우리나라 기상 관측소의 지형 조건과 기후 자료 사이의 관계

이광률

경북대학교 사범대학 지리교육과

(2015년 7월 28일 접수, 2015년 8월 27일 수정, 2015년 9월 1일 게재 확정)

Relationships between Topographical Conditions and Climatic Data at Weather Stations in South Korea

Gwang-Ryul Lee

Department of Geography Education, Teachers College, Kyungpook National University

(Received 28 July 2015, Revised 27 August 2015, Accepted 1 September 2015)

Abstract : This study is analysed on corelation between topographical conditions around 36 weather stations and climate data in South Korea. As a result of analysis, the altitude above sea level shows linear negative corelation with temperature. The low relative height sites appear that sunshine duration and temperature are the lowest and precipitation and precipitation duration are bigger than average by influences of surrounding landform. The relief amount shows high positive corelation with precipitation phenomena such as precipitation, precipitation duration and cloud amount. In terms of the aspect, southern slope sites show the highest daily minimum temperature and sunshine duration, and western slope sites show daily mean and maximum temperatures. The eastern close sites appear the lowest temperature and the highest humidity. The distance from coastline shows linear negative corelation with temperature data. The far distance sites from coastline appear that temperature, precipitation and precipitation duration are the lowest. In respect of landform structures, the piedmont areas show the highest moisture related indicators. The hill areas show the lowest humidity and cloud amount and the longest sunshine duration. Temperature and wind speed are low in basin areas.

Key Words : topographical climatology, landform structure, climate data, climate element, relative height, amount relief

주요어 : 지형 기후학, 지형 구조, 기후 자료, 기후 요소, 비교, 기복량

1. 서론

인간 생활에 영향을 미치는 자연 환경은 구성 요소 간의 상호작용을 통해 그 특징이 나타난다. 대

기의 장기적인 상태인 기후와 지표 기록의 형태적 특성인 지형은 자연 환경을 구성하는 핵심적인 요소로서, 서로간의 상호작용을 통해 서로의 상태와 변화에 영향을 미친다. 기온, 강수, 바람 등

의 기후 요소와 장·단기적인 기후 변화에 의해 유발되는 지형 현상과 변화에 대해서는 기후 지형학(climatic geomorphology)으로 불리는 지형학의 주요 세부 학문 분야를 통해 연구가 활발히 진행되고 있다(Ritter *et al.*, 2011). 이에 비해, 지형이 기후에 미치는 영향을 주제로 한 지형 기후학(topographical climatology) 연구는 기후학 내에 세부 학문 분야로 존재할 만큼 활발하지 않은 편이다.

기온, 강수, 습도, 기압, 풍속과 같은 기상 및 기후 자료는 고정된 지표상에 위치한 기상 관측소(weather station)에서 관측을 통해 얻어진다. 기상 관측소가 위치한 분지, 곡지, 해안 지역과 같이 수 km 범위의 공간 규모에서 나타나는 국지 기후(local climate)는 지역의 고도, 지형 기복, 사면의 경사와 향 등과 같은 국지적인 지형 조건에 의해 크게 영향을 받는다. 그리고 해당 지역의 기후는 장기간의 기상 관측 자료를 평균한 값이다. 따라서 해당 기상 관측소의 기후 자료는 관측소 주변의 지형 조건에 의한 영향이 반영된 결과이다.

여러 가지 기후 요소 중에서 강수는 위도, 고도, 대륙도, 사면 경사, 사면 향 등 지형 요소와의 관련성이 가장 높은 것으로 보고되고(Basist *et al.*, 1994; Wotling *et al.*, 2000; Weisse and Bois, 2001; Johansson and Chen, 2003) 있다. 지형에 의한 기후 특성을 주제로 한 국외의 최근 연구는 특정 지역의 지형 요소나 지형적 조건을 고려하여 강수, 기온, 바람 등의 공간적 분포 특성을 모델링하는 공간 분석 기법에 대한 연구(Weisse and Bois, 2001; Johansson and Chen, 2003; Marquínez, *et al.*, 2003; Ahmed *et al.*, 2014; Feidas *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014)가 대부분이다. 우리나라에서는 기상 및 기후 자료의 공간적 특성을 해석하고 모델링하기 위한 변수로서 지형 요소를 고려한 연구(Lim and Lee, 1994; Yun, 2000; Jung *et al.*, 2006; Park and Kim, 2009; Kim *et al.*, 2010; Lee *et al.*,

2012), 기온, 강수 등의 기후 요소와 지형 요소 사이의 공간적 상호관계를 분석한 연구(Um *et al.*, 2011; Chung *et al.*, 2003; Park and Jang, 2013)가 주로 이루어져 왔다.

대부분의 선행 연구는 기후 요소로서 기온 또는 강수 자료만을, 지형 요소로서는 해발고도, 사면 경사, 사면 향, 해안선으로부터의 거리 중에서 한 두 가지 요소만을 고려하여 공간적 상관성을 분석하였기 때문에, 다양한 기후 및 지형 요소를 모두 고려하여 서로간의 상호관계를 종합적으로 해석하고 검증한 연구는 거의 없다고 할 수 있다. 본 연구는 우리나라 기상 관측소를 대상으로 주변의 여러 가지 지형 조건과 기후 자료 사이의 상관성을 해석하고자 한다. 우리나라의 36개 기상 관측소를 대상으로, 해발고도, 비고, 기복량, 경사, 향, 개방 방향, 해안선으로부터의 거리 등의 지형 조건을 산출한 후, 기온, 강수, 바람, 습도, 일조, 안개, 운량 등 해당 기상 관측소의 30년 평균 기후 자료와의 상호관계를 종합적으로 분석하여, 다양한 지형 조건이 각 기후 요소에 미치는 영향과 결과를 추론하였다.

2. 연구 방법

기후 자료는 기상청의 국가기후데이터센터(National Climate Data Service System)에서 제공하는 우리나라 36개 기상 관측소의 평균 기온, 최고 기온, 최저 기온, 강수량, 강수 지속 시간, 평균 풍속, 평균 습도, 일조 시간, 안개 시간, 전 운량의 30년(1981~2010년) 평균값을 사용하였다. 지형과 기후 자료의 시공간 범위를 일치시키기 위해, 우리나라 전체 기상 관측소 중에서 기후 자료의 산정 기간에 관측소가 신설되었거나 이전을 실시하여 자료간의 비교·분석이 불가능한 관측소는 연

구 대상에서 제외하였다. 이로서 연구 대상은 1981년 이전에 개설되었고 1981년부터 2010년 사이에 관측소의 위치 변동이 없었던 우리나라 36개 기상 관측소를 대상으로 하였다(Figure 1).

관측소 주변의 지형 조건으로는 해발고도(elevation), 비고(relative height), 기복량(relief amount), 경사(slope), 향(aspect), 개방 방향(opening direction), 해안선으로부터의 거리(distance from coastline)를 측정하였다(Figure 2). 비고는 어떤 지점의 고도와 주변 지역의 평균 고도와의 차이로서, 비고가 음의 값을 나타내면 해당 지점이 주변보다 낮은 오목한 지형을 이루고 있는 것이고, 비고가 양의 값을 나타내면 해당 지점이 주변보다 높은 볼록한 지형을 이루고 있는 것이다. 기복량은 어떤 지

역에서 고도 차이의 정도를 의미하여, 기복량이 0이면 해당 지역은 완전한 평면이고, 기복량이 커질수록 지표면의 고도 변화가 심해짐을 의미한다. 개방 방향은 어떤 지점에서 고도가 더 높은 봉우리나 능선이 위치하지 않는, 즉 지형 장애물이 존재하지 않는 방향을 의미한다.

비고, 기복량, 경사, 향, 개방 방향은 ArcGIS 프로그램을 이용해 1:25,000 수치 지형도를 대상으로 격자 크기 20m의 DEM raster 자료를 제작하여 지형 계측을 통해 얻어졌다. 어떤 지점과 주변 지역의 지형 기복 상태 또는 관계라고 할 수 있는 비고, 기복량, 개방 방향은 관측소 주변의 반경 10km 지역을 대상으로 측정하였다. 그 이유는 우리나라의 대표적인 분지 지역인 광주, 대전, 창

Figure 1. 36 weather stations as study sites.

Figure 2. Schematic diagram in order to describe topographical condition.

원, 춘천, 충주 분지를 대상으로 지형 계측을 실시한 결과, 분지 외측 능선에서 가장 먼 건너편 능선까지의 장축이 최소 11km에서 최대 18km이었기 때문에, 반경 10km, 즉 길이 20km는 우리나라의 분지 지형을 충분히 포함할 수 있는 범위라고 판단하였다. 이에 비해 경사와 향은 주변 지형의 상태라기보다는 해당 지점이 가지는 지형 요소이므로 계측의 공간 범위가 보다 좁아야 한다. 이를 위해 모든 관측소를 대상으로 반경 100m와 250m 범위에 대해 각각 경사와 향을 측정해 본 결과, 반경 100m의 측정 결과보다 250m의 결과가 관측소 일대의 실제 지형 특성을 더 잘 반영하고 있어서, 관측소의 사면 경사와 향은 관측소를 중심으로 반경 250m 범위를 대상으로 분석하였다.

해발고도는 기상 관측소 노장의 해발고도를 적용하였다. 비고는 관측소의 해발고도와 관측소 주변 반경 10km 지역의 평균 해발고도와의 차이로 계산하였고, 기복량은 반경 10km 지역의 모든 20m 격자에 대한 고도의 표준편차 값으로 적용하였다(Lee, 2014). 경사는 관측소 주변 반경 250m 지역의 평균 경사도이며, 향은 반경 250m 지역 내 모든 격자에서 출현 빈도가 가장 높은 사면 향을 계산하고 8방위의 형태로 표현하였다. 개방 방향은 관측소 주변 반경 10km 지역에서 관측소의 고도보다 400m 이상 더 높은 지점이 존재하지 않는 방향에 대해 8 방위 형태로 표현하였다. 해안선으로부터의 거리는 관측소에서 가장 가까운 해안선까지의 거리를 적용하였다.

이러한 지형 조건을 고려하여 산록지, 구릉지, 분지, 곡지, 해안평야로 36개 기상 관측소의 지형 구조를 구분하였다. 그리고 이렇게 산출된 지형 조건 및 구조와 여러 기후 자료와의 상호관계를 통계적으로 분석하고, 그 결과에 따라 지형과 기후 사이의 인과관계를 추론하였다.

3. 연구 결과 및 토론

1) 해발고도와 기후

여러 가지 지형 조건 중에서 해발고도는 공기의 밀도 변화와 지구 복사에너지 흡수량의 차이를 유발하여 기후 요소 중 기온에 미치는 영향이 크고, 수증기량의 변화에 따른 운량과 강수량의 변화를 유발한다(Barry and Chorley, 2003; O'Hare *et al.*, 2005; Aguado and Burt, 2006; Ahrens, 2006; Lee, 2007). 36개 기상 관측소를 대상으로 분석한 본 연구 결과에서도 해발고도는 여러 가지 기후 요소 중에서 기온과 높은 선형의 상관성을 나타내는 것으로 나타났다. 특히, 해발고도와 일 평균 기온은 상관계수(R^2) 0.3659의 상대적으로 높은 음의 상관을 가졌다(Figure 3). 또한 일 최저 기온도 해발고도와 상관계수 0.2867의 비교적 높은 음의 상관성이 나타났다(Figure 4). 평균 대기의 상태에서 지상에서는 정규기온감률에 의해 1km 고도 상승 시에 약 6.5℃의 기온 하강이 발생하므로, 해발고도는 기온과 밀접한 음의 상관관계를 가질 수밖에 없다. 그러나 기온을 제외한 나머지 기후 요소들은 해발고도와 선형의 상관관계가 뚜렷하게 나타나지 않았다.

36개 기상 관측 지점의 해발고도를 50m 미만은 저(11개 지점), 50~100m는 중(10개 지점), 100m 이상은 고(15개 지점)의 3개 등급으로 구분하여, 각 등급별로 기후 자료의 평균값을 비교해 보았다(Table 1). 그 결과, 해발고도-고 지역은 평균, 최고, 최저 기온이 전체 평균보다 크게 낮았으며, 반대로 해발고도-저 지역은 기온이 평균보다 모두 높게 나타나서 해발고도와 기온간의 음의 상관관계를 잘 보여주고 있다. 해발고도-고 지역은 안개 시간, 전 운량이 평균보다 크게 높았으며, 해발고도-저 지역은 강수량이 평균보다 높게 나타났다. 이에 비해, 해발고도-중 지역은 강수량, 강수 지

Figure 3. The correlation between elevation and daily mean temperature.

Figure 4. The correlation between elevation and daily minimum temperature.

Table 1. The average values of climate data with respect to degree of elevation.

Climate data Elevation (a.s.l.)	Mean temp. (°C)	Max. temp. (°C)	Min. temp. (°C)	Annual precip. (mm)	Precip. duration (hr)	Mean wind speed (m/s)	Mean humidity (%)	Sun-shine duration (hr)	Fog duration (hr)	Mean cloud amount (%)
High	11.30	17.44	6.07	1329.8	794.3	1.78	69.43	2234.4	176.8	51.73
Medium	12.76	18.32	8.00	1236.8	749.3	2.22	67.42	2252.3	118.3	49.40
Low	13.45	18.65	8.93	1450.3	799.4	1.93	68.09	2240.1	102.2	51.08
Average	12.60	18.19	7.80	1354.2	783.0	1.97	68.31	2241.8	129.7	50.79

속 시간, 전 운량, 평균 습도가 모두 가장 낮았다. 해수면에 가까운 해발고도-저 지역은 상대적으로 수증기의 공급이 많아서 습도와 강수 조건이 양호하고, 높은 산지에 위치한 해발고도-고 지역은 지형적 영향으로 공기의 상승에 의한 수증기의 응결이 용이하여 안개와 구름이 잘 발달하지만, 해발고도-중 지역은 지형에 의한 대기의 수분 형성 조건이 상대적으로 불리하여, 습도, 운량, 강수 값이 모두 작게 나타나는 것으로 판단된다.

평균 풍속은 해발고도-중 지역이 가장 높고, 해발고도-고 지역이 가장 낮았다. 해발고도 100m 이상인 해발고도-고에 해당하는 지점들은 대부분 산지 내부의 곡저나 분지저에 위치하는 경우가 많

기 때문에, 주변 산지가 바람의 장애물 역할을 하여 풍속이 낮은 것으로 판단된다. 이에 비해, 해발고도 50~100m의 해발고도-중에 해당하는 지점들은 대체로 고도가 낮은 구릉지나 넓고 평탄한 곡저에 위치한 경우가 많아서 상대적으로 풍속이 강한 것으로 보인다.

2) 비고와 기후

비고는 주변 지형이 오목한 분지 형태인지, 평탄한 평지인지, 볼록한 산지인지를 파악할 수 있는 지표이다. 36개 지점에 대한 분석 결과, 비고와 기후 요소 사이에서는 선형의 상관관계가 거의 나타나지 않았다. 대신, 비고가 매우 높거나 매우

Figure 5. The correlation between relative height and daily maximum temperature.

Figure 6. The correlation between relative height and annual precipitation.

Table 2. The average values of climate data with respect to degree of relative height.

Climate data Relative height	Mean temp. (°C)	Max. temp. (°C)	Min. temp. (°C)	Annual precip. (mm)	Precip. duration (hr)	Mean wind speed (m/s)	Mean humidity (%)	Sun-shine duration (hr)	Fog duration (hr)	Mean cloud amount (%)
High	13.40	17.65	10.00	1376.8	750.9	3.30	66.65	2321.1	161.3	48.00
Medium	12.71	18.24	7.93	1325.6	776.4	2.00	68.35	2269.6	111.7	50.09
Low	12.35	18.07	7.47	1436.1	817.0	1.87	68.26	2171.3	159.3	52.70
Average	12.60	18.19	7.80	1354.2	783.0	1.97	68.31	2241.8	129.7	50.79

낮을 때에는 거의 모든 기후 요소의 값이 작았으며, 대부분 특정 비고에서 최대값을 나타냈다. 기온은 비고 약 -200m 최대값으로 하여, 강수량은 -200~-50m의 범위를 최대로, 풍속은 -150~0m의 범위를 최대로 하여, 이보다 비고가 높거나 낮으면 기후 값이 작아지는 것으로 나타났다(Figure 5, 6).

해발고도와 마찬가지로 비고도 -100m 미만은 비고-저(11개 지점), -100~0m는 비고-중(23개 지점), 0m 이상은 비고-고(2개 지점)의 3개 등급으로 구분하여 기후 자료와의 관계를 비교하였다(Table 2). 주변 10km 지역의 평균 고도보다 관측소의 고도가 높은 비고-고 지역은 인천과 부산

의 2개 지점에 불과하다. 주변 지역보다 고도가 100m 이상 낮은 비고-저 지역은 기온이 평균보다 매우 낮으며 일조 시간도 작았다. 비고-저 지역은 주변에 높은 산지가 발달한 지역이므로, 태양 광선이 산지에 의해 가려지는 그늘 효과(shadow effect)로 인해 일사량과 일조 시간이 감소한 결과, 기온도 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 또한 비고-저 지역은 평균값에 비해 강수량과 강수 지속 시간이 많고 평균 풍속이 작는데, 이 또한 주변의 높은 산지가 바람의 장애물 역할을 하는 장벽 효과(barrier effect)로 인해 풍속이 감소하고 산지를 따라 상승한 기류에 의해 지형성 강수(orographic precipitation)가 잘 발달하는 것으로 판단된다.

3) 기복량과 기후

지형 기복의 정도를 표현한 기복량은 일사와 공기의 이동에 영향을 미치므로 기후 요소와 관련성이 존재할 것이다. 분석 결과, 기복량은 기온과 바람에 비해 강수 자료와의 선형의 상관관계가 비교적 높은 것으로 나타났다. 기복량이 클수록, 즉 주변 지형의 높낮이 변화가 심할수록, 강수량, 강수 지속 시간, 전 운량이 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이는 주변의 높낮이 차이가 큰 복잡한 지형 구조가 구름과 강수 형성에 크게 관여하고 있음을 보여준다.

기복량은 160m 이상을 기복량-고(6개 지점), 80~160m를 기복량-중(19개 지점), 80m 미만을 기복량-저(11개 지점)로 구분하여, 기후 자료와의

관계를 분석하였다(Table 3). 주변에 높은 산지와 낮은 곡지가 발달하여 지형 기복의 변화가 심한 기복량-고 지역은 강수량, 강수 지속 시간, 평균 풍속, 평균 습도, 안개 시간, 전 운량이 전체 평균에 비해 높게 나타났다. 기복량-고에 해당하는 6개 지점은 울릉도, 서귀포, 양평, 인제, 영주, 산청 기상 관측소로, 모두 북쪽 방향에 높은 산지나 봉우리가 위치하고 있다. 우리나라에서 여름철 강수는 지형에 의한 영향이 매우 큰데(Lee, 2007), 여름철에 습도가 높은 공기가 남쪽에서 유입될 경우, 북쪽의 높은 산지는 지형에 의한 공기의 강제 상승을 일으켜 구름과 지형 안개(orographic fog), 지형성 강수가 형성되기 유리한 조건을 가진다는 점에서, 기복량-고 지역은 습도, 전 운량, 안개, 강수량,

Figure 7. The correlation between relief amount and annual precipitation.

Figure 8. The correlation between relief amount and precipitation duration.

Table 3. The average values of climate data with respect to degree of relief amount.

Climate data Relief amount	Mean temp. (°C)	Max. temp. (°C)	Min. temp. (°C)	Annual precip. (mm)	Precip. duration (hr)	Mean wind speed (m/s)	Mean humidity (%)	Sun-shine duration (hr)	Fog duration (hr)	Mean cloud amount (%)
High	12.45	17.82	7.93	1467.1	895.2	2.22	69.38	2168.3	146.0	53.80
Medium	12.76	18.36	7.92	1383.2	777.3	1.94	67.66	2237.6	122.0	50.61
Low	12.40	18.08	7.52	1242.4	741.5	1.87	68.86	2288.9	135.3	49.73
Average	12.60	18.19	7.80	1354.2	783.0	1.97	68.31	2241.8	129.7	50.79

강수 지속 시간 등 대기의 수분 형성과 관계가 큰 것으로 판단된다. 한편, 기복량-고 지역은 풍속도 큰 것으로 나타나는데, 이는 이들 지역이 산지의 좁고 깊은 곡저에 위치하거나 바다와 접하고 있어, 곡을 따라 발달하는 산곡풍과 해안에서 발달한 해륙풍의 강한 영향에 의한 것으로 추정된다.

4) 경사와 기후

사면의 경사와 사면 향과 같은 지표의 형상은 태양의 입사각의 차이와 지형의 장벽 효과를 일으켜 기후 요소의 변화를 유발한다(Barry and Chorley, 2003; O'Hare *et al.*, 2005; Ahrens, 2006; Lee, 2007). 36개 지점 중 울릉도 기상 관측소는 사면의 경사도가 21.7°로 매우 높게 계측되었으며, 나머지

35개 지점은 모두 10° 이내의 완경사면이나 평탄면에 분포하고 있다. 사면의 경사도는 여러 가지 기후 요소 중에서 평균 풍속과 선형의 양의 상관관계가 존재하는 것으로 나타나서, 사면의 경사가 급할수록 대체로 풍속이 빠른 경향을 보였다(Figure 9). 그러나 평균 풍속 이외의 나머지 기후 요소들은 사면 경사와 선형의 상관관계가 거의 나타나지 않았다. 한 가지 특징적인 점은 경사와 기온 사이의 관계에서 경사도 약 2~4°에서는 다양한 범위의 기온 값이 나타났지만, 그보다 경사도가 높아지거나 낮아지면 기온 값의 분포 범위가 좁아지면서 평균에 가깝게 수렴하는 것으로 나타났다. 따라서 2~4°의 사면 경사도는 사면 향에 따라 기온의 극한 값이 나타날 수 있는 최적 범위로 생각된다.

Figure 9. The correlation between slope gradient and mean wind speed.

Figure 10. The correlation between slope gradient and daily mean temperature.

Table 4. The average values of climate data with respect to degree of slope gradient.

Slope \ Climate data	Mean temp. (°C)	Max. temp. (°C)	Min. temp. (°C)	Annual precip. (mm)	Precip. duration (hr)	Mean wind speed (m/s)	Mean humidity (%)	Sunshine duration (hr)	Fog duration (hr)	Mean cloud amount (%)
High	12.83	17.83	8.51	1394.9	812.8	2.45	67.48	2260.1	125.2	49.60
Medium	12.44	18.31	7.44	1439.4	770.7	1.67	69.79	2245.4	181.2	52.50
Low	12.55	18.37	7.53	1255.3	770.6	1.82	67.81	2224.4	99.8	50.43
Average	12.60	18.19	7.80	1354.2	783.0	1.97	68.31	2241.8	129.7	50.79

사면의 경사는 4° 이상을 경사-고(11개 지점), 2~4°를 경사-중(11개 지점), 2° 미만을 경사-저(14개 지점)로 구분하여, 기후 자료와의 관계를 분석하였다(Table 4). 경사-고 지역은 3개 유형 중 일조 시간이 가장 길어서, 사면 경사도가 태양 입사각에 영향을 미침을 알 수 있다. 이러한 영향과 관계되어 경사-고 지역은 일 평균 기온이 가장 높은 것으로 나타났지만, 일 최고 기온은 가장 낮고 일 최저 기온은 가장 높아서, 일교차가 가장 작은 특성을 보였다. 그러나 경사-고 지역은 평균 습도와 전 운량이 가장 작기 때문에, 이러한 작은 일교차의 원인은 습도와 구름의 작용이라고 보기 어려우며, 오히려 평균 풍속이 매우 큰 것으로 볼 때, 작은 일교차는 강한 바람에 의한 대기의 혼합 작용과 관련이 있는 것으로 추정된다. 한편 경사-저 지역은 강수량, 강수 지속 시간, 안개 시간이 가장 작아서, 경사가 없거나 매우 완만한 지역은 수증기의 고도 상승에 의한 단열 냉각에 따른 수적의 생성에 유리하지 않은 조건을 가지는 것으로 보인다.

5) 향과 기후

사면 향은 동향, 서향, 남향, 북향과 사면 향이 없는 평면의 5개 유형으로 구분하여 기후 값을 계산하였다(Table 5). 각 유형별 지점 수는 동향 12

개, 서향 12개, 남향 18개, 북향 11개, 평면 4개로 서, 합계가 36개 지점을 넘는데, 그 이유는 북서와 같이 4방위의 중간에 해당하는 8방위 지점들을 인접한 4방위인 북과 서에서 모두 계산했기 때문이다. 관측소 주변이 완전한 평면인 4개 지점은 춘천, 포항, 정읍, 합천 기상 관측소이다.

개수가 작은 평면을 제외한 4방위 중에서, 일 평균 기온과 일 최고 기온은 서향이, 일 최저 기온과 일조 시간은 남향이 가장 높았다. 남향 사면은 태양 입사각이 크고 일조 시간이 길기 때문에 기온 상승에 유리할 것으로 판단되지만, 일반적으로 일 최고 기온이 나타나는 오후 3~5시에 태양의 위치는 거의 서남서에 해당하기 때문에, 오히려 일 기온의 극대 값이 나타나기에는 남향보다 서향 사면이 유리한 것으로 보인다. 한편 강수량, 강수 지속 시간, 평균 습도, 안개 시간, 전 운량 등 대기의 수분과 관련된 값들은 거의 모두 북향 사면에서 가장 높게 나타났다. 따라서 태양 입사각이 낮은 북향 사면은 대기 중 수증기량이 많고, 수증기의 응결, 수적과 우적의 형성 등 수분의 작용도 가장 활발한 것으로 판단된다.

6) 지형 개방 방향과 기후

지형의 개방 방향은 사면 향과 마찬가지로 4방위로 구분하여 각 기후 자료의 평균값을 구하였다

Table 5. The average values of climate data with respect to slope aspect.

Climate data Aspect	Mean temp. (°C)	Max. temp. (°C)	Min. temp. (°C)	Annual precip. (mm)	Precip. duration (hr)	Mean wind speed (m/s)	Mean humidity (%)	Sunshine duration (hr)	Fog duration (hr)	Mean cloud amount (%)
Eastern	12.44	17.90	7.68	1408.0	774.6	2.00	66.96	2243.2	102.6	49.27
Western	12.67	18.63	7.54	1311.1	761.7	1.71	68.33	2235.4	105.8	51.36
Southern	12.65	18.14	7.86	1334.2	788.8	2.13	68.00	2260.5	113.3	50.39
Northern	12.57	18.20	7.85	1429.1	786.1	1.95	68.39	2233.4	152.4	51.89
Plane	12.85	18.63	7.95	1273.1	757.4	1.60	68.43	2215.1	151.3	50.75
Average	12.60	18.19	7.80	1354.2	783.0	1.97	68.31	2241.8	129.7	50.79

Table 6. The average values of climate data with respect to opening direction.

Climate data Opening direction		Mean temp. (°C)	Max. temp. (°C)	Min. temp. (°C)	Annual precip. (mm)	Precip. duration (hr)	Mean wind speed (m/s)	Mean humidity (%)	Sun-shine duration (hr)	Fog duration (hr)	Mean cloud amount (%)
East	Open	13.01	18.30	8.44	1362.4	792.3	2.18	67.83	2257.7	123.0	50.63
	Close	11.66	17.94	6.35	1335.5	760.7	1.48	69.42	2205.5	144.9	51.20
West	Open	12.72	18.31	7.91	1316.3	760.7	1.88	68.89	2237.2	127.4	50.95
	Close	12.46	18.03	7.67	1401.6	814.9	2.08	67.60	2247.5	132.7	50.57
South	Open	12.61	18.10	7.89	1314.3	775.7	2.09	68.77	2269.2	143.2	50.45
	Close	12.59	18.30	7.69	1404.1	793.5	1.82	67.75	2207.5	111.3	51.29
North	Open	12.68	18.23	7.90	1339.3	768.5	1.91	68.43	2259.9	126.6	50.48
	Close	12.47	18.11	7.65	1377.6	806.4	2.05	68.13	2213.2	134.4	51.31
All	Open	12.23	17.97	7.29	1239.0	733.4	1.85	69.33	2298.9	146.3	49.90
	Close	11.80	18.04	6.48	1306.2	780.5	1.74	68.50	2195.1	124.9	51.00
Average		12.60	18.19	7.80	1354.2	783.0	1.97	68.31	2241.8	129.7	50.79

(Table 6). 각 방향에서 개방은 8방위 중 4방위에 포함되는 3개 방향 중 2개 방향 이상이 개방되어 있는 경우이며, 폐쇄는 1개 방향 이하가 개방되어 있는 경우이다. 그리고 전체 방향 개방은 8방위 중 7개 방향 이상이 개방된 경우이며, 전체 방향 폐쇄는 2개 방향 이하가 개방된 경우로 구분하였다. 36개 기상 관측소 중에서 동향 개방은 25개 지점이고, 폐쇄는 11개 지점으로 춘천, 추풍령, 전주, 양평, 인제, 홍천, 제천, 보은, 정읍, 밀양, 산청 기상 관측소가 해당한다. 그리고 서향 개방은 20개 지점, 폐쇄는 16개 지점, 남향 개방은 20개 지점, 폐쇄는 16개 지점, 북향 개방은 22개 지점, 폐쇄는 14개 지점이다. 전체 방향 개방은 10개 지점으로, 인천, 수원, 청주, 포항, 강화, 부여, 임실, 해남, 의성, 영천 기상 관측소이며, 전체 방향 폐쇄는 5개 지점으로, 춘천, 추풍령, 인제, 밀양, 산청 기상 관측소가 해당한다.

평균, 최고, 최저 기온은 동향 폐쇄 지역에서 대체로 가장 낮고, 반대로 동향 개방 지역에서는 대체로 높게 나타났다. 또한 동향 폐쇄 지역은 평균

습도가 가장 높고 전 운량과 안개 시간도 큰 편이다. 동쪽 방향의 지형이 폐쇄되었다는 것은 해당 기상 관측소가 큰 산지의 서사면에 위치한다는 의미이므로, 서풍이 우세한 우리나라의 일반적인 대기 상황에서는 풍상(windward) 사면에 해당하여 국지적인 뒤편(Föhn) 현상에 의해, 다른 지역에 비해 상대적으로 기온이 낮고 습도가 높을 가능성이 있다. 반대로 동향 개방 지역은 풍하(leeward) 사면에 해당할 가능성이 높아서 상대적으로 기온이 높고 습도가 낮은 것으로 추정된다. 풍속은 동향 개방 지역에서 가장 높고, 동향 폐쇄 지역에서 가장 낮게 나타났는데, 이 또한 일반풍이 우세할 때 풍하 사면에 위치할 가능성이 높은 동향 개방 지역에서는 중력이 더해지는 사면 하강류가 발생하여 풍속이 빠르며, 그와 반대로 풍상 사면에 위치한 동향 폐쇄 지역은 사면 상승류가 발생하여 풍속이 느린 것으로 추정된다.

강수량과 강수 지속 시간은 서향 및 남향 폐쇄 지역에서 높게 나타나는데, 이는 강수가 집중되는 여름철에 우세한 서풍과 남풍에 의한 지형성 강수

의 영향 때문으로 판단된다. 일조 시간은 주변에 높은 산지가 거의 없어서 일사에 대부분 노출되어 있는 전체 방향 개방 지역이 가장 높고, 다음으로 남향 개방 지역으로 나타났다. 전체 방향 개방 지역은 강수량과 강수 지속 시간이 가장 작아서, 우리나라는 지형성 강수의 영향이 매우 크다는 사실을 반증하고 있다. 또한 전체 방향 개방 지역은 안개 시간이 가장 많다는 점도 특징적인데, 이에 해당하는 10개 지점들이 대부분 대규모 수체와 인접한 해안이나 하안에 위치한다는 점에서 안개 형성에 유리한 것으로 보인다. 전체 방향 폐쇄 지역은 주변을 대부분 둘러싼 높은 산지로 인해, 풍속이 가장 느리고 일조 시간이 가장 적다.

7) 해안으로부터의 거리와 기후

지표의 피복 상태는 알베도(albedo), 증발산 작용, 차폐 효과(screening effect)를 통해 열 수지와 수분 수지의 차이를 유발하기 때문에(O'Hare *et al.*, 2005; Aguado and Burt, 2006; Lee, 2007), 바다나 호수와 같은 대규모 수표면의 존재와 접근성은 기온, 습도, 강수, 바람 등 기후 요소에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 특히 수증기의 공급원인 해양에서의 거리는 지역의 강수 현상과 매우 높은 관계를 가진다(Marquínez *et al.*, 2003; Apaydin *et al.*, 2011). 그러나 우리나라 36개 기상 관측소에서 해안선으로부터의 거리와 기후 자료 사이의 상관성을 분석한 결과, 선형의 상관성은 강수보다는 기온에서 잘 나타났다. 해안선으로부터의 거리

Figure 11. The correlation between distance from coastline and daily minimum temperature.

Figure 12. The correlation between distance from coastline and precipitation duration.

Table 7. The average values of climate data with respect to distance from coastline.

Climate data Distance from coastline(km)	Mean temp. (°C)	Max. temp. (°C)	Min. temp. (°C)	Annual precip. (mm)	Precip. duration (hr)	Mean wind speed (m/s)	Mean humid- ity (%)	Sun- shine duration (hr)	Fog duration (hr)	Mean cloud amount (%)
Long	11.63	17.95	6.20	1270.9	725.5	1.58	68.22	2264.8	172.0	49.92
Medium	12.38	18.48	7.17	1301.3	749.1	1.56	69.96	2252.8	118.0	51.50
Short	13.74	18.19	9.88	1478.2	868.8	2.66	67.14	2210.2	96.1	51.08
Average	12.60	18.19	7.80	1354.2	783.0	1.97	68.31	2241.8	129.7	50.79

와 일 최저 기온 간에는 상관계수 0.476의 매우 높은 음의 상관관계를 보였고(Figure 11), 일 평균 기온 간에도 상관계수 0.3821의 높은 음의 상관이 나타났지만, 강수량과는 상관계수는 0.1325의 다소 낮은 음의 상관성이 나타났다. 해안선으로부터의 거리와 기온 사이의 음의 상관관계는 Park and Jang(2013)의 연구에서도 이미 확인되었다. 특징적인 점은, 일 최고 기온, 강수 지속 시간(Figure 12), 평균 습도, 전 운량의 경우 해안선에 인접한 해안 지역에서 최대값과 최소값이 모두 나타나고 있어서, 해안 지역은 내륙에 비해 상대적으로 다양한 범위의 기후 값이 출현한다는 것이다.

해안선으로부터의 거리는 50km 이상을 해안선 거리-원(13개 지점), 10~50km를 해안선 거리-중(10개 지점), 10km 미만을 해안선 거리-근(13개 지점)으로 구분하여 각 기후 자료의 평균값을 계산하였다(Table 7). 바다로부터 거리가 먼 내륙에 위치한 해안선 거리-원 지역은 대체로 해발고도가 높고 해수의 영향이 적으며 수증기 공급이 불리하기 때문에, 일 평균, 최고, 최저 기온이 모두 가장 낮고 강수량과 강수 지속 시간도 가장 작은 것으로 나타났다. 또한 주변 산지의 영향으로 풍속은 약한 편인데, 이러한 약한 풍속과 내륙에서 활발히 발생하는 복사 냉각의 영향으로 안개 시간이 가장 긴 것으로 보인다. 이와 반대로, 해안에

위치한 해안선 거리-근 지역은 기온이 대부분 높고, 강수량과 강수 지속 시간은 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 해안선 거리-근 지역은 주변에 높은 산지가 없고 해풍의 발달로 인해 풍속도 가장 빠르다. 그리고 이러한 강한 바람의 영향으로 안개 시간이 가장 짧은 것으로 추정된다. 따라서 해안선으로부터의 거리와 안개 시간을 통해 볼 때, 우리나라의 안개 발생이 해안에서 이륙의 영향보다는 내륙에서 복사 냉각이나 지형에 의한 영향이 더 크다는 사실을 보여주고 있다.

8) 지형 구조와 기후

마지막으로, 앞서 분석한 여러 지형 조건들을 고려하여, 36개 기상 관측소 주변 지형을 산록지(piedmont), 구릉지(hill), 분지(basin), 곡지(valley), 해안평야(coastal plain)의 5개 지형 구조로 구분하여, 각 유형별로 기후 평균값을 분석해 보았다. 산록지는 산지의 사면 상에 관측소가 위치한 경우로서, 해발고도 100m 이상, 비고 -50m 이상, 경사 0.1° 이상의 지역으로, 울릉도, 임실, 문경의 3개 기상 관측소가 이에 해당한다. 구릉지는 고도 100m 미만, 비고 -50m 이상, 경사 0.1° 이상으로, 13개 기상 관측소가 해당한다. 분지는 해안선 거리 2km 미만, 비고 -50 미만, 개방 방향 8방위 중 3개 이하 지역으로, 춘천, 추풍령, 양평, 인제,

Table 8. The average values of climate data with respect to topographical structure.

Climate data Landform structure	Mean temp. (°C)	Max. temp. (°C)	Min. temp. (°C)	Annual precip. (mm)	Precip. duration (hr)	Mean wind speed (m/s)	Mean humidity (%)	Sun-shine duration (hr)	Fog duration (hr)	Mean cloud amount (%)
Piedmont	11.80	17.13	7.30	1331.7	937.7	2.20	70.83	2170.8	181.8	55.33
Hill	13.05	18.28	8.53	1369.9	741.4	2.18	67.12	2310.8	113.6	48.50
Basin	11.51	17.85	6.14	1333.2	759.3	1.64	68.64	2233.2	148.3	50.86
Valley	12.20	18.33	6.90	1301.1	761.8	1.51	69.26	2238.4	147.7	50.89
Coastal plain	15.53	19.27	12.27	1524.2	914.0	3.07	67.27	2046.1	61.6	55.00
Average	12.60	18.19	7.80	1354.2	783.0	1.97	68.31	2241.8	129.7	50.79

홍천, 영주, 밀양, 산청의 8개 기상 관측소가 이에 해당한다. 곡지는 해안선 거리 2km 미만, 비고 -50m 미만, 개방 방향 8방위 중 4개 이상 지역으로, 9개 기상 관측소가 해당한다. 해안평야는 앞의 4개 지형 구조에 포함되지 않는 3개 기상 관측소인 포항, 제주, 서귀포로서 모두 해안의 넓은 평지에 위치한다는 공통점 때문에 해안평야로 명명하였다.

5개 지형 구조 중에서 산록지는 강수 지속 시간, 평균 습도, 안개 시간, 전 운량이 가장 높은 것으로 나타났다. 산록지는 규모가 큰 산지의 사면에 위치하기 때문에, 공기의 상승에 의한 단열 냉각에 따른 상대 습도의 증가와 수증기의 응결에 의한 구름과 안개의 형성이 가장 잘 발생하는 지형 구조로 판단된다. 구릉지는 5개 지형 구조 중 상대습도와 전 운량이 가장 작고 일조 시간이 가장 길다. 고도가 낮은 산지나 구릉에 위치한 구릉지는 지형에 의한 태양 광선의 차단이나 공기의 상승에 의한 영향이 미약하기 때문에, 일조 시간은 길고 구름 형성은 불리한 것으로 보인다.

분지는 평균 기온과 최저 기온이 가장 낮고, 평균 풍속도 매우 작은 편이다. 분지로 분류된 8개 지역은 대부분 내륙의 산지 내부에 위치하고 있기 때문에 기온이 낮고, 주변이 높은 산지로 둘러싸여 있어 바람이 영향이 상대적으로 크지 않은 것으로 판단된다. 곡지는 평균 풍속이 가장 느린데, 곡지 또한 주변에 높은 산지가 발달한 하곡의 내부로서 분지와 크게 다르지 않은 지형 구조를 이루고 있기 때문에 풍속이 느린 것으로 보인다.

해안평야는 기온이 가장 높고 강수량이 가장 많으며 일조 시간과 안개 시간이 가장 작다. 해안평야에 해당하는 포항, 제주, 서귀포는 모두 위도와 해발고도가 낮은 지역이기 때문에, 기온이 높게 나타날 수밖에 없으며, 수증기 공급원인 해양과 접하여 강수량도 많다. 그리고 해풍의 영향으

로 평균 풍속도 가장 크며, 수증기 공급은 용이하지만 풍속이 빠르기 때문에 안개 시간은 짧게 나타나는 것으로 판단된다. 한편 해안평야의 일조 시간이 가장 짧게 나타난 것은, 남향을 막고 있는 한라산으로 인해 36개 기상 관측소 중에서 일조 시간이 가장 짧은 제주 기상 관측소로 인한 영향 때문이다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 기상 관측소 주변의 지형 조건과 기후 자료와의 상관관계를 밝히고자 하였다. 우리나라의 36개 기상 관측소를 대상으로 해발고도, 비고, 기복량, 경사, 향, 개방 방향, 해안선으로부터의 거리 등의 지형 조건 및 이를 고려한 지형 구조와 기온, 강수, 바람, 습도, 일조, 안개, 운량 등의 기후 자료와의 상호관계를 분석하여, 다양한 지형 조건이 각 기후 요소에 미치는 영향과 결과를 추론하였다.

기상 관측소의 해발고도는 여러 가지 기후 요소 중에서 기온과 선형의 높은 음의 상관관계를 나타냈다. 관측소와 주변 지역 간의 고도차인 비고와 기후 요소 사이에서는 선적 상관관계가 뚜렷하지는 않았지만, 관측소 주변이 비고 100m 이상의 산지로 둘러싸인 비고-저 지역은 지형의 영향으로 인해 일조 시간이 작고 기온이 매우 낮으며, 강수량과 강수 지속 시간이 많고 평균 풍속은 작은 것으로 나타났다. 관측소 주변 지역의 고도 변화 정도인 기복량은 강수 요소와의 선형의 양의 상관성이 높아서, 기복량이 크면, 강수량, 강수 지속 시간, 전 운량이 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났다.

다음으로 사면 경사도는 평균 풍속과 선형의 양

의 상관관계가 존재하였고, 경사도 4° 이상의 경사-고 지역은 일조 시간이 가장 길고, 일 평균 기온은 가장 높았으며, 평균 습도와 전 운량이 가장 작았다. 사면 향과의 관계에서는 일사를 마주한 남향 사면에서 일 최저 기온과 일조 시간이 가장 크고, 기온 극대 시점에 일사가 집중되는 서향 사면에서 일 평균 기온과 일 최고 기온이 가장 높았다. 한편, 대기의 수분과 관련된 값들은 거의 모두 북향 사면에서 가장 높게 나타났다. 지형의 개방 방향은 동향 폐쇄 지역에서 기온이 가장 낮고 습도가 가장 높았으며, 동향 개방 지역에서 기온이 높고 습도가 낮았는데, 이는 일반풍의 풍상 사면과 풍하 사면에서 편 현상의 결과로 추정된다.

해안선으로부터의 거리는 기온 자료와 선형의 음의 상관관계가 매우 높았다. 해안선으로부터 50km 이상 떨어진 해안선 거리-원 지역은 대체로 해발고도가 높고 해수의 영향이 적으며 수증기 공급이 불리하기 때문에, 기온이 가장 낮고 강수량과 강수 지속 시간도 가장 작은 것으로 나타났다. 또한 해안선 거리-원 지역은 주변 산지의 영향으로 풍속은 느리고 활발한 복사 냉각 현상으로 인해 안개 시간이 가장 길었다. 반대로 해안선 거리-근 지역은 주변에 높은 산지가 없고 해풍의 영향으로 풍속이 가장 빠르고 이로 인해 안개 시간은 가장 짧았다.

기상 관측소 주변의 여러 지형 조건을 5개 유형의 지형 구조로 구분하여 살펴본 결과, 큰 산지의 사면에 위치한 산록지는 공기의 상승이 발생하기 유리한 지형적 영향으로 강수 지속 시간, 평균 습도, 안개 시간, 전 운량이 가장 높은 것으로 나타났다. 반대로 지형적 영향이 미약한 구릉지는 상대습도와 전 운량이 가장 작고 일조 시간은 가장 길었다. 대부분 내륙에서 높은 산지에 둘러싸여 있는 분지는 평균 기온과 최저 기온이 가장 낮고 풍속도 느렸다.

본 연구는 대기 현상에 대한 공학적 지식의 부족, 통계 기법 적용의 기술적 한계, 관련 기후 자료의 제시 및 분석의 불충분 등으로 인해, 분석 결과의 신뢰도와 지형과 기후 현상의 인과 관계를 명확하게 설명하는 데에는 다소 미숙한 부분이 있다. 또한 국지적인 기후 현상과 관련이 높은 위도, 주변 토지 피복 현황, 인접 수체와의 관계 등을 고려하지 않고 단지 지형 조건만을 변수로 하였기 때문에, 기후 자료와의 관계를 해석함에 있어 상당 부분 한계가 존재한다. 그러나 우리나라의 많은 기상 관측소를 대상으로 다양한 지형 조건을 분석하고, 그 결과와 기후 자료와의 상관성을 고찰했다는 점에서, 본 연구 결과는 기후와 지형의 상호 작용에 관심이 많은 연구자들에게 상당한 도움을 주는 자료가 될 것으로 기대한다.

참고 문헌

- Aguado, E. and Burt, J. E., 2006, *Understanding Weather and Climate*, Prentice Hall.
- Ahmed, K., Shahid, S., and Harun, S. B., 2014, Spatial interpolation of climatic variables in a predominantly arid region with complex topography, *Environment Systems and Decisions*, 34(4), 555-563.
- Ahrens, C. D., 2006. *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment*. Thomson Learning.
- Apaydin, H., Anli, A. S., and Ozturk, F., 2011, Evaluation of topographical and geographical effects on some climatic parameters in the Central Anatolia Region of Turkey, *International Journal of Climatology*, 31(9), 1264-1279.
- Barry, R. G. and Chorley, R. J., 2003, *Atmosphere, Weather and Climate*, Routledge.
- Basist, A., Bell, G. D., and Meentemeyer, V., 1994. Sta-

- tistical relationships between topography and precipitation patterns, *Journal of Climate*, 7(9), 1305-1315.
- Chung, U., Seo, H. C., Yun, J. I., and Lee, K. H., 2003, An Optimum Scale for Topoclimatic Interpolation of Daily Minimum Temperature in Complex Terrain, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 5(4), 261-265 (in Korean).
- Feidas, H., Karagiannidis, A., Keppas, S., Vaitis, M., Kontos, T., Zanis, P., Melas, D., and Anadranistakis, E., 2014, Modeling and mapping temperature and precipitation climate data in Greece using topographical and geographical parameters, *Theoretical and Applied Climatology*, 118(1), 133-146.
- Johansson, B. and Chen, D., 2003, The influence of wind and topography on precipitation distribution in Sweden: statistical analysis and modelling, *International Journal of Climatology*, 23(12), 1523-1535.
- Jung, W. S., Park, J. K., and Lee, H. W., 2006, An Analysis on Influence of Geographical Variation Induced by Development Affecting to the Local Scale Wind Environment - Numerical Simulation using the Envi-met Model, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(6), 888-903 (in Korean).
- Kim, B. W., Kang, I. J., and Han, K. B., 2010, Insolation Modeling using Climate and Geo-Spatial Elements, *Journal of the Korean Society for Geo-Spatial Information*, 18(4), 79-86 (in Korean).
- Lee, G-R., 2014, Characteristics and classification of landform relieves on mountains and valleys with bedrock types, *Journal of The Korean Geomorphological Association*, 21(4), 1-17 (in Korean).
- Lee, J. S., Lee, Y. H., Ha, J. C., and Lee, H. C., 2012, Objective analysis of temperature using the elevation-dependent weighting function, *Atmosphere(Korean Meteorological Society)*, 22(2), 233-243 (in Korean).
- Lee, S. H., 2007, *Climatology*, Purungil (in Korean).
- Lim, E. H. and Lee, T. Y., 1994, Two-dimensional numerical study of the terrain effects on the developement of cloud and precipitation for the middle part of Korea, *Atmosphere(Korean Meteorological Society)*, 30(4), 565-582 (in Korean).
- Marquínez, J., Lastra, J., and García, P., 2003, Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis, *Journal of Hydrology*, 270(1), 1-11.
- National Climate Data Service System (Korea Meteorological Administration), <http://sts.kma.go.kr/jsp/home/contents/main/main.do>
- O'Hare, G., Sweeney, J., and Wilby, R., 2005, *Weather, Climate and Climate Change: Human Perspectives*, Prentice Hall.
- Park, J. C. and Kim, M. K., 2009, A Study on the Use of a Terrain Aspect Variable in Producing the Precipitation Distribution Map applying Cokriging: A Case of Jeju Island, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 16(3), 59-66 (in Korean).
- Park, N. W. and Jang, D. H., 2013, Geostatistical Analysis of Monthly Temperature Distributions using Topographic Data: A Case Study around Jirisan Areas, *Climate Reaserch*, 8(3), 217-235 (in Korean).
- Ritter, D. F., Kochel, R. C. and Miller, J. R., 2011. *Process Geomorphology*, Waveland Press.
- Um, M. J., Yun, H., Jeong, C. S., and Heo, J. H., 2011, Factor analysis and multiple regression between topography and precipitation on Jeju Island, Korea, *Journal of Hydrology*, 410(3), 189-203.
- Weisse, A. K. and Bois, P., 2001, Topographic effects on statistical characteristics of heavy rainfall and mapping in the French Alps, *Journal of Applied Meteorology*, 40(4), 720-740.

- Wotling, G., Bouvier, Ch., Danloux, J., and Fritsch, J.-M., 2000, Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment, *Journal of Hydrology*, 233(3), 86-101.
- Yun, J. I., 2000, Estimation of Climatological Precipitation of North Korea by Using a Spatial Interpolation Scheme, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 2(1), 16-23 (in Korean).
- Zhang, Q., Xiao, M., Li, J., Singh, V. P., and Wang, Z., 2014, Topography-based spatial patterns of precipitation extremes in the Poyang Lake basin, China: Changing properties and causes, *Journal of Hydrology*, 512, 229-239.

책임편집: 이경미

영문교열: 이은걸