ECMWF와 호남지역 강설자료의 상관성 분석 및 평가 Correlation Analysis and Evaluation for Snowfall Data of ECMWF and Honam Region in Korea

배영혜* · 정재원** · Imee V. Necesito*** · 김종성**** · 이명진***** · 김형수*****
Bae, Young Hye*, Jung, Jaewon**, Necesito, Imee V.***, Kim, Jongsung****,
Lee, Myungjin*****, and Kim, Hung Soo*****

Abstract

As the temperature of the Arctic rises due to global warming, the polar vortex, which is the cold air of the Arctic, has moved southward, which causes the occurrence of unusual cold waves and heavy snowfall in the mid-latitude regions (North America, Europe, and Asia). Since this phenomenon is known to induce damage to people and properties, it is very important to analyze the process and cause of snowfall as well as its predictability in order to lessen if not prevent further damage. While there are many studies that utilize climate models in relation to rainfall, snowfall studies are lacking. This study evaluated the domestic applicability of snowfall data of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) seasonal forecast data before performing the snowfall generation process and forecasting research. We analyzed the correlation between monthly fresh snowfall of the 13 stations in the Honam region, which is one of the heaviest snowfall areas in Korea and of monthly snowfall of the ECMWF. After clustering 13 stations using hierarchical cluster analysis, correlation analysis was performed and its accuracy was determined using a confusion matrix. As a result, it was concluded that the applicability of the ECMWF seasonal forecast data is sufficient based on the high correlation and accuracy results between the monthly fresh snowfall data and the monthly snowfall data of the ECMWF. The results of this study are expected to be utilized as basic data for predicting future heavy snowfall to verify its impact and assess the vulnerability to heavy snowfall damage.

Key words : ECMWF, New Fresh Snowfall, Hierarchical Cluster, Confusion Matrix, Accuracy

요 지

최근 지구온난화로 인하여 북극 기온이 상승함에 따라 북극의 찬 공기인 극지방 소용돌이(polar vortex)가 남하하여 중위도 지역(북미, 유럽, 아시아)의 이례적인 한파와 폭설 발생에 영향을 주고 있다. 이러한 영향으로 인하여 인적·물적 피해가 심각하다. 따라서 강설의 발생 과정 및 원인을 분석하여 강설을 예측하는 것은 폭설로 인한 피해를 예방하기 위하여 매우 중요하다. 하지만 강우와 관련하여 기후모형을 활용하는 연구는 많으나, 강설에 대한 연구는 많이 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 강설에 대한 발생과정 및 예측 연구를 수행하기 전에 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) 계절예측 자료 중 적설자료의 국내 적용성을 평가하고자 한다. 국내 대설지역 중 하나인 호남지역 내 13개 관측소의 월별 신적설 자료와 ECMWF 적설자료와의 상관관계를 분석하였다. 계층군집분석을 이용하여 13개 관측소를 군집화한 후 상관관계 분석을 수행하였고, 혼동행렬을 이용한 정확도를 분석하였다. 그 결과, 월별 신적설 자료와 ECMWF 월별 적설자료와의 상관성과 정확도가 높게 나타난 결과로 판단해 볼 때 ECMWF 계절예측 자료의 적용가능성은 충분하다고 판단된다. 본 연구의 결과는 향후 미래 폭설 발생 및 영향을 예측하고 폭설의 피해에 대한 취약성을 평가하기 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

핵심용어 : ECMWF, 신적설, 계층군집분석, 혼동행렬, 정확도

*정회원, 인하대학교 토목공학과 박사과정(E-mail: yhaebae@gmail.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

**교신저자, 정회원, 인하대학교 수자원시스템연구소 연구원(Tel: +82-32-872-8729, Fax: +82-32-872-8729, E-mail: jungjw89@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Researcher, Institute of Water Resource System, Inha University

***인하대학교 토목공학과 박사과정(E-mail: imeenecesito@inha.edu)

Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

****정회원, 인하대학교 토목공학과 박사수료(E-mail: kjjs0308@naver.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

*****정회원, 인하대학교 토목공학과 박사수료(E-mail: lmj3544@naver.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

*****정회원, 인하대학교 토목공학과 교수(E-mail: sookim@inha.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

1. 서 론

최근 온실가스 배출의 증가로 인하여 지구표면의 온도가 계속 증가하고 있다. 지구온난화의 영향을 가장 크게 받고 있으며, 북극의 기온 상승으로 인하여 찬 공기인 극지방 소용돌이(Polar Vortex)가 남하하여 중위도 지역의 이례적인 한파와 폭설 발생에 영향을 준다. 북미와 유럽에 강풍과 함께 폭설이 내려 사회기반 시설을 마비시키고 인명 피해를 발생시켰고 한반도 주변 중국과 일본에서도 기록적인 폭설로 인하여 심각한 인적·물적 피해를 입었다(Interagency Coalition Government, 2019). 우리나라에서도 동해안과 서해안에 많은 눈이 내려 인명 피해는 없었지만 축사 및 비닐하우스와 같은 농업시설물에 큰 피해를 입었고, 빙판길로 인하여 많은 교통사고가 발생하였다(Bae et al., 2020). 따라서 강설의 발생 과정 및 원인을 분석하여 강설을 예측하는 것은 폭설로 입는 피해를 사전에 예방하고 대비하기 위하여 매우 중요하다.

최근 전 세계 많은 기관들이 기후모형을 통한 계절예측 연구를 수행하고 있다. 대표적인 국외 연구기관은 미국 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 유럽연합의 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), 호주 Bureau of Meteorology (BOM)이고, 국내 기관으로는 기상청 Global Seasonal Forecast Version 5 (GloSea5), APEC 기후센터(APEC Climate Center), K-water의 K-water Long-term Precipitation Model (K-LPM)가 있다(Jung, 2020). 이들 기관의 계절예측 자료 중 전 세계적으로 ECMWF 계절예측 자료가 널리 활용되고 있다. 자연재난 예방 및 효율적인 수자원 관리를 위하여 중장기 기후 예측 자료를 이용한 연구가 많이 진행되고 있으나, 자료의 불확실성과 낮은 신뢰도로 인하여 실제 정책 결정에 적용하기 어렵다(Jung, 2020). 따라서 1개월에서 수개월 기간의 기후변동을 고려한 계절예측 자료는 활용성이 높기 때문에 각 분야(홍수, 가뭄, 저수지, 댐 등)에서 활용성을 평가하는 연구가 진행되고 있다(Wood and Lettenmaier, 2006; Jung, 2020).

국외 연구사례를 살펴보면, Buizza and Chessa (2002)는 미국 동해안에 2000년 1월 24일~26일 내린 폭설 기간동안 ECMWF 앙상블 자료를 이용하여 강설 발생 가능성을 평가하여 예측성이 우수한 것을 증명하였다. Frick and Wernli (2012)는 2005년 11월 독일 북서부에 내린 폭설을 분석하기 위하여 ECMWF의 앙상블 데이터를 이용하였으며, 적설의 예측력 향상을 위해서는 융설 매개변수 개선이 필요하다고 판단하였다. Arpe et al. (2014)는 ECMWF의 재분석자료와 계절예측 자료를 이용하여 카스피 해(Caspian Sea)의 해수면을 예측하였고, 계절예측 자료의 결과가 재분석 자료의 결과보다 예측력이 더 좋다는 결과를 나타냈다. Gubler et al. (2020)은 남지 지역을 대상으로 계절예측 모형의 온도와 강수량 자료의 적용성을 평가하였으며, 그 결과, 적용성이

높다고 평가하였다. 국내에서는 Lee and Ahn (1993)은 1986년 1월 중부 및 호남 지역의 한파와 폭설을 ECMWF 중기에 보모델을 이용하여 10일간 수치실험을 수행하였으며, 5일 예보에서 강수 현상을 잘 모의한 결과를 나타냈다. Yeo and Ha (2017)는 ECMWF ERA-INTERIM 재분석 자료와 기상청의 중관기상관측의 적설자료를 이용하여 제주도의 대설 원인을 열역학적·수문학적으로 분석하였고 한랭이류와 한랭이류에 의한 상승기류, 황해상에서 유입되는 열과 수증기가 대설의 원인으로 분석되었다. Lee et al. (2014)는 국내 강설 예측성을 연구하고자 Interactive Grand Global Ensemble (TIGGE)자료를 국내·외 5개 예측기관(China Meteorological Administration [CMA], ECMWF, National Centres for Environmental Prediction [NCEP], Korea Meteorological Administration [KMA], Met Office of United Kingdom [UMKO]) 앙상블 예측시스템의 적설 예측성을 비교하고 예측된 적설의 차이를 분석하였다. 그 결과, ECMWF가 가장 예측성이 높다는 것으로 평가 되었다. Lee et al. (2019)는 ECMWF의 Subseasonal-to-Seasonal (S2S) Hindcast 기간의 강수량 자료를 다중퍼셉트론 모델에 입력하여 강수예측성 향상 가능성을 평가하였으며, 그 결과 다중퍼셉트론 모델의 후처리를 통하여 예측성이 향상하는 결과를 보여주었다. Jung (2020)은 ECMWF hindcast기간의 자료를 이용하여 금강유역의 월 기온 및 강수량을 예측하였다.

국내에서는 홍수나 가뭄 등과 자연재해에 대한 예측 및 예측력 향상을 위한 연구는 활발하게 진행되고 있으나, 강설에 대한 예측 관련 연구는 매우 미흡한 실정이며, 계절예측 자료를 이용한 연구도 부족하다. 따라서 본 연구에서는 국외에서 많이 사용되는 계절예측 결과 중 역학적 방법을 이용하여 생성된 유럽연합의 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)의 월별 적설 자료에 대한 국내 적용성을 평가하고자 한다. 이를 위해 국내 대설지역 중 호남지역의 13개 관측소의 월별 신적설 자료를 이용하여 상관관계를 분석을 실시하였다. 군집분석을 이용하여 13개 관측소를 5개의 군집으로 분류하고 각 군집의 월별 신적설과 ECMWF 격자의 월별 적설과의 상관관계 및 정확도(%)를 분석하여 ECMWF 계절예측 자료가 국내에 적용 가능한지를 분석하였다. 2장에서는 방법론, 3장에서는 자료, 4장에서는 사례분석, 마지막으로 5장에서는 결론을 제시하였다.

2. 상관성 분석을 위한 통계적 기법

2.1 군집분석

군집분석은 각 객체의 유사성을 측정하여 유사성이 높은 대상 집단을 분류하고, 군집간의 상이성을 규명하는 통계 분석 방법을 말한다. 군집 분석은 객체 및 그 관계를 설명하는 데이터에서 발견된 정보만을 기반으로 데이터 객체를 그룹화한다. 그룹 내의 유사성이 크고 그룹 간 차이가 클수록

군집 분석이 더 우수하거나 명확해진다. 군집 분석은 계층적 군집 분석과 비계층적 군집 분석(분리 군집분석)으로 나눈다. 첫 번째 계층적 군집 분석은 나뭇가지와 같은 형태의 계층구조를 형성해가는 방법으로 처음에는 모든 개수의 데이터에서 시작하여 군집간의 거리, 유사성에 따라 점차 군집의 개수를 줄여가는 방법을 말한다. 계층적 군집 분석에는 최단연결법, 최장 연결법, 평균 연결법, 중심 연결법, 와드 연결법이 있다. 두 번째로 비계층적 군집 분석(분리 군집 분석)은 각 개체는 서로 중복되지 않는 군집에 속하며, 구하고자 하는 군집의 수를 정한 상태에서 설정된 군집의 중심에 가장 가까운 객체를 하나씩 포함해 가는 방법으로 군집을 형성한다. 많은 자료를 빠르고 쉽게 분류할 수 있으나 군집의 수를 미리 정해 주어야 하고, 초기값에 따라 군집 결과가 달라진다. 비계층적 군집 분석에는 K-means와 Partition Around Medoids (PAM)가 있다. 본 연구에서는 계층적 군집 분석의 와드 연결법을 사용하였다. 와드 연결법은 군집간 데이터 손실을 최소화하는 방법이다. 군집내 편차들의 제곱 합을 고려하기 때문에 군집내 거리를 최소화하고 비슷한 크기의 군집을 생성하는 경향이 있다.

2.2 상관관계 분석

상관관계 분석은 2개 이상의 변수 간의 선형적 상관관계 정량화하는 분석을 말한다. 회귀분석과는 다르게 변수들 간의 선형적 상관관계 정보만 제공하며, 구체적으로 어떤 인과관계가 있는지에 대한 상세한 정보는 제공하지 않는다. 상관관계 분석에서 변수들 간의 선형 상관관계를 정량화하여 수치로 나타내어주는 척도를 상관계수라고하며, 상관관계를 객관적으로 비교할 수 있다(Lee et al., 2019).

본 연구에서는 대표적인 상관계수 산정법인 피어슨(Pearson) 상관계수(r)를 사용하였다. 피어슨 상관계수는 두 변수 사이의 직선 관계를 강도를 나타내는 척도이며, -1과 1사이의 범위에 있다. 1에 가까울수록 양의 상관관계가 높다고 보며, -1에 가까울수록 음의 상관관계가 높다고 본다. 0에 가까울수록 상관관계가 없음을 의미한다. 피어슨 상관관계(r)은 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

여기서, $\bar{x}$ 는 변량 x_i 의 평균이고 $\bar{y}$ 는 변량 y_i 의 평균이다.

2.3 정확도 분석

정확도(Accuracy)는 모델의 예측성능을 직관적으로 평가하기 위한 지표 중 하나이며, 전체 자료 중 동일하게 예측한 자료가 얼마나 포함되어 있는지를 나타내는 비율을 의미한다. 이를 위해 혼동행렬(Confusion Matrix)을 구성하게 되는

데, Table 1에서 보는 바와 같이, True Positive (TP)는 관측값이 양성인 값을 양성으로 예측한 값(True)을 의미하며, True Negative (TN)는 관측값이 음성인 값을 음성으로 예측한 값(True)을 말한다. 또한 False Positive (FP)는 관측값이 음성인 값을 양성으로 예측한 값(False)을 의미하며, False Negative (FN)는 관측값이 양성인 값을 음성으로 예측한 값(False)을 말한다. 정확도는 구하는 방법은 Eq. (2)와 같다.

$$Accuracy = \frac{\text{동일하게 예측된 자료 수}}{\text{전체 자료 수}} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \times 100 \quad (2)$$

Table 1. Confusion Matrix

		Observation	
		True	False
Prediction	True	True Positive (TP)	False Positive (FP)
	False	True Negative (TN)	False Negative (FN)

3. 대상지역 및 자료수집

3.1 대상지역 선정 및 호남지역 적설자료 수집

Fig 1에서 보는 바와 같이 국내 대설지역 중 하나인 호남지역을 대상지역으로 선정하였다. 우리나라 대설지역 중 하나인 호남지역은 동쪽에는 소백산맥, 북쪽으로는 금강을 경계하고 있다. 전라남도와 전라북도 사이에는 노령산맥이 가로 질러 그 경계를 이루고 있다. 호남지역은 동쪽에 위치한 소백산맥에 의한 지형적인 영향과 서해바다의 영향으로 눈이 많이 내리며 폭설로 이어지는 경우가 많다(Lee and Chun, 2003; Lee and Lee, 2006; KMA, 2020). Table 2는 월별 신적설 자료를 수집한 기상청 중관기상관측소의 관측 기간 및 제원을 나타낸 것이다. 호남지역에 위치한 13개 관측소의 자료 중 결측이 발생한 해를 제외한 1993년 1월~2008년 12월(16개년)까지 월별 신적설 자료를 이용하였으며, 한 시즌을 11월~3월까지로 정의하였다. Fig. 2는 1993년 11월~2008년 3월까지의 월별 신적설을 도시한 것이다.

Table 3은 각 관측소의 월별 신적설에 대한 기본 통계값을 정리한 것이다. 13개 관측소 중 부안의 월별 신적설의 평균과 표준편차가 가장 크며 각각 18.7 cm, 25.8 cm를 보이고 있다. 월별 신적설의 평균과 표준편차가 가장 작은 관측소는 여수로 0.8 cm와 2.4 cm이다. 최소값은 13개 관측소 모두 0.0 cm이며, 최대값이 가장 큰 관측소는 부안 관측소로 171.1 cm, 최대값이 가장 작은 값은 여수 관측소의 작은 값은 14.7 cm이다. 변동계수가 가장 높은 관측소는 여수로 변동계수가 2.85이며, 즉, 적설의 편차가 큰 것을 알 수 있다. 반대로 해남의 변동계수가 1.10으로 가장 낮으며, 적설의 분포가 고르다는 것을 알 수 있다. 13개 관측소의 왜곡도 계수가

Fig. 1. Study Area (Honam Region)

Table 2. 13 Meteorological Stations in Honam Region

Station Number	Name	Longitude (degree)	Latitude (degree)	Elevation (EL.m)	Starting year
140	Gunsan	127.520	35.657	406.490	1971
146	Jeonju	127.155	35.822	53.400	1971
165	Mokpo	126.381	34.817	38.000	1971
168	Yeosu	127.741	34.739	64.640	1971
170	Wando	126.702	34.396	35.240	1971
243	Buan	126.717	35.730	11.960	1971
244	Imsil	127.286	35.612	247.870	1971
245	Jeongeup	126.866	35.563	44.580	1971
247	Namwon	127.397	35.402	127.480	1971
248	Jangsu	127.520	35.657	406.490	1988
260	Jangheung	126.919	34.689	45.020	1971
261	Haenam	126.569	34.554	13.010	1971
262	Goheung	127.276	34.618	53.120	1971

Table 3. Basic Statistics for Monthly Snowfall Data of 13 Stations

Station Number	Name	Average (cm)	Standard deviation (cm)	Minimum (cm)	Maximum (cm)	Skewness Coefficient	Coefficient of variability
140	Gunsan	10.8	17.1	0.0	118.3	3.8	1.6
146	Jeonju	8.3	11.9	0.0	55.2	2.1	1.5
168	Mokpo	8.0	14.7	0.0	86.4	4.0	1.9
168	Yeosu	0.8	2.4	0.0	14.7	4.0	2.9
170	Wando	2.5	5.5	0.0	40.0	4.7	2.2
243	Buan	18.7	25.8	0.0	171.1	3.2	1.4
244	Imsil	10.1	12.6	0.0	54.1	1.6	1.2
245	Jeongeup	4.6	9.6	0.0	70.8	4.9	2.1
247	Namwon	5.4	11.0	0.0	82.8	5.1	2.1
248	Jangsu	1.6	4.00	0.0	23.0	3.5	2.5
260	Jangheung	14.8	23.6	0.0	157.1	3.5	1.7
261	Haenam	15.7	17.3	0.0	84.5	1.5	1.2
262	Goheung	14.0	15.7	0.0	61.3	1.5	1.2

모두 0 이상이므로 분포의 형태가 좌측으로 치우쳐 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 2005년 11월~2006년 3월에 눈이 가장 많이 내렸으며, 군산, 정읍, 부안에 가장 많은 눈이 내린 것으로 나타났다. Fig. 3은 관측소별 연 신적설에서 최근 16년의 신적설 평균을 뺀 편차를 나타내고 있다. 1994년

에는 16년 동안 평균대비 연 신적설이 작은 것으로 나타났으며, 2005년에는 16년 동안 평균 대비 연 신적설이 매우 큰 것으로 나타났다. 실제로 1994년에는 전국적으로 가뭄이 발생한 시기이며(Kim and Lee, 2011), 2005년 정읍에서는 연간 236.8 cm의 기록적인 폭설이 내렸고 부안에서도 연간 182.2 cm를 기록하였다.

Fig. 2. Monthly New Fresh Snowfall in Honam Region (Jan. 1993~Dec. 2008)

Fig. 3. Anomaly of Mean New Fresh Snowfall in Honam Region

3.2 ECMWF의 적설 계절예측자료 수집

본 연구에서는 Copernicus Climate Change Service (C3S)에서 제공하고 있는 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) 계절예측 자료 중 월별 적설의 Hindcast 기간의 자료를 수집하였다. 자료 기간은 Hindcast 기간 중 1993년 1월~2008년 12월까지 16개년의 자료를 사용하였고 강설이 발생하는 겨울철인 11월~3월까지 5개월의 자료만 사용하였다. Table 4는 ECMWF 계절예측자료 제원 및 가용 변수를 나타낸 것이다. 4개의 ECMWF 격자와 호남 지역의 지도를 중첩하여 도시한 그림을 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 4는 1993년 11월~2008년 3월까지의 격자별 월별 적설을 도시한 것이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이, 산악지형이 속한 격자 G (1,2)의 적설이 다른 격자에 비하여 많은 편이며, 반면에 해안지역이 속한 격자 G (2,1)의 적설이 다른 격자에 비하여 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 전체적으로는 2001년~2004년에는 눈이 적게 내린 것으로 나타났다.

Table 4. Monthly ECMWF Seasonal Forecast Data (Jung, 2020)

Data Description	
Horizontal Coverage	Global
Horizontal Resolution	1° × 1°
Temporal Coverage	1993 to 2016 (hindcast)
	2017 to present (forecast)
Temporal Resolution	Monthly
File Format	GRIB
Data Type	Grid

4. ECMWF와 호남지역 강설량 자료의 상관성 분석

4.1 계층적 기법을 이용한 군집분석

본 연구에서는 호남지역 13개 관측소의 월별 신적설 자료를 계층적 군집 분석의 Ward 연결법에 적용하여 군집 분석을 실시하였다. Fig. 5는 개체들이 결합되는 순서를 나타내는 Dendrogram을 나타낸 것이며, Fig. 6은 상관관계 분석을 이용하여 5개의 군집으로 나눈 것을 나타낸 것이다. Table 5에서 보는 것처럼 Figs. 5, 6, 관측소의 지역적 위치를 고려하여 총 5개의 군집으로 분류하였다.

Cluster 1에는 남해지역에 위치한 여수, 고흥 관측소가 포함되며, Cluster 2는 내륙지역에 위치한 임실, 장수, 전주, 남원 관측소가 포함되었다. Cluster 3~5는 해안지역에 위치한 관측소가 포함되어 있으며, Cluster 3에는 목포 관측소, Cluster 4에는 완도, 장흥, 해남 관측소, Cluster 5에는 군산, 부안, 정읍 관측소가 포함되었다.

분류된 군집의 신뢰성을 살펴보기 위하여 Figs. 7(a)~(e)와 같이 각 군집에 속한 각 관측소의 월 적설 자료를 도시하였다. 각 군집별로 비슷한 적설 패턴을 보이고 있으며, 군집화가 잘된 것으로 확인되었다. 각 군집에 속한 관측소의 월별 신적설의 평균값을 그 군집의 월별 신적설로 가정하였다. Fig. 8은 5개 군집의 월별 신적설을 도시한 것이며, Cluster 1 (여수, 고흥)의 월 신적설이 다른 군집에 비하여 상대적으로 적은 것을 알 수 있다. 반면에 Cluster 5 (군산, 부안, 정읍)의 월별 신적설이 상대적으로 많은 것으로 나타났다.

Fig. 4. Monthly Snowfall of Four Grids from ECMWF for Honam Region

Fig. 5. Cluster Dendrogram by Ward for Honam Region

Fig. 6. Correlation Plot for the Clustering of Stations in Honam Region

Table 5. Result of the Clustering for 13 Stations

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
Station Name	Yeosu, Goheung	Imsil, Jangsu, Jeonju, Namwon	Mokpo	Wando, Jangheung, Haenam	Gunsan, Buan, Jeongeup

(a) Cluster 1

(b) Cluster 2

(c) Cluster 3

(d) Cluster 4

(e) Cluster 5

Fig. 7. Monthly Snowfall of Stations for Each Cluster

Fig. 8. Monthly New Fresh Snowfall by Clusters

4.2 월 적설 자료를 이용한 상관성 및 정확도 분석

호남지역의 13개 관측소의 월별 신적설과 ECMWF Hindcast 적설 자료를 이용하여 상관관계 분석을 실시하였다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 상관계수는 평균적으로 0.31~0.53 사이의 값을 가지며, 군산, 정읍, 임실, 장수 관측소가 ECMWF 자료와 높은 상관관계를 나타냈다.

Fig. 9. Monthly Correlation Plot of Snowfall Data in Each Station and ECMWF Hindcast

Fig. 10. Monthly Correlation Plot of Snowfall Data in Each Cluster and ECMWF Grid

Fig. 10은 ECMWF 자료의 격자와 군집과의 상관관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 상관계수는 0.25~

0.45 값을 가지며, Cluster 3과 Cluster 5가 ECMWF 자료와 높은 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났다.

ECMWF 계절예측 자료의 예측력을 평가하기 위하여 정확도(%)를 산정하였다. 각 관측소의 월별 신적설과 월별 신적설의 전체 평균(1993년 11월~2008년 3월)과의 차이와 월별 ECMWF 격자값과 월별 ECMWF 격자값의 전체 평균과의 차이를 구했다. 이 두 차이값이 모두 양(+)의 값을 가지거나 모두 음(-)의 값을 가지면 True, 두 차이값 중 하나만 양이거나 음의 값을 가지면 False라고 정의하였다. 최종적으로 전체(1993년 11월~2008년 3월, 총 75개월) 중 True 값의 비율(%)을 산정하였다. Table 6은 13개 관측소와 ECMWF 격자 값과의 정확도(%)를 나타낸 것이다. G (1,1)과 정확도가 높은 관측소는 여수와 완도이며 각각 74.7%와 76.0%로 나타났다. G (1,2)와의 정확도 평가에서는 군산 81.1%, 정읍 77.3%, 부안 78.7%, 임실 74.7%로 평가되었다. G (2,1)과 고흥은 73.3%의 정확도를 나타냈다. G (2,2)는 전주와 76.0%의 정확도로 평가되었다. 목포는 G (1,2)와 G (2,1)과 각각 77.3%의 정확도를 나타냈으며, 해남도 G (1,2)와 G (2,1)과 각각 정확도 80.0%로 평가되었다. 남원은 G (1,2)와 G (2,2)와 각각 정확도 76.0%로 평가되었고, 장수도 G (1,2)와 G (2,2)의 정확도가 각각 73.3%로 나타났다.

5개 군집의 월별 신적설과 4개의 ECMWF 격자 값과의 정확도(%)를 계산하였으며, 그 결과는 Table 7과 같다. Cluster 1은 G (2,1)과 73.3% 정확도는 나타냈고, Cluster 2는 G (1,2)와 77.3%, Cluster 3은 G (2,1)과 81.3%의 정확도로 평가되었다. Cluster 4는 G (1,2), G (2,1)과 각각 76.0%, Cluster 5는 G (1,2)와 78.7%의 정확도를 보였다. 따라서 군집별 월별 신적설이 실제 각 군집이 속해 있는 ECMWF 격자 값과의 정확도가 주위의 ECMWF 격자 값과의 정확도 보다 높게 도출되었다. 이는 추후 ECMWF의 적설 계절예측 자료의 국내 적용시 실측자료의 군집분석을 토대로 한 분석이 보다 더 적용 가능성이 높다는 것을 말해주고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 전지구 계절예측 자료 중 하나인 ECMWF 계절예측 자료의 적설량 자료를 이용하여 국내 적용성을 판단하였다. 국내 대설지역 중 하나인 호남지역 내 13개 관측소의 1993년 11월~2008년 3월 신적설량 자료를 수집하여 ECMWF 계절예측 자료의 적설량 자료와의 상관성을 분석하였다. 분석결과, 상관계수는 0.31~0.53 사이의 값을 가지며, 군산, 정읍, 임실 관측소가 ECMWF 자료와 높은 상관관계를 나타내었다. 또한 군집분석을 이용하여 13개 관측소를 5개의 군집으로 분류하여 각각의 ECMWF 자료 격자와의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 상관계수는 0.25~0.45 값을 가지며, Cluster 3과 Cluster 5가 ECMWF 자료가 높은 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났다.

Table 6. Accuracy of Monthly Snowfall in Each Station and ECMWF Grid (unit: %)

Grid	Gun san	Jeon ju	Mok po	Yeo su	Wan do	Jeong eup	Nam won	Jang heung	Hae nam	Go heung	Bu an	Im sil	Jang su
G (1,1)	74.7	66.7	73.3	74.7	76.0	70.7	69.3	68.0	78.7	72.0	72.0	68.0	66.7
G (1,2)	81.3	73.3	77.3	70.7	74.7	77.3	76.0	72.0	80.0	68.0	78.7	74.7	73.3
G (2,1)	78.7	70.7	77.3	73.3	74.7	74.7	73.3	72.0	80.0	73.3	76.0	72.0	70.7
G (2,2)	76.0	76.0	74.7	70.7	66.7	66.7	76.0	72.0	77.3	70.7	70.7	72.0	73.3

Table 7. Accuracy of Monthly Snowfall Data for Each Station and ECMWF Grid (unit: %)

Grid	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
G (1,1)	72.0	68.0	80.0	74.7	72.0
G (1,2)	70.7	77.3	76.0	76.0	78.7
G (2,1)	73.3	72.0	81.3	76.0	76.0
G (2,2)	72.0	76.0	74.7	74.7	72.0

13개 관측소의 월 신적설과 4개의 ECMWF 격자 값과의 정확도(%)를 산정한 결과, 완도, 정읍, 임실, 목포, 해남, 남원, 장수 관측소의 적설은 실제 위치한 ECMWF 격자의 적설과 정확도가 높은 것으로 나타났으나, 군산, 부안, 고흥, 전주 관측소의 적설은 실제 위치한 ECMWF 격자의 인근 격자의 적설과 정확도가 더 높게 나타났다. 또한 여수 관측소의 적설은 실제 위치한 ECMWF 격자의 대각선에 위치한 격자의 적설과 높은 정확도를 보였다. 여수 관측소가 해안가와 격자의 경계에 위치하여 오류가 발생했을 것으로 판단된다. 5개 군집의 월 신적설과 4개의 ECMWF 격자의 적설과의 정확도(%)를 계산한 결과, Cluster 2, Cluster 3, Cluster 4의 적설은 실제 위치한 ECMWF 격자 값의 적설과 높은 정확도를 나타냈으며, Cluster 1과 Cluster 5의 적설은 실제 위치한 ECMWF 격자 값과 동일한 경도에 위치한 격자의 적설과 정확도가 높은 것으로 나타났다. 정확도 분석 결과를 통하여 알 수 있듯이, 군집분석을 이용하여 분석한 결과가 13개 관측소별로 분석한 결과보다 위치상의 오류가 없는 것으로 나타났다.

따라서 관측소에 따른 적설 예측 분석보다는 군집분석을 이용한 예측 분석이 보다 더 정확성을 보이고 있음을 알 수 있다. 각 군집이 속해 있는 ECMWF 격자와의 상관성과 정확도가 높게 나타난 결과로 판단해 볼 때 ECMWF 계절예측 자료의 적용가능성은 충분하다고 판단된다. 국내·외 연구기관에서 계절예측 자료의 중요성이 대두되면서 계절예측 자료를 이용한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 불확실성을 개선하고 예측성을 높이기 위한 연구도 진행 중에 있다. 따라서 본 연구에서 ECMWF의 적설 계절예측 자료의 국내 적합성을 판단한 결과는 추후 기후변동을 고려한 중장기 적설 예보를 위하여 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2017R1A2B3005695).

References

- Arpe, K., Leroy, S.A.G., Wetterhall, F., Khan, V., Hagemann, S., and Lahijani, H. (2014). Prediction of the Caspian Sea level using ECMWF seasonal forecasts and reanalysis. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 117, pp. 41-60.
- Bae, Y.H., Jung, J.W., and Kim, H.S. (2020). Needs for the study of extreme snowfall in the age of global warming. *The Magazine of the Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 20, No. 1, pp.18-22.
- Buizza, R., and Chessa, P. (2002). Prediction of the U.S. storm of 24-26 January 2000 with the ECMWF ensemble prediction system. *Monthly Weather Review*, Vol. 130, No. 6, pp. 1531-1551.
- Frick, C., and Wernli, H. (2012). A case study of high-impact wet snowfall in Northwest Germany (25-27 November 2005): observations, dynamics, and forecast performance. *Weather and Forecasting*, Vol. 27, No. 5, pp. 1217-1234.
- Gubler, S., Sedlmeier, K., Bhend, J., Avalos, G., Coelho, C.A., Escadajillo, Y., et al. (2020). Assessment of ECMWF SEAS5 seasonal forecast performance over South America. *Weather and Forecasting*, Vol. 35,

- No. 2, pp. 561-584.
- Interagency Coalition Government. (2019). *2019 Abnormal Climate Report*. Government of Republic of Korea.
- Jung, J.W. (2020). *Seasonal climate prediction reflecting climate variability and flexible operation plan of a multi-purpose dam in flood season*. Ph.D. dissertation, Inha University.
- Kim, G.S., and Lee, J.W. (2011). Evaluation of drought indices using the drought records. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 8, pp. 639-652.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2020). Retrieved from <http://www.kma.go.kr>
- Lee, D.K., and Ahn, Y.I. (1993). Forecast experiment of an East Asian cold-air outbreak with the ECMWF spectral model. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 29, No. 4, pp. 333-343.
- Lee, J.H., Kim, J.S., Kim, D.H., Lee, T.W., Kim, H.S. (2019). Heavy rain damage prediction considering regional disaster prevention budget. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 6, pp. 207-214.
- Lee, K.M., and Lee, S.H. (2006). The spatial distribution of snowfall and its development mechanism over the Honam area. *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 41, No. 4, pp. 457-469.
- Lee, S.H., and Chun, J.H. (2003). The distribution of snowfall by Siberian high in the Honam region. *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 38, No. 2, pp. 173-183.
- Lee, S.M., Han, S.U., Won, H.Y., Ha, J.C., Lee, J.S., Sim, J.K., and Lee, Y.H. (2014). Predictability study of snowfall case over South Korea using TIGGE data on 28 December 2012. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 24, No. 1, pp. 1-15.
- Wood, A.W., and Lettenmaier, D.P. (2006). A test bed for new seasonal hydrologic forecasting approaches in the western United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 87, No. 12, pp. 1699-1712.
- Yeo, J.H., and Ha, K.J. (2017). A case study on causes and characteristics of the local snowstorm in Jeju Island during 23 January 2016. *Atmosphere*, Korean Meteorological Society, Vol. 27, No. 2, pp. 177-188.

Received	June 25, 2020
Revised	June 29, 2020
Accepted	July 8, 2020