독립적인 기온 감률에 기초한 MK-PRISM의 개선

김진욱^{1,2} · 김맹기¹ · 김연희¹

¹공주대학교 대기과학과 · ²(주)새아소프트

(2013년 7월 18일 접수, 2013년 8월 2일 수정, 2013년 8월 16일 게재 확정)

Improvement of Modified Korean Parameter-elevation Regressions an Independent Slopes Model based on Independent temperature lapse rate

Jinuk Kim^{1,2} · Maeng-Ki Kim¹ · Yeon-Hee Kim¹

¹Dept. of Atmospheric Science, Kongju National University, Gongju, Korea

²SAEAsoft Co. Ltd.

(Received 18 July 2013, Revised 2 August 2013, Accepted 16 August 2013)

Abstract : In this study, we developed IS-HYPS(Independent Slopes Hypsometric) method in order to complement the weakness of existing MK-PRISM (Modified Korean-Parameter-elevation Regressions an Independent Slopes Model) version 1.1, and verified the IS-HYPS by applying the method to daily temperature data for recent 11 years from 2000 to 2010. Analysis Results show that IS-HYPS method is nicely applicable in regions where elevation of target grid is high and elevation of surrounding stations are not distributed evenly. Verification results also show that RMSE (Root Mean Square Error) of IS-HYPS method is about 20 % smaller than that of MK-PRISM 1.1 (0.44°C for daily mean temperature, 0.47°C for daily maximum temperature, and 0.58°C for daily minimum temperature) and have a trend to estimate temperature lower than MK-PRISM 1.1. The favorable condition to apply the method found to be the regions where the difference in standard deviation of elevation of observation stations is larger than 70m between with and without target grid inside the searching range of radius, indicating that MK-PRISM version 2.0 can produce temperature grid data reasonably well by applying the IS-HYPS selectively to the best condition.

Key Words : MK-PRISM, IS-HYPS, high resolution, DEM altitude, topographic effect, daily data

1. 서론

집중호우, 폭염, 가뭄 등과 같은 현상들은 사회 경제적으로 그 파급 효과가 크기 때문에 미래에 어떻게 나타날 것인지에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 최근에는 극심한 폭염과 같은 극한 기

후 변화가 인류의 문명에 미치는 영향이 점차 커지면서 기후변화에 대한 적응 분야에 대한 관심이 급속도로 증가하고 있다. 기후변화의 영향, 적응, 취약성 평가를 위해서는 고 해상도의 기후 변화 시나리오가 점차 중요해 지고 있으며, 이 분야의 연구가 최근 활성화되고 있다. 특히 전구 기후

모델의 정보를 경계 조건으로 하는 지역기후를 모의하는 지역기후모델과 같은 역학적 상세화 방법이나 전구기후모델의 광역규모 인자와 관측값 사이의 연관성을 파악하여 지역기후를 추정하는 통계적 상세화 방법이 주로 많이 연구되고 있다. 두 방법은 모두 장단점을 갖고 있기 때문에 지역기후 변화 시나리오를 생산할 때 두 방법이 병행되어야 하며, 지속적으로 개선할 필요가 있다. 최근 지역기후를 1km 해상도 또는 그 이하의 해상도를 요구하는 분야가 늘어나면서 통계적 상세화 방법에 대한 중요성이 부각되고 있다. 역학적 상세화 방법은 많은 장점에도 불구하고 계통오차를 수반하기 때문에 편차가 아닌 값 자체가 중요한 경우에는 계통오차의 보정이 반드시 필요하다.

최근 관측 자료에 기반하여 고해상도의 격자점에서 기후 정보를 제공하기 위한 많은 국내외 연구들이 진행되어 왔다(Daly *et al.*, 1994; 2000; 2002; 2008; 2009; 홍기옥 외, 2007; 신성철 외, 2009; 김맹기 외, 2012; 2013). 특히 PRISM (Parameter-elevation Regressions an Independent Slopes Model)은 거리뿐만 아니라 고도, 해양도, 지향면 같은 여러 가지 지리정보를 사용하여 고해상도 자료를 추정하는 방법이며 (Daly *et al.*, 1994; 2009), 국내에서도 PRISM에 기반하여 K-PRISM (홍기옥 외, 2007; 신성철 외, 2009)과 MK-PRISM (김맹기 외, 2012; 2013)으로 명명된 기술들이 지속적으로 개발되어 왔다. 홍기옥 외 (2007)와 신성철 외(2008)는 각각 월평균 시간규모에서 기온과 강수량에 대해서 5km 해상도의 격자형 관측 자료를 산출하였으며, 김맹기 외(2012; 2013)는 1km 해상도의 일 시간 규모의 평균·최고·최저기온과 강수량을 산출하는 MK(Modified Korean)-PRISM 기법을 개발하였다. 한편, 일일 시간 규모를 다룰 경우에는 모든 지역에서 강수가 내리는 것이 아니기 때문에 강수 영역을 설정하는

문제가 수반된다. MK-PRISM에서는 이러한 부분에 대한 합리적인 처리가 포함되어 있다(김맹기 외, 2012). 그럼에도 불구하고 PRISM에 기반한 기법이 갖는 어려움 중의 하나는 관측소의 분포가 여러 고도에 걸쳐 충분하게 분포하지 않는 경우에 추정에 많은 오차를 유발할 수 있다. 예를 들면, 추정하고자 하는 격자인 대상 격자(Target grid)는 고도가 높는데, 영향반경 안에 포함된 관측소들이 대부분 평지에 위치하는 경우에는 고도에 따른 기온기가 적절하게 추정되지 못할 수 있으며, 몇 개의 관측소에 의해 기온기가 영향을 많이 받을 수 있다. 다시 말하면, 고도에 대한 회귀선이 적합하지 않을 수 있다. 따라서 이러한 부분에 대한 충분한 조사와 극복 방법의 개발이 필수적이다.

이 연구에서는 기존의 MK-PRISM이 갖고 있는 장점을 유지하면서, 관측의 고도분포가 불균등할 경우 추정 오차가 커진다는 약점을 보완하여 MK-PRISM을 개선하고자 하며, 개발된 기법을 적용하여 그 효과를 검증하고자 한다.

2. 자료

본 연구에서는 한반도 고해상도 격자형 관측 자료를 산출하기 위해 75개소의 지상관측자료 (Automated Synoptic Observing System, ASOS)와 462개소의 자동기상관측자료(Automatic Weather System, AWS)를 합한 총 537개 지점의 관측 자료를 사용하였다(그림 1(a)). 그림 1(a)에서 지상 관측소는 붉은색으로, 자동기상관측소는 푸른색으로 표시하였다. 변수는 일 최고·평균·최저기온 자료를 사용하였으며, 기간은 2000년 1월 1일부터 2010년 12월 31일 까지 총 11년이다.

본 연구에서는 1km 해상도의 기온자료 생산을 위하여 1km 해상도의 GIS자료(DEM 고도, 지향

그림 1. 관측소 위치정보와 1km해상도 고도(a), 해양도(b), 지향면(c). (a)에서 청색 점은 AWS를, 적색점은 ASOS를 각각 의미함.

면, 해양도)를 사용하였다. 각 자료의 산출방법은 다음과 같으며 자세한 방법은 김맹기 외(2012)와 같다. 디지털고도자료(Digital Elevation Model, DEM)는 NASA(National Aeronautics and Space Administration)에서 제공하는 30m×30m 해상도의 ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) GDEM(Gloval Digital Elevation Map)을 1km×1km 해상도로 재배열하여 격자 형태로 생산하였다(그림 1(a)). 해양도 자료는 각 격자별로 해양으로부터의 거리와 DEM자료를 이용한 고도를 고려하여 지도화하였다. 우선, 해양으로부터의 거리는 1km×1km 해상도의 각 격자에서 해안선까지의 최단 거리를 산출하여 10km, 20km, 20km이상의 범위로 지수화하였다. 그리고 각 격자의 고도가 200m이상이면 산지의 영향을 받는 지역으로, 200m이하이면 산지의 영향을 받지 않는 지역으로 구분하여 최종적으로 6단계로 세분화하여 GRID 포맷으로 작성하였다(그림 1(b)). 지향면은 고해상도 GIS 자료인 DEM으로부터 생산된 자료를 이용하여 8방위(N, NE, E, SE, S, SW, W, NW)와 평지의 총 9가지로 구분하여 산출하였다. 사면의 지향면은 각 셀에서 인접 셀까지의 값이 가장 크게 변화하는 내리막의 방향을 말하며, 사면의 경사각과 방

향은 Gibson *et al.*(1997)방법으로 산출하였다(그림 1(c)).

3. MK-PRISM의 개선

MK-PRISM은 지리정보를 활용하기 때문에 양질의 고해상도 기후정보를 제공하지만 관측소의 위치가 고도에 따라 균일하게 분포하지 않는 격자점에서는 기온을 지나치게 낮게 추정하거나 고도에 따라 기온이 역전되어 나타나는 등의 큰 오차를 유발할 수 있다(김맹기 외, 2012). 따라서 RMSE의 공간분포와 고도 등 지리정보와의 연관성을 조사할 필요가 있다. 그림 2(a)는 MK-PRISM에 의해 추정된 1월 일평균기온에 대한 교차검증결과이다. 대부분의 지역에서 RMSE가 2℃ 미만으로 비교적 낮게 나타나고 있지만, 일부 지역에서는 3℃ 이상으로 비교적 오차가 크게 나타난다. RMSE분포(그림 2(a))와 관측소 고도 분포(그림 2(b))를 비교해 보면 RMSE가 크게 나타나는 지역들은 대부분 해당 관측소 고도가 주변의 관측소들의 고도에 비해 매우 높다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 PRISM 기반 방법이 주변 관측소의 고도분포가 고도에 따라 일정하게 분포하지 않

그림 2. MK-PRISM 버전 1.1을 적용한 경우 1월의 일평균기온의 RMSE분포(2000-2010년) (a), 관측소 고도분포(b)

는 경우 기후 변수를 추정하는 데 있어서 비교적 큰 오차를 유발할 수 있다는 것을 의미한다(김맹기 외, 2013).

본 연구에서는 MK-PRISM에서 추정하고자 하는 관측소보다 주변 관측소들의 고도분포가 지나치게 낮은 고도에 위치하는 경우 어떠한 문제가 발생하는지를 분석하기 위하여 하나의 예시로 695번 관측소(광덕산)의 2009년 1월 2일 자료를

자세히 살펴보았다(표 1, 그림 3). 그림 3a는 695번 관측소(붉은색 점)와 영향반경 30km 내의 주변 관측소(푸른색 점)의 위치와 고도분포를 나타낸 것이다. 695번 관측소는 해발고도 1,000m 이상의 고도인 반면, 그 주변 관측소들은 695번 관측소에 비해 상대적으로 낮은 고도에 위치한다. 주어진 자료를 사용하여 MK-PRISM에 의해 가중치를 결정하여 정리한 것이 표 1이다. 추정지점

그림 3. IS-HYPS 기법을 적용한 한 사례 (2009년 1월 2일). 695 관측지점(광덕산, 적색 원)과 영향반경 내 관측소(청색 원) 분포(a), 고도에 따른 일평균 기온 분포(b). (b)의 ▲는 관측 값을, ■와 +는 각각 MK-PRISM 버전1.1과 IS-HYPS 기법에 의해 추정된 기온값.

표 1. 2009년 1월 2일 관측지점 695의 일평균기온 추정사례

Stn.	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Elev. (m)	Temp. (°C)	Dist. (km)	facet	coastal proximity	Wd	Wz	Wf	Wp	W
95	38.15	127.30	154.9	-8.0	10.78	5	5	0.0086	0.0011	0.33	1.00	0.0026
322	38.23	127.67	265.0	-10.3	26.11	5	6	0.0015	0.0013	0.33	1.00	0.0005
323	38.27	127.55	269.0	-11.0	21.89	6	6	0.0021	0.0013	0.50	1.00	0.0010
507	37.98	127.20	93.0	-8.6	23.75	7	5	0.0018	0.0010	1.00	1.00	0.0017
519	38.07	127.52	288.0	-8.9	9.90	4	6	0.0102	0.0013	0.25	1.00	0.0023
531	37.88	127.55	124.0	-8.4	27.74	7	5	0.0013	0.0011	1.00	1.00	0.0013
538	38.12	127.11	82.0	-8.9	26.96	4	6	0.0014	0.0010	0.25	1.00	0.0003
539	38.03	127.37	179.0	-8.2	9.42	3	5	0.0113	0.0012	0.20	1.00	0.0020
552	38.25	127.42	213.0	-8.6	15.76	1	6	0.0040	0.0012	0.33	1.00	0.0012
555	38.12	127.73	121.0	-8.4	27.44	1	6	0.0013	0.0011	0.33	1.00	0.0004
568	37.96	127.32	174.0	-9.1	18.51	3	5	0.0029	0.0011	0.20	1.00	0.0005
650	38.28	127.33	200.0	-11.3	20.78	1	5	0.0023	0.0012	0.33	1.00	0.0007
651	38.27	127.17	202.0	-8.5	28.08	2	5	0.0013	0.0012	0.25	1.00	0.0003
874	38.22	127.21	238.0	-8.3	21.99	3	5	0.0021	0.0012	0.20	1.00	0.0004
695	38.11	127.42	1051.0	-9.8	-	7	6	-	-	-	-	-
MK-PRISM				-14.4								
IS-HYPS				-12.4								

• 영향반경 내 지점들에 대한 지리정보 및 가중치 정보가 제시되었으며, MK-PRISM 버전 1.1과 IS-HYPS 기법에 의한 추정치가 제시되었음.

(695번 관측소)의 고도는 1,051m로 주변 관측소의 고도 평균(185.9m)보다 월등히 높은 것을 보여준다. 695관측소의 일평균 기온을 MK-PRISM을 적용하여 추정하면 -14.4℃로 관측 기온 값(-9.8℃)보다 4.6℃ 낮게 추정한다. 이는 MK-PRISM에서 고도에 대한 가중 회귀식을 사용하는데, 대부분 200m대 고도에 위치하는 영향반경 내 관측소들의 가중 회귀식으로는 1,051m에 위치하는 695번 지점에 대한 고도변화에 따른 기온변화를 제대로 추정하기 어렵기 때문이다(그림 3(b)). 즉 추정하고자 하는 관측 지점과 주변 관측소의 고도차이가 크기 때문에 낮은 고도의 관측소들의 값을 이용하여 만들어진 가중 회귀식의 기울기 값에 높은 고도를 반영하게 되어 추정된 기온 값이 관측된 기온 값과 차이가 크게 나타난다. 따라서

본 연구에서는 추정 격자점의 고도가 주변 관측소의 고도보다 월등히 높은 곳에 있는 지점들에 대한 기온 값을 추정하는 방법을 개선하고자 한다.

본 연구에서는 앞서 제시한 MK-PRISM의 단점을 보완하기 위하여 고도에 따른 관측소의 분포가 균질하지 않은 지역에만 적용할 수 있는 기법인 IS-HYPS(Independent Slopes Hypsometric method)기법을 개발하였으며, 이를 MK-PRISM에 장착하여 MK-PRISM을 개선하였다. IS-HYPS 기법은 기본적으로 MK-PRISM(김맹기 외, 2012, 2013)과 동일한 지리정보의 가중치를 이용하지만 고도에 대한 가중회귀를 적용하지 않는다는 점이 큰 차이이다. IS-HYPS 기법은 몇 가지 과정으로 구성되어 있으며, 이를 자세히 설명하면 다음과 같다.

1) 기온감률 결정

IS-HYPS 기법은 영향 반경 안에 있는 서로 다른 고도에 있는 관측소의 기온 값을 해면에서의 값으로 1차 보정하는 것을 첫 번째 과정으로 한다. 이때 기온감률의 결정은 임의 값으로 고정하는 것이 아니라 대상 격자의 영향반경 내에 위치하는 관측소들의 고도에 따른 기온 분포로부터 결정한다. 따라서 기온감률은 적용하는 지점마다 해당 일마다 자체적인 기온의 고도분포로부터 선형 회귀식(식 1)에 의해서 독립적으로 결정된다.

$$T(Z) = \gamma Z + \alpha \quad (1)$$

여기서 $T(Z)$ 는 고도 Z 에서의 기온, α , γ 는 각각 회귀계수이다. 결국 회귀계수 γ 가 영향반경내의 대표적인 기온감률이 되기 때문에 이상점이 없을 경우 매우 합리적인 기온 감률을 얻을 수 있게 된다. 하지만 이상점이 있을 경우에는 그 지역의 대표적인 기온감률을 추정하는데 오차를 유발할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위한 장치가 필요하다. 이 연구에서는 회귀직선의 95% 신뢰구간을 설정하고, 이 구간 밖에 있는 자료를 파악하여 이 자료를 제외하고 대표적인 기온감률을 다시 결정하는 방식을 사용하였다. 이렇게 결정한 기온감률은 이상점의 영향을 배제한 감률이기 때문에 대표성이 더 뛰어나다. 결정된 기온 감률을 이용하여 영향반경 내의 관측소의 기온 값을 해면고도에서의 기온으로 결정하였다. 한편, 기온감률의 범위가 비정상적으로 나타나는 경우를 방지하기 위하여 이 연구에는 앞서 설명한 방법과 같은 방식으로 11년 동안의 매일별 격자별 기온감률을 계산한 후 평균과 표준편차를 결정하였다. 다음으로 기온감률의 임계 허용구간의 상한과 하한을 각각 평균+1 σ 와 평균-1 σ 로 하여 범위를 설정하였다. 일반적인 경우에는 앞서 제시한 계산 방법에 따라

얻은 기온감률을 사용하지만 기온감률이 최대임계값 이상이면 최대임계값을, 최소임계값 이하이면 최소임계값을 기온감률로 사용하였다.

2) 가중치 결정

가중치 결정은 먼저 대상격자를 중심으로 주어진 영향반경(50km) 안에 들어오는 관측소를 탐색한다. 대상격자의 지리정보(고도, 해양도, 경사방향)와 각 관측소의 지리정보의 차이를 이용하여 다음과 같이 각 관측소의 가중치를 결정한다.

$$W = [F_d W(d)^2 + F_z W(z)^2]^{1/2} W(f) W(p) \quad (2)$$

전체 가중치(W)는 거리($W(d)$), 고도차($W(z)$), 경사방향차($W(f)$), 해양도차($W(p)$)에 따른 가중치를 고려하여 결정된다. 가중치들은 대상격자와 관측소들 간의 지리정보 차이에 따라 결정되며, 가중치의 크기는 관측소가 대상격자에 어느 정도 영향력이 있는지 상대적으로 가늠하는 척도로 작용한다. 가중치가 1에 가까울수록 대상격자의 기후변수를 추정하는데 있어서 해당 관측소의 영향력이 커지고, 0에 가까울수록 영향력이 작아진다. 자세한 가중치 결정방식은 신성철 외(2008)과 같다. 거리가중치 중요도($F_d=0.8$), 고도가중치 중요도($F_z=0.2$) 역시 선행연구에서 적용한 값을 그대로 사용하였다.

일반적으로 기온·강수와 같은 기후요소는 두 지점사이가 멀어질수록 지리적·기후적인 유사성이 감소하므로 거리(d)의 자승($a=2$)에 반비례하는 함수로 나타낸다.

$$W(d) = 1, d \leq 1$$

$$W(d) = \frac{1}{d^a} \quad d > 1 \quad \text{단 } W(d) > 1 \text{이면, } W(d) = 1 \quad (3)$$

고도차는 대상격자와 관측소 사이의 고도 차이

를 의미하며 고도차가 커질수록 두 지점의 기후 유사성이 감소하는 원리를 이용한다. 특히 고도차에 대한 최대 임계값($\Delta z_{\max}=1000\text{m}$)과 최소 임계값($\Delta z_{\min}=100\text{m}$)을 설정하여 고도차에 대한 가중치에 제한을 두었다.

$$\begin{aligned} W(z) &= 1/\Delta z, \Delta z_{\min} \leq \Delta z \leq \Delta z_{\max} \\ W(z) &= 1/\Delta z_n, \Delta z < \Delta z_{\min} \\ W(z) &= 1/\Delta z, \Delta z > \Delta z_{\max} \end{aligned} \quad (4)$$

사면방향은 입사 태양 복사량으로부터 편향상, 강수 그림자 등 국지적인 기후 특성에 많은 영향을 준다. 지향면을 1~8(방위)로, 평지를 9로 지수화 하여 대상격자와 관측소의 기후 유사성을 나타내었다. 대상격자와 관측소가 동일한 사면방향을 가질 경우 가중치가 가장 크고, 정 반대방향일 경우 가장 작게 설정한다. 또한 두 지점 중 한곳이 평지이면 가중치는 0.5로 적용한다. 해양도는 각 격자점과 해안의 거리 차이와 격자점의 고도를 이용하여 산출하기 때문에 1km 격자점은 서로 다른 기후 조건을 갖는다. 따라서 총 6개로 지수화 된 해양도의 차가 커질수록 기후의 유사성이 감소한다는 원리를 적용하여 가중치를 설정한다.

3) 기온 추정

IS-HYPS 방법은 대상격자의 영향반경 내에 존재하는 모든 관측소의 기온 자료에 식(1)에서 구한 기온감률을 적용시켜 식(5)를 이용하여 해면고도(0m)까지 끌어내려 고도에 대한 효과를 제거한 후, 식(2)~(4)에 의해 구해진 지리정보 가중치를 식(6)에 적용하여 대상격자의 기온 값을 추정한다.

$$T_i(0) = T_i(Z_i) + \gamma Z_i \quad (5)$$

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{W} T_i(0) \quad (6)$$

여기에서 T 는 대상격자에서 추정하고자 하는 기온, $T_i(0)$ 은 해면고도에서의 관측소별 기온, W 는 전체 관측소의 가중치, W_i 는 관측소별 가중치, n 은 영향반경 내 관측소 수이다. 해면고도에서 식(4)를 통해 구해진 T 값을 다시 기온감률을 적용시켜 최종적으로 대상격자 고도의 기온을 추정한다.

이 연구에서는 하나의 사례로써 MK-PRISM을 사용했을 때 오차가 크게 나타났던 2009년 1월 2일 695번 지점의 일 평균기온에 대해 IS-HYPS 기법을 적용해 보았다. 이 경우 실제 관측 값은 9.8℃이고, MK-PRISM과 IS-HYPS 적용 결과는 각각 14.4℃와 12.4℃로 추정되었으며, 이 값은 실제 관측 값과 각각 4.6℃, 2.6℃ 오차가 있다. IS-HYPS기법을 통해 추정된 값의 오차는 MK-PRISM을 사용한 오차에 비해 약 1/2 수준으로 나타난다(표 1, 그림 3(b)). 이는 추정하고자 하는 관측소의 고도가 주변의 관측소 보다 월등히 높은 곳에 위치하는 경우에는 IS-HYPS기법을 적용하는 것이 실제 관측 값에 더 가깝게 추정한다는 것을 의미한다.

4) 검증

IS-HYPS기법이 MK-PRISM을 어느 정도 보완할 수 있는지를 알아보기 위하여 두 실험의 오차를 살펴보았다. 그림 4는 교차검증 방법을 사용하여 IS-HYPS기법과 MK-PRISM에 의해 추정된 겨울철과 여름철 평균 기온의 RMSE 차이를 나타낸다. 푸른색이 나타나는 지점은 MK-PRISM 기법보다 IS-HYPS기법을 적용할 때 RMSE가 더 작게 나타나는 곳이고 붉은색이 나타나는 지역은 MK-PRISM기법보다 IS-HYPS기법을 적용할 때 RMSE가 더 크게 나타나는 곳이다. 즉 푸른색 계열은 IS-HYPS기법이, 붉은색 계열은 MK-PRISM이 더 좋은 성능을 보이는 지점이다. 두 기법의 차

그림 4. IS-HYPS 기법과 MK-PRISM 버전1.1로 각각 추정한 일평균 기온에 대한 RMSE의 차이 분포. 기간은 11년(2000~2010년)이며, (a)와 (b)는 각각 겨울철과 여름철 결과임.

이를 겨울철과 여름철을 비교해 보면 겨울철에는 지역적으로 변동성이 크고 IS-HYPS 기법이 MK-PRISM에 비해 오차가 크게 나타나는 지역들이 존재한다(그림 4(a)).

반면, 여름철의 경우(그림 4(b)) 대부분의 지역에서 두 기법의 RMSE 차이가 푸른색 계열로 나타나는데, 이는 IS-HYPS기법의 오차가 MK-PRISM에 비해 작다는 것을 의미한다. 그 이유는 IS-HYPS기법의 경우 50km의 영향반경을 사용하므로 MK-PRISM에 비해 국지적인 특성을 표현하는데 어려움이 있고, 특히 지역적 변동성이 큰 겨울철의 경우 이러한 점이 더 두드러지게 나타나기 때문이다. 특히 관측소 고도 분포(그림 2(b))와 비교해 보면, 주변 관측소들의 고도보다 월등히 높은 고도를 갖는 관측소에서는 IS-HYPS기법을 사용하였을 때 대부분 오차가 감소하는 것을 볼 수 있다. 반대로 붉은색 계열로 나타나는 지역은 관측소 고도가 고르게 분포하는 곳들이다. 즉, IS-HYPS기법은 관측소 고도 분포가 고르지 않은 지역에서는 MK-PRISM보다 비교적 우수한 성능을 보이지만, 관측소 고도 분포가 고른 지역에서는

MK-PRISM의 성능이 더 우수함을 알 수 있다. 따라서 모든 관측지점에 대해서 IS-HYPS기법을 적용하기 보다는 특정한 기준을 정하여 선택적으로 적용해야 할 필요성이 있다.

5) 적용기준 설정

앞서 살펴본 바와 같이 IS-HYPS 기법을 사용하기 위한 특정한 기준을 결정하는 것이 매우 중요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 영향 반경 내의 관측소들과 대상격자사이의 고도 표준편차의 차를 사용하였다. 즉, 추정 지점 또는 격자를 포함하는 경우와 포함하지 않는 경우의 고도 표준편차를 각각 구한 후 그 차이를 $d\sigma$ 로 정의하였다. $d\sigma$ 가 클수록 주변관측소들의 고도와 대상지점(또는 격자)의 고도사이에 차이가 크다는 것을 뜻하여 $d\sigma$ 는 각 계절별 RMSE와 $d\sigma$ 의 관계를 이용하여 경험적 방법으로 선정하였다.

그림 5는 MK-PRISM과 IS-HYPS기법을 사용하였을 때 겨울과 여름철의 RMSE와 $d\sigma$ 의 관계를 보여준다. 일반적으로 두 기법 모두 $d\sigma$ 가 클수록 RMSE가 증가하는 것을 볼 수 있다. $d\sigma$ 의 값

그림 5. 관측소 고도 표준편차의 차이($d\sigma$)와 RMSE사이의 산포도. (a)와 (b)는 각각 겨울철과 여름철 결과임.
●와 +는 각각 MK-PRISM 버전 1.1과 IS-HYPS 기법의 산포도.

을 정하기 위해서, 30m부터 100m까지 10m 간격으로 검증 해본 결과, 계절적으로 차이는 있지만 $d\sigma$ 가 70m 이상인 경우에 IS-HYPS기법의 오차가 MK-PRISM보다 대부분 작게 나타난다는 것을 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서 MK-PRISM의 취약점을 보완하기 위해 개발한 IS-HYPS기법의 적용 기준은 $d\sigma$ 가 70m 이상인 경우로 설정하였다. 표 2는 $d\sigma$

가 70m 이상인 지점들의 IS-HYPS기법과 MK-PRISM의 RMSE결과를 나타낸다. MK-PRISM을 사용한 경우에는 RMSE가 평균기온은 2.48℃, 최고기온은 2.76℃, 최저기온은 3.73℃로 나타났으나 IS-HYPS기법을 사용한 경우에는 평균기온은 2.03℃, 최고기온은 2.29℃, 최저기온은 3.15℃로 나타나 기온 3종 모두에서 MK-PRISM을 사용한 경우보다 IS-HYPS기법을 사용한 경우에 약 20%

표 2. 관측소 고도 표준편차의 차 ($d\sigma$)가 70m 이상인 지점들에 대해서 적용한 IS-HYPS기법과 MK-PRISM 버전1.1의 RMSE 결과 비교.

	Mean Temperature(℃)			Maximum Temperature(℃)			Minimum Temperature(℃)		
	IS-HYPS (a)	MK-PRISM (b)	diff. (a) - (b)	IS-HYPS (a)	MK-PRISM (b)	diff. (a) - (b)	IS-HYPS (a)	MK-PRISM (b)	diff. (a) - (b)
JAN.	2.37	2.83	-0.46	2.23	2.82	-0.59	3.51	3.96	-0.45
FEB.	2.41	2.60	-0.19	2.34	2.78	-0.44	3.62	3.80	-0.18
MAR.	1.92	2.38	-0.46	2.37	2.65	-0.28	3.04	3.44	-0.40
APR.	1.90	2.38	-0.48	2.49	2.73	-0.24	3.33	3.97	-0.64
MAY.	1.90	2.23	-0.33	2.48	2.85	-0.37	3.26	3.88	-0.62
JUN.	1.83	2.20	-0.37	2.47	2.78	-0.31	2.89	3.65	-0.76
JUL.	1.56	1.97	-0.41	2.46	2.90	-0.44	1.95	2.56	-0.61
AUG.	1.71	2.30	-0.59	2.35	2.85	-0.50	2.45	3.13	-0.68
SEP.	1.84	2.47	-0.63	2.11	2.65	-0.54	2.86	3.67	-0.81
OCT.	2.30	2.82	-0.52	2.04	2.62	-0.58	3.83	4.54	-0.71
NOV.	2.28	2.76	-0.48	2.09	2.72	-0.63	3.67	4.21	-0.54
DEC.	2.38	2.79	-0.41	2.10	2.82	-0.72	3.38	3.95	-0.57
AVE.	2.03	2.48	-0.44	2.29	2.76	-0.47	3.15	3.73	-0.58

• 11년(2000~2010)의 일 기온자료에 적용하여 얻은 결과임.

정도 RMSE가 감소하는 결과를 보였다.

4. MK-PRISM의 버전 갱신

본 연구에서는 특정한 조건하에서만 적용되는 IS-HYPS기법의 적용에 따라 MK-PRISM의 버전을 갱신하기로 하였다. 즉, 김맹기 외(2012, 2013)에 제시한 MK-PRISM을 버전 1.1로 명명하였으며, 본 연구에서 개발한 IS-HYPS기법을 장착한 MK-PRISM을 버전 2.0으로 명명하기로 하였다. 따라서 버전 2.0에서는 $d\sigma$ 가 70m 이상인 지점들에서는 IS-HYPS기법이 적용되고, 그 외의 지역에서는 버전 1.1과 동일한 추정법을 사용하게 된다. 그림 6은 $d\sigma$ 가 70m 이상인 지점들의 분포를 나타낸 것이다. 사실 이 지점들은 향후에 관측망을 추가 설치할 경우 설치해야 하는 후보지의 제 1 순위의 성격을 갖고 있다. 즉, 이 지점들에 AWS를 설치하는 것이 1km 해상도의 격자 자료를 산출하는데 최소 비용으로 최대 효과를 낼 수 있는 위치라는 의미이다. 그림 6에서 보여주는 IS-HYPS 적용 지점들은 그림 1a와 비교하였을 때 고도가 매우 높은 곳에 위치한다는 것을 알 수 있다. 그 중에서 그림 6의 네모 박스에 포함되는 차령산맥 부근에 가장 많이 위치하는 것으로 나타난다. IS-HYPS 기법을 적용하였을때의 기후학적 기온 추정 특성을 자세히 보기 위하여 이 지역을 대상으로 MK-PRISM 버전 1.1과 2.0을 적용하여 그 기후학적 분포 차이를 조사하였다.

그림 7(a)는 그림 6에서 지정한 차령산맥 부근의 고도 분포와 관측소의 위치를 나타낸다. 붉은색 지점은 지상관측소(ASOS)이고 푸른색 지점은 자동기상관측소(AWS)이다. 자세히 살펴보면 차령산맥 부근은 고도가 높은 산악 지형으로 구성되어 있으나 기상 관측소는 낮은 고도에 집중적으로

그림 6. 관측소 고도 표준편차의 차이 ($d\sigma$)가 70m 이상인 지점들의 공간분포. 적색 박스 지역은 차령산맥에 해당하는 지역으로 이 연구에서 지점들이 많이 밀집되어 있어서 하나의 사례 지역으로 선택한 것임.

분포한다는 것을 알 수 있다. 그림 7c와 그림 7d는 MK-PRIDE 버전 2.0과 버전 1.1의 기후값 분포를 나타낸 것으로 버전 1.1에 비해서 버전 2.0이 전반적으로 산악지역의 기온을 더 낮게 추정하는 것으로 나타났다. 실제로 두 버전의 차이 분포에서(그림 7(b)) 알 수 있듯이 음의 편차를 보이는 지역은 고도가 높은 지역들에 해당된다. 특히 그 중 가장 차이가 큰 값은 약 2.5°C 정도까지 나타난다. 따라서 전반적으로 볼 때 더 낮은 수치의 기온을 제시하는 새로운 버전이 기존 버전보다 산악지대에서의 기온을 실제 기온과 가깝게 추정하는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 MK-PRISM 버전 2.0이 기존 1.1 버전에 비해 성능이 향상되었다는 것을 의미한다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 MK-PRISM 버전 1.1(김맹기

그림 7. 선정 지역(차령산맥 지역)의 관측소 위치와 1km해상도 고도의 디지털 지도(a), (c)와 (d)의 차이에 대한 기후값 분포(b), MK-PRISM 버전 2.0을 적용한 경우(c), MK-PRISM 버전 1.1을 적용한 경우의 기후값 분포(d). 적용한 기간은 11년(2000~2010년)이며, 적용 영역은 그림 6에서 선택한 적색 박스 지역임.

외, 2012; 2013)을 개선하기 위하여 특정한 조건에서 잘 적용되는 IS-HYPS기법을 개발하였으며, 이 기법의 성능을 검증하였다. 이 연구에서는 검증된 IS-HYPS기법을 기존 버전에 추가 장착하여 MK-PRISM 버전 2.0으로 명명하였다.

MK-PRISM 버전 1.1에서는 영향 반경내에 위치한 관측소들의 고도가 균일하게 분포하지 않고, 낮은 고도에 집중되어 있으면서, 대상격자(또는 지점)과의 고도차이가 클 경우 기온 추정에 많은 오차를 유발하는 것으로 파악되었다. IS-HYPS기법은 이러한 특정한 경우에서만 적용하

기 위해서 개발된 기법이다. 따라서 그 외의 지역에서는 기존의 버전 1.1과 동일한 방법을 사용한다. 이 연구에서는 최적의 특정 기준을 결정하기 위하여 $d\sigma$ 를 사용하였다. $d\sigma$ 는 영향 반경안의 관측지점에 대해서 대상격자(또는 관측지점)를 포함하는 경우와 그렇지 않은 경우에 대해서 고도의 표준편차를 계산한 후 그 차이로 정의하였다. 따라서 $d\sigma$ 가 크면 대상 지점이 주변의 다른 관측소들과 고도 차이가 크다는 것을 의미한다. 분석결과, $d\sigma$ 가 70m를 넘는 경우에는 IS-HYPS기법이 효과적 인 것으로 나타났다. 이 기법을 2000년부

터 2010년까지 11년간의 일 자료에 적용해 본 결과, 이 기법은 기존 방법보다 RMSE를 약 20% 개선시키는 것으로 나타났다. 한편, $d\sigma$ 가 70m가 넘는 지역은 차령산맥의 산악 지역에 많이 분포하는데 IS-HYPS기법을 적용할 경우 새로운 버전이 기존 버전보다 산악지대에서 기온을 실제 기온과 더 가깝게 추정하는 경향이 있다. 따라서 개선된 MK-PRISM 버전 2.0은 향후 기후변화 시나리오의 계통오차를 보정하는데 활용할 수 있는 보다 개선된 1km 해상도의 관측격자 자료를 생산하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

이 연구의 부수적인 성과로는 $d\sigma$ 가 70m가 넘는 지역이 향후에 추가적인 관측소 부지로써 최고 우선 순위 지역이라는 점이다. 따라서 이 지점들에 관측소를 추가 설치한다면, 최소의 비용으로 최대의 시너지 효과를 얻을 수 있게 된다. 한편, 이 연구에서는 기온에 대해서만 IS-HYPS기법을 적용하였으므로 향후 강수량의 RMSE를 개선하기 위한 방법에 대한 후속 연구가 필요하다.

사사

본 연구는 기상청 기상기술개발관리단(CATER 2012-3082)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 김맹기 · 한명수 · 장동호 · 백승균 · 이우섭 · 김연희 · 김성, 2012, 1km 해상도의 관측 자료 생산기술, 기후연구, 7(1), 55-68.
- 김맹기 · 이대희 · 김진욱, 2013, 남한 1km 해상도의 격자형 일 기상자료 생산과 검증, 기후연구, 8(1), 13-25.
- 신성철 · 김맹기 · 서명석 · 나득균 · 장동호 · 김찬수 · 이우섭 · 김연희, 2008, GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 기온자료 추정, 대기, 18(1), 71-81.
- 홍기욱 · 서명석 · 나득균 · 장동호 · 김찬수 · 김맹기, 2007, GIS와 PRISM을 이용한 고해상도 격자형 기온자료 추정, 대기, 17(3), 255-268.
- Daly, C., Neilson, R. P., and Phillips, D. L., 1994, A statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 33, 140-158.
- Daly, C., Hannaway, D., and Taylor, G., 2000, Development of new climate and plant adaptation maps for China, p. J62-J65. In *Proc. 12th AMS Conf. on Applied Climatology*, Asheville, NC. 8-11 May 2000, Amer. Meteorological Soc., Boston, MA.
- Daly, C., Taylor, G. H., Gibson, W. P., Parzybok, T. W., Johnson, G. L., and Pasteris, P. P., 2001, High-quality spatial climate data sets for the United States and beyond, *Trans. American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 43, 1957-1962.
- Daly, C., Gibson, W. P., Taylor, G. H., Johnson G. L., and Pasteris, P. P., 2002, A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate, *Climate Research*, 22, 99-113.
- Daly, C., Helmer, E. H., and Maya, Q., 2003, Mapping the Climate of Puerto Rico, Vieques and Culebra, *International Journal of Climatology*, 23, 1359-1381.
- Daly, C., 2006, Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets, *International Journal of Climatology*, 26, 707-721.
- Daly, C., Halbleib, M., Smith, J. I., Gibson, W. P., Doggett, M. K., Taylor, G. H., Curtis, J., and Pasteris, P. P., 2008, Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United

- States, *International Journal of Climatology*, 28, 2031-2064.
- Daly, C., Conklin, D.R., and Unsworth, M.H., 2009, Local atmospheric decoupling in complex topography alters climate change impacts, *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.2007.
- Gibson, W. P., Daly, C., and Taylor, G. H., 1997, Derivation of facet grids for use with the PRISM model, In *Proc., 10th AMS Conference on Applied Climatology*, American Meteorological Society, Reno, Nevada, Oct. 20-24, 2 pp.iety, Reno, Nevada, Oct. 20-24, 2pp.