할 때, 본 연구는 관측소 이전이라는 소재로 국지 기후에 영향을 미치는 지리적 요인을 공간적으로 분석하고 기후 자료 변이의 인과성을 일반화하였다는 점에서 의의를 갖는다. 그러나 정확한 위치를 파악할 수 있는 12개 기상 관측소 만을 대상으로 하였기 때문에, 자료의 정량적 및 과학적 분석의 측면에서 국지 기후 변화를 설명하고 유형을 분류하는데 어느 정도 한계가 있다는 점, 관측소 이전에 따른 각 기후 자료 변이의 유의성을 통계적으로 설명하지 못한 점, 각 지점에서 나타난 기후 변이의 인과 관계에 대해 정량적인 자료를 통해 설명하지 못하고 있다는 점 등은 연구의 한계로 남는다.

사사

이 논문은 2015학년도 경북대학교 복원학술연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

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).

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, 127-136.

Cui, L. and Shi, J., 2012, Urbanization and its environmental effects in Shanghai, China, *Urban Climate*, 2, 1-15.

Guo, H., Xu, M., and Hub, Q., 2011, Changes in near-surface wind speed in China: 1969-2005, *International Journal of Climatology*, 31, 349-358.

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, 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.

Janković, V. and Hebbert, M., 2012, Hidden climate change - urban meteorology and the scales of real weather, *Climatic Change*, 113, 23-33.

Kim, H. O. and Yeom, J. M., 2012, Effect of the Urban Land Cover Types on the Surface Temperature: Case Study of Ilsan New City, *Korean Journal of Remote Sensing*, 28(2), 203-214 (in Korean).

Kim, J. and Lee, Y., 2007, Change of Meteorological Elements by Site Relocation of Weather Observatory, *Journal of Climate Research*, 2(2), 128-138 (in Korean).

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).
- Ko, M. and Lee, S., 2013, A Study on the Change of Humidity by City Size in South Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 48(1), 19-36 (in Korean).
- Lee, G.-R., 2015, Relationships between Topographical Conditions and Climatic Data at Weather Stations in South Korea, *Journal of Climate Research*, 10(3), 247-262 (in Korean).
- 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 (in Korean).
- 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.
- Mamara, A., Argiriou, A. A., and Anadranistakis, M., 2013, Homogenization of mean monthly temperature time series of Greece, *International Journal of Climatology*, 33, 2649-2666.
- Matuszko, D., 2012, Influence of cloudiness on sunshine duration, *International Journal of Climatology*, 32, 1527-1536.
- Matzarakis, A. P. and Katsoulis, V. D., 2006, Sunshine duration hours over the Greek region, *Theoretical and Applied Climatology*, 83, 107-120.
- Mayhew, S., 2009, *Dictionary of Geography*, Oxford University Press.
- Middel, A., Brazel, A. J., Gober, P., Myint, S. W., and Chang, H., 2010, Land cover, climate, and the summer surface energy balance in Phoenix, AZ, and Portland, OR, *International Journal of Climatology*, 32, 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*, Prentice Hall.
- 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).
- Rim, C. S., 2009, The effects of urbanization, geographical and topographical conditions on reference evapotranspiration, *Climatic Change*, 97, 483-514.
- Robaa, S. M., 2013, Some aspects of the urban climates of Greater Cairo Region, Egypt, *International Journal of Climatology*, 33, 3206-3216.
- Ryoo, S. B., Kim, Y. H., Kwon, T. H., and Park, I. S., 2006, Inhomogeneities in Korean Climate Data (I): Due to Site Relocation, *Atmosphere*, 16(3), 215-223 (in Korean).
- Seto, K. C. and Shepherd, J. M., 2009, Global urban land-use trends and climate impacts, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1, 89-95.
- Souch, C. and Grimmond, S., 2006, Applied climatology: urban climate, *Progress in Physical Geography*, 30(2), 270-279.
- Um, H. H., Ha, K. J., and Lee S. S., 2007, Evaluation of the urban effect of long-term relative humidity and the separation of temperature and water vapor effects, *International Journal of Climatology*, 27, 1531-1542.
- Van Hooff, T. and Blocken, B., 2010, On the effect of wind direction and urban surroundings on natural ventilation of a large semi-enclosed stadium, *Computers & Fluids*, 39, 1146-1155.
- Yan, Z. W., Li, Z., and Xia, J. J., 2014, Homogenization of climate series: The basis for assessing climate

- changes, *Science China Earth Sciences*, 57(12), 2891-2900.
- Yang, Y. J., Wu, B. W., Shi, C., Zhang, J. H., Li, Y. B., Tan, W. A., Wen, H. Y., Zhang, H. Q., and Shi, T., 2013, Impacts of Urbanization and Station-relocation on Surface Air Temperature Series in Anhui Province, China, *Pure and Applied Geophysics*, 170(11), 1969-1983.
- 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).
- Korea Meteorological Administration, <http://www.kma.go.kr/>
- National Climate Data Service System , <http://sts.kma.go.kr/jsp/home/contents/main/main.do>
- 책임편집: 박창용
영문교열: 조창현