

일사 수광량 보정에 의한 평창지역 고해상도 기온분포도 작성

정유란¹, 윤진일¹, 안재훈²

¹경희대학교 농학과, ²고령지농업시험장

Air Temperature Prediction at Higher Temporal and Spatial Resolution in Pyongchang Mountainous Area

Uran Chung¹, Jin I. Yun¹ and Jae-Hoon Ahn²

¹Department of Agronomy, Kyung Hee University; ²National Alpine Agricultural Experiment Station,
RDA

(Correspondence: jiyun@khu.ac.kr)

1. 서언

한 지점의 매시 기온 관측값에는 이 지점의 수평 및 수직 위치, 주변 식생, 하천이나 바다 등, 모든 기온결정인자의 영향이 녹아있다고 볼 수 있다. 만약 지표 특성이 이들 관측지점과 동질적이며, 관측점들의 표고에 의해 그 지형이 정확히 표현될 수 있는 넓은 지역이 있다면, 기존의 거리역산가중법(Inverse Distance Weighting: IDW)에 의해 내삽되는 기온의 공간변이는 실제 기온의 공간변이와 일치할 것이다. 그러나 실제 지표면은 다양한 피복으로 덮여있고, 그 지형특성 역시 관측지점의 표고값만으로 대표할 수 없으므로 기온의 실제 변이는 내삽된 기온변이와 다를 수밖에 없다. 이러한 오차는 관측밀도가 낮은 산간지대에서 특히 심각해진다. 낮은 관측밀도에 덧붙여 산간지대에 설치된 기상관측소의 부적절한 위치 때문에, IDW 내삽기온에 대해 적절한 보정을 해주지 않는다면 이 지역의 기온내삽은 큰 오차를 갖게된다. 본 연구에서는 산악지대 시간대별 기온내삽 과정의 오차를 줄이는 방법을 제시하고, 이를 강원도 평창지역에 적용함으로써 그 실용화 가능성을 평가하였다.

2. 모형 해설

지표면의 균질성을 전제로 할 때, 비관측점의 IDW 내삽오차는 주로 관측점과의 고도편차 및 지형의 이질성, 두 가지 원인에 의해 생긴다. 관측점의 표고값만으로 복원한 '가상지형'으로부터 비관측점의 표고차를 얻어 여기에 기온감율을 적용하면 첫 번째 오차의 크기를 추정할 수 있다. 지형의 이질성 때문에 생기는 오차는 대부분 복잡지형 상의 일사 수광양상과 관련이 있으며, 여기에 기인한 평면 상의 관측점에 대한 비관측점의 현열 과부족을 고려함으로써 결정될 수 있을 것이다. 위에서 언급한 것을 기초로 임의 비관측점의 기온내삽 오차를 정량적으로 표현하면 다음과 같다.

$$T - \frac{\sum \frac{T_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} = \left[z - \frac{\sum \frac{z_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right] \Gamma + \left[S - \frac{\sum \frac{S_i}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}} \right] \Delta \quad \text{----- (1)}$$

여기서 T_i 는 지점 'i'의 실측 기온, d_i 는 내삽지점으로부터 관측점 'i'까지의 거리, z 및 z_i 는 각각 내삽지점과 관측점 'i'의 해발고도, Γ 는 해발고도에 따른 기온감율, S 는 내삽지점의 경사도와 경사방위를 고려해 계산된 일사 수광량, S_i 는 관측점 'i'의 실측 일사량, 그리고 Δ 는 일사에너지의 기온당량, 즉 수평면과의 일사 수광량 차이를 기온변화량으로 변환하기 위한 계수이다.

식(1)의 좌변 두 번째 항은 IDSW내삽에 의한 추정기온이며, 우변 첫 항의 괄호 안은 IDSW내삽으로 복원한 '가상지형'과 실제 표고간 편차를 의미한다. 따라서 우변 첫 항은 해발고도의 국지적 변이로부터 생기는 오차를 나타내며, 표고차 보정에 이용될 수 있다. 두 번째 항의 괄호 안에 있는 계산식은 표준관측지점 또는 수평면 전천일사량에 대한 경사면의 전천일사량간 차이를 나타낸다. 적절한 보정계수를 찾아낸다면 이 항은 지형의 복잡성에 의해 생기는 오차의 크기를 나타내므로 지형 보정에 이용될 수 있다.

연중 날짜에 따른 기온감율(Γ)은 윤 등 (2001, 본 학술발표회)이 보고한 경험식 가운데 일 평균기온에 해당하는 다음 식을 이용하였다.

$$|\Gamma| = 0.00688 + 0.0015 \cos\{0.0172(i - 60)\} \text{ ----- (2)}$$

표준기상관측소의 일사량은 일사 구성요소를 무시하고 전천일사량을 공인된 에너지 단위 (MJ/m^2)로만 보고하지만, 복잡한 지형 상의 수광량을 계산하기 위해서는 일사 구성요소를 각각 분리해서 고려해야 한다. 지표상 임의 지점의 전천일사량은 관측 시점의 태양고도, 방위각, 그리고 지형특성에 따라 달라지는 그 비율이 달라지는 직달일사, 산란일사, 반사일사로 구성된다. 사면상의 이들 일사 구성요소들을 정 등(2000)의 방법에 의해 계산하였다.

표고와 지표 피복이 균질하다고 가정하면, 국지적인 기온의 변이는 지표에 흡수되는 태양 복사 에너지의 양, 정확하게 말하면, 현열로 할당된 순복사량의 비율에 영향을 받는다고 할 수 있다. 어떤 지점의 정확한 일사 수광량을 안다고 할지라도 변환식이 없다면 기온 추정에서 일사량은 아무 의미가 없다. 각 지점별로 계산된 일사량은, 지형의 복잡성에 의해 발생한 기온 추정오차를 적절히 보정할 수 있는 현열당량으로 변환되어야 한다. 본 연구에서는 윤 등(2000)이 에너지 수지 계산과 관련된 복잡성을 피하기 위해 제주도에서 얻은 경험값을 이용하였는데, 일사기온당량 Δ 는 겨울의 $1.56 \text{ }^\circ\text{C}/\text{MJ m}^{-2}$ 부터 봄의 $1.93 \text{ }^\circ\text{C}/\text{MJ m}^{-2}$ 에 이른다.

3. 모형의 신뢰성

지형특성을 고려하여 강원도 평창을 중심으로 남북 14km, 동서 24km의 구역을 검증장소로 설정하였다. 이 구역에는 농촌진흥청 고령지농업시험장(NAAES)에서 운영하는 5개의 무인기상관측소(일사, 기온 관측)가 있으며, 이 구역으로부터 반경 30km 이내에는 매시 기온을 관측하는 기상청(KMA) 자동기상 관측소 12개와 표준기상 관측소 2개가 있어 모형의 검증실험장소로서 매우 이상적인 곳이다(Fig. 1).

모형을 검증하기 위해 KMA의 표준관측 및 자동기상관측자료를 이용하고, 계산결과의 검증을 위해서는 NAAES자료를 이용하였다. 지표 피복이 매우 다양하고 표준관측소의 관측환경과 차이가 있기 때문에 '지표 균질성' 가정을 만족시킬 수는 없지만, 기존의 IDSW방법에 대한 상

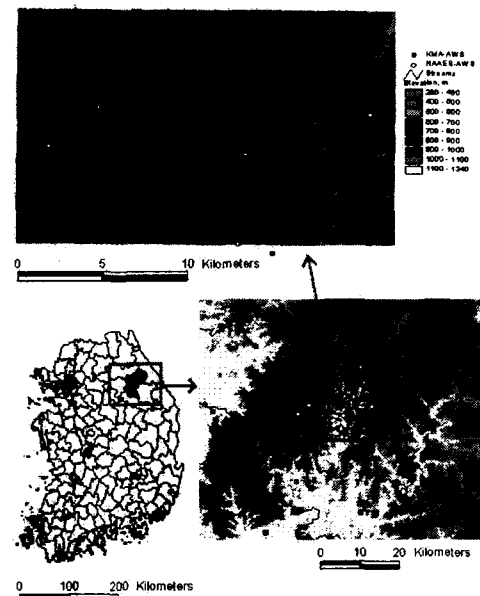


Fig. 1 Location map of the study area with the observation stations.

대적 정확성을 검증하기 위한 목적으로 제한시킨다면 NAAES 자료는 독립자료로서 충분하다 할 것이다.

먼저 평창 지역의 1:25,000 수치 등고선 지도로부터 TIN(Triangulated irregular network) 표면을 생성하였고, 이것을 10m grid 간격의 DEM으로 변환하였다. 모든 기상 관측 지점의 위치좌표는 GPS(Global Positioning System) 장비에 의해 추정하였다. '가상 지형'은 12개 KMA-AWS의 고도값을 IDSW 내삽에 의해 생성하였고, 준비된 10m DEM의 해발고도 면에서 '기상 지형'의 해발고도면을 빼줌으로써 NAAES-AWS가 위치한 grid cell의 고도편차를 도출하였다.

무작위로 선택된 계절별 하루씩에 대해 모형을 적용하였다. 우선 식(2)를 이용해서 각 날짜별 Γ 를 계산하였다. 10m DEM으로부터 경사도와 사면방위각을 계산하였고, 선택된 날짜의 시간대별 태양고도 및 방위각을 이용해 지형에 의한 그늘지역(hillshade)을 찾았다. 이들을 관련 식에 대입하여 각 grid cell의 매시 일사량 3요소를 계산하였다. 수평면 전천일사량은 인접한 원주기상대 실측 자료로 대체하였다. 지형편차 보정량은 계절별 Δ 값에 수평면 일사량에 대한 각 grid cell의 일사량 편차를 곱함으로써 얻었다. IDSW 내삽기온에 지형 보정량과 고도차 보정량을 더해줌으로써 최종적인 기온 추정값을 얻었다.

4. 결과 및 고찰

얻어진 결과 중 2000년 7월 6일의 경우, 1000, 1400, 그리고 2000LST에 상응하는 태양의 위치에 따라 3가지의 방법으로 대상지역 내 3백만 개가 넘는 grid cell들의 최저, 최고 및 평균기온을 계산해보면, 고도차 보정만 할 경우 IDSW 내삽에 의해 생성된 초기 기온표면보다 모든 시간대에 1.5℃ 정도 낮았다. 이러한 기온하강은 grid cell 대부분의 상대적인 위치가 관측소보다 높기 때문에 발생한 것이다 (Table 1). 여기에 지형 보정을 추가할 경우 역시 기온의 하강추세는 여전하지만 시간대별로 태양의 위치에 따라 기온변이 양상이 달라지고 있음을 알 수 있다. 즉 1000LST

Table 1 Spatial statistics of the estimated temperature at different sun positions on 6 July 2000.

Time (LST)	Steps	Spatial Statistics (Unit: °C)			
		Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
1000	IDSW	27.1	28.0	27.5	0.19
	Elevation	22.0	28.0	26.0	1.01
	Topography	21.5	28.2	25.9	1.05
1400	IDSW	31.1	34.4	32.7	0.86
	Elevation	26.6	34.6	31.2	1.42
	Topography	24.1	34.8	30.8	1.58
2000	IDSW	23.0	26.0	24.4	0.74
	Elevation	19.2	25.5	22.9	1.14
	Topography	19.2	25.3	22.9	1.11
Day Time Mean	IDSW	27.7	28.9	28.2	0.26
	Elevation	23.1	28.6	26.7	0.97
	Topography	21.6	28.8	26.5	1.05

와 1400LST에 공간평균이 각각 0.1℃와 0.4℃ 감소했고, 공간분산은 각각 0.04℃와 0.16℃ (표준편차) 증가하였다. 이 구역 내 최저기온은 기온감을 보정의 경우와 비교했을 때 같은 시간대에 0.5℃ 및 1.5℃가 떨어졌는데, 구역 내 최고기온은 약간 상승하였다. 그러나 2000LST의 기온 평균 및 분산에서는 일사량의 차이에 의한 영향이 매우 적었다.

NAAES-AWS 자료에 의한 모형의 정확도를 나타낸 것이 Fig. 2이다. 2001년 1월 4일 반경 30km 내 12개 기상청 자동기상관측소의 매시 기온자료와 원주기상대 매시 일사자료를 토대로 본 모형에 의해 평창지역 14km×22km 구역 내 5개 농업기상관측소 기온값을 추정하고 이를 실측값과 비교한 것이다. RMSE는 1.05℃로서 실용상 문제가 없는 것으로 판단된다. 모형의 최종적인 신뢰성 검증은 현재 진행중인 집중관측이 완료되면 가능할 것이다.

Fig. 3은 고도보정만 한 기온값에 비해 일사 보정까지 한 경우의 효과를 나타낸 것이다. 확대해서 보면 계곡주변의 복잡한 지형에 의해 생기는 기온변이 특정을 일사보정에 의해 정확하게 표현할 수 있음을 알 수 있다. 기존의 IDSW 내삽으로 생성되는 분포에 비해 국지적인 지형의 효과가 충분히 반영되었음을 알 수 있으며, 수평면에 비해 상대적으로 고온 혹은 저온역이 어디에 생기는지 정밀하게 판별할 수 있다. 이같은 정밀 기후도는 농업 및 자연생태계 관리목적의 다양한 의사결정과정에 활용될 수 있을 것이다.

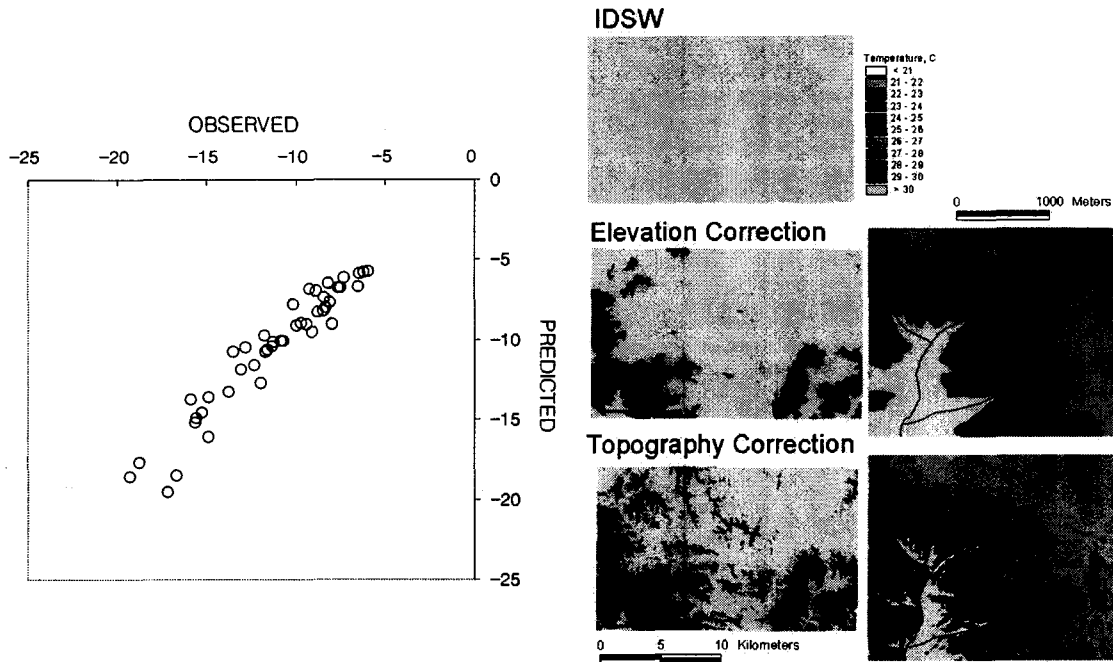


Fig. 2. Observed vs. calculated temperature at 5 agrometeorological sites in Pyongchang area on January 4, 2001.

Fig. 3. A sample temperature surface for 1400LST, 6 July 2000, generated by the 3 consecutive steps of the interpolation model. Two panels on the right side are enlarged views of the rectangle area.

Acknowledgements:

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(1999-2-221-002-5) 지원으로 수행되었음.

인용문헌

윤진일, 남재철, 홍석영, 2000: 국지적인 일사 수광량의 차이가 기온변이에 미치는 영향: 제주도 사례. 한국작물학회/한국농림기상학회/한국농업정보과학회 공동 심포지엄 및 학술발표회 초록집 (2000년 11월 3일, 한국농업전문학교) 234-235.

정유란, 정동준, 윤진일, 엄향희, 2000: 산악지대 일사 수광량의 공간변이 추정. 한국작물학회/한국농림기상학회/한국농업정보과학회 공동 심포지엄 및 학술발표회 초록집 (2000년 11월 3일, 한국농업전문학교) 232-233