대설에 의한 월별 피해액의 공간적 자기상관에 관한 연구

천재호¹·이승호²

¹청원고등학교 · ²건국대학교 지리학과

(2016년 12월 23일 접수, 2016년 12월 29일 수정, 2016년 12월 30일 게재 확정)

A Study on Spatial Autocorrelation of the Monthly Amounts of Damage by Heavy Snowfall in Korea

Jae-Ho Chun¹ · Seungho Lee²

¹Cheongwon High School · ²Department of Geography, Konkuk University

(Received 23 December 2016, Revised 29 December 2016, Accepted 30 December 2016)

Abstract : This study was aimed to analyse spatial patterns of the monthly amounts of damage by heavy snowfall in Korea using damage data of disaster yearbook at all cities and *guns*(country level) in Korea during 1980-2014. Most damages by heavy snowfall happened in January, followed by March, December, February, and November. The spatial distribution of snowfall disaster areas by themselves represented a strong spatial positive autocorrelation. The local spatial autocorrelation is drawn by the LISA cluster map. The distribution of snow disaster area is not independent of a spatial context within geographic limits, forming a spatial cluster. We examined the synoptic scale situation in monthly extreme events of damage by heavy snowfall based on composite analysis. The result shows the snowfall disaster is characterized by low pressure in January. The snowfall disaster in February is characterized by easterly wind. The snowfall disaster in March is mainly due to low pressure. Westerly wind with west-high and east-low pressure system pattern is predominant in December.

Key Words : snowfall disaster, spatial distribution, spatial autocorrelation, synoptic scale situation

주요어 : 대설 재해, 공간 분포, 공간적 자기상관, 종관 환경

1. 서론

우리나라에서 발생하는 재해는 비, 바람, 눈과 관련된 기상재해가 대부분이다. 최근 우리나라는 산업화 및 도시화가 진행됨에 따라 고소득 지역일수록 기상재해에 대한 취약성이 높아져 그 피

해액의 규모가 더욱 커지고 있다(Jeong and Heo, 2014). 또한 지구 온난화로 인한 기온 상승은 이상기온의 출현 빈도 변화, 호우 관련 극한 강수 증가 등 기상재해의 위험성을 증가시키고 있는 것으로 보고되고 있어(Heo and Lee, 2006; Lee *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2013; Heo *et al.*, 2014), 이에 대

한 연구가 필요하다.

Borden and Cutter(2008)에 따르면 기상재해에 의한 사망자의 공간적 분포 패턴은 군집화하려는 경향이 있다. 중국에서도 경제적 손실과 심각한 피해를 유발한 홍수와 대설과 관련한 재해를 대상으로 공간적 자기상관을 분석한 바 있다(Su *et al.*, 2011). 이 연구에 따르면 홍수의 경우 남중국에서, 대설의 경우 북중국에서 군집화하는 경향이 있다고 하였다. 또한, 우리나라에서 산불을 대상으로 한 연구에서도 산불 발생 지역 간의 공간적 자기상관이 높아 군집화하는 경향을 보인다고 하였다(Kim, 2014; Kim *et al.*, 2014).

이들 연구들은 기상재해의 공간적 인접성의 중요성을 부각시킨 연구들으로써, 기상재해의 공간적 분포가 서로 연관되어 있음을 보여준다. 실제로도 Tobler(1970)는 모든 것은 서로 관련되어 있고, 가까운 것일수록 보다 더 높은 관련성을 보인다고 해서, 이를 지리학의 제1법칙이라고 하였다. 이는 공간 자료들의 특성 상 공간적으로 상호 관련성이 존재할 수밖에 없음을 시사한 것으로, 가까운 지역일수록 서로 간의 자료 값이 유사해질 수밖에 없다.

어떠한 현상이 공간적으로 어떻게 분포되어 있는지를 파악하는 것은 공간 패턴의 형성 과정과 요인을 밝히는데 가장 우선적으로 선행되어야 한다(Choi *et al.*, 2007). 대설에 의해 발생하는 재해의 경우에 피해를 유발하는 적설량은 지역에 따라 차이가 크다는 것을 고려한다면(Changnon and Changnon, 2006), 지역별로 대설에 의한 재해에 대비하고 피해를 줄이기 위해서는 대설로 인한 재해의 공간적 군집화 경향을 분석할 필요가 있다.

아울러 기상재해는 기압 배치와 같은 종관 환경에 영향을 받는 극단적인 대기 현상에 의해 유발된다. 이런 까닭에 계절별, 월별로 다른 종관 환경에 따라 기상재해의 출현 양상도 다양하게 나타난다.

이에 따라 기상재해는 계절별, 월별로 수해, 풍해, 설해 등 상이하게 나타나는 경향을 지닌다. 각각의 종류별 기상재해 또한 발생 시기에 따라 피해를 유발하는 종관 환경이 서로 다를 수 있다. 따라서 기상재해로 발생하는 피해에 대하여 기압 배치 등 피해 발생 시기의 기상 상태 등의 분석이 요구된다.

대설에 의한 기상재해도 지역별로 피해가 집중하는 기간이 월별로 서로 다른 경우가 많다. 이는 강설 시스템이 월별로 서로 다른 종관 환경에 기인하는 경우가 많기 때문이다. 따라서 대설에 의한 피해를 월별로 구분해서 분석할 필요가 있다.

이에 따라 본 연구에서는 대설에 의한 피해액을 자료로 해서 우리나라에서 발생하는 대설에 의한 피해의 공간적 분포를 월별로 파악하고 이의 공간적 군집화 패턴을 보기 위해 공간적 자기상관을 분석하였다. 또한, 이러한 분포 패턴에 영향을 미치는 종관 환경에 대해서도 분석하였다.

2. 연구자료 및 방법

본 연구에서 이용한 자료는 소방방재청 중앙재난안전대책본부에서 집계해 제공하는 재해연보의 피해 자료이다. 재해 연보에서 대설에 의한 재해 사례라고 판단한 원인별 항목은 폭설, 폭풍설, 눈, 대설이다. 이와 같은 원인으로 발생한 재해 사례를 모두 대설로 인한 재해로 정리하였다. 재해 연보에서 대설과 관련한 피해 자료를 월별로 분류하여 사례 기간의 시·군별 피해액을 입력하였다. 그리고 이는 한국은행의 2010년 물가 환산지수를 이용하여 2010년 기준으로 환산해 계산하였다.

본 연구의 분석 기간은 1980~2014년의 35년간이다. 재해연보가 발간된 첫 해인 1979년에는 광역자치단체인 시·도별 기준으로 자료가 정리되어

있어, 시·군별로 정리된 1980년부터를 연구 기간으로 삼았다. 재해 분석 지점은 전국의 광역자치단체 및 기초지방자치단체 164개이며, 행정구역 현황은 2010년 현재에 맞춰 분석하였다. 특별시, 광역시 및 특별자치도와 특별자치시의 경우 분석의 편의를 위해 행정구역을 하나로 묶어 취급하였다.

우선 대설에 의한 재해의 월별 평균 피해액을 정리해 ArcGIS를 이용하여 지도화하였다. 월별 평균 피해액의 분포는 지역별로 각기 다른 강설 시스템의 작용을 이해하는데 도움을 받고자 분석하였다. 한편 지역별로 대설에 의한 월별 피해의 공간적 군집화 경향을 분석하기 위하여 공간 분포에 대한 공간적 자기상관 분석을 하였다. 이를 통해 각 시·군에서 대설에 의한 재해가 발생하였을 때 어떤 달에 피해가 많았는지를 알 수 있으며, 지역별로 공간적인 연관성을 가지고 월별 피해의 군집화 경향을 파악할 수 있다.

본 연구에서는 공간적 연관성을 알아보기 위해 GeoDa 프로그램을 이용하여 모란(Moran) 지수를 산출하여 공간적 자기상관을 분석하였다. 모란 지수는 공간적 자기상관을 탐색하는데 유용한 측정 척도로써, 인접한 공간 단위들 간의 값을 비교하여 통계값을 계산한다. 공간적 자기상관 분석을 위해서는 우선 공간 가중 행렬을 구축해야 하는데, 여기서는 Rook 방식을 이용하여 공간 행렬을 구축하였다. 이 유형은 두 지역이 한 변을 공유하는 경우로, 이는 주로 동-서, 남-북으로 인접하여 있는 형태에 주로 쓰인다.

공간적 자기상관을 분석하는 방법은 전역적(global) 방법과 국지적(local) 방법으로 나뉜다. 일반적으로 공간적 연관성을 분석하는 경우 연구지역 전체를 대상으로 하여 공간적 군집화와 같은 체계적인 분포 패턴이 나타나는가를 파악하기 위해서는 전역적 모란 지수를 사용한다(Lee, 2010). 모

란 지수는 통상적인 상관계수를 유추한 것이므로, 이와 마찬가지로 1~-1의 값을 가진다. 모란 지수에서 1은 완전한 양(+)의 공간적 자기상관을, -1은 완전한 음(-)의 공간적 자기상관을 의미한다. 0일 경우 자기상관이 없는 무작위 패턴을 뜻하며, 보통 0.3 이상일 경우 군집화 되어 있다고 판단한다(Park *et al.*, 2015).

전역적 모란 지수의 수식은 식 1과 같다. 즉 $m \times n$ 행렬 내 i 번째 행 및 j 번째 열에 있는 변량 x_{ij} 와 해당 지점 주변에 인접하는 변량 간 상관계수라고 정의할 수 있다.

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{식 1})$$

여기서 N =전체 지역 수, $\bar{x}$ =평균값, $x_{i(j)=i(j)}$ 지역의 등간 및 비율 척도 변수의 값이며, w_{ij} 는 i, j 지역 간 가중치 행렬(인접해 있으면 1, 인접하지 않았으면 0)이다.

국지적 수준에서 공간적 자기상관을 분석하기 위해서는 공간적 자기상관 값이 각 지역 단위에서부터 추출되며, 이를 국지적 모란 지수라고 한다. 이에 대한 수식은 식 2와 같다.

$$I_i = Z_i \sum_j w_{ij} Z_j \quad (\text{식 2})$$

여기서 Z 는 표준화된 값으로 $Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\delta}$ 이다.

또한 대설에 의한 월별 피해액의 분포 특성은 월별로 강설 시스템이 다른 우리나라의 겨울철 강설 특성에 기인한 것으로 생각해 100억 원 이상의 피해액이 발생한 대설 사례를 선정해 이때의 종관 환경을 분석하였다. 종관 환경 분석을 위하여 사용한 자료는 NCEP/NCAR의 재분석 자료이다. 종관 환경 분석은 해수면 기압의 평균 합성도를 작성해 수행하였다.

3. 월별 피해액과 피해 집중도의 분포

1) 월별 피해액의 분포

겨울철 대설에 의한 피해를 월별로 구분해 살펴보면 1월이 1조 26억 원(34.0%)로 가장 많다. 다음으로 3월의 8,389억 원(27.9%), 12월의 6,945억 원(23.0%), 2월의 3,952억 원(13.1%), 11월의 601억 원(2.0%) 순이다(Figure 1).

월별로 대설에 의한 피해액의 공간 분포를 나타낸 Figure 2을 보면 월별 피해액 분포는 지역별로 차이가 크다는 것을 파악할 수 있다. 1월의 경우, 충남 당진에서 694억 원으로 가장 피해가 컸으며, 천안·아산·예산·홍성 등 충남의 내포 지방과 대전광역시, 세종특별자치시, 공주·부여 등 충남의 내륙 지역 중심으로 피해가 컸다. 이 외에도 경기도 남부 지역의 이천·화성·여주·평택·안성 등지와 충북 음성·진천·청원, 경북 성주·상주·김천·포항에서 100억 원 이상의 피해를 입었다(Figure 2a).

2월의 피해액은 경기도 남양주시가 429억 원으로 가장 피해액이 많았으며, 경기도 고양·포천·파주·광주 등 수도권의 서울 주변부에서 피해액이 많은 편이다. 또한 강릉·동해·삼척 등 강원도 영동 지방에서도 100억 원 이상의 피해가 발생하였다(Figure 2b). 수도권의 피해는 2001년 2월 15일의 대설에 기인한 것인데, 이때 저기압이 중부 지방을 지나감에 따라 서울 및 경기도와 강원도 영서 지방에 많은 눈이 내려 피해를 유발하였다. 강원 영동 지방에서 2월 피해가 큰 것은 다른 달에 비해 많은 이 지역에서의 2월 강설량에 기인한 것이다. Chung *et al.* (1999)과 Lee(2002)에 의하면 영동 지방은 2월 강설량의 비중이 가장 높다고 하였다.

3월 피해액은 충남 논산에서 1,177억 원으로 가장 피해가 컸으며, 이외에도 충남 부여와 충북 청원에서 1,000억 원 이상의 피해가 났다. 또한 부산

Figure 1. Monthly total amounts of damage by heavy snowfall during 1979-2014.

광역시, 대전광역시, 세종특별자치시, 충남 공주·청양·보은·예산·홍성, 충북 청주·괴산·보은·옥천·음성, 경북 문경·영주·예천 등에서도 100억 원 이상의 피해가 발생하였다(Figure 2c). 3월의 피해액 또한 1, 2월의 피해액과 유사하게 2004년 3월 4~5일의 특정한 한 사례가 크게 반영된 결과를 보인다.

11월은 월별 피해액이 연구 기간 동안 가장 적어 약 600억 원에 불과하다. 실제 분석 기간 동안 11월에 피해가 발생한 해는 1980년, 1996년, 2011년 등 3개년에 불과하다. 11월은 전북 정읍(88억 원)에서 피해액이 가장 많았으며, 전라남·북도와 충청남도 등지를 중심으로 피해를 입어 전북 진안, 충남 부여에서 50억 원 이상의 피해액이 발생하였다. 11월의 경우 분석 대상 중 72.1%의 시·군에서 피해가 없었다(그림 미제시).

12월은 전남 나주에서 884억 원으로 가장 피해가 컸다. 12월 피해액이 100억 원 이상인 지역은 전북 정읍·고창·부안·김제·군산, 전남 영암·함평·장성·영광·무안·담양, 광주광역시, 제주특별자치도, 충남 서천 등지로 호남 서해안 지역과 제주도를 중심으로 피해가 컸다(Figure 2d). Chung *et al.* (1999)에 의하면 서해안 지역은 12월에 대설 빈도가 가장 많다고 하였다. 그러므로 12월의 피

Figure 2. Spatial distribution of monthly total damage amounts due to heavy snowfall in Korea during 1980-2014 (a: January, b: February, c: March, d: December).

해역도 서해안 지역에서 많은 것으로 판단된다. 12월 또한 2005년 12월 3~24일의 대설 사례가 크게 반영되었다. 이때의 대설 피해는 20여 일 동안 장기간에 걸쳐 내린 눈으로 인해 비닐하우스, 인삼재배시설, 축사 등 적설에 취약한 시설과 풍랑으로 인하여 어선 및 수산증양식 시설에 많은 피해가 발생하였으며, 또한 한파를 동반한 많은 눈이 녹지 않고 장시간 쌓임에 따라 피해가 가중되었다.

2) 월별 피해 집중도의 분포

이처럼 대설에 의한 피해액의 공간 분포는 월별로 지역 차이가 크다. 이는 재해를 유발하는 강수의 규모와 지역의 지리적 특성에 따라 그 차이가 크기 때문이다. 미국을 대상으로 한 Changnon *et al.* (2006)의 연구에서도 오대호와 애팔래치아 산맥과 같은 대규모 지형과 해발고도로 인해 대설에 의한 피해가 월별로 상당한 공간적 변동성을 갖고 있다고 하였다. 또한 Heo *et al.* (2014)에 따르면 호우에 있어서도 지역별로 호우가 빈번하게 출현하는 달이 다르고 피해 규모도 지역 특성에 따라 차이가 발생해 시군별로 피해의 월별 집중도가 다양하다고 하였다. 이에 따라 본 연구에서도 시·군별로 피해액의 월별 집중도를 파악하였고, 시·군별로 대설에 따른 피해액의 비중이 50%를 초과해 최대로 집중되는 달을 지도화하였다(Figure 3).

연구 기간 동안 호남 서해안 지역의 대부분과 제주도에서는 초겨울인 12월에 피해 비중이 높았다. 늦겨울인 2월과 3월의 피해 비중을 보면, 먼저 2월에는 서울특별시를 비롯한 수도권 일부 지역과 강릉·동해·삼척 등의 강원도 영동 지방, 그리고 전남 보성에서 경북 경주에까지 이르는 남부 지역에서 피해 비중이 높았다. 또한 부산광역시, 세종특별자치시, 충청남·북도의 내륙 일부 지역에서는 3월에 대설로 인한 피해가 집중하였다. 한겨울인 1

월에는 호남 지방과 동해안 지역 및 남해안 지역을 제외하고 피해 비중이 50% 이상인 지역이 전국적인 분포를 보인다. 아울러 울산광역시 등 일부 지역에서는 어느 특정 달의 피해가 50%를 초과하는 피해 집중도를 보이지 않았다.

대설로 인한 피해액의 월별 분포에 대해서 11~12월을 초겨울로, 1월을 한겨울로, 2~3월을 늦겨울로 구분해 피해 집중도를 Figure 4와 같이 ternary plot으로 도식화하였다. 연구 기간 동안 초겨울인 11~12월에 피해가 집중되는 지역은 한정적으로 분포하고 있으며, 대부분의 지역에서는 한겨울인 1월과 늦겨울인 2~3월에 피해가 집중하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 연대별로 거의 차이가 없이 전체 연구 기간 동안 유사한 경향을 보였다. 이를 통해 대설에 의한 피해액이 월별로 지역간의 차이가 발생하고 있음을 파악할 수 있다.

이에 따라 초겨울, 한겨울, 늦겨울의 계절에 따른 대설에 의한 피해액 간의 관계를 살펴보기 위해 연구 기간 동안 총피해액이 200억 원 이상인 50개 시·군들에 대해서 피어슨 상관계수를 분석하였다(Table 2). 초겨울에 발생하는 대설에 의한 피해액은 한겨울이나 늦겨울의 피해액과는 부(-)의 상관관계를 보이고 있다. 이는 초겨울에 대설에 따른 피해가 발생하는 지역에서는 한겨울이나 늦겨울에 피해 발생이 적다는 것을 의미한다.

실제로 동일한 서해안 지역이라도 호남 지방에서는 12월에 적설이 많고, 중부 지방의 인천에서는 2월의 적설이 많다는 보고도 있다(Go *et al.*, 2009). 또한 Chung *et al.* (1999)의 연구에서도 호남과 충청 서해안 지역은 12월의 대설 비중이 49%로 거의 절반에 달하며, 영동 지방을 제외한 중부 지역에서는 1월에 대설 비중이 50%를 초과한다고 하였다. 이를 통해 지역에 따라 대설이 집중하는 철이 달라져, 월별로 대설에 의한 피해 지역이 구분되고 있음을 파악할 수 있다. 더불어 우리나라

Figure 3. Spatial distribution of month with exceed 50% share of damages due to heavy snowfall.

는 각 지역별로 대설을 유발하는 종관 환경이 계절에 따라 다른 경우가 많아, 지역 특성이 대설에 의한 재해를 유발하는데 주요한 인자로 작용할 수도 있다(Jhun *et al.*, 1994).

Table 2. Pearson correlation coefficients between the amounts of damage in early winter, midwinter, and late winter by heavy snowfall.

Seasons	Correlation coefficient(r)		
	Early winter	Midwinter	Late winter
Early winter	1.000		
Midwinter	-0.445**	1.000	
Late winter	-0.292*	-0.118	1.000

** significant at level $\alpha=0.01$

* significant at level $\alpha=0.05$

Figure 4. Seasonal concentration ratio of damage by heavy snowfall.

4. 월별 피해액의 공간적 자기상관

1) 전역적 자기상관 분석

우선 연구지역 전체를 대상으로 하여 공간적 군집화와 같은 체계적인 분포 패턴이 나타나는가를 파악하였다. 전역적 모란 지수를 사용해 공간적 자기상관을 분석하였다. 전역적 모란 지수는 전체 연구 지역에서 특정 지역의 피해액이 많고 인접 지역의 피해액이 많은 경우이거나, 특정 지역의 피해액이 적고 인접 지역의 피해액이 적으면 자기상관 값은 양(+)이 된다. 또한 특정 지역의 피해액이 많은데 인접 지역은 낮거나, 특정 지역의 피해액은 적는데 인접 지역이 높을 경우에는 자기상관 값이 음(-)이 된다. 피해액이 많거나 적은 값이 공간적으로 무작위로 분포한다면 자기상관 값은 0이 된다.

각 월별로 대설에 의한 피해액의 공간 분포 패턴에 대한 전역적 모란 지수를 산출한 결과 통계적으로 모두 유의미한 정(+)적인 계수가 산출되어 공간적 자기상관이 존재하고 있음을 알 수 있다 (Figure 5). 즉 1월의 모란 지수는 0.44758, 2월은 0.323797, 3월은 0.467027, 12월은 0.633373이다. 각 월별 모란 지수는 모두 0.3 이상이므로 공간적으로 군집화 되어 있다고 판단할 수 있다. 이는 각 월별로 대설에 의한 피해액의 경우 피해액이 많은 지역은 그 주변으로도 피해액이 많은 지역이 인접

해 있으며, 피해액이 적은 지역은 그 주변 지역에서도 피해액이 적음을 의미한다. 즉, 모란 지수가 정(+)이면 피해액이 많은 지역은 많은 지역(H-H 군집)끼리, 적은 지역은 적은 지역(L-L 군집)끼리 군집화하고 있음을 의미한다. 그리고 12월의 경우 모란 지수의 값이 다른 달보다도 크게 나타나는데, 이처럼 모란 지수가 크면 클수록 피해액의 분포가 유사한 지역들이 보다 더 인접해 있다는 것이다. 따라서 대설에 의한 피해액은 공간적 군집화를 이루고 있다고 할 수 있다.

Figure 5. Moran scatter plot and Moran's I of monthly total damage amounts due to heavy snowfall in Korea during 1980-2014(a: January, b: February, c: March, d: December).

2) 국지적 자기상관 분석

전역적 모란 지수는 연구 지역 전체의 자기상관 값을 보여줄 뿐, 전체 지역 내에서의 공간적 연관성에 대한 국지적 구조를 파악할 수 없다. 즉 특정 지역이 어떤 값을 가지면서 공간적 자기상관을 나타내고 있는지 공간적 자기상관의 지역 구조를 파악할 수 없다(Jeong and Kim, 2005). 따라서 구체적으로 특정 지역이 어느 지역과 높은 자기상관을 나타내는지를 국지적 수준에서 공간적 자기상관을 분석할 필요가 있다. 이에 따라 공간적 연관성을 분석하기 위한 모란 지수의 국지적 지표로 개발된 것이 LISA(Local Indicators of Spatial Association)이다(Anselin, 1995).

국지적 모란 지수는 특정 지역의 값과 인접 지역들의 값의 가중 평균값이 서로 유사하게 나타나면 정적인 자기상관으로, 반대로 특정 지역의 값과 인접 지역들의 가중 평균값 간의 차이가 크게 나타나면 부적인 자기상관으로 판정하게 된다. 따라서 특정 지역의 국지적 모란 지수 값이 크면 특정 지역과 인접 지역의 값이 유사하다는 것을 의미하므로 공간적 군집화를 판단할 수 있다(Ko, 2009).

국지적 모란 지수는 LISA의 군집 지도를 통해 공간적 군집화 유형을 구분할 수 있다. LISA의 군집 지도는 H-H(High-High), L-L(Low-Low), H-L(High-Low), L-H(Low-High)의 군집으로 지역을 지도화해 주므로 공간적 군집화 패턴을 시각적으로 쉽게 보여준다. 그리고 이때의 자기상관은 유의수준 0.05 이하 수준에서 통계적으로 유의한 지역들만 추출해 주고 있다. 여기서 H-H 유형은 높은 값 주변에 높은 값이 인접해 있는 경우이고, L-L 유형은 그 반대의 경우로 낮은 값 주변에 낮은 값이 존재하는 유형이다. H-L 유형은 높은 값 주변에 낮은 값이 인접해 있는 경우이며, L-H 유형은 낮은 값 주변에 높은 값이 존재하는 경우이다. 국지적 자기상관 분석은 특정 지역의 절대적

값이 높고 낮음이 아니라 인접 지역과의 연관성이나 지역적으로 공간적 군집화를 파악할 수 있게 해주는 것이다. 이 때 공간적 군집은 주로 H-H와 L-L 유형을 말하며, H-L과 L-H 유형은 공간적 이례 지역이라고 할 수 있다.

대설에 의한 월별 피해액의 공간적 군집화 패턴을 분석하기 위하여 국지적 모란 지수를 토대로 하여 LISA 군집 지도를 월별로 작성하였다(Figure 6). 이를 보면 대설에 의한 피해액이 많은 지역들끼리 인접한 H-H 군집과 피해액이 적은 지역들끼리 인접한 L-L 군집이 각 월별로 매우 대조적으로 분포하고 있음을 알 수 있다. H-L 군집의 경우 해당 지역에서는 피해액이 많으나 주변 지역에서는 피해액이 적은 경우를 뜻하며, L-H 군집은 그와 반대로 해당 지역의 피해액은 적으나 주변으로 피해액이 많은 지역이 인접해 있음을 의미한다. 이들 군집 유형이 나타나는 까닭은 우리나라의 지형이 복잡해 국지적인 대설 현상이 발생하기 쉽고, 또한 대설이 기단 변질과 같은 국지적인 강설 기구와 밀접하게 관련되어 있기 때문이다. 즉 대설에 의한 피해가 발생한 지역과 비록 인접한 지역일지라도 국지적으로 강설을 유발하는 종관 환경이 상이해 대설의 발생 차이를 보일 수 있다.

1월의 경우 대설에 의한 피해가 많은 H-H 군집은 경기 남부와 충청 북부 지역에서 형성되어 있고, L-L 군집은 호남 지방과 경남의 남해안 지역에 형성되어 있다. 2월에는 경기 북부와 강원 영동 지역에서 H-H 군집이 형성되어 있으며, 1월과 반대로 충청 북부와 경북 북부 내륙 지역에서 L-L 군집이 형성되어 있음을 볼 수 있다. 3월에는 충청 남부 지역에서 H-H 군집이 형성되어 있으며, L-L 군집은 호남 지방과 경남 서부 지역에 형성되어 있다. 12월에는 H-H 군집이 호남 서부 지역에서 나타나고 있으며, 경기 및 강원 영서 지역과 영남 내륙 지역에서는 L-L 군집이 형성되어 있다.

Figure 6. Spatial cluster pattern of monthly total damage amounts due to heavy snowfall in Korea during 1980-2014 (a: January, b: February, c: March, d: December).

이를 통해 월별로 대설에 의한 피해액이 시·군별로 군집화하는 경향을 보여 공간적 자기상관이 매우 큼을 알 수 있다. 이는 월별로 대설에 의한 재해를 유발하는 강설 시스템이 제각각임을 시사한다. 실제 우리나라의 대설은 월별로 대설 지역이 구분되는 경향을 갖는다. 이처럼 대설 지역

이 구분되는 것은 각기 대설을 유발하는 종관 배경과 발생 기구가 서로 다르기 때문이다(Jhun *et al.*, 1994). 따라서 대설에 의한 재해를 유발하는 종관 환경을 월별로 살펴볼 필요가 있다.

5. 월별 종관 환경

우리나라에 피해를 입힌 대설 사례들은 앞서 살펴본 것처럼 월별로 군집화하는 경향이 있으며, 이는 지역별로 피해를 입는 달이 상이함을 보여준다. 따라서 월별로 피해를 유발한 대설 사례의 종관 기후 특징을 살펴보기 위해 월별로 100억 원 이상의 피해를 유발한 대설 사례에 대해 합성도를 만들어 분석하였다. 아울러 1,000억 원 이상의 극심한 피해를 유발한 사례에 대해서는 따로 합성도를 작성하였다.

1월은 우리나라를 중심으로 하여 북서쪽 대륙 내부의 몽골 지역에는 고기압이 발달하고, 북동쪽의 알류산 열도에 저기압이 발달한 상태에서 우리나라 주변으로 저기압이나 기압골이 통과할 때 재해를 유발하는 대설이 있었다(Figure 7a). 이때의 대설은 저기압의 경로에 종속되어 나타나는 경우가 많은데 상대적으로 기온이 높은 남부 지방에서는 비의 형태로 내리는 경우가 많아 주로 중부 지방에서 대설이 나타난다. 이에 따라 1월에는 중부 지방의 경기 남부와 충청 북부 지역에서 LISA 군집 지도 유형 중 H-H 군집이 뚜렷하였고, 남부 지방에서 L-L 군집이 형성되었다. 가장 극심한 피해를 유발한 2001년 1월 7~8일 사례의 경우 발달한 저기압이 우리나라를 통과하면서 서울을 비롯한 중부 지방 중심으로 피해가 컸음을 확인할 수 있다(Figure 7b). 기존 연구에서도 1월에 저기압의 통과가 중부 지방의 대설 발생에 중요한 영향을 미치고 있음을 언급하였다(Chung *et al.*, 1999; Cheong *et al.*, 2006; Choi and Kim, 2010).

2월의 경우 우리나라를 중심으로 하여 북서쪽 대륙 내부의 몽골 지역에 발달한 고기압이 자리하고, 중국 화남 지방과 동베이 지방 쪽으로 기압능이 위치하면서 한반도 남쪽에서 저기압이 동진할 때, 우리나라에는 기압골이 자리해 재해를 유발하

는 대설이 발생하였다. 그리고 이와 같은 기압 배치 상태에서는 지상에서 동해로부터 영동 지방 쪽으로 강한 북동 기류가 유입되어 영동 지방에 대설을 유발한다(Figure 7c). 따라서 2월에는 강원 영동 지역이 LISA 군집 지도에서 H-H 군집의 주요 지역으로 형성되었다. 2월에 가장 극심한 피해를 유발한 2001년 2월 15일 사례의 경우 우리나라의 중부 지방에 기압골이 형성되어 동해에서 영동 지방 쪽으로 강한 동풍 계열의 바람이 유입되어 대설이 발생하였다(Figure 7d). Park and Yoon(1997)도 동해안의 영동 지방은 1월 중순부터 대설의 출현 빈도가 높아져 2월 하순까지 대설이 발생한다고 하였다.

3월은 2월의 경우와 거의 비슷한 패턴의 기압 배치를 보이고 있으나 등압선의 간격이 성기게 있어 우리나라 주변으로 기압 경도력이 작게 나타난다(Figure 7e). 3월에는 우리나라의 중부 지방을 중심으로 저기압 또는 기압골이 위치해 있고, 이 저기압의 북쪽과 남쪽으로 두 개의 고기압이 위치해 있을 때 주로 중부 지방에 재해를 유발하는 대설이 발생하였다. 이때 북쪽의 고기압은 확장하는 대륙성 고기압의 성질을 지니고 있으나 남쪽의 고기압은 변질된 기단의 성질을 보이게 된다. 특히 남쪽의 고기압은 지상에서 고기압성 순환으로 단순한 남서 기류를 가져와 북쪽의 찬 대륙성 고기압과의 온도차가 더욱 커지게 된다. 이로 인한 대류 불안정이 천둥과 번개를 동반한 대설을 유발하게 된 것이다(Figure 7f). 이에 따라 3월에는 충청 남부 지역이 LISA 군집 지도에서 H-H 군집이 형성되었다. Jung *et al.*(2005)도 2004년 3월 4일에서 5일까지 한반도에서 발생한 대설 사례에 대한 연구에서 이와 유사한 연구 결과를 언급하였다.

12월의 경우 전반적으로 우리나라를 기준으로 서고동저 형태의 기압 배치가 나타나 북서쪽에 대륙성 고기압이 확장해 와, 우리나라 부근으로 기

압 경도력이 증가하여 등압선이 남북으로 서 있는 형태를 보이면서 북풍 또는 북서풍이 강화될 때 재해를 유발하는 대설이 발생한다(Figure 7g). 특히 호남 지방의 대설은 비교적 서해의 수온이 높은 12

월에 주로 발생한다(Jeong, 1999). 이때의 대설은 대륙성 고기압의 확장으로 차가운 북서풍이 서해를 통과하면서 기단 변질에 의해 발생한다(Chung *et al.*, 1999; Lee and Chun, 2003; Lee and Lee,

Figure 7. Composite surface pressure map of extreme damage events due to heavy snowfall in Korea during 1980-2014.

2006; Cheong *et al.*, 2006). 즉 시베리아 고기압의 한반도 방형으로의 장출은 호남 지방의 대설 발생에 영향을 미치는 중요한 종관 기후 패턴이다(Choi and Kim, 2010). 따라서 12월에는 LISA 군집 지도에서 H-H 군집이 호남 서부 지역을 중심으로 형성되었다.

12월에 호남 지방에 재해를 유발하는 대설의 종관 환경 특성은 가장 극심한 피해를 입혔던 2005년 12월의 사례에서도 확인할 수 있다(Figure 7h). 2015년 12월 호남 지방의 대설은 서고동저형의 기압 배치에서 시베리아 대륙에서부터 확장해 오는 대륙성 고기압의 영향과 대기 상층의 한량한 기류와 서해의 따뜻한 해수면과의 온도차에 의한 대기 불안정으로 구름대가 발달하였고, 이 구름대가 강한 북서 기류에 의해 호남 지방에 지속적으로 유입되면서 발생하였다(Joo, 2006; Ryu *et al.*, 2007).

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 우리나라에서의 겨울철 대설에 따른 재해의 월별 분포 특성을 파악하기 위해 1980년부터 2014년까지 재해연보의 시군별 총 피해액 자료를 이용하여 대설에 의한 재해 지역의 월별 분포를 분석하였다. 이를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

본 연구의 분석 기간 동안 대설에 의한 월별 연평균 피해액은 1월에 가장 많았으며, 3월, 12월, 2월, 11월 순이다. 1월 피해액은 경기도 남부, 충청남·북도 등 중부 지방에서 많았다. 2월 피해액은 강원 영동 지방과 경기 북부 지역에서 많았다. 3월은 충청남·북도, 경상북도에 떠를 두른 것처럼 피해 지역이 분포한다. 12월에는 호남 서해안 지역에서 피해액이 많았다. 또한 초겨울, 한겨울, 늦겨울에 대설에 의한 피해의 집중도가 지역별로 다 달

라, 월별로 대설에 의한 피해 지역이 구분되고 있음을 파악할 수 있다.

본 연구에서는 대설에 의한 재해 지역의 월별 분포에 대한 공간적 자기 상관성을 분석한 결과 전역적 차원에서의 대설에 의한 피해액이 월별로 강한 정(+)적인 공간적 연관성이 존재하고 있는 것으로 나타났다. 또한 국지적 차원에서 월별로 대설에 의한 피해액의 공간적 군집화 패턴을 살펴본 결과 월별로 대설에 의한 피해가 많은 H-H 군집과 피해가 적은 L-L 군집이 상이하게 형성되고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 1월에는 경기 남부와 충청 북부 지역에서, 2월에는 경기 북부와 강원 영동 지역에서, 3월에는 충청 남부 지역에서, 12월에는 호남 서부 지역에서 대설에 의한 피해가 큰 H-H 군집이 형성되어 있다. 이를 통해 월별로 대설에 의한 피해액이 시·군별로 군집화하는 경향을 보여 공간적 연관성이 매우 큼을 알 수 있다.

이처럼 월별로 대설에 의한 피해 지역이 다른 이유를 파악하기 위해 지표 기압계를 분석하였다. 그 결과 1월의 대설 피해는 저기압 또는 기압골의 통과와 관련되었으며, 2월에는 우리나라에는 기압골이 자리하고 동해로부터 동해안 쪽으로 북동 기류가 유입될 때 나타났으며, 3월에도 저기압 또는 기압골의 통과와 관련이 있다. 12월의 경우 이와 달리 서고동저형의 기압 배치 하에서 차가운 북서 기류가 서해 상에서 기단 변질될 때 주로 피해가 발생하는 것으로 나타났다.

사사

이 논문은 2015학년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

참고문헌

- Anselin, L., 1995, Local indicators of spatial association-LISA, *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115.
- Borden, K. A. and Cutter, S. L., 2008, Spatial patterns of natural hazards mortality in the United States, *International Journal of Health Geographics*, 7(1), DOI: 10.1186/1476-072X-7-64.
- Changnon, S. A. and Changnon, D., 2006, A spatial and temporal analysis of damaging snowstorms in the United States, *Natural Hazards*, 37(3), 373-389.
- Changnon, S. A., Changnon, D., and Karl, T. R., 2006, Temporal and spatial characteristics of snowstorms in the contiguous United States, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45(8), 1141-1155.
- Cheong, S.-H., Byun, K.-Y., and Lee, T.-Y., 2006, Classification of Snowfalls over the Korean Peninsula Based on Developing Mechanism, *Atmosphere*, 16(1), 33-48 (in Korean).
- Choi, G. and Kim, J., 2010, Surface Synoptic Climatic Patterns for Heavy Snowfall Events in the Republic of Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 45(3), 319-341 (in Korean).
- Choi, H.-W., Kim, K.-H., and Lee, C.-Y., 2007, Application of Spatial Autocorrelation for the Spatial Distribution Pattern Analysis of Marine Environment, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 10(4), 60-74 (in Korean).
- Choi, Y., Lee, H., and Kwon, J., 2013, Recent Change on Frequency-Magnitude of Summer Extreme Rainfall Events over the Republic of Korea, *The Geographical Journal of Korea*, 47(1), 83-97 (in Korean).
- Chung, K.-Y., Jung, Y.-S., and Hwang, B.-J., 1999, Classification of Snowfall Regions using Principal Component Analysis, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 35(3), 466-473 (in Korean).
- Go, W.-J., Kim, S.-W., and Jang, L.-H., 2009, Relationship between Ocean-Meteorological Factors and Snowfall in the Western Coastal Region of Korean in Winter, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 15(1), 17-24 (in Korean).
- Heo, I. and Lee, S., 2006, Changes of Unusual Temperature Events and their Controlling Factors in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 41(1), 94-105 (in Korean).
- Heo, I., Jeong, J. H., and Lee, S., 2014, Changes of Disaster Regions by Heavy Rainfall in South Korea, *Journal of Climate Research*, 9(2), 93-106 (in Korean).
- Jeong, J. H. and Heo, I., 2014, An Analysis of the Time Trend of Direct Economic Damages from Natural Disasters and Their Determinants : The Case of Gangwon-do, *Journal of Social Science*, 53(1), 77-99 (in Korean).
- Jeong, J.-H. and Kim, S.-B., 2005, The Spatial Pattern and Structure of Industrial Agglomerations in Korea, *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, 8(1), 17-29 (in Korean).
- Jeong, Y. K., 1999, Synoptic Environment Associated with the Heavy Snowfall in the Southwestern Region of Korean peninsula, *Journal of Korean Earth Science Society*, 20(4), 398-410 (in Korean).
- Jhun, J.-G., Lee, D.-K., and Lee H.-A., 1994, A Study on the Heavy Snowfalls Occurred in South Korea, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 30(1), 97-117 (in Korean).
- Joo, H.-D., 2006, The Case Analysis of Heavy Snowfall in the Honam Region on December 2005, *The Magazine of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 6(1), 22-28 (in Korean).
- Jung, B.-J., Hong, S.-Y., Suh, M.-S., and Rha, D.-K., 2005, A Numerical Study of Dynamical and

- Thermodynamical Characteristics Associated with a Heavy Snowfall Event over the Korean Peninsula on 4-5 March 2004, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 41(3), 387-399 (in Korean).
- Kim, D. Y., 2014, Spatial Analysis for Forest Fire Using GIS, *The Geographical Journal of Korea*, 48(3), 325-336 (in Korean).
- Kim, Y. R., Jo, J. H., Lee, J. H., and Hwang, H. Y., 2014, Analysis of the Effect of Land use on Forest Fires: Focused on Chungbuk Province Cases, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 14(4), 223-232 (in Korean).
- Ko, J. H., 2009, *Spatial Aspects of Crime and Fear of Crime*, Unpublished Ph. D. Dissertation, Korea National University of Education (in Korean).
- Lee, H.-Y., 2010, The Spatial Clustering of Knowledge Production Activities and Its Determinants of Regional Disparity based on Korean Patent Data, *The Journal of Intellectual Property*, 5(1), 113-149 (in Korean).
- Lee, K. and Lee, S., 2006, The Spatial Distribution of Snowfall and its Development Mechanism over the Honam Area, *Journal of the Korean Geographical Society*, 41(4), 457-469 (in Korean).
- Lee, S., 2002, The Characteristics of Folk Houses at Heavy Snowfall Regions in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 37(1), 1-14 (in Korean).
- Lee, S. and Chun, J.-H., 2003, The Distribution of Snowfall by Siberian High in the Honam Region, *Journal of the Korean Geographical Society*, 38(2), 173-183 (in Korean).
- Lee, S., Kim, E. K., and Heo, I., 2011, A Study on Variability of Extreme Precipitation by Basin in South Korea, *Journal of the Korean Association of Regional Geographers*, 17(5), 505-520 (in Korean).
- Park, B.-I. and Yoon, S.-E., 1997, A Synoptic Climatological Study on the Distribution of Winter Precipitation in South Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 32(1), 31-46 (in Korean).
- Park, W., Na, Y., and Choi, J., 2015, Spatial Distribution and Management of Tuberculosis Patients in South Korea, *The Geographical Journal of Korea*, 49(3), 371-381 (in Korean).
- Ryu, C.-S., Lee, S.-H., and Park, C.-H., 2007, Development Mechanism of Heavy Snowfall over the Korea Peninsula on 21 December 2005, *Journal of the Environmental Sciences*, 16(12), 1439-1449 (in Korean).
- Su, W., Zhang, X., Wang, Z., Su, X., Huang, J., Yang, S., and Liu, S., 2011, Analyzing disaster-forming environments and the spatial distribution of flood disasters and snow disasters that occurred in China from 1949 to 2000, *Mathematical and computer modelling*, 54(3), 1069-1078.
- Tobler, W. R., 1970, A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, 46, 234-240.

책임편집: 이경미
영문교열: 조창현