

겨울철 시베리아 고기압과 관련된 영동 해안 강수량과 해기차 및 바람의 상관성에 관한 연구

송지애¹⁾ · 이재규^{2)*} · 김유진²⁾

¹⁾국가농림기상센터, ²⁾강릉원주대학교 대기환경과학과

(집수일: 2015년 12월 11일, 수정일: 2015년 12월 31일, 게재확정일: 2015년 12월 31일)

The Study of Correlations between Air-Sea Temperature Difference and Precipitation and between Wind and Precipitation in the Yeongdong Coastal Region in Relation to the Siberian High

Ji-Ae Song¹⁾, Jae Gyo Lee^{2)*}, and Yu-Jin Kim²⁾

¹⁾National Center for Agro Meteorology, Seoul, Korea

²⁾Department of Atmospheric & Environmental Sciences, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Korea

(Manuscript received 11 December 2015; revised 31 December 2015; accepted 31 December 2015)

Abstract In this study, the correlations between AST850 and precipitation, and those between WDT and precipitation in the Yeongdong coastal region under the direct/indirect influence of the expansion of cP (continental polar air mass) high were quantitatively analyzed based on the winter season data for the last 20 years, according to surface pressure patterns such as Type 1 (cP high expansion type), Type 2 (cP high expansion + trough type), Type 4 (South trough type), and Type 5 (East Sea trough type). Here, AST850 represents 'sea surface temperature minus temperature on 850 hPa level' and WDT represents 'a speed of 1000 hPa wind projected onto a certain wind direction times precipitation duration in hour'. First, the correlation coefficients between AST850 and precipitation in Type 1, Type 2, and Type 5 cases were 0.253, 0.384, and 0.398 respectively, indicating that a tendency of increasing precipitation linearly with the value of AST850 is slightly presented. In the case of Type 4, however, the coefficient was -0.15 , representing almost no linear correlation between AST850 and precipitation. In the correlation between WDT and precipitation, there was the largest correlation coefficient (0.464) between WDT along a direction of 90° and at EN1 in Type 1 cases. In the case of Type 2, there was the largest correlation coefficient (0.767) between WDT along a direction of 67.5° and at ES1. In the case of Type 4, there was the largest correlation coefficient (0.559) between WDT along a direction of 22.5° and at EN2. Finally, in the case of Type 5, there was the largest correlation coefficient (0.945) between WDT along a direction of 315° and at SE1, representing the largest coefficient among the types. It was found that surface wind directions with the highest correlations to precipitation in the Yeongdong coastal area on winter season were varied according to surface pressure patterns, and that the correlations between WDT and precipitation were higher than those between AST850 and precipitation.

Key words: Correlation, Yeongdong coastal region, precipitation, sea surface temperature, wind

*Corresponding Author: Jae Gyo Lee, Department of Atmospheric & Environmental Sciences, Gangneung-Wonju National University, 7 Jukheon-gil, Gangneung-si, Gangwon-do 25457, Korea.
Phone: +82-33-640-2322, Fax: +82-33-640-2320
E-mail: ljgyoo@gwnu.ac.kr

1. 서 론

겨울철 강원도 영동지역에서 발생하는 강수(강설)는 1) 시베리아 기단(cP, continental polar air mass)이 동해상으로 확장하거나, 2) cP 기단이 연해주 부근으로 확장하면서, 일본 열도 부근으로 저기압이 위치하여 영동지역으로 북동풍 계열의 기류가 유입되는 종관 배경에서 발생하며, 찬 공기덩이가 동해상을 통과하면서 변질되어 영동지역의 산악지형과 만나 형성되는 지형성 강수라고 하였다(Jhun et al., 1994; Lee and Lee, 1994; Chung, 1995; Yoo and Chung, 1996; Lee, 1999). 대설의 발생과 강수량을 결정하는 주요원인으로 Lee and Lee (1994)은 하층류의 방향과 속도, 기단의 변질효과, 지형의 높이 그리고 종관 기압배치의 지속성이라고 제시하였으며, Choi (1994)는 영동 해안지역의 대설은 북동풍에 의한 강제상승보다는 동해상의 상층 한기 남하에 따른 대기 불안정에 의해 발생한다고 보고하였다. Lee and Park (1996)은 중규모 기압골의 존재가 중요하다고 하였으며, Lee and Kim (2008, 2009)은 WRF 수치모의 실험을 통하여 태백산맥 및 북쪽 산맥군에 의한 지형효과가 영동지역 대설의 강수량에 중요한 역할을 하며, 특히, 북쪽 산맥군의 존재는 동해와 영동지역에서의 기류 흐름을 보다 북동 기류로 전향되게 함으로써, 영동지역 대설의 강수량에 영향을 미친다고 보았다.

한편, Chung et al. (2004)은 16년 기간(1986년 12월~2001년 12월) 동안의 강릉과 대관령 지점의 겨울철 바람과 강수량 자료를 분석하였으며, 강릉과 대관령의 3시간 누적 강수량의 평균이 3 mm 이상인 경우, 강수량 분포와 이 지역의 풍향 사이에 밀접한 관련이 있음을 밝혔다. 또한, NCEP/NCAR 재분석 바람 자료를 이용하여 6시간 가운데 4시간 이상 북동풍 혹은 서풍이 각각 균일하게 나타나는 경우, 대관령과 강릉의 주 풍향을 결정하였고, 6시간 누적강수량과 지상 바람에 대한 관계성을 분석하였다. 그 결과, 겨울철 영동지역의 강수가 대부분 대관령의 동풍과 관련되어 있음을 보였으며, 산악형 강수의 경우, 대관령과 강릉 모두 북동풍과 관련되며, 난기-해안형은 대관령은 남동풍, 강릉은 서풍, 그리고 한기-해안형은 대관령은 북동풍, 강릉은 서풍과 밀접한 관계가 있다고 언급하였다.

Kim (1993)은 북동 기류가 동해상을 이동할 때 해면상에서 발생하는 열교환 문제를 중요시하여, 동해해상에서의 수증기 응결과 영동지역 대설과의 상관관계를 조사하였으며, 북동 기류에 의한 대설의 경우, 동해상의 증발량과 현열 방출량에 따라 좌우된다고 하였다.

Cho and Kwon (2012)은 영동지역 산악형 강수와 해안형 강수에 미치는 산악효과와 해양효과를 통계적으로 분석하여 조사하고자, 21년의 기간(1986년 12월~

2008년 2월) 중, 한반도로 저기압의 통과가 없고, 북동풍이 불어오는 조건에서 영동지역으로만 강수가 발생한 사례를 추출하였다. 그리고 동해상의 한 지점(40°N, 130°E)에서의 북동풍의 풍속, 해수면 온도(SST, Sea Surface Temperature)와 기온의 차이(이하 해기차로 명함)를 이용하여 강릉과 대관령의 6시간 누적 강수량 사이의 관계성을 계산하였다. 산악형 강수의 경우, 총 26개 사례를 대상으로 상관성 분석을 수행하였고, 대관령 강수와 풍속 사이에 밀접한 상관관계가 있음을 밝혔다. 또한, 해안형 강수의 경우, 총 47개의 사례를 대상으로 강릉의 강수와 해기차 사이에 의미 있는 관계가 있음을 보였다. Lee et al. (2012)은 늦겨울(2~3월)에 이동성 저기압의 출현이 있고, 강릉지역에 50 cm 이상의 적설량이 관측된 4개 사례를 대상으로 영동지역의 대설기간 및 전후의 하층대기의 안정도 특징을 알아보고자, 동해 해상 영역의 해수면 온도와 850 hPa 기온의 차이를 분석하였으며, 이 해기차가 약 10 K 이상인 조건에서 영동지역에 강설이 시작됨을 확인하였고, 상하층간의 대기 하층의 불안정이 증가함에 따라 상대적으로 따뜻한 해수면으로부터 수증기와 열에너지가 대기 중으로 공급되어, 동해상 하층 대기에 눈구름이 생성된다고 하였다. 그리고 Nam et al. (2014)은 2000~2012년 기간 동안의 한랭전선과 한반도로 저기압 통과가 없는 사례들 중 850 hPa에서 330°에서 160° 사이의 동풍계열의 바람이 부는 사례를 대상으로 대기 하층의 불안정(현열과 잠열), 해기차와 강수량 사이의 연관성을 분석하였다. 그리고 영동지역 대설은 대기 하층의 불안정뿐만 아니라 해기차와 잠열 사이의 밀접한 연관성이 있으며, 해기차가 15°C 이상이 될 때, 대설현상이 나타난다고 언급하였다.

Hill et al. (1981)은 겨울철 웨일스(Wales) 연안지역에서 레윈존데에 의해 관측된 고도 별 바람의 세기와 주변 산악지역의 강수를 증가와의 직접적인 상관성을 보여주었으며, Neiman et al. (2002)은 겨울철 산악지역의 강수는 seeder-feeder 과정과 대류 불안정에 의해 유발되며, 이들 기작은 산악에서의 습윤공기의 상승, 풍속의 세기에 따라 강수량의 증가가 이루어진다고 언급하였다. Anderson and Nilson (1990)은 차가운 동풍기류가 지속될 때, 상대적으로 따뜻한 해수면 위를 구름밴드가 통과하여 스웨덴 동해의 주변 지역에 폭설이 나타남을 밝혔으며, 또한 상층(850 hPa)과 해수면 사이의 온도 차이는 그레이트호(Great Lakes)에서 눈보라를 생성시키는 중요한 매개변수이며, 적어도 13°C 이상의 기온 차이가 나면 대설이 내릴 가능성이 높다고 언급하였다.

Carpenter (1993)는 유타주(Utah)에 위치한 그레이트솔트 호(GSL, Great Salt Lake)의 연안을 따라 발생한 대설 중 지형적인 영향에 의해 발생한 28 사례에 대

한 분석을 통해, 700 hPa과 GSL과의 온도 차이가 적어도 17°C의 차이를 보일 때 대설이 발생한다고 하였으며, 또한 700 hPa의 풍향을 이용하여 대설 발생 가능 지역을 예측하였다. Waldstreicher (2002)는 1999년 1월 14일 매사추세츠 동부지역(Eastern Massachusetts)에서 발생한 대설 사례 분석을 통해 습윤한 대기상태에서 해양과 850 hPa 사이의 온도차가 15~17°C 정도일 때 대기 불안정으로 대설현상이 발생한다고 언급하였다.

대륙성 고기압이 확장하는 가운데 영동지역에 많은 눈 또는 비가 내린 강수 사례에 관한 기존의 국내 연구들은 대부분 강수량 또는 신적설량을 기준으로 영동지역 강수 현상을 분류하여, 단순히 영동 해안지역에서의 바람 분석 또는 해기차와 강수량 사이의 상관성을 분석해왔다(Cho and Kwon, 2012; Lee et al., 2012; Nam et al., 2014). 그런데 영동지역의 강수 현상은 다양한 형태의 지상 기압 패턴 하에서 발생하기 때문에 해기차와 강수량 사이의 상관성 그리고 바람과 강수량 사이의 상관성이 지상 기압 패턴에 따라 다소 다를 수 있다. 또한 영동 해안지역에서의 바람은 지형과 마찰 효과로 인한 비지균풍 성분을 갖고 있기 때문에 종관장 바람과 다소 큰 차이를 보이기도 한다. 따라서 종관 기압 패턴에 따른 강수량과의 상관성을 조사하기 위해서는 먼저, 지상 기압 패턴 별로 사례를 분류한 후, 풍상측 동해상에서의 바람과 영동 해안지역의 강수량과의 상관성을 연구할 필요가 있으며, 또한 다양한 풍향 별로 지속시간을 같이 고려한 값과 강수량과의 상관성을 정량적으로 제시할 필요가 있다. 따라서 이 연구에서는 20년간의 겨울철 자료를 이용하여, 지상 기압 패턴 별로 동해상에서의 해기차와 강수량 간의 상관관계 그리고 풍상측 동해상에서의 바람 방향 별로 지속시간을 같이 고려한 값과 강수량 간의 상관관계를 정량적으로 분석하여, 겨울철 영동 해안지역의 지상 기압 패턴에 따른 해기차 및 동해 해상에서의 바람 방향 및 지속시간이 강수량과 어떠한 연관성을 갖는지 확인하고자 하였다. 2장에는 사례 선정 및 지상 기압 패턴 분류, 그리고 상관관계에 대한 분석방법을 설명하였고, 3장에서는 기압 패턴 별로 해기차 및 바람에 대한 강수량과의 상관관계 분석 결과를 보였다. 마지막으로 요약 및 결론은 5장에 제시하였다.

2. 자료 및 분석 방법

2.1 자료

사용한 자료는 기상청에서 제공하는 지상 일기도와 자동기상관측장비(ASOS, Automated Synoptic Observing System)의 강수 자료 그리고 ECMWF (European Centre

Table 1. Surface pressure patterns for heavy snowfall event.

Type cases	Type name
Type 1	cP high expansion type
Type 2	cP high expansion + trough type
Type 4	South trough type
Type 5	East Sea trough type

for Medium-Range Weather Forecasts)의 ERA-Interim (ECMWF Re-Analysis) 재분석 자료의 지상 및 상층 자료에 해당하는 1000 hPa u, v 바람성분, 850 hPa 기온, 그리고 SST 자료를 사용하였다. 재분석 자료의 수평 해상도는 0.75°이고 6시간 간격의 시간 해상도를 가지며, <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>에서 제공한다. 참고로 ERA-Interim 자료는 1979년부터 현재까지 제공되기 때문에 1983년부터 2012년에 해당하는 기간의 자료 연속성을 만족시키며, 종관 및 기후 연구에 널리 사용되고 있다.

2.2 사례 선정 및 지상 기압 패턴 분류

겨울철 영동 해안지역에 많은 눈 또는 비가 내린 강수 사례를 선정하기 위하여 총 20년 기간(1993~2012년)의 겨울철(12, 1, 2, 3월)을 대상으로 기상청에서 제공하는 ASOS의 강수 자료를 이용하였으며, 영동 해안지역인 강릉, 속초, 그리고 동해 지점 중 한 지점에서라도 눈과 비의 구분 없이 강수량이 10 mm 이상인 사례를 선정하였다.

이렇게 선정된 강수 사례를 대상으로 Song (2015)이 지상 기압 패턴을 분류한 방법에 따라, 사례 기간 중 강수가 최대일 때의 지상 기압 패턴을 총 네 가지 패턴으로 분류하였다(Table 1). 참고로 이 연구에서는 기본적으로 겨울철 몽고 부근에서 시베리아 고기압이 확장하는 사례로 제한하였기 때문에 봄과 여름에서 흔히 볼 수 있는 “저기압이 한반도를 통과하는 기압 패턴”(Type 3)은 제외하였다.

Figure 1은 겨울철 영동 해안지역에 많은 눈 또는 비가 내린 강수 시의 네 가지 대표적인 지상 기압 패턴을 보여준다. Figure 1a는 바이칼호 부근에 위치한 시베리아 고기압이 남동진 하면서 세력을 확장하여 영동지역으로 북동풍이 유입됨에 따라 대설이 발생한 “시베리아 고기압 확장형”(Type 1)이며, 총 20회의 발생 빈도를 보였고, 평균 강수량은 약 20 mm이었다. Figure 1b는 몽고 부근에 중심을 둔 시베리아 고기압이 남동진 하여 확장함과 동시에 남해 또는 일본 열도에서 기압골이 한반도 방향으로 뻗는 기압 배치에서 강수가 발생한 “시베리아 고기압 확장 + 기압골형”(Type 2)이며, 총 35회 발생하였다. 이 유형의 평균 강수량은 약 29 mm이었다. Figure 1c는 몽고지방에서

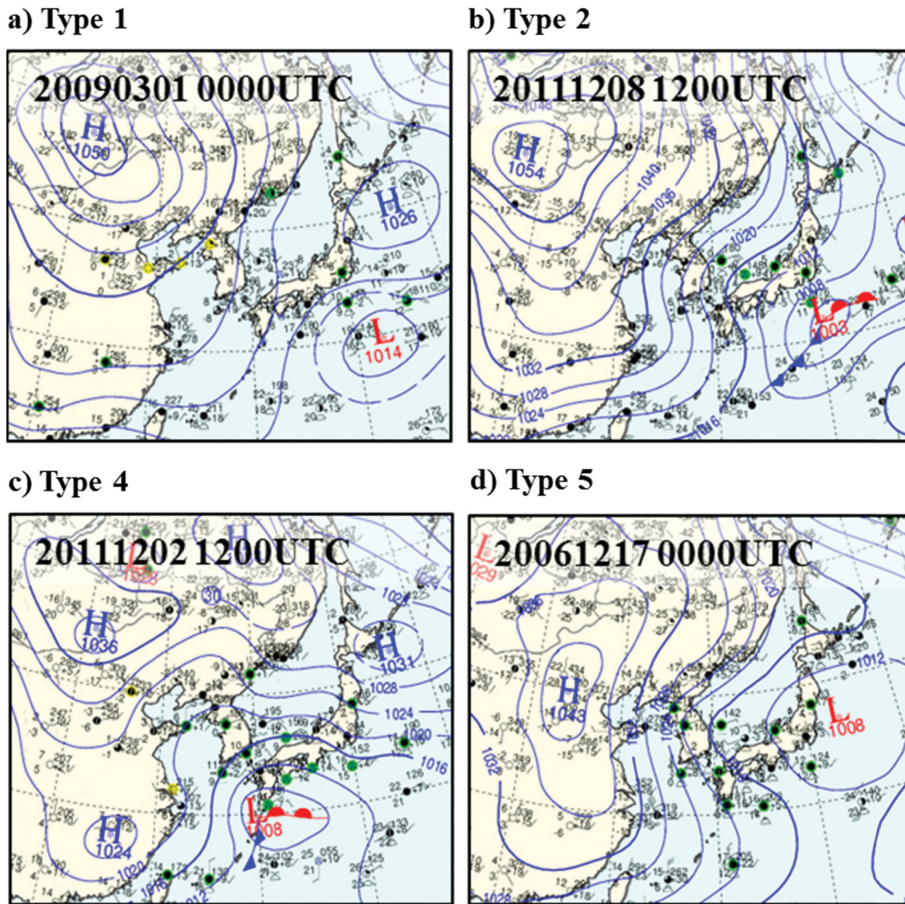


Fig. 1. Representative surface pressure patterns in favor of heavy precipitation over the Yeongdong area: (a) cP high expansion type, (b) cP high expansion+trough type, (c) south trough type, and (d) East Sea trough type.

시베리아 고기압이 중국내륙과 동해 북부 해상으로 확장하는 가운데 저기압 중심이 한반도에 있지 않고 남해 또는 동해상에 위치한 상태에서 기압골이 중부 지방으로 향해 뻗어 있는 기압 배치인 “남쪽 기압골형”(Type 4)이며, 발생 빈도는 총 27회, 평균 강수량은 약 26 mm이었다. 마지막으로 Fig. 1d는 중국 화북지방에 시베리아 고기압이 확장하는 가운데, 동해 먼바다 또는 일본 도호쿠 지역 또는 주부 지역에서 동해 먼바다를 거쳐 영동지역으로 기압골을 뻗은 기압배치에서 강수가 발생한 “동해 기압골형”(Type 5)으로 이전의 세 가지 유형에 비해 상대적으로 적은 발생 빈도(총 7회)를 보였으며, 평균 강수량은 약 21 mm이었다.

2.3 분석 방법

겨울철 영동지역에 많은 눈 또는 비가 내리는 강수 현상은 기본적으로 시베리아 고기압이 동해 중부 해상으로 확장하는 과정에서 해수면 온도와 850 hPa의

온도 차이가 클 때 해수면으로부터 열과 수증기가 대기 중으로 공급되어 대설이 발생(Lee et al., 2012; Nam et al., 2014)하기 때문에, 먼저 해수면 온도와 850 hPa의 기온 차이(이하 AST850으로 칭함)인 AST850과 강수량과의 상관계수를 구하여 상관성을 분석하고자 한다. 또한, 겨울철 영동지역의 강수량은 풍상측인 동해 해상에서의 하층 바람의 풍향과 풍속, 그리고 지속시간과 매우 밀접한 관련(Chung et al., 2004; Cho and Kwon, 2012)이 있다. 따라서 각 지상 기압 패턴 별로 그리고 선정된 각 지점 별로, 어느 방향의 바람성분이 강수량과 가장 잘 연관되었는지 분석하기 위해 먼저 강수 기간을 대상으로, 해상 바람(1000 hPa 고도)을 여러 특정 방향(22.5° 간격)으로 투영(projection)하여 그 방향에 대한 바람성분 크기를 구하였다. 그 후, 바람이 지속된 시간을 고려하기 위해 앞에서 구한 투영된 바람성분의 크기에 지속시간을 곱한 값(이하 WDT로 칭함)을 구한 후, WDT와 강수량과의 상관관

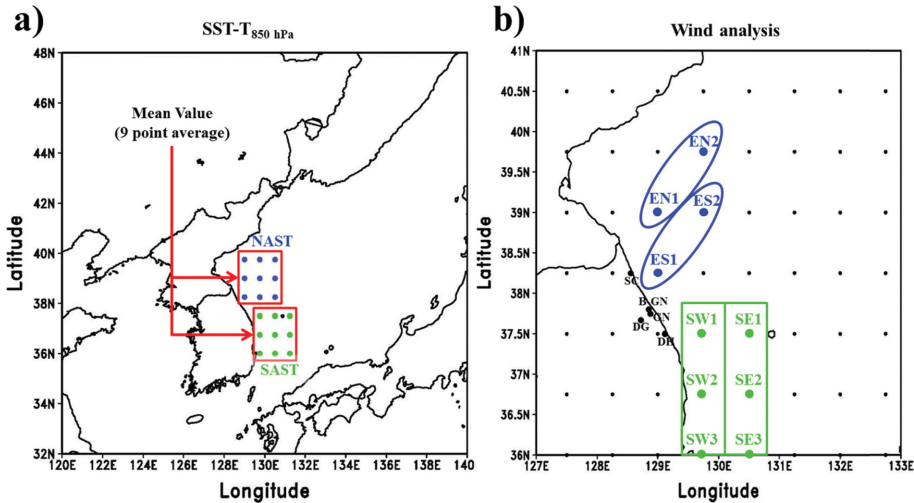


Fig. 2. The locations of grid points of the re-analysis data used for (a) air-sea temperature difference and (b) wind analysis.

계를 분석하였다. 드물지만 6시간 간격의 WDT 값이 음으로 나오는 경우, 그 WDT 값과 그 시간대의 강수량은 제외하고 상관계수를 계산하였다. 참고로 이 연구에 사용된 상관계수 및 관련 선형 회귀식 그리고 통계적인 유의수준 판별은 Song (1992)의 방법을 따라 구하였다.

먼저, 해수면 온도와 850 hPa 기온의 차이인 AST850을 구하기 위해, 영동지역의 풍상측 해상인 129.00~130.50°E, 38.25~39.75°N 영역(NAST 영역)과 129.75~131.25°E, 36.00~37.50°N 영역(SAST 영역)을 설정(Fig. 2)하였다. Type 1과 2의 경우, 풍상측인 NAST 영역에 대하여 AST850을 계산하였고, Type 4와 5의 경우, 우리나라 남쪽 해상 또는 동해 먼 바다에서 기압골이 영동지역으로 영향을 주는 기압 패턴이기 때문에 동해 중부 및 남부 일부 해상을 포함하는 영역인 SAST 영역을 추가하여, NAST 영역과 SAST 영역 모두에 대하여 AST850을 계산하였다. 각각 아홉 개 지점을 포함하는 NAST 영역과 SAST 영역에서 작은 규모의 변동성을 제거하고 보다 대표적인 AST850을 구하기 위해, 먼저 아홉 개 지점(Fig. 2a)에서 6시간 간격으로 해수면 온도와 850 hPa 기온의 차이를 각각 계산하였다. 이렇게 계산된 아홉 개 지점의 AST850을 평균한 후, 그 사례 기간의 평균 AST850을 구하였다.

한편, 해상 바람(1000 hPa 고도)에 대한 분석을 수행하기 위해 영동 앞바다에 총 10개의 지점을 설정하였다(Fig. 2b). 시베리아 고기압이 확장하는 경우, 영동 해안지역은 북동풍 계열의 바람의 영향을 주로 받기 때문에 풍상측에 해당되는 EN 영역과 ES 영역(강원 중북부 해상)에 각각 2개 지점을 설정하였다(파란색 지점). 한편, 한반도 남쪽 해상이나 일본 열도 쪽

에서 뻗어 나온 기압골이 영동지역에 영향을 주는 경우, 남쪽 해상에서 영동지역으로 유입되는 바람을 분석하기 위하여 추가로 보다 남쪽 해상인 SW 영역과 SE 영역(강원 중남부 해상)에 각각 3개 지점(녹색 지점)을 설정하였다. 이와 같이 설정된 모든 지점에 대하여 각각의 바람장미(Windrose)를 작성하여 지상 기압 패턴 별로 주 풍향을 먼저 확인한 후, 주 풍향을 중심으로 다양한 방향의 바람성분에 대한 WDT를 구하였다.

3. 상관 분석 결과

3.1 Type 1(시베리아 고기압 확장형) 사례에 대한 상관 분석

Type 1은 시베리아 고기압이 확장하면서 영동지역으로 주로 북동 기류가 유입되면서 기단 변질에 의하여 해안지역으로 10 mm 이상의 강수가 내린 패턴이다. 시베리아 고기압의 확장과 관련하여 동해상으로 유입되는 차가운 공기의 기온과 해수면 온도의 차이가 영동지역의 강수량에 얼마나 영향을 미치는지 알아보고자 영동 앞바다에 해당하는 NAST 영역에서의 AST850과 강수량 사이의 상관계수 및 강원 중북부 해상인 EN 영역과 ES 영역에서의 WDT와 강수량 사이의 상관계수를 각각 계산하였다.

3.1.1 AST850과 강수량의 상관성

Table 2는 지상 기압 패턴 별로 AST850과 강수량 사이의 상관성을 상관계수로 나타낸 것이다. Type 1 사례(총 20 사례)에 대한 강수량과 AST850 사이의 상관관계를 보면, 상관계수는 0.253으로 다소 낮게 나타

Table 2. Correlation Coefficients between precipitation and air-sea temperature difference (AST850: SST-T_{850hPa}) in NAST for Type 1, Type 2, Type 4 and Type 5 cases.

Type cases	Sector	Temp. difference AST850 (precip. ≥ 10 mm)
Type 1	NAST	0.253
Type 2	NAST	0.384*
Type 4	NAST	-0.041
	SAST	-0.146
Type 5	NAST	0.394
	SAST	0.389

* and ** denote significance at the 0.05 and 0.01, respectively.

나며, 유의수준 0.05를 만족하지는 못하였다. Cho and Kwon (2012)의 연구에서 강릉의 겨울철 강수량과 동해상의 한 지점(40°N, 130°E)에서의 AST850 사이의 상관계수는 0.36이었다.

Figure 3은 지상 기압 패턴 별로 AST850과 강수량 사이의 상관관계를 보여주는 산포도이며, Type 1에 대한 AST850과 강수량 사이의 상관관계를 보여주는 산포도는 Fig. 3a에 제시하였다. 해기차가 클수록 강수량이 증가하는 경향이 어느 정도 있으나, 관측된 강

수량의 범위가 regression line을 중심으로 상하로 흩어져 있어 상관계수는 그렇게 높지 않음을 알 수 있다. 이 산포도에서 AST850의 값이 15~25 K 사이에 위치하여 Type 1의 지상 기압 패턴에서 영동 해안에 10 mm 이상의 강수가 내리려면, SST와 850 hPa의 기온 차이가 15 K 이상이어야 함을 알 수 있는데, 이러한 해기차 조건은 Nam et al. (2014)의 연구결과와 일치하였다.

3.1.2 WDT와 강수량의 상관성

영동 해안지역에 10 mm 이상의 강수 시, 특정 방향의 바람성분의 크기와 지속시간이 강수량과 어떤 상관관계를 갖는지 조사하였다. 동해안 지역에서는 주로 북동풍 계열의 바람이 유입될 때 강수 현상이 나타나므로 풍상측인 강원 중북부 해상인 EN 영역과 ES 영역에서의 바람에 대하여 분석하였다.

Figure 4는 지상 기압 패턴 별로 풍향 별 풍속의 출현 빈도를 바람장미로 나타낸 것이다. 원은 풍향의 출현 빈도의 백분율(%)을 10% 간격으로 나타낸 것이며, 막대의 색은 풍속을 나타내고, 막대 끝에 표시된 숫자는 평균 풍속을 나타낸다. Type 1에 대한 바람장미(Fig. 4a)를 보면, EN 영역과 ES 영역에서의 네 지점 모두 0°~90° 사이에 해당하는 북~동풍 계열의 바람

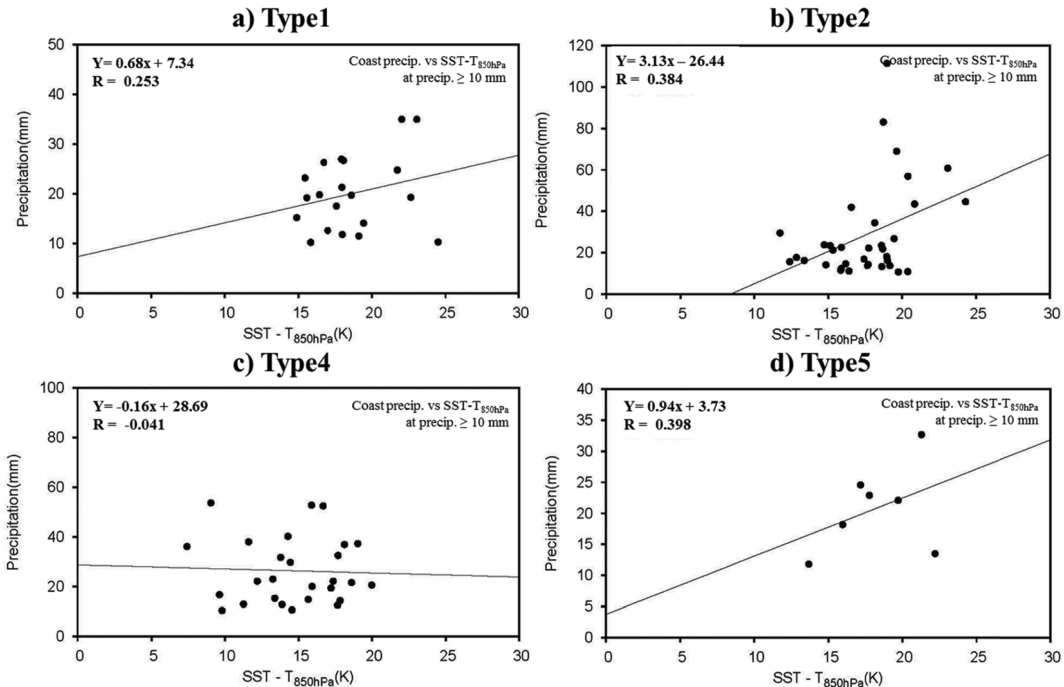


Fig. 3. Scatter plots of precipitation versus AST850 (SST-T_{850hPa}) for (a) Type 1 cases, (b) Type 2 cases, (c) Type 4 cases, and (d) Type 5 cases.

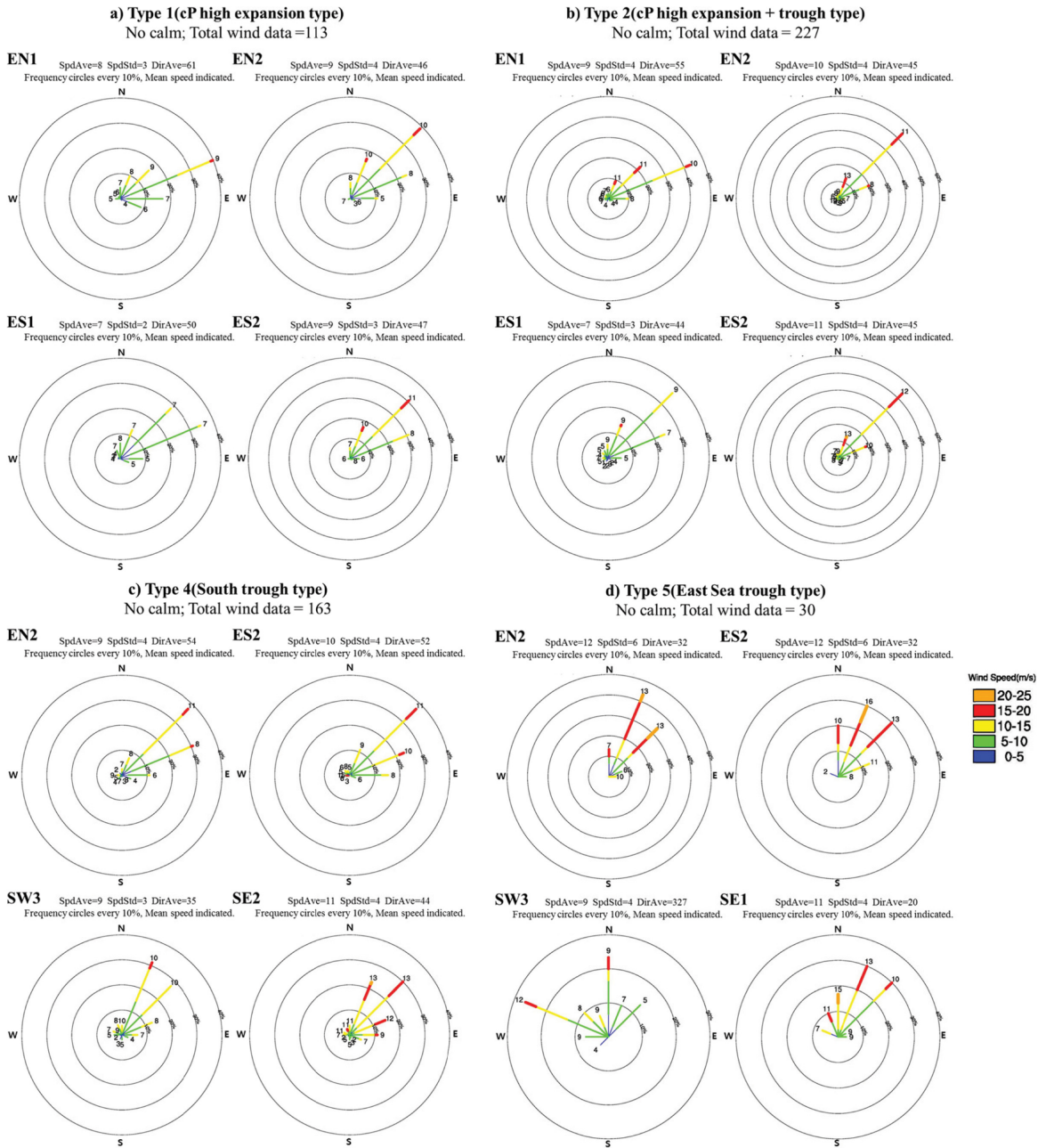


Fig. 4. Windroses for (a) Type 1 cases, (b) Type 2 cases, (c) Type 4 cases, and (d) Type 5 cases.

빈도가 가장 높다(약 80% 이상). 특히 45°~67.5° 사이에 해당하는 북동~동북동풍의 바람 빈도가 55% 이상을 차지하며, 이 계열의 바람의 평균 풍속은 약 10 m s⁻¹로 다소 강하게 나타난다. 한편, 동남동풍 계열의 바람 빈도가 아주 낮게 나타나며, 또한 남풍과 서풍 계열의 바람의 빈도는 거의 나타나지 않았다. 따라서

특히 0°~90° 사이에서 어느 방향의 바람성분의 크기가 강수량과의 상관관계가 가장 높은지 알기 위해 관측된 바람 자료를 0°(정북), 22.5°(북북동), 45°(북동), 67.5°(동북동) 그리고 90°(정동)의 특정 방향으로 각각 투영하여 특정 방향의 바람성분의 크기를 구한 후, 지속시간을 곱한 값(WDT)을 구하여 강수량과의 상관관

Table 3. Correlation coefficients between precipitation and WDT (a speed of 1000 hPa wind projected onto a certain wind direction times duration in hour) at EN1, EN2, ES1, and ES2 for Type 1 cases.

Location Dir.	EN1	EN2	ES1	ES2	AVE.
0	0.304	0.331	0.283	0.278	0.299
22.5	0.346	0.341	0.346	0.369	0.351
45	0.412	0.379	0.399	0.413	0.401
67.5	0.427	0.373	0.395	0.414	0.402
90	0.464*	0.349	0.453*	0.373	0.410
AVE.	0.391	0.355	0.375	0.370	

* and ** denote significance at the 0.05 and 0.01, respectively.

계를 조사하였다.

Table 3은 Type 1 사례를 대상으로 네 지점(EN1, EN2, ES1, ES2)에서의 특정 바람성분(0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°)에 대한 WDT와 강수량 사이의 상관계수를 보여준다. 0°~90° 모든 방향 바람성분에 대해, 단순히 지점 별로 WDT와 강수량과의 상관관계를 보면, EN1 지점의 경우, WDT와 강수량과의 상관계수가 평균 0.39, EN2 지점에서는 평균 0.36, ES1 지점에서는 평균 0.38, 그리고 ES2 지점에서는 평균 0.37 정도로 나타나 EN1 지점에서 가장 높은 상관성을 보였다. 그리고 가장 높은 EN1 지점에서의 바람성분 별 WDT와 강수량과의 상관계수를 보면, 0°, 22.5°, 45°, 67.5° 그리고 90° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량

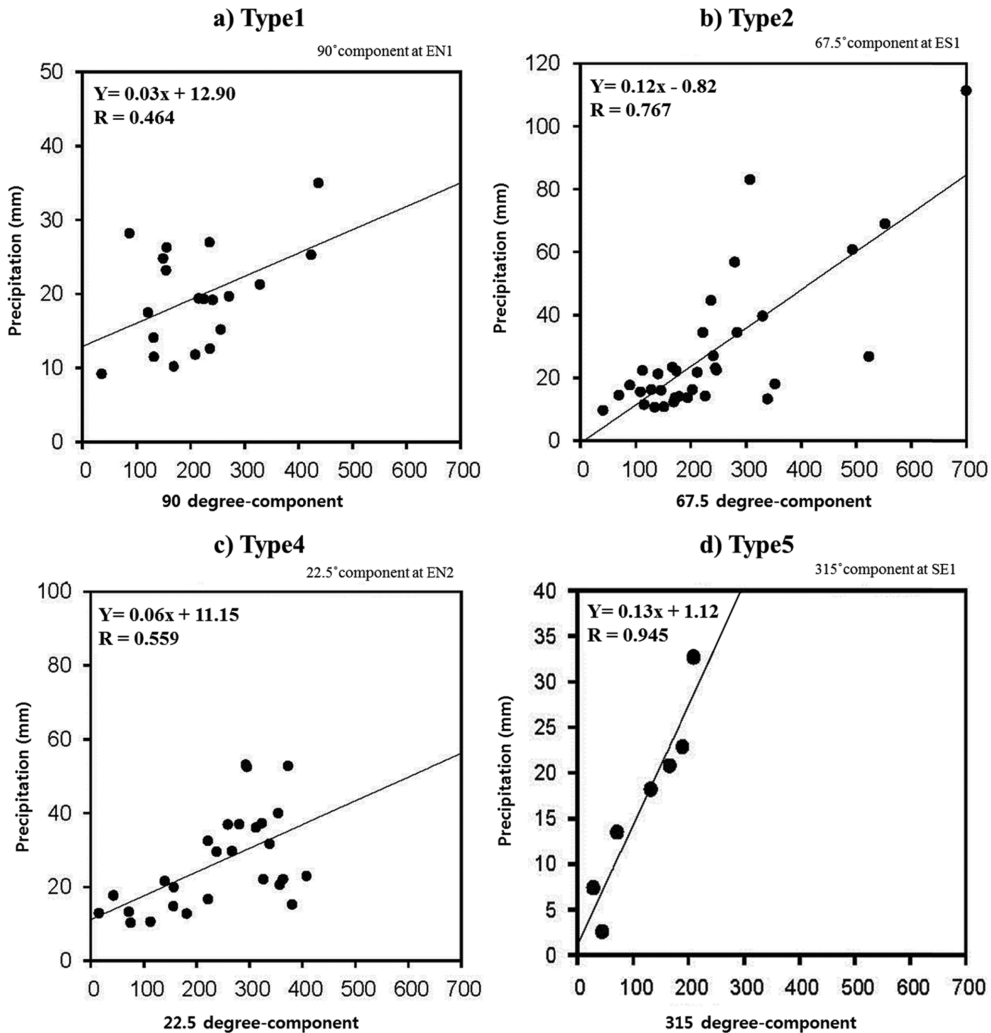


Fig. 5. Scatter plots of precipitation versus (a) 90° component WDT at EN1 for Type 1 cases, (b) 67.5° component WDT at ES1 for Type 2 cases, (c) 22.5° component WDT at EN2 for Type 4 cases, and (d) 315° component WDT at SE1 for Type 5 cases.

Table 4. Same as Table 2, except for Type 2 cases.

Dir.	Location	EN1	EN2	ES1	ES2	AVE.
	0	0.659**	0.675**	0.708**	0.700**	0.686
	22.5	0.514**	0.403*	0.762**	0.481**	0.540
	45	0.623**	0.480**	0.667**	0.585**	0.589
	67.5	0.533**	0.387*	0.767**	0.545**	0.558
	90	0.607**	0.550**	0.726**	0.617**	0.625
	AVE.	0.587	0.499	0.726	0.586	

* and ** denote significance at the 0.05 and 0.01, respectively.

과의 상관계수는 각각 0.304, 0.346, 0.412, 0.427 그리고 0.464(유의수준 0.05를 만족)로, 90° 방향의 바람 성분에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수가 가장 크다. 즉, Type 1의 경우, EN1 지점에서의 동풍의 크기와 지속시간이 영동 해안지역의 강수량과 상관성이 가장 높다고 할 수 있다. 또한, 바람 방향에 따른 상관계수의 변화가 지점에 따른 상관계수의 변화보다는 컸다.

상관관계가 가장 높게 나타난 EN1 지점의 90° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량에 대한 산포도(Fig. 5a)를 보면, WDT가 클수록 강수량이 선형적으로 증가하는 경향을 잘 볼 수 있다. 앞에서 구한 Type 1 사례에 대한 해기차(AST850)와 강수량과의 상관계수가 0.253인 점으로 볼 때, 바람과 강수량과의 상관성이 해기차와 강수량과의 상관성보다 훨씬 높은 것을 알 수 있다.

3.2 Type 2(시베리아 고기압 확장 + 기압골형) 사례에 대한 상관 분석

Type 2는 시베리아 고기압이 확장하는 가운데 영동 지역으로 약한 기압골이 형성되면서 10 mm 이상의 강수가 내린 기압 패턴이다. 따라서 약한 기압골의 영향을 받는 경우, NAST 영역에서의 AST850과 강수량과의 상관성, 그리고 EN 영역과 ES 영역에서의 WDT와 강수량과의 상관성은 어떠한지? 그리고 시베리아 고기압의 영향만을 받는 경우(Type 1)와 어떠한 차이를 보이는지 알아보고자 한다.

3.2.1 AST850과 강수량의 상관성

Table 2에서 Type 2 사례(총 35 사례)에 대한 AST850과 강수량의 상관계수는 0.384이며, 0.05 유의수준을 만족하여 통계적으로 유의한 결과를 보였다. 이 상관계수 값은 Type 1 사례에 대한 상관계수 값(0.235)보다 약간 큼을 알 수 있다.

Figure 3b는 AST850과 강수량에 대한 산포도이다. AST850이 클수록 강수량이 증가하는 경향을 볼 수

있으며, AST850의 값이 12~25 K 사이에 위치하여, Type 2의 지상 기압 패턴 하에서 영동 해안지역에서 10 mm 이상의 강수가 내리려면, SST와 850 hPa의 기온 차이가 12 K 이상이어야 함을 알 수 있다. Type 1과 Type 2 사례의 SST와 850 hPa의 기온 차이를 상호 비교해 보면, Type 1 사례의 최소 AST850은 15 K인 반면, Type 2 사례의 최소 AST850은 12 K이다. 즉, 동해 남부 해상에서 영동지역으로 뻗는 기압골의 직·간접적인 영향을 받는 Type 2 사례는 Type 1 사례보다 낮은 해기차에서도 10 mm 이상의 강수가 내렸음을 의미한다.

3.2.2 WDT와 강수량의 상관성

Type 2는 시베리아 고기압의 확장 및 기압골의 영향으로 주로 북동풍이 유입되는 종관장일 때 10 mm 이상의 강수가 내린 패턴으로, Type 1과 동일하게 풍상측인 EN 영역과 ES 영역에서의 바람에 대하여 분석하였다.

Type 2 사례에 대한 바람장미(Fig. 4b)를 보면, EN 영역과 ES 영역에서의 네 지점 모두 22.5°~67.5° 사이에 해당하는 북동풍 계열의 바람 빈도가 가장 높음(약 75% 이상)을 알 수 있다. 특히, 45° 방향의 바람(북동풍)의 빈도가 40% 이상을 차지하며, 이 계열의 바람의 평균 풍속은 약 11 m s⁻¹ 정도이다. 한편, 남풍과 서풍 계열의 바람 빈도(약 30% 미만)는 아주 낮게 나타나는데, 이는 Type 1 사례와 거의 유사하다. 이러한 바람의 빈도 분석결과에 따라 0°, 22.5°, 45°, 67.5° 그리고 90°에 대한 WDT를 구하여, WDT와 강수량의 상관성을 분석하였다.

Table 4는 Type 2 사례의 네 지점(EN1, EN2, ES1, ES2)에서의 특정 바람성분(0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°)에 대한 WDT와 강수량 사이의 상관계수를 보여준다. 0°~90° 모든 방향의 바람성분에 대해, 지점 별로 WDT와 강수량과의 상관관계를 보면, EN1 지점의 경우, WDT와 강수량과의 상관계수가 평균 0.59, EN2 지점에서는 평균 0.5, ES1 지점에서는 평균 0.73, 그리고

ES2 지점에서는 평균 0.59 정도로 나타나 ES1 지점에서 가장 높은 상관성을 보였다.

그리고 가장 높은 ES1 지점에서의 바람성분 별 WDT와 강수량과의 상관계수를 보면, 0°, 22.5°, 45°, 67.5° 그리고 90° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수는 각각 0.708, 0.762, 0.667, 0.767 그리고 0.726으로 모두 유의수준 0.01을 만족하여, ES1 지점에서의 67.5° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수가 가장 크다. 즉, Type 2의 지상 기압 패턴일 경우, ES1 지점에서의 동북동풍의 크기와 지속시간이 강수량과 상관성이 가장 높다고 할 수 있다. 또한, 전반적으로 볼 때, 바람 방향에 따른 상관계수의 변화보다는 지점에 따른 상관계수의 변화가 컸다.

Type 1과 Type 2 사례를 대상으로, 제일 좋은 WDT와 강수량과의 상관계수를 비교해 보면, Type 1 사례의 경우에는 EN1 지점에서 동풍 바람성분과 강수량 사이의 상관계수가 0.464인 반면에, Type 2 사례의 경우에는 ES1 지점에서 동북동풍 바람성분과 강수량 사이의 상관계수가 0.767이었다. 즉, Type 2의 기압 패턴 하에서 바람과 강수량과의 선형적 관계가 보다 뚜렷함을 알 수 있으며, 기압 패턴에 따라 강수량과 상관성이 높은 지점과 바람 방향이 약간씩 차이가 있음을 알 수 있다.

한편, 상관관계가 가장 높게 나타난 ES1 지점의 67.5° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량에 대한 산포도(Fig. 5b)를 보면, WDT가 클수록 강수량이 선형적으로 증가하는 경향을 잘 볼 수 있다.

3.3 Type 4(남쪽 기압골형) 사례에 대한 상관 분석

Type 4는 시베리아 고기압이 몽고지방에 위치한 가운데 우리나라는 일본 류슈 남쪽 부근 해상에 위치한 저기압으로부터 뺏어 나온 기압골의 영향으로 10 mm 이상의 강수가 내린 기압 패턴이다. Type 4는 제주도 이남 해상에 위치한 저기압의 영향으로 인해 온도능(thermal ridge)이 우리나라 동해 남부 해상으로 뺏는 경우가 종종 나타나기 때문에 NAST 영역 이외에 추가로 보다 남쪽에 위치한 SAST 영역(Fig. 2a)에서의 AST850을 계산하여 강수량과의 상관성을 조사하였다. 또한, 바람에 대한 상관 분석에서는 EN 영역과 ES 영역뿐만 아니라, 남쪽 기압골의 영향을 고려하기 위하여 보다 남쪽에 위치한 SW 영역과 SE 영역에서의 바람에 대해서도 상관성을 조사하였다.

3.3.1 AST850과 강수량의 상관성

Type 4 사례(총 27 사례)에 대한 AST850과 강수량의 상관계수는 Table 2에 제시하였다. NAST와 SAST 영역 모두에서 상관계수가 -0.15 이하(유의수준 0.05

를 만족하지 못함)로 매우 작은 음의 상관관계를 보이며, AST850과 강수량과의 상관성은 거의 없었다.

Figure 3c는 Type 4 사례에 대한 강수량과 NAST 영역의 AST 사이의 상관관계를 보여주는 산포도이며, NAST와 SAST 영역 모두 낮은 상관계수를 보였기에 SAST 영역에 대한 산포도는 제시하지 않았다. Figure 3c를 보면, AST850과 강수량 사이의 선형적인 상관성이 없이 산포도의 점들이 몹시 흩어져 있는 모습을 볼 수 있다. 이러한 모습은 해기차(AST850)의 크기와 상관없이 종관 규모의 기압골의 영향을 받아 10~55 mm 사이의 다양한 강수량을 보인 사례들 때문이다. 산포도에서 AST850의 값이 7~20 K에 위치하여, Type 4의 기압 패턴 하에서 10 mm 이상에 해당하는 강수량이 있으려면, SST와 850 hPa의 기온 차이는 7 K 이상이어야 함을 알 수 있다.

3.3.2 WDT와 강수량의 상관성

Type 4 사례의 경우, 강원 중북부 해상에 위치한 EN 영역과 ES 영역 이외에, 남쪽 기압골의 영향을 고려하여 추가로 강원 중남부 해상에 위치한 SW 영역과 SE 영역에서의 바람에 대해서도 분석하였다. EN, ES, SW 그리고 SE 영역에서의 바람은 대부분 거의 유사한 풍향 별 빈도 분포를 보였기 때문에, 네 영역 안의 총 열 지점 중 EN2, ES2, SW3, 그리고 SE2 지점의 바람장미(Fig. 4c)를 제시하였다. 이 네 지점 모두에서 22.5~67.5° 사이에 해당하는 북동풍 계열의 바람 빈도가 가장 높게 나타났으며(70% 이상), 북동풍 계열의 바람의 평균 풍속은 약 11 m s⁻¹ 정도이었다. Type 4의 경우, 기압골의 영향을 받기 때문에 다소 다양한 방향에서 바람이 유입될 것으로 보였으나, 서풍과 남풍 계열의 바람의 빈도는 낮게 나타났다. 이러한 바람 빈도의 분석결과에 따라 0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 그리고 90° 방향의 바람성분에 대한 WDT를 산출한 후, 강수량과의 상관성을 분석하였다.

Table 5는 Type 4 사례를 대상으로 열 지점(EN1, EN2, ES1, ES2, SW1, SW2, SW3, SE1, SE2, SE3)에서의 특정 바람성분(0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°)에 대한 WDT와 강수량 사이의 상관계수를 보여준다.

Type 4 사례의 경우, EN과 ES 영역에서 모든 바람성분(0°~90°)에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수를 평균한 값은 약 0.5 정도이고, SW와 SE 영역에서 강수량과의 상관계수를 평균한 값은 약 0.34 정도로 WDT와 강수량 사이의 상관계수의 크기가 영역 별로 다소 차이를 보인다. 즉, 강원 중북부 해상에 위치한 EN과 ES 영역의 상관계수가 강원 중남부 해상에 위치한 SW와 SE 영역의 상관계수보다 상대적으로 더 높은 것을 알 수 있으며, 특히 EN2 영역의 상관계수

Table 5. Same as Table 2, except for SW1, SW2, SW3, SE1, SE2, SE3 and Type 4 cases.

Dir.	Location	EN1	EN2	ES1	ES2	SW1	SW2	SW3	SE1	SE2	SE3	AVE.
0		0.549**	0.555**	0.448*	0.479*	0.471	0.220	0.311	0.373	0.269	0.333	0.401
22.5		0.517**	0.559**	0.410*	0.501**	0.340	0.295	0.344	0.319	0.268	0.364	0.392
45		0.526**	0.538**	0.438*	0.518**	0.337	0.361	0.419*	0.354	0.333	0.368	0.419
67.5		0.508**	0.539**	0.457*	0.496**	0.345	0.345	0.389*	0.381	0.320	0.360	0.414
90		0.475*	0.517**	0.440*	0.494**	0.377	0.377	0.308	0.313	0.240	0.257	0.380
AVE.		0.515	0.541	0.439	0.498	0.374	0.320	0.354	0.348	0.286	0.337	

* and ** denote significance at the 0.05 and 0.01, respectively.

가 0.541로 가장 크다.

그리고 EN2 지점에서의 바람성분 별 WDT와 강수량과의 상관계수를 보면, 0°, 22.5°, 45°, 67.5° 그리고 90° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수는 각각 0.555, 0.559, 0.538, 0.539 그리고 0.517로 모두 유의수준 0.01을 만족하여, EN2 지점에서의 22.5° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수가 가장 크다. 즉, Type 4의 지상 기압 패턴일 경우, 강원 북부 해상(EN2)에서의 북북동풍의 바람성분의 크기와 지속시간이 영동 해안지역의 강수량과 상관성이 가장 높다고 할 수 있다. 또한, 전반적으로 볼 때, 바람 방향에 따른 상관계수의 변화보다는 지점에 따른 상관계수의 변화가 컸다.

Figure 5c는 Type 4 사례에서 가장 좋은 상관관계를 보인 EN2 지점에서의 22.5° 방향의 WDT와 강수량에 대한 산포도이다. WDT가 클수록 강수량이 선형적으로 증가하는 경향을 잘 볼 수 있다. 따라서 Type 4와 같은 지상 기압 패턴 하에서 영동 해안지역의 강수량을 잘 예측하기 위해서는 강원 북부 해상(EN2 지점)에서의 북북동풍의 풍속과 지속시간에 특히 유의할 필요가 있다.

3.4 Type 5(동해 기압골형) 사례에 대한 상관 분석

Type 5는 동해 먼바다 또는 일본 열도 동쪽 해상에 위치한 저기압이 영동지역을 향해 기압골을 뺏으면서 강수가 발생하는 유형이다. Type 5의 기압 패턴을 보인 사례는 총 7 사례로 모든 Type 별 사례 개수 중에서 가장 적었다.

Type 5도 Type 4처럼 시베리아 고기압의 차가운 기단의 직접적인 영향보다는 기압골의 영향으로 강수가 발생하기 때문에 NAST 영역뿐만 아니라 추가로 남쪽에 위치한 SAST 영역에서의 AST850을 계산하여, 영동 해안지역의 강수량과 AST850의 상관관계를 분석하였다. 또한, 바람에 대한 상관 분석에서는 EN 영역과 ES 영역 그리고 SW 영역과 SE 영역에서의 바람에 대해서도 상관성을 조사하였다.

3.4.1 AST850과 강수량의 상관성

Table 2에 제시한 Type 5 사례에 대한 강수량과 AST850 사이의 상관계수를 보면, SAST 영역과 NAST 영역의 상관계수 모두 약 0.4정도로 나타나, 강수량과 AST850 사이의 상관성은 어느 정도 있는 것으로 보이나, 사례 수가 적어 통계적으로 유의수준 0.05를 만족하지는 못했다.

Figure 3d는 Type 5 사례에서 상관계수가 약간 높았던 SAST 영역에서의 AST850과 강수량 사이의 상관관계를 보여주는 산포도이다. 이 산포도를 보면, AST850의 값은 13~25 K 사이에 위치하여 Type 5의 지상 기압 패턴에서 영동 해안지역에 10 mm 이상의 강수량이 있으려면, SST와 850 hPa의 기온 차이가 13 K 이상이어야 함을 알 수 있다.

3.4.2 WDT와 강수량의 상관성

Type 5 사례의 경우, 기압골이 일본 열도 동쪽 해상에서 동해를 거쳐 영동지역으로 광범위하게 뺏은 기압 배치에서 10 mm 이상의 강수가 내렸기 때문에 강원 중북부 해상인 EN 영역과 ES 영역뿐만 아니라, 보다 남쪽 해상인 SW 영역과 SE 영역에서의 바람의 빈도도 조사하였다. 그 중에서 각 영역에서의 바람의 빈도 경향을 잘 나타내는 EN2, ES2, SW3, 그리고 SE1 지점에 대한 바람장미를 Fig. 4d에 제시하였다.

EN2와 ES2 지점에서는 대부분 0°~67.5° 사이에 해당하는 북동풍 계열의 바람 빈도가 가장 높게 나타나며(60% 이상), SW3 지점에서는 292.5°~0° 사이에 해당하는 북서 내지 북풍 계열의 바람 빈도가 가장 높게 나타나고, 그 다음으로는 22.5°~45° 사이에 해당하는 바람의 빈도이다. 그리고 SE1 지점에서는 주로 0°~45° 사이에 해당하는 북동풍 계열의 바람 빈도가 가장 높으며 그 다음으로 북서풍 계열의 바람 빈도이다. Type 5사례의 경우, 주 풍향은 북~북동풍 계열이며, 평균 풍속은 약 11 m s⁻¹ 정도이다. 따라서 주 풍향을 포함하는 315°, 337.5°, 0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 그리고 90° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량 사이의

Table 6. Same as Table 2, except for Type 5 cases.

Dir.	Location	EN1	EN2	ES1	ES2	SW1	SW2	SW3	SE1	SE2	SE3	AVE.
	315	0.744	0.825*	0.756*	0.908**	0.866*	0.789*	0.583	0.945**	0.876**	0.562	0.785
	337.5	0.671	0.739	0.485	0.566	0.599	0.586	0.584	0.721	0.669	0.586	0.621
	0	0.483	0.512	0.519	0.558	0.674	0.731	0.721	0.759*	0.828*	0.495	0.628
	22.5	0.467	0.484	0.548	0.541	0.718	0.800*	0.870*	0.723	0.817*	0.832*	0.680
	45	0.458	0.457	0.571	0.512	0.773*	0.749	0.693	0.685	0.681	0.439	0.602
	67.5	0.401	0.394	0.482	0.458	0.629	0.693	0.675	0.554	0.721	0.680	0.569
	90	0.092	0.228	0.025	0.318	-0.005	0.292	0.605	-0.212	0.589	0.530	0.246
	AVE.	0.474	0.520	0.484	0.552	0.608	0.663	0.676	0.596	0.740	0.589	

* and ** denote significance at the 0.05 and 0.01, respectively.

상관계수를 구하였다.

Table 6은 Type 5 사례를 대상으로 10 지점(EN1, EN2, ES1, ES2, SW1, SW2, SW3, SE1, SE2, SE3)에서의 특정 바람성분(315°, 337.5°, 0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 90°)에 대한 WDT와 강수량 사이의 상관계수를 보여 준다. 모든 지점(EN1~SE3)에서의 90° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수는 평균 약 0.25 정도로 상관성이 낮았으며, 0°, 22.5°, 45°, 67.5°, 315°, 그리고 337.5° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수를 평균한 값은 각각 약 0.63, 0.68, 0.6, 0.57, 0.79, 0.62 정도로, 315° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수를 평균한 값은 0.79로 가장 컸다. 즉, Type 5의 사례에서는 열 지점 모두에서 북서풍 바람성분의 크기와 지속시간이 강수량과 상관성이 제일 크다고 할 수 있다.

그리고 EN1, EN2, ES1, ES2, SW1, SW2, SW3, SE1, SE2, SE3에서의 315° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수는 각각 0.744, 0.825, 0.756, 0.908, 0.866, 0.789, 0.583, 0.945(유의수준 0.01을 만족), 0.876, 0.562로, SE1 지점에서의 315°방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량과의 상관계수가 가장 컸으며, 사례 수가 적음에도 유의수준 0.01을 만족하였다. Type 5의 사례의 경우, SE1 지점(울릉도 서쪽 해상)에서의 북서풍 바람성분의 크기와 지속시간이 강수량과의 상관성이 가장 컸음을 알 수 있다. 또한, 전반적으로 볼 때, 지점에 따른 상관계수의 변화보다는 바람 방향에 따른 상관계수의 변화가 컸다. 참고로 Type 5의 경우, 사례 수가 많지 않았기 때문에 사례를 더 축적하여 보다 많은 사례를 대상으로 상관성을 조사할 필요가 있다고 본다.

Figure 5d는 Type 5 사례에서 가장 높은 상관계수를 보인 SE1 지점의 315° 방향의 바람성분에 대한 WDT와 강수량에 대한 산포도이다. 여기서 WDT가 클수록 강수량이 선형적으로 증가하는 것을 뚜렷하게

잘 볼 수 있다.

4. 요약 및 결론

이 연구에서는 20년간의 겨울철 자료를 이용하여, 지상 기압 패턴 별로 동해상의 해수면 온도와 850 hPa의 기온 차이(AST850)와 강수량 간의 상관관계 그리고 동해 해상에서의 바람(1000 hPa 고도) 방향 별로 지속시간을 같이 고려한 값(WDT)과 강수량과의 상관관계에 대해 정량적으로 분석하였다.

먼저, 지상 기압 패턴 별로 AST850과 강수량 간의 상관성을 보면, Type 1(시베리아 고기압 확장형)과 Type 2(시베리아 고기압 확장 + 기압골형) 그리고 Type 5(동해 기압골형)의 경우, 상관계수가 각각 0.253, 0.384 그리고 0.398로 해기차와 강수량의 상관성이 어느 정도 있음을 확인하였다. 한편, Type 4(남쪽 기압골형)의 경우, -0.15로 오히려 음의 매우 낮은 상관성을 보여 해기차와 강수량과의 선형적인 상관관계는 거의 없다고 볼 수 있었다. 이렇게 상관성이 거의 없는 이유는, Type 4는 제주도 남쪽 해상을 지나는 저기압의 영향을 받는 유형이기 때문에 온도능이 동해상에 위치하였고, 이에 따라 해기차의 크기는 상대적으로 작았다. 또한 따뜻한 남쪽 기압골의 영향으로 같은 해기차에서도 강수량의 변동폭이 몹시 컸기 때문에 강수량과의 선형적인 상관성이 거의 없었다.

또한, 겨울철에 10 mm 이상의 많은 강수가 영동 해안지역에 내린 경우, 동해상의 SST와 850 hPa 기온의 차이 분포가 지상 기압 패턴 별로 서로 달랐다. 즉, Type 1의 경우, 15 K 이상; Type 2의 경우, 12 K 이상; Type 4의 경우, 7 K 이상 그리고 Type 5의 경우, 13 K 이상이었다.

지상 기압 패턴 별로, 지속시간이 결합된 바람(WDT)과 강수량 사이의 상관성을 보면, 전반적으로 볼 때, Type 5, Type 2, Type 4, Type 1 사례 순으로 WDT

와 강수량 사이의 상관성이 가장 높았다. 또한 Type 1 사례의 경우, EN1 지점에서 90° 방향의 바람(동풍) 성분과 강수량의 상관계수(0.464; 유의수준 0.05 만족)가 가장 컸으며, Type 2 사례에서는 ES1 지점의 67.5° 방향의 바람(동북동풍) 성분과 강수량의 상관계수(0.767; 유의수준 0.01 만족)가 가장 컸으며, Type 4 사례에서는 EN2 지점의 22.5° 방향의 바람(북북동풍) 성분과 강수량의 상관계수(0.559; 유의수준 0.01 만족)가 가장 컸다. Type 5 사례에서는 SE1 지점의 315° 방향의 바람(북서풍) 성분과 강수량의 상관계수(0.945; 유의수준 0.01 만족)가 가장 컸으며, 이 상관계수의 값이 모든 지상 기압 패턴 중에서 가장 컸다. 이러한 결과는 겨울철 영동 해안에서의 강수량과의 상관성이 제일 높은 지점과 바람 방향이 지상 기압 패턴 별로 서로 다름을 잘 보여준다. 따라서 바람 자료를 이용하여 겨울철 대륙성 고기압의 확장과 관련된 영동지역 강수량을 예측할 때에는 지상 기압 패턴에 따라 상관성이 제일 높은 지점과 바람 방향을 잘 선택하여 선형 회귀식을 이용할 필요가 있다. 한편, 모든 사례에서 지속시간이 결합된 바람(WDT)과 강수량 사이의 상관관계가 AST850과 강수량 사이의 상관관계보다 전반적으로 더 좋음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 2014년도 강릉원주대학교 교수연구년 연구 지원과 국립기상과학원 재해기상연구센터의 연구비지원(강원영동 지역 겨울철 재해기상 분석 및 예측 기법 개발 사업)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Anderson, T., and S. Nilson, 1990: Topographically induced convective snowbands over the baltic sea and their precipitation distribution. *Amer. Meteor. Soc.*, **5**, 299-312.
- Carpenter, D. M., 1993: The lake effect of the great salt lake: Overview and forecast problems. *Wea. Forecasting*, **8**, 181-193.
- Cho, K.-H., and T.-Y. Kwon, 2012: Orographic and ocean effects associated with a heavy snowfall event over Yeongdong region. *Atmosphere*, **22**, 57-71 (in Korean with English abstract).
- Choi, M.-K., 1994: Heavy snowfall in the Young-dong region accompanied by the southward expansion of cold air toward East Sea. *Forecast Technique*, **5**, 1-10.
- Chung, B.-O., 1995: A comparative study on the characteristic of snowfall between Youngdong region and west seaside district at honam region in Korea. M.S. Thesis, Chosun University, 45 pp (in Korean with English abstract).
- Chung, K.-B., J.-Y. Kim, and T.-Y. Kwon, 2004: Characteristics of lower-tropospheric wind related with winter precipitation in the Yeongdong region. *Atmosphere*, **40**, 369-380 (in Korean with English abstract).
- Hill, F. F., K. A., Browning, and M. J. Bader, 1981: Radar and rain gauge observations of orographic rain over south wales. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **107**, 643-670.
- Jhun, J.-G., D.-K. Lee, and H.-A. Lee, 1994: A study on the heavy snowfalls occurred in South Korea. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, **30**, 97-115 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.-H., 1993: Correlations between heavy snowfall in the Young-dong region and sea surface temperature. *Gang-Won Weather Characteristics*, **5**, 21-28.
- Lee, H., and T.-Y. Lee, 1994: The governing factors of heavy snowfalls in Youngdong area. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, **30**, 179-218 (in Korean with English abstract).
- Lee, J. G., 1999: Synoptic structure causing the difference in observed snowfall amount at taegwallyong and Kangnung: Case study. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, **35**, 319-334 (in Korean with English abstract).
- _____, and Y. J. Kim, 2008: A numerical case study examining the orographic effect of the taebaek mountains on snowfall distribution over the Yeongdong area. *Atmosphere*, **18**, 364-386 (in Korean with English abstract).
- _____, and _____, 2009: A numerical case study examining the orographic effect of the northern mountains complex on snowfall distribution over the Yeongdong area. *Atmosphere*, **19**, 345-370 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.-H., S.-H. Eun, B.-G. Kim, and S.-O. Han, 2012: An analysis of low-level stability in the heavy snowfall event observed in the Yeongdong region. *Atmosphere*, **22**, 209-219 (in Korean with English abstract).
- Lee, T.-Y., and Y.-Y. Park, 1996: Formation of a mesoscale trough over the Korean peninsula during an excursion of Siberian high. *J. Meteor. Soc. Japan*, **74**, 299-323.
- Nam, H.-G., B.-G. Kim, S.-O. Han, C. K. Lee, and S.-S. Lee, 2014: Characteristics of easterly-induced snowfall in Yeongdong and its relationship to air-sea temperature difference. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, **50**, 541-552.

- Neiman, P. J., F. M. Ralph, A. B. White, D. E. Kingsmill, and P. O. G. Persson, 2002: The statistical relationship between upslope flow and rainfall in California's coastal mountains: Observations during CALJET. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 1468-1492.
- Song, I.-S., 1992: *Understanding Statistics - including SPSS analysis methods*. Hakjisa, 720 pp (in Korean).
- Song, J.-A., 2015: The Study of Synoptic Patterns in Favor of Heavy Snowfall in the Yeongdong Area and Predictors for Heavy Snowfall Amounts. M.S. Thesis, Gangneung-Wonju National University, 91 pp (in Korean with English abstract).
- Yoo, C.-S., and B.-O. Chung, 1996: A comparative study on the characteristic of snowfall between Yeongdong region and west seaside district at honam region in Korea. *Natural Sci. Res.*, **19**, 131-158 (in Korean with English abstract).
- Waldstreicher, J. S., 2002: A foot of snow from a 3000-foot cloud: The ocean-effect snowstorm of 14 January 1999. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 19-22.