

기압배치형별 중부지방의 1월 최저기온 분포에 관한 연구: 철원의 최저기온을 중심으로

이승호* · 장지원**

A Study on the Distributions of Minimum Temperature during January in the Central Region of South Korea: focused on Minimum Temperature at Cheorwon

Seungho Lee* · Jiwon Jang**

요약 : 본 연구에서는 중부지방의 1월 최저기온 분포 특성을 파악하고 철원의 극한 최저기온의 원인을 규명하고자 하였다. 이를 위해 중부지방 25개 관측소의 1991~2010년 1월 기온 분포 특성과 철원 기온과 춘천, 홍천, 봉화, 대관령, 원주, 제천 등 중부내륙 지역의 기온 차이를 기압배치형에 따라 분석하였다. 일평균기온과 평균 일최저기온은 철원과 해발고도가 높은 지역에서 낮게 나타나지만, -15°C 이하 일수와 같은 극한기온의 출현빈도는 철원에서 두드러졌다. 시베리아 고기압이 확장하거나 우리나라 북쪽에 이동성 고기압이 위치할 때 철원 기온이 비교지점에 비해 상대적으로 더 낮다. 이동성 고기압의 영향을 받을 때는 철원과 비교지점 간 기온 차이가 적거나, 봉화, 제천과 같은 분지의 기온이 더 낮다.

주요어 : 최저기온, 극한기온, 기온 차이, 기압배치형

Abstract : This study aimed to analyze the characteristic of the distribution of minimum temperature during January in the central region of South Korea and to investigate causes for the occurrence of extreme minimum temperature in Cheorwon. January temperature distribution data which were collected from 25 weather stations in central area from 1991 to 2010 were investigated, and the difference of temperature between Cheorwon and the other stations in central region, such as Chuncheon, Hongcheon, Bonghwa, Daegwallyoung, Wonju and Jecheon were analyzed by the type of atmospheric pressure system. Daily mean temperature and mean of daily minimum temperature appear to be low at Cheorwon and at the sites in high altitudes, but the frequency of extreme cold wave such as below -15°C is also noticeable in Cheorwon. When the Siberian High has expanded and migratory anticyclone has moved onto the north of the Korean Peninsula, the temperature at Cheorwon is relatively low. Furthermore it shows a lesser difference between Cheorwon and the compared stations when the migratory anticyclone affected the area, even at basin like Bonghwa, Jecheon more lower than Cheorwon.

Key Words : minimum temperature, extreme temperature, temperature difference, type of atmospheric pressure system

이 논문은 2012년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

* 건국대학교 이과대학 지리학과 및 기후연구소 교수(Professor, Department of Geography and Climate Research Institute, Konkuk University), leesh@konkuk.ac.kr

** 건국대학교 기후연구소 연구원(Researcher, Climate Research Institute, Konkuk University), jiwon77@konkuk.ac.kr

1. 서론

기온상승 경향이 1980년대 이후 우리나라에서도 나타나고 있으며, 그와 관련되어 이상기상도 빈번하게 출현하고 있다(기상청, 2010). 한파와 같은 추위와 관련된 극한기후 사상이 감소하는 추세이지만 모든 지역에서 이와 동일한 경향이 나타나는 것은 아니며(Alexander *et al.*, 2006; IPCC, 2007), 한반도에서도 최근 극한 추위가 빈번하게 발생하고 있다.¹⁾ 우리나라는 중위도 대륙 동안에 위치하여 대륙과 해양의 영향을 동시에 받으면서 복잡한 지형의 영향을 받고 있어서 지역별로 다양한 기후 특성이 나타난다.

우리나라 중북부 지방은 남부에 비하여 겨울철 한파가 빈번하게 출현한다. 선행연구(허인혜, 2006)에 의하면, 서울과 인천, 강화, 춘천, 인제, 양평 등 경기 서안과 중부내륙, 중북부가 포함된 지역은 겨울철 이상저온의 출현 빈도가 높은 곳이다. 그 중 양평은 남한의 극최저기온인 -32.6°C 를 기록한 곳으로 대표적인 한국지역으로 알려져 있다. 철원은 한국 제2의 극최저기온을 기록한 곳이지만, 1988년 1월 관측소가 설치된 이래로 1989년을 제외하고 양평보다 낮은 연간 일최저기온의 최저값을 기록하였다는 점에서 볼 때 큰 의미가 있다. 또한 대부분의 지역에서 1990년 이전에 극최저기온이 기록된데 비해 철원은 2000년대에 극최저기온이 기록되었다. 이는 1973~2007년 동안 우리나라 61개 기온자료를 분석하여 얻은 겨울철 일 최저기온이 $0.54^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 의 비율로 상승하였다는 연구 결과(Choi *et al.*, 2008) 등을 고려하여 볼 때 국지적인 범위에서 기온상승 경향과 다른 현상이 나타날 수 있음을 보여주는 것이다.

또한 철원에서는 2011년 겨울(2010년 12월~2011년 2월) -10°C 이하일이 36일 연속으로 출현하기도 하였으며, 이는 해발고도가 높아서 기온이 낮은 대관령의 -10°C 이하일 지속기간 34일보다 더 길다. 이와 같은 이유로 철원은 최근 들어 추운지역으로 인식되며 일기예보 시, 겨울철 대표적인 추운 지역으로 소개되기도 한다. 이때 철원의 추위 원인을 주로 분지 지형으로 인한 활발한 복사냉각으로 들고 있다.²⁾ 하지

만 국토의 70% 이상이 산지이고, 대부분의 도시가 분지에 입지하였다는 점을 고려하여 볼 때 단순히 복사냉각으로 철원에서 발생하는 극한 기온 특징을 설명하기에는 부족함이 있다.

최근 겨울철 최저기온에 관한 연구는 각 지역에서 기후변화의 영향에 따른 극한기온의 변화나 혹한 및 한파의 발생 빈도의 변화를 밝히는 것이 주를 이룬다(Bonsal *et al.*, 2001; Chen *et al.*, 2004; Moberg and Jones, 2005; Alexander *et al.*, 2006;). 국내에서도 주로 전구적인 기온상승으로 인한 우리나라의 극한기온의 변화에 초점을 맞춘 연구가 이루어지고 있다(이승호·허인혜, 2011; 이경미 외, 2011; 최영은·박창용, 2010; 류상범, 2002).

겨울철 최저기온의 분포에 관한 연구는 주로 전국적인 규모에서 이루어 졌으며(고정용 외, 2006), 한파와 관련된 연구들은 대부분 그 내습 과정과 원인을 파악하기 위해 특정 한파의 출현시기를 대상으로 종관분석을 실시하였다(임규호, 1995; 류상범·권원태, 2002; 류상범, 2003). 한파 출현의 원인을 밝히기 위한 노력으로 전구적인 대기순환지수와와의 연관성을 다룬 연구(김맹기 외, 2005; Jeong *et al.*, 2005)도 있다. 그러나 국지적으로 출현하는 극한기온의 출현 특성이나, 지역 간 차이를 밝히는 연구는 거의 없다. 우리나라는 복잡한 지형과 다양한 기압계의 영향을 받고 있어서 지역마다 다른 기온 분포 특성이 나타날 수 있으며, 그 영향 또한 다를 수 있다.

따라서 본 연구에서는 기압배치형별로 중부지방의 일최저기온의 분포를 파악하고, 지역 간 최저기온의 차이를 분석하여 겨울철 철원이 주변지역보다 낮은 기온 특성을 보이는 원인을 규명하고자 하였다.

2. 연구자료 및 연구방법

본 연구의 분석기간은 1991~2010년의 1월이며, 1월은 연중 월평균기온이 가장 낮은 시기이다.³⁾ 극한 최저기온의 원인을 규명하기 위한 연구의 목적을 고려하여 연구기간을 겨울 전체가 아닌 1월로 한정하였

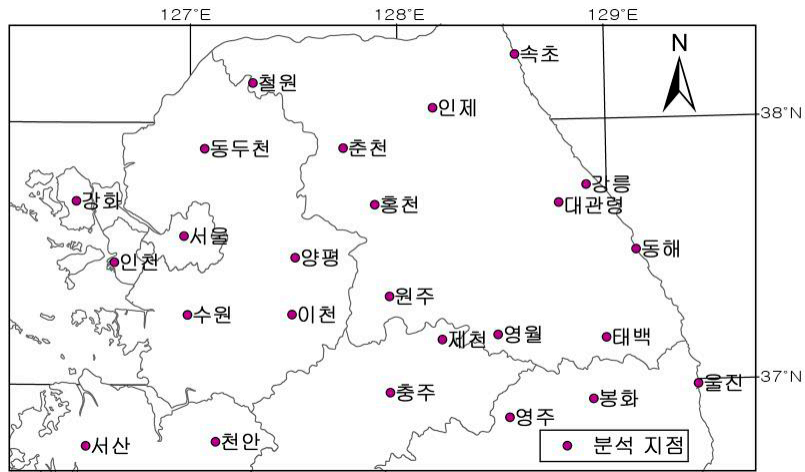


그림 1. 연구 범위

다. 또한 2014년 1월 7일부터 13일까지 7일간을 사례 분석의 기간으로 선정하였다.

공간적 분석 범위는 남한의 북위 36°45'이북의 기상관측지점이다(그림 1). 분석에 이용한 자료는 지점별 일최고기온, 일평균기온, 일최저기온 등의 기온 관측 자료와 오산의 850hPa 고도의 바람 자료, 공군에서 제공하는 항공기상연감의 매일 09시의 일기도이다. 분석에 사용된 일기도는 총 620매이다. 또한 관측소의 지리적 특성을 파악하기 위하여 각 관측소를 답사하였다.

중부지방 기온의 공간적 특성을 파악하기 위하여 1월 평균기온과 월평균 일최저기온의 평년값의 등치선도를 작성하였다. 또한 추위와 관련된 극한기온 출현의 공간적 특성을 파악하기 위해 1월의 -15°C 이하일수의 출현 빈도의 등치선도를 작성하여, 주변에 비하여 추위가 빈번한 지역을 분석하였다. 등치선도는 1991년부터 2010년까지의 평균값을 이용하여 ArcGIS로 작성하였다. 등치선도 작성을 위한 내삽은 해발고도와 각 지점의 원 자료 특성을 강조하여 분석할 때 유리한 Spline방법을 사용하였다(허인혜, 2006).

기압배치형별 기온 분포 특성을 파악하기 위하여 한반도 주변의 기압배치형을 4가지 유형으로 분류하였다. 아침 9시 지상 일기도를 기준으로 시베리아 고기압이 한반도로 강하게 확장하면서 서고동저로 기

압배치가 나타날 때를 S형으로 정하였다. 시베리아 기단이 변질된 이동성 고기압이지만 그 중심이 한반도 북쪽에 위치할 때를 N형으로 정하였다. 이때 고기압의 중심은 북위 40°이북이면서 동경 100°~130°사이에 위치하였다. 이동성 고기압의 중심이 북위 40°이남에 위치하면서 한반도에 영향을 미치는 경우를 M형이라 하였다. 저기압이 한반도나 그 주변을 통과하면서 영향을 미치고 있을 때를 L형으로 각각 구분하였다(그림 6 참조).

철원의 극한기온 출현의 원인을 파악하기 위하여 연구지역에서 복사냉각이 활발하게 나타날 수 있는 홍천, 춘천, 봉화, 제천, 원주 등과 해발고도에 의한 기온 하강이 나타나는 대관령을 철원과 비교지점으로 선정하였다. 철원 기상관측소는 위도상으로 38°09'N에 위치하며, 지형적으로 북북동에서 남남서 방향으로 발달한 산지 사이 골짜기의 해발 153.7m에 자리한다. 기상관측소가 위치한 곳은 기복이 작지만 완만한 능선을 이루고 있어서 지형적으로 주변 산지에서 흘러내리는 냉기류에 의한 냉기효가 발달하기 쉽지 않은 곳이다. 홍천 기상관측소는 위도상으로 37°41'N에 위치하며, 주변이 높고 낮은 산지로 둘러싸인 해발 141m에 자리한다(표 1 참조).

기압배치 유형을 분류한 후 기압배치형별로 각 관측지점의 일최저기온 평균값을 산출하였다. 기압배

표 1. 기상관측지점의 위도와 고도

관측지점	위도	해발고도(A)
철원	38.08	154m
홍천	37.41	141m
춘천	37.54	78m
봉화	36.56	320m
제천	37.09	264m
원주	37.20	149m
대관령	37.40	773m

치형이 시베리아 고기압형일 때와 다른 경우의 기온 차이를 구하기 위하여 지점별로 기압배치형 S형일 때와 M형, L형일 때의 기온 차이를 구하였다. 철원과 비교지점과의 기압배치형별 기온 차이를 파악하기 위하여 각 기압배치형별로 철원과 비교지점과의 기온 차이를 구하였다. 복사냉각이 철원과 비교지점과의 기온 차이에 미치는 영향을 파악하기 위하여 철원과 비교지점의 기온 차이를 오산의 850hPa 고도의 풍속이 13.9m/sec 이상인 날과 이하인 날로 구분하여 비교하였다.⁴⁾

또한 비교지점과 철원의 일최저기온의 차이가 큰 경우의 기압배치형을 파악하기 위하여, 그 값의 평균보다 +1표준편차 이상인 경우와 -1표준편차 이하인 경우의 기압배치형별 출현빈도를 구하였다. 즉, 철원과의 비교 관측지점인 춘천, 봉화, 원주, 제천과 대관령의 기온과 철원의 일최저기온 차이의 평균을 구하고 ‘평균+1표준편차’ 이상인 경우와 ‘평균-1표준편차’ 이하인 경우의 기압배치형별 출현빈도를 구하였다.

일별 최저기온 값이 나타나는 시각이 지점마다 각각 다르기 때문에, 최저기온만을 비교하여 기온 특성을 파악하는 것은 한계가 있을 수 있다. 동시간대의 지점별 기온과 기압배치 상태를 비교하여 이러한 한계를 극복할 수 있다. 한반도 주변에서 1월에 일반적으로 출현하는 시베리아고기압 확장형과 이동성 고기압형, 저기압형이 비교적 단기간 동안에 영향을 미치면서 그 기간 동안 기온 변동 폭이 비교적 컸던 2014년 1월 7일부터 13일간을 사례로 기압배치 유형

을 구분하여 철원과 비교지점의 기온 차이 변화를 파악하였다. 즉, 한반도에 저기압이 영향을 미치는 날부터 시베리아 고기압과 이동성 고기압이 영향을 미치는 날을 선정하여 매 6시간 간격으로 철원과 비교지점의 기온 차이를 구하였다. 이때 철원과 비교지점의 평균 운량, 풍향, 풍속 등을 분석하였다.

3. 중부지방의 1월 기온 분포

중부지방의 1월 기온의 분포 특성을 파악하기 위하여 1991~2010년의 1월 평균기온과 1월 평균 일최저기온, 1월 -15℃ 이하일수의 분포도를 작성하였다. 이는 평균값의 분포와 극한 기온의 값의 분포가 다를 수 있기 때문이다. 평균기온과 극한 기온과 관련된 요소의 분포도를 분석하여 철원의 최저기온 분포 특성을 밝힐 수 있는 기초가 될 수 있다.

중부지방의 일평균기온 분포는 해발고도 등의 지형 특성을 어느 정도 반영하고 있다. 즉, 태백산지를 중심으로 해발고도가 높은 지점에서 주변보다 낮은 값이 분포한다(그림 2). 대관령은 일평균기온의 평균값이 -7.1℃로 분석지점 중 가장 낮은 값을 기록하였다. 그 외 태백산지를 따라서 분포하는 태백(-4.8℃), 홍천(-4.9℃), 인제(-4.7℃), 제천(-4.8℃) 등도 일평균기온의 평균이 -5℃에 가깝다. 해발고도가 두드러지게 높은 곳은 아니지만 철원의 일평균기온도 주변보다 낮아서 -5.7℃를 기록하였고, 그 값이 가장 낮은 대관령과 1.4℃의 차이이다. 봉화도 일평균기온의 평균값이 -4.1℃로 비교적 낮은 편이다. 반면, 수도권과 동해안에 대체로 -2.0℃ 이상의 높은 값이 분포한다. 일평균기온이 가장 높은 울진(1.4℃)과 가장 낮은 대관령의 차이는 8.5℃이다.

중부지방의 일최저기온의 평균도 일평균기온과 비슷한 분포 패턴으로 산지를 따라서 주변보다 낮은 값이 분포한다(그림 3). 태백산맥과 차령산맥, 소백산맥을 따라서 주변보다 낮은 값이며, 인천, 서울, 수원 등의 수도권과 속초, 강릉, 동해 등 동해안에서 주변보다 높은 값이 분포한다. 대관령은 일최저기온의 평균

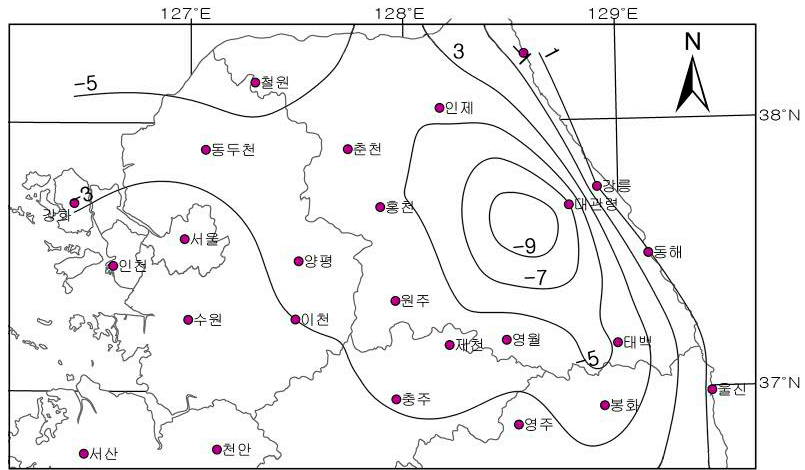


그림 2. 중부지방의 일평균기온(°C) 분포(1991~2010)

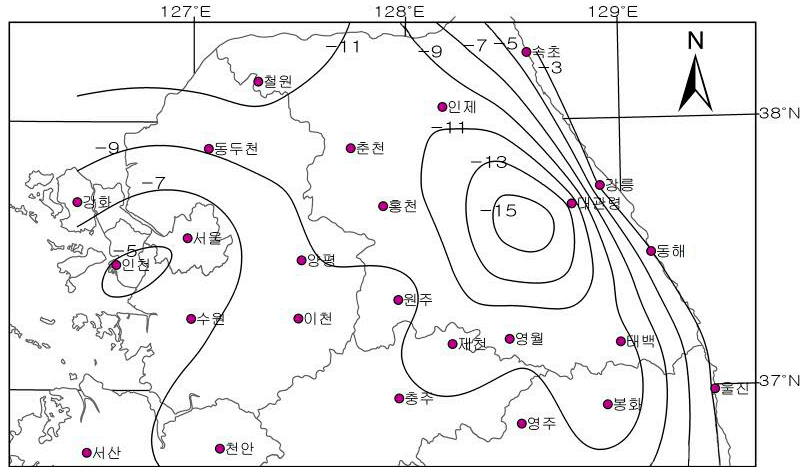


그림 3. 중부지방의 일최저기온(°C) 분포(1991~2010)

값이 -12.1°C 로 분석지점 중 가장 낮은 값이며, 그 외 태백산맥과 차령, 소백산맥 등 산지를 따라서 위치하는 인제(-10.5°C), 홍천(-10.7°C), 제천(-10.7°C), 봉화(-10.6°C) 등의 일최저기온 평균도 -10°C 이하의 낮은 값이다.

철원은 주요 산지에서 벗어나 있지만 일최저기온의 평균이 -11.7°C 로 대관령 다음으로 낮은 값이다. 실제로 해발고도를 고려한다면 대관령보다 더 낮은 값이라 할 수 있다. 철원과 대관령의 값의 차이가 0.4°C 로 일평균기온에 비하여 작다. 즉, 철원은 평균

기온보다 최저기온이 주변보다 더욱 낮다는 것을 보여준다. 일최저기온이 높은 지역은 동해안의 속초, 강릉, 동해 등이며, 울진과 강릉이 분석지점 중 가장 높은 -2.7°C 이다. 평균값이 가장 높은 곳과 낮은 곳의 차이는 9.4°C 로 일평균기온보다 지역 차이가 더 크다. 일평균기온보다 일최저기온의 지역 차이가 더 크지만, 대관령과 철원의 기온 차이는 최저기온의 경우가 더 작다. 이는 철원에서 상대적으로 극한기온의 출현빈도가 높을 수 있다는 것을 보여준다고 할 수 있다.

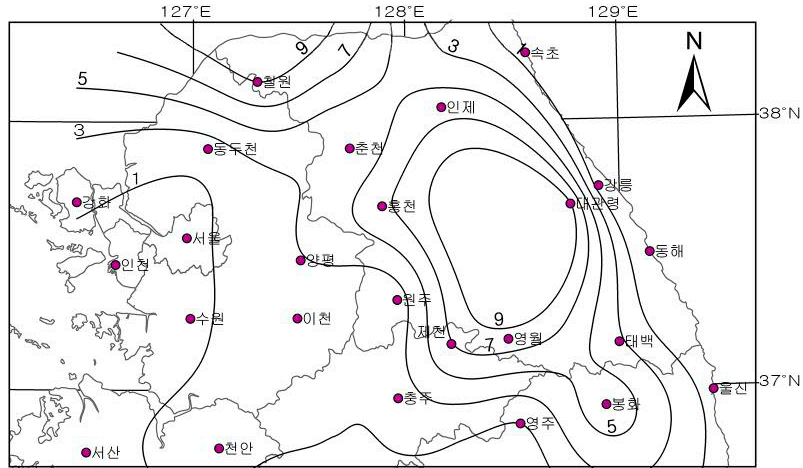


그림 4. 중부지방의 1월 -15°C 이하 일수의 분포(1991~2010)

그림 4는 중부지방의 -15°C 이하인 날의 출현 빈도를 나타낸 것으로 분포 패턴이 일평균기온이나 일최저기온의 분포와 비슷하다. 대체로 태백산지를 따라서 -15°C 이하 일수의 출현빈도가 높다. 대관령은 1월 -15°C 이하 일수가 9.1일로 분석지점 중 가장 많다. 철원의 1월 평균 -15°C 이하 일수는 9.0일로 대관령 값과의 차이가 0.1일에 불과하다. 이는 앞에서 언급한 바와 같이 철원에서 상대적으로 극한 기온의 출현빈도가 높다는 것을 보여주는 것이다. 또한 대관령 관측소의 해발고도는 772.6m로, 고도의 영향이 감안하면 철원에서 극단적인 한파의 출현빈도가 훨씬 더 높다는 것을 의미한다. 그 외 태백산지를 따라서 분포하는 인제(6.1일), 제천(6.9일), 홍천(6.6일), 봉화(6.0일) 등도 -15°C 이하 일수의 빈도가 높은 편이다. 자료는 제시하지 않았지만 영하일수와 -10°C 이하일수의 분포 특성도 파악하였다. 1월의 영하일수는 동해안을 제외하면 대부분 20일 이상으로 지역 차이가 크지 않다. 철원, 동두천, 춘천, 대관령, 태백, 제천, 봉화 등의 영하일수는 25일 이상이다. 1월의 -10°C 이하일수 분포 패턴은 1월 일최저기온의 분포와 비슷하지만, 지역 차이가 크지 않다. 철원의 1월 -10°C 이하일수는 19.3일로 비교지점인 대관령(21.6일), 홍천(19일), 봉화(17.4일), 제천(18.2일) 등과 큰 차이가 없다. 태백의 -15°C 이하 일수는 3.3일에 불과하다. 이는

관측소의 위치 특성과 관련이 있다고 판단된다. 태백 기상관측소는 해발 713m에 위치하지만, 산지 사면에 위치하고 있어서 냉기류가 고여 있기 어려운 곳이다. 기상관측소 주변 골짜기 바닥의 해발고도는 약 680m로 관측소와 33m의 고도 차이가 있으며, 골짜기 자체가 급한 경사를 이루고 있어서 냉기호가 형성되기 어렵다. 그러므로 기온체감에 의하여 해발고도 인자가 반영된 기온 값이 나타나지만 주변 산지에서 흘러내리는 냉기류에 의한 냉각은 크지 않은 것으로 판단된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 철원의 기온 특징은 평균기온이 낮은 것보다 극한 기온의 출현 빈도가 다른 지역에 비하여 탁월할 수 있다는 것이다. 그러므로 기압배치형과 복사냉각에 영향을 미칠 수 있는 풍향, 풍속에 따라서 중부지방의 기온 분포를 분석할 필요가 있다.

4. 기압배치형별 1월의 기온 분포

연구기간 동안 한반도 주변에 출현하는 기압배치의 유형 중 N형이 306일(49.4%)로 출현 빈도가 가장 높았다. N형이 출현할 경우는 바람이 약하지만 북쪽

표 2. 기압배치형별 출현 일수(%)

S형	N형	M형	L형	계
108(17.4)	306(49.4)	93(15.0)	113(18.2)	620(100)

의 찬 공기가 한반도로 유입될 수 있는 조건을 갖추고 있다. N형 다음으로는 L형과 S형이 각각 18.2%, 17.4%를 차지하였고, M형의 비율이 15%로 가장 낮았다(표 2).

기압골이 크게 발달하거나 저기압이 한반도를 통과할 때인 L형이 나타날 시에는 날씨가 흐리거나 강수가 있다. 반면 M형과 S형에서는 모두 맑은 날씨가 나타나지만, S형인 경우 바람이 강하고 북서쪽에서 한반도로 한기가 유입된다. M형의 경우 바람이 약하고 맑은 날씨가 나타나면서 복사냉각이 발달하기 쉬운 조건이다.

기압배치형별로 일최저기온의 평균값을 살펴보면, 봉화를 제외한 모든 지역에서 S형일 때의 최저기온이 가장 낮다(표 3). 다음으로 N형, M형의 순이며 L형일 때의 최저기온이 가장 높다. 시베리아 고기압이 크게 확장할 때와 M형, L형일 때와의 기온 차이를 구해보면, 철원이 비교지점에 비하여 기압배치 유형간의 기온 차이가 더 크다. 즉, 기압배치가 S형일 때와 M형이나 L형일 때의 기온 차이가 비교지점에 비하여 철원에서 더욱 크다. S형일 때와 M형일 때의 기온 차이가 비교지점에서는 3℃ 내외이지만, 철원에서는 4.9℃에 이른다. 철원에서 기압배치가 S형일 때와 L형일 때의 기온 차이는 8.3℃로 분석지점 중 가장

크다. 이는 S형일 때, 다른 비교지점보다 철원에서 더 많이 냉각되거나, M이나 L형일 때 다른 비교지역에 비해 덜 냉각되는 것일 수 있다는 것을 의미한다.

기압배치형별로 비교지점과 철원의 일최저기온 차이를 살펴보면, 대관령을 제외한 모든 지점에서 S형과 N형일 때 기온 차이가 크다(표 4). 즉, 북쪽에서 한반도로 한기가 유입될 수 있는 기압배치형인 S형과 N형일 때 철원의 최저기온이 비교지점보다 더 낮다. 기압배치가 M형과 L형일 때는 철원과 비교지점 사이의 기온 차이가 비교적 작다. 봉화와 제천은 M형일 때 철원보다 상대적으로 더 낮은 기온이 출현하였다. 기압배치가 S형일 때 철원이 봉화, 제천보다 최저기온이 각각 2.4℃, 1.8℃ 더 낮지만, M형일 때는 봉화와 제천이 철원보다 각각 1.0℃, 0.6℃ 더 낮다.

이와 같이 이동성고기압형 기압배치일 때 봉화와 제천의 기온이 철원보다 더 낮은 것은 바람이 적고 맑은 날 활발히 발생하는 복사냉각과 주변 높은 산지에서 흘러오는 냉기류의 영향인 것으로 판단된다. 기압배치가 M형일 때 봉화와 제천의 일교차는 각각 14.8℃와 13.2℃로 철원의 12℃보다 크다. 이동성 고기압의 영향을 받는 경우, 봉화와 제천의 최저기온을 철원의 경우와 비교하여 보면 풍속이 약할 때 두 지점의 기온이 상대적으로 더 냉각된다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 기압배치가 N형인 날 오산의 상층 850hPa 고도의 풍속이 13.9m/sec 이상일 때의 철원과 봉화, 제천의 기온 차이가 각각 -3.1℃, -1.7℃이지만, 풍속이 13.9m/sec 이하인 날의 차이는 각각 -1.4℃, -1.5℃로 풍속이 약한 경우 두 지점의 기온이 더 냉

표 3. 기압배치형별 일최저기온(℃)의 평균

지역	기압배치						
	S형	N형	M형	L형	S형-M형	S형-L형	
철원	-14.1	-13.8	-9.2	-5.8	-4.9	-8.3	
춘천	-11.0	-10.6	-8.0	-4.4	-3.0	-6.6	
봉화	-11.7	-12.0	-10.2	-6.3	-1.5	-5.4	
홍천	-12.5	-12.5	-8.9	-5.4	-3.6	-7.1	
원주	-10.0	-9.8	-6.8	-3.8	-3.2	-6.2	
제천	-12.3	-12.3	-9.8	-5.7	-2.5	-6.6	
대관령	-14.4	-13.6	-9.5	-7.7	-4.9	-6.7	

표 4. 기압배치형별 철원과 비교지점의 최저기온 차이(°C)의 평균

지역 \ 기압배치	S형	N형	M형	L형
춘천	-3.0	-3.2	-1.1	-1.4
봉화	-2.4	-1.8	1.0	0.5
홍천	-1.6	-1.3	-0.2	-0.4
원주	-4.1	-4.1	-2.3	-2.1
제천	-1.8	-1.6	0.6	-0.2
대관령	0.4	-0.3	0.4	1.8

각되었다. 또한 M형의 경우도 오산의 상층 850hPa 고도의 풍속이 13.9m/sec 이상일 때는 그 값이 각각 -1.7°C, -0.4°C이지만, 풍속 13.9m/sec 이하일 때는 각각 1.47°C, 0.84°C로 역시 두 지점의 기온이 철원에서보다 더 냉각된 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 봉화와 제천에서 복사냉각과 냉기류 등에 의한 냉각 효과가 철원에서보다 더 크다고 추론할 수 있다.

대관령은 대부분의 기압형에서 철원보다 기온이 낮지만, 철원과 그 차이가 크지 않다. 하지만 고도 차이를 감안하면, 고도가 비슷할 경우 철원의 최저기온이 더 낮게 나타날 수 있을 것으로 추정할 수 있다. 기압배치형 S형일 때 대관령과 철원의 기온 차이와 M형일 때 두 지점 간의 기온 차이가 거의 없으며, 이는 기압배치 M형일 때 활발히 발생하는 복사냉각과 냉기류의 영향이 능선에 위치한 대관령에서는 크게 작용하지 않기 때문이라 판단된다. 기압배치 M형일 때의 일교차를 비교해 보면, 대관령에서 9.1°C로 철원에서 보다 3°C 정도 작다. 이는 맑은 날씨가 나타나는 기압배치 M형일 때 대관령에서는 낮 기온이 크게 상승하지 못하였다는 것을 의미하며, 대관령의 낮은 기온을 일으키는 인자가 다른 지점과 다르다는 것을 보여준다.

그림 5는 철원과 비교지점의 일최저기온의 차이가 비교적 큰 경우인 ‘평균-1표준편차’ 이하인 날의 비율과 ‘평균+1표준편차’ 이상인 날의 비율을 각 비교지점별로 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 기압배치가 S형과 N형일 때 ‘평균-1표준편차’ 이하인 날의 비율이 우세함을 명확하게 확인할 수 있다. S형일 때는 봉화와 원주, 제천에서 ‘평균-1표준편차’ 이

하인 날의 비율이 두드러지게 높다. 봉화의 경우 ‘평균-1표준편차’ 이하인 날의 비율은 약 20%에 이르지만, ‘평균+1표준편차’ 이상인 날의 비율은 약 8%에 불과하다. 대관령의 경우는 ‘평균-1표준편차’ 이하인 날의 비율과 ‘평균+1표준편차’ 이상인 날의 비율이 비슷하다. 기압배치가 N형일 때도 그 차이가 크다. 원주에서 차이가 더욱 커서 ‘평균-1표준편차’ 이하인 날의 비율은 약 20%이지만, ‘평균+1표준편차’ 이상인 날의 비율은 5%에 못 미친다. 대관령의 경우도 S형에 비하여 차이가 크게 벌어졌으며, ‘평균-1표준편차’ 이하인 날의 비율이 더 높다. 이와 같은 결과는 시베리아고기압이 확장할 때 철원의 기온이 비교지점의 기온보다 더욱 하강하고 있다는 것을 보여준다.

반면 기압배치 M형과 L형일 때는 ‘평균+1표준편차’ 이상인 날의 비율이 더 높은 것을 명확히 보여준다. 기압배치가 M형일 때는 ‘평균+1표준편차’ 이상인 날의 비율이 압도적으로 우세하다. 원주의 경우 ‘평균+1표준편차’ 이상인 날의 비율이 40%에 가깝지만 ‘평균-1표준편차’ 이하인 날의 비율은 5% 정도에 불과하다. 이는 다른 비교지점에서도 비슷한 결과이다. 기압배치가 L형일 때도 비슷하지만, 대관령의 경우 두 값이 차이가 적다. 이는 기압배치가 M형이나 L형일 때 비교지점의 기온이 철원에서보다 상대적으로 더 하강하고 있음을 보여준다.

기압배치 S형과 N형인 경우, 철원과의 기온 차이가 큰 날의 비율이 대관령을 제외한 모든 비교지점에서 크게 높았다. 반면, 기압배치 M형과 L형이 나타날 때는 철원과의 기온 차이가 작은 날의 비율이 월등히 높다. 이는 철원의 기온이 다른 비교지점보다 크게 하

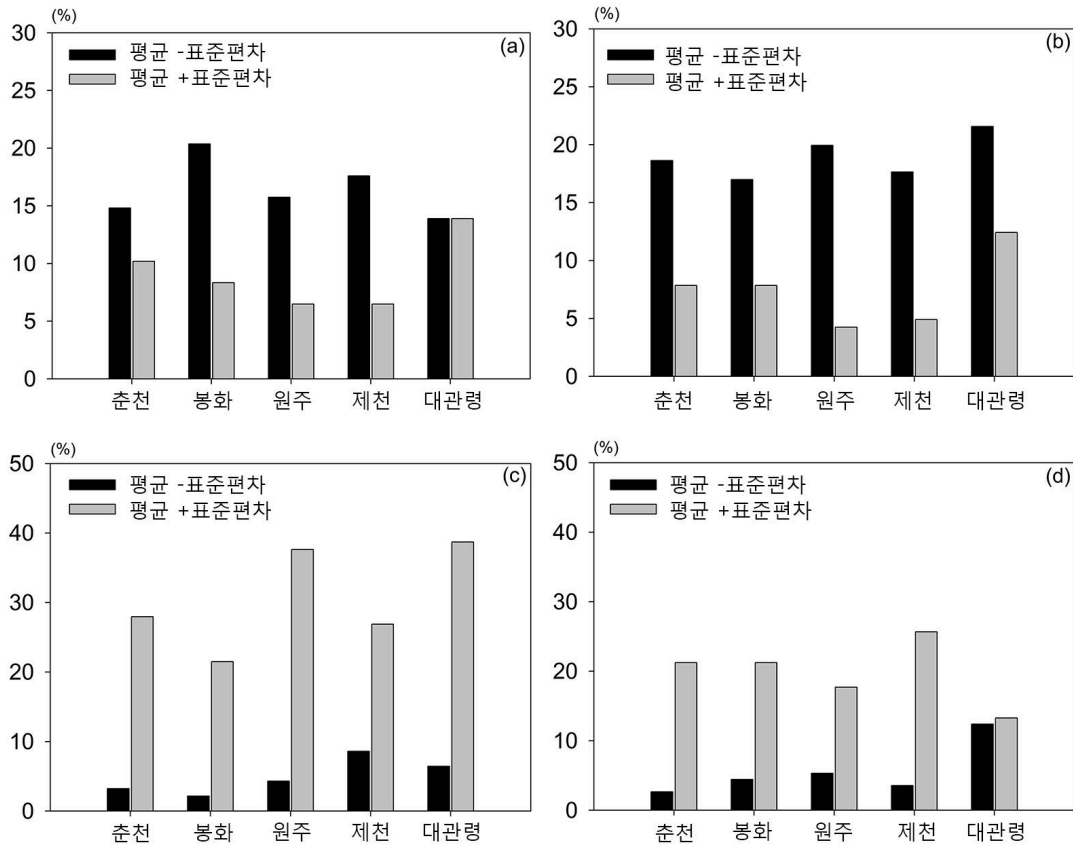


그림 5. 지점별 철원과과의 기온차이가 크거나 작은 날의 비율
 (a) 기압배치 S형, (b) 기압배치 N형, (c) 기압배치 M형, (d) 기압배치 L형.

강하는 경우가 복사냉각이 활발하게 일어날 수 있는 날이 아닌, 시베리아 고기압의 영향을 크게 받을 때라는 것을 보여준다.

5. 사례분석

앞에서 분석된 바와 같이 한반도 주변의 기압배치에 따라서 철원과 비교지점의 기온 차이가 다르게 나타난다. 즉, 시베리아 고기압이 한반도에 영향을 미칠 때는 철원이 상대적으로 비교지점보다 기온이 더 낮고, 이동성 고기압이 영향을 미쳐서 복사냉각이 활발하게 일어날 수 있을 때는 분지에 위치하는 봉화,

제천 등에서 상대적으로 더 냉각이 일어났다. 따라서 사례분석을 통하여 기압배치의 변화에 따른 철원과 비교지점 간 기온 차이의 변동을 파악하였다.

그림 6은 사례분석 기간 동안 한반도에 영향을 미친 기압배치 중 대표적인 4개의 일기도를 제시한 것이다. 즉, 저기압이 한반도에 영향을 미치는 경우(2014년 1월 7일 21시)와 저기압이 한반도를 벗어나서 시베리아 고기압이 한반도로 확장하는 경우(2014년 1월 8일 21시), 그 후 시베리아 기단이 변질되어 이동성 고기압이 한반도에 영향을 미치는 경우(2014년 1월 10일 21시), 다시 시베리아 고기압이 한반도로 확장하는 경우(2014년 1월 12일 09시) 등이 포함되었다.

당시의 날씨 상황을 보면, 분석기간의 초기인 1월

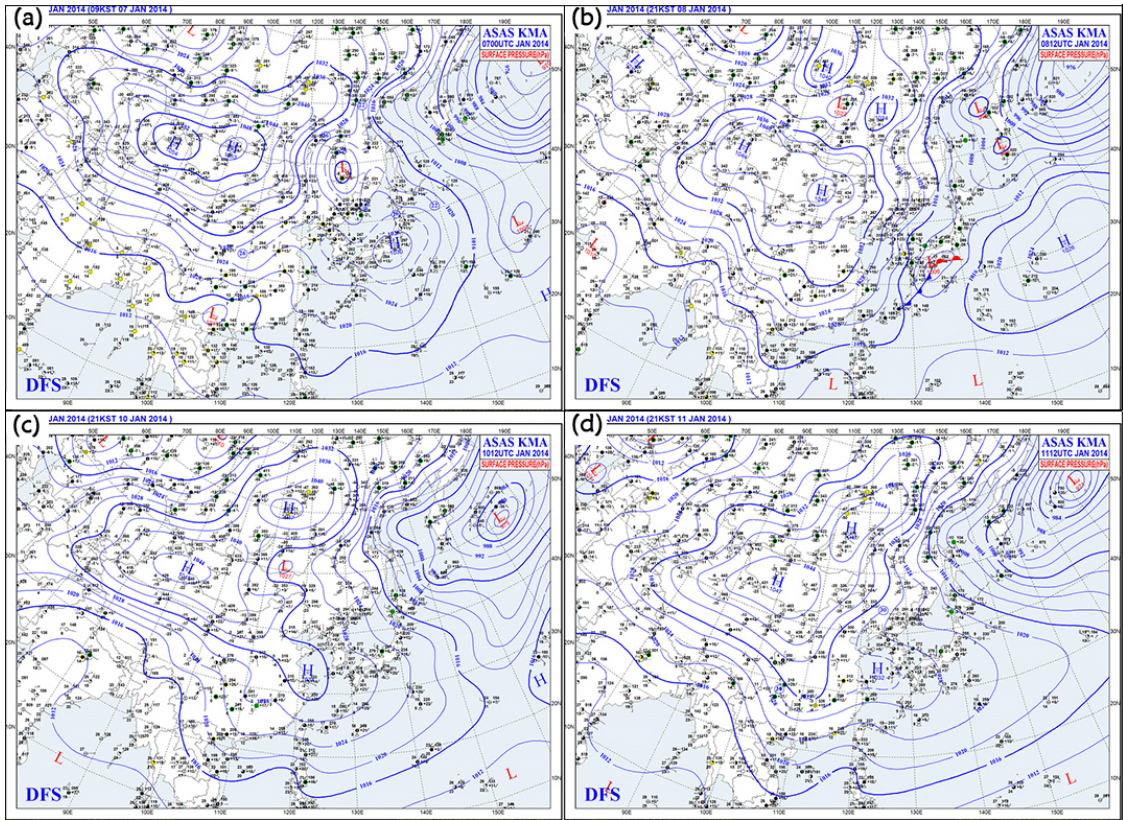


그림 6. 사례분석 기간 동안의 기압배치 (a) 2014년 1월 7일 21시, 기압배치 L형, (b) 2014년 1월 8일 21시, 기압배치 S형, (c) 2014년 1월 10일 21시, 기압배치 M형, (d) 2014년 1월 12일 09시, 기압배치 S형.

7일 오후부터 8일 오후까지 한반도는 저기압의 영향을 받아 중부지방은 흐리고 일부 지역에서 강수가 발생하였다. 저기압이 통과한 이후, 시베리아 고기압이 확장하며 8일 오후부터 날씨가 개었다. 1월 9일 오후부터 시베리아 고기압이 변질되어 2일 동안 이동성 고기압이 한반도에 영향을 미쳤다. 1월 12일 오전 8시부터 다시 확장하는 시베리아 고기압의 영향을 받았다.

그림 7은 사례분석 기간 동안 철원과 비교지점의 기온 차이를 나타낸 것이다. 그림에서 양의 값이 클수록 비교지점의 기온이 더 낮은 것이며, 음의 값이 클수록 철원의 기온이 더 낮은 것을 의미한다. 일기도는 09시와 21시에 제공되며, 기온은 일최저기온과 일최고기온이 나타날 수 있는 아침 8시와 오후 2시를 포

함하게 하였으므로 그림에서 기압배치형을 표시하는 시각과 기온을 표시한 시각 간에 차이가 있다.

사례분석 기간 동안 철원과 비교지점 간 기온 차이의 변화를 보면, 대관령을 제외하고 각 비교지점의 변동 양상이 비슷하다. 대체로 저기압과 이동성 고기압이 영향을 미칠 때에는 비교지점의 기온이 상대적으로 낮고, 시베리아 고기압이 영향을 미칠 때는 철원의 기온이 상대적으로 더 낮다. 1월 7일 02시부터 1월 8일 자정 사이는 대체로 비교지점의 기온이 상대적으로 낮은 상태이고, 시베리아 고기압이 확장하기 시작하는 8일부터 점차 철원의 기온이 더 냉각되는 것을 볼 수 있다(그림 7 참조).

1월 7일은 연속적으로 이동성 고기압의 영향을 받은 시기이다. 특히 이 시기에 봉화의 기온이 철원보다

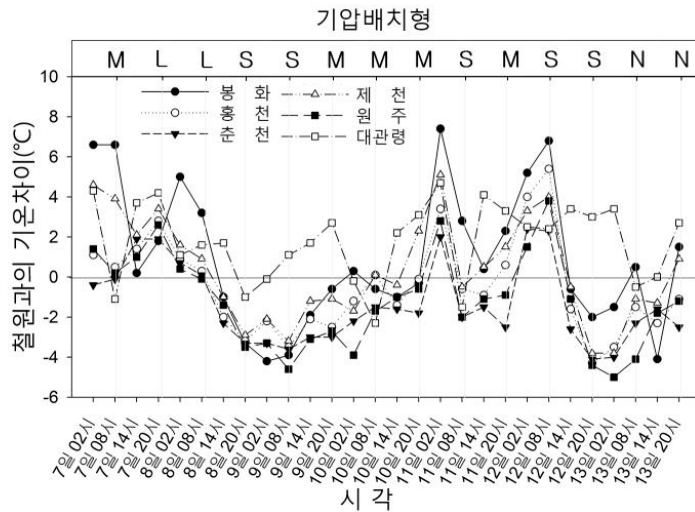


그림 7. 시간대별 철원과 비교지점 간의 기온차이

크게 하강하여, 1월 7일 새벽 2시와 아침 8시에는 각각 6.6℃ 더 낮았다. 이때 철원에서는 중하층운 운량이 7/10로 비교적 구름이 많아 복사냉각이 크게 진행되지 않은 반면, 봉화에서는 운량이 적어 복사냉각이 활발해지면서 두 지점 간의 기온 차이가 커진 것으로 판단된다.⁵⁾ 철원에 비하여 봉화의 기온이 크게 낮았던 시각에 오산의 850hPa 고도면 풍속은 5m/sec 내외로 바람이 약하여 복사냉각이 발달하기 쉬운 조건이었다. 같은 날 오후 2시에는 봉화의 기온이 빠르게 상승하면서 철원과 봉화의 기온 차이가 크게 줄었다. 이런 경향은 산지로 둘러싸인 제천, 원주, 춘천 등에서도 비슷하였다.

시베리아 고기압이 연속적으로 영향을 미친 1월 9일 새벽 2시와 아침 8시에는 철원의 기온이 봉화보다 각각 4.2℃, 3.9℃ 더 낮았다. 그 후 시베리아 고기압이 변질되어 이동성 고기압이 영향을 미치기 시작하는 1월 9일 오전부터 비교지점의 기온이 상대적으로 낮아지기 시작하였으나 1월 7일에 비하여 봉화의 기온이 크게 하강하지 않았다. 이날은 오산의 850hPa 고도면의 바람이 비교적 강하여 1월 9일 21시의 풍속은 19.0m/sec였고, 그 외 시간에도 15m/sec 내외를 기록하였다. 이와 같은 강한 바람이 분지 지역에서 복사냉각이나 냉기류의 발달을 방해하여 냉각이 억제되

었을 것으로 판단된다. 비교적 지속적으로 장시간 이동성 고기압의 영향을 받은 1월 11일 새벽 2시에 봉화의 기온이 철원과 가장 큰 차이(7.4℃)를 기록하였다. 1월 12일 오후부터 시베리아 고기압의 영향을 받으면서 앞의 경우와 비슷하게 철원과 비교지점의 기온 차이가 이어졌다.

대관령과 철원의 기온 차이는 다른 비교지점과 다른 양상이다. 대체로 대관령의 기온이 철원보다 낮았고, 1월 7일 8시와 8일 20시, 10일 8시, 11일 8시, 13일 8시에만 철원의 기온이 낮았다. 즉, 최저기온이 출현하는 시각에 철원의 기온이 대관령보다 낮았고, 시베리아 고기압이 확장하기 시작하는 1월 8일에는 야간(20시)에도 철원의 기온이 더 낮았다.

이상에서 살펴본 바와 같이 철원과 비교지점과의 기온 차이의 변화 양상은 대관령을 제외하고 서로 비슷하지만, 철원과 봉화나 제천의 기온차이가 한반도에 영향을 미치는 기압계의 특징을 잘 반영하였다. 즉, 이동성 고기압 영향 하에서 활발하게 진행되는 복사냉각의 결과로 봉화와 제천에서 냉각이 뚜렷하고, 시베리아 고기압이 확장할 때는 철원에서의 냉각이 뚜렷하게 나타났다.

6. 요약 및 결론

본 연구는 기압배치형별로 중부지방의 1월 최저기온 분포 특성을 규명하고자 하였다. 이를 위하여 중부지방의 1991~2010년 1월의 기온 분포를 분석하였다. 특히 철원의 기온을 춘천, 홍천, 대관령, 봉화, 원주, 제천 등 중부 내륙의 기온과 비교하는 데에 초점을 두고 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

일평균기온과 일최저기온의 평균값은 해발고도가 높은 대관령, 태백, 인제, 홍천과 철원에서 주변보다 낮은 값이다. 연구지역 중 가장 북서쪽에 위치하는 철원에서 극한기온의 출현빈도가 높다. 철원은 다른 지역에 비하여 -15°C 이하일수와 같은 극한 기온의 출현 빈도가 상대적으로 높다.

기압배치형별로 보면, 시베리아 고기압이 확장할 때 모든 지점에서 기온이 가장 낮다. 또한 철원이 다른 비교지점에 비하여 기압배치형 간의 기온 차이가 가장 크다. 이는 시베리아 고기압이 확장할 때 철원의 기온이 상대적으로 더 낮고, 이동성 고기압이 영향을 받을 때 크게 냉각이 일어나지 않기 때문이라 할 수 있다. 철원과 비교지점의 기온 차이는 시베리아 고기압이나 한반도 북쪽에 위치한 이동성 고기압이 영향을 미칠 때 크고 음(-)의 값이다. 그 외 지역에 이동성 고기압이 위치하면서 영향을 미칠 때는 기온 차이가 적고 봉화와 제천에서는 양(+)의 값이다. 즉, 이동성 고기압이 영향을 미칠 때는 봉화나 제천의 기온이 더 낮다는 것을 의미한다. 이동성 고기압이 영향을 미치면서 바람이 약할 때 분지에 자리한 봉화와 제천의 기온이 철원보다 상대적으로 더 낮다. 이는 봉화와 제천의 기온이 복사냉각과 냉기류의 영향을 받아서 더 낮아졌음을 의미한다고 할 수 있다.

본 연구에서는 기압배치와 관련하여 중부지방의 기온 분포를 설명하였지만, 기온 분포에 영향을 미치는 요인은 이보다 더 다양하다. 이런 다양한 요인을 고려하여 한파의 출현 원인을 상세히 밝히고, 나아가 예측이 가능하도록 지속적인 연구가 이어져야 할 것이다.

사사

이 논문을 위하여 토의에 응하여준 허인혜 박사와 천재호 선생에게 감사하며, 세심하고 적절한 지적을 하여주신 익명의 세 분 심사위원께도 깊은 감사의 뜻을 전한다.

주

- 1) 중부지방 대부분 관측소에서 2010년 이후 1월 최저기온 평균값이 평년값보다 낮은 값을 기록하고 있다.
- 2) 연합뉴스 1999년 1월 8일자 및 2002년 1월 3일자 뉴스 등 참조
- 3) 분석 지점 중 철원기상관측소가 1988년 1월부터 관측을 개시하였으므로 분석기간을 1991년부터로 정하였다. 동해기상관측소에서는 1992년 5월, 영월기상관측소는 1995년 1월, 동두천기상관측소는 1998년 2월부터 각각 관측이 시작되었으므로 그 이후의 자료가 분석에 사용되었다.
- 4) 연구 지역의 범위에서 상층 바람을 관측하고 있는 곳은 오산뿐이다. 기상청에서는 지상 풍속이 13.9m/sec 이상인 경우를 폭풍으로 간주하고 있으며, 850hPa 고도면의 풍속이 13.9m/sec 이상이면 복사냉각이 발달하기 어려울 것으로 판단하였다.
- 5) 봉화기상관측소에서는 운량을 관측하지 않으므로 안동과 대구기상관측소의 값을 참조하였으며, 두 지점의 중하층 운량은 0이었다. 1991~2000년 동안 봉화와 안동, 대구 운량간의 상관계수는 각각 $r=0.85$, $r=0.89$ 이다.

참고문헌

- 기상청, 2010, 2010 이상기후 특별 보고서, 기상청.
- 고정웅·백희정·권원태·박종열, 2006, “한반도의 기온 분포 특성과 지역 구분,” 기후연구, 1(1), 3-14.
- 김맹기·신성철·이우섭, 2005, “한반도 겨울철 한파와 관련된 대기 순환과 열원의 특성,” 한국지구과학회지, 26(6), 560-572.
- 류상범, 2003, “우리나라 겨울철 한파 내습 과정에 관하여,” 대기 13(1), 310-313.
- 류상범·권원태, 2002, “남한의 한랭 겨울과 흑한일의 기후학적 특성,” 대기, 12(1), 288-291.

- 이경미 · 백희정 · 조천호 · 권원태, 2011, “한국의 최근 10년의 기온과 강수 변화,” *국토지리학회지*, 45(2), 237-248.
- 이승호 · 허인혜, 2011, “한국의 도시화에 의한 극한기온의 변화,” *대한지리학회지*, 46(3), 257-276.
- 최영은 · 박창용, 2010, “우리나라 중부지방의 한파 분포 및 변화에 관한 연구,” *국토지리학회지*, 44(4), 713-725.
- 허인혜, 2006, “한국의 지역별 이상기온의 분포 특성과 그 지역구분,” *한국지역지리학회지*, 12(4), 461-474.
- Alexander, L. V., X. Zhang, Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., and Vazquez-Aguirre J. L., 2006, Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Journal of Geophysics Research*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Bonsal, B. R., Zhang, X., Vincent, L. A., and Hogg, W. D., 2001, Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada, *Journal of Climate*, 14(9), 1959-1976.
- Chen, T. C., Huang, W. R., and Yoon, J. H., 2004, Interannual variation of the East Asian cold surge activity, *Journal of climate*, 17(2), 401-413.
- Choi, G. Y., Kwon, W. T., Boo, K. O., and Cha, Y. M., 2008, Recent spatial and temporal changes in means and extreme events of temperature and precipitation across the republic of Korea, *Journal of Korean Geographical Society*, 43(5), 681-700.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*[Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom And New York, NY, USA.
- Moberg, A., and Jones, P. D., 2005, Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901-99. *International Journal of Climatology*, 25(9), 1149-1171.
- 교신: 이승호, 143-701, 서울시 광진구 능동로 120, 건국대학교 이과대학 지리학과(e-mail: leesh@konkuk.ac.kr, 전화: 02-450-3380, 팩스: 02-3436-5433)
- Correspondence: Seungho Lee, Department of Geography, Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 143-701, Korea (e-mail: leesh@konkuk.ac.kr, phone: +82-2-450-3380, fax: +82-2-3436-5433)

최초투고일 2014. 1. 27
수정일 2014. 2. 5
최종접수일 2014. 2. 17