제주도 초지피복 기생화산(“오름”)의 방위별 일 최고기온 분포

서희철¹ · 전승종² · 윤진일^{1*}

¹경희대학교 생태시스템공학과, ²농촌진흥청 난지농업연구소

(2008년 2월 12일 접수; 2008년 3월 24일 수락)

Azimuthal Distribution of Daily Maximum Temperatures Observed at Sideslopes of a Grass-covered Inactive Parasitic Volcano (“Ohreum”) in Jeju Island

Hee-Chul Seo¹, Seung-Jong Jeon² and Jin I. Yun^{1*}

¹Department of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University

²National Institute of Subtropical Agriculture, Rural Development Administration

(Received February 12, 2008; Accepted March 24, 2008)

ABSTRACT

Information on daily maximum air temperature is important in predicting the status of plants and insects, but the uneven and sparse distribution of weather stations prohibits timely access to the data in regions with complex topography. Since cumulative solar irradiance plays a critical role in determining daily maximum temperature on any sloping surfaces, derivation of a quantitative relationship between cumulative solar irradiance and the resultant daily maximum temperature is a prerequisite to development of such estimation models. Air temperatures at 8 sideslope locations with similar elevation and slope angle but aspect, circumventing a cone-shaped, grass-covered parasitic volcano (c.a., 570 m diameter for the bottom circle and 90m bottom-to-top height), were measured from June to December in 2007. Daily maximum temperatures from each location were compared with the average of 8 locations (assumed to be the temperature measured at a “horizontal reference” position). The temperature deviation at all locations increased with the day of year (or sun elevation) from summer solstice to winter solstice. Averaged over the entire period, the south facing location was warmer by 1°C in daily maximum temperature than “horizontal reference” and the north facing location was cooler by 0.8°C than the reference, resulting in the year round average south-north temperature difference of 1.8°C. In November, both south and north facing slopes showed the greatest deviation of +2.0°C and -1.3°C, respectively in daily maximum temperature at monthly scale. On a daily scale, the greatest deviation was +3.8 and -2.7°C at the south and north slope, respectively. The cumulative solar irradiance (on the slope for 4 hours from 11:00 to 15:00 TST) explained >60% of the variance in daily maximum temperature deviations among 8 locations, suggesting a feasibility of developing an estimation model for daily maximum temperature over complex topography at landscape scales.

Key words : Daily maximum temperature, Solar radiation, Geospatial climatology, Topography

I. 서 론

광합성과 호흡은 물론, 생물계절, 생장 등 세포-개체-군집 수준의 거의 모든 생물학적 과정은 기온의 직접

적인 영향을 받아 그 속도가 결정된다. 나무와 같은 영년생 식물은 기온의 주야간 변동, 계절변화, 연차변이에 따라 각각 특징적인 반응을 보이는데, 기온은 토양이나 지형, 일사량 같은 다른 환경요소와 상호작용을

통해 나무의 생장, 산림생태계 중 구성비, 외부환경에 의한 교란 정도를 결정짓는다. 최근의 산림생태 연구에서 가장 뚜렷한 경향 중 하나는 주요 환경요소가 산림생태계에 미치는 영향을 수치모형으로 표현하고 이를 경관규모(landscape scales)로 확장하려는 것이다 (Bolstad *et al.*, 1998). 그런데 생태계 모형의 구동을 위한 가장 중요한 입력자료의 하나가 기온이기 때문에 산지의 시공간적 고해상도 기온분포도 작성이 선행되어야 한다. 그러나 산지는 기상관측밀도가 낮기 때문에 적은 수의 관측자료에 의해 경관규모의 고해상도 기온분포 추정을 위한 방법이 많이 개발되어왔다 (Running *et al.*, 1987; Yun, 2004). 대부분의 생태계 모형이 일 극기온(최고 및 최저기온)을 입력자료로 요구하므로 이들의 추정방법이 주목 받고 있으며, 특히 일 최저기온의 경우 10~30m 해상도의 미세지형 영향까지 고려한 추정기술이 실용수준에 도달해 있다 (Yun, 2007). 여기에는 종관기상자료를 이용하여 일 최저기온 분포를 추정할 때 발생하는 도시열섬효과의 제거(Choi *et al.*, 2003), 복사냉각에 의한 복잡지형의 찬 공기 유입과 온난대효과 반영(Chung *et al.*, 2006) 등 지리공간정보를 기온추정에 접목시킨 소위 공간기후기술이 크게 기여하였다.

이에 비해 일 최고기온 추정에 관한 연구는 상대적으로 미흡한 수준이며 특히 미세지형의 영향을 고려한 추정기술은 희귀하며 아직 실용수준에는 미치지 못한 것으로 판단된다(Regnier, 1996). 일 최저기온은 대개 햇빛의 영향이 없는 야간에 발생하므로 지형의 영향을 비교적 단순하게 표현할 수 있지만, 낮 동안에 발생하는 일 최고기온은 사면 일사수광량의 영향이 매우 크므로 시시각각 변화하는 사면과 태양위치 간 기하학적 관계 및 그 결과로서 나타나는 시간대별 일사수광량, 그리고 일사수광량과 최고기온 간 관계를 모형화해야만 추정이 가능하다. 즉 복잡지형에서 일 최고기온 분포를 알아내기 위해서는 먼저 다양한 방위와 경사도를 갖는 사면의 기온분포가 인근 기상관측(수평면 관측노장)의 표준관측자료와 공간적으로 어떤 편차를 보이는지 파악해야 한다. 여기서 문제는 모든 사면이 관측노장과 같은 고도인 것은 물론, 지표피복도 관측노장과 같은 잔디(초지)로 이루어져 있어야 한다는 점이다. 이 같은 조건을 갖춘 실험장소를 찾기는 쉽지 않으며 실험조건을 인공적으로 만들기는 더욱 어려운 점이 일 최고기온 추정기술 개발에 난관으로 작용해

왔다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 이러한 조건을 갖춘 자연실험실로서 제주도에 산재한 기생화산에 주목하고 이들 가운데 하나를 선정하여 장기간 실측자료를 수집함으로써 일 최고기온 추정기술 개발에 기초자료를 확보하고자 하였다. 본고에서는 2007년 하지부터 동지까지 수집된 자료를 토대로 방위별 사면의 일 최고기온분포 특성을 수평면을 기준으로 비교분석하고, 이러한 특성이 사면 일사수광량 편차와 어떤 관계에 있는지를 파악하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. 실험지역 선정 및 자료수집

경사 방향에 따른 일 최고기온의 변이를 알기 위한 실험을 수행하기 위해 지표가 초지로 덮여 있고, 전체적인 모양이 반듯한 원추형으로서 모든 방향에서 비슷한 경사도를 보이는 기생화산 “높은오름”(제주시 구좌읍 송당리)을 시험지로 선정하였다(Fig. 1). 기생화산을 원추형으로 간주하면 원추의 밑면은 지름 약 570m의 원이며 밑면에서 꼭지점(정상)까지 고도차는 평균 90m 정도이다. 밑면으로부터 약 70m 높이에 해당되는 기생화산의 측면능선에 방위별로 8개 지점을 선정하여 지표로부터 1.5m 높이에 집록기 일체형 온습도계(Model HOBO H8 Pro, Onset Computer Co., USA)를 설치하였다. 먼저 현지에서 나침반에 의존하여 대략적인 위치에 장비를 설치한 후 위성측위계(Model GeoExplorer III 및 Pathfinder 2.80, Trimble Inc., USA)에 의해 임시좌표값을 얻고, 추후 기준국 자료에 의해 후처리 보정을 함으로써 정확한 위치좌표를 얻었다. 각 지점에서 2007년 4월 14일부터 10분 간격으로 기온을 측정하였고, 일별로 측정된 144개 자료 가운데 가장 큰 값을 일 최고기온으로 간주하였다.

실험장소의 수평면 전천일사량을 측정하기 위해 주변에 장애물이 없는 기생화산의 정상부근에 에플리형 일사계(Model 8-48, Eppley Laboratory Inc., USA)를 설치하고, 자료집록기(Model CR10X, Campbell Scientific, USA)를 사용하여 1분 간격으로 측정하여 그 때시 적산값을 저장하였다.

2.2. 자료분석

2007년 6월 22일(하지)부터 12월 23일(동지)까지

Fig. 1. Location map of the study area with the synoptic weather station in Jeju Island (top left), a satellite image of the parasitic volcano (top right), locations of 8 temperature stations and 1 solar radiation station on the elevation map of the volcano (bottom left), and a photo image of one temperature station installed at the volcano (bottom right).

183일간 관측된 8개 지점의 일 최고기온자료를 수집하였다. 수집된 8개 지점의 기온을 산술평균하여 같은 고도의 기준온도(수평면 일 최고기온)로 간주하였다. 각 지점에서 얻은 일 최고기온에서 이 기준온도를 감하여 편차를 계산하였다.

국토지리정보원으로부터 실험장소가 포함된 1:5,000 수치지형도(도엽번호 33608072)를 사용하여 주곡선 정보로부터 TIN(triangulated irregular network) 표면을 생성하고, 해상도 1m의 DEM(digital elevation model)으로 변환하였다. 이 DEM으로부터 경사도와 경사방향을 계산하였고, 8개 지점에 해당하는 픽셀의 경사향과 경사도자료를 추출하였다. 이들 지형자료와 기준점(정상 부근)의 전천일사량자료를 토대로 각 지점의 시간대별 일사수광량을 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 일 최고기온의 월별 평균 추세

관측기간 중 태풍피해를 입은 S1과 S7을 제외한 나머지 지점에서는 결측 없이 온전한 자료를 수집할 수 있었다. 1m DEM에 의해 계산된 8개 지점의 경사도는 20도(S3)부터 30도(S5)까지 범위에 들며 평균은 26도 정도이다. 경사향은 S1과 S8이 거의 같은 북향이며 나머지는 동(S2), 남동(S3), 정남(S4), 남서(S5), 정서(S6), 북서(S7)에 분포하고 있다(Table 1).

태양고도가 가장 높은 하지부터 가장 낮은 동지까지 8개 지점에서 관측된 일 최고기온이 8개 지점의 평균인 기준온도에 비해 얼마나 차이가 나는지 그 편차를 구해 월별로 평균한 결과, 북향에 속하는 S1과 S8에

Table 1. Slope and aspect of 8 observation sites and the observed daily maximum temperature deviations from the reference (mean of 8 sites)

SITE #	Slope (degree)	Slope aspect (degree)	Temperature Deviation (°C)					
			Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
1	29	7	-0.39	-0.38	-0.71		-1.34	-0.99
2	26	68	-0.06	-0.12	-0.42	-0.74	-0.57	-0.28
3	20	126	0.04	0.20	-0.01	0.00	0.47	0.51
4	28	186	0.24	0.23	0.77	1.19	2.08	1.62
5	30	219	0.15	0.23	0.51	0.99	1.63	1.09
6	21	272	0.08	0.06	0.11	-0.20	-0.18	-0.34
7	26	301	0.08	0.06	-0.11		-0.82	-0.73
8	27	359	-0.14	-0.30	-0.52	-1.23	-1.29	-0.88

서는 기간 내내 기준온도에 비해 낮은 온도를 보였다. 가장 큰 편차는 11월로서 S1에서 -1.34°C , S8에서 -1.29°C 였다. 남향계열인 S4와 S5에서는 연중 기준온도에 비해 높은 일 최고기온을 보였는데, 최대편차는 역시 11월로서 2.08°C (S4), 1.63°C (S5)이었다. 서향사면(S6)에서는 그 변화폭이 크지는 않았지만 7, 8, 9월에는 기준온도에 비해 높은 일 최고기온을 보였고 10, 11, 12월에는 반대로 기준면보다 낮은 기온을 보였다. 북쪽으로 약간 치우친 S7의 경우 서향과 흡사한 기온 편차 분포를 보이는데 다만 기준면보다 낮은 온도가 나타나는 시기가 9월로 앞당겨졌다. 동향에 속하는 S2와 S3 가운데 북쪽에 치우친 S2에서는 북향과 같이 연중 기준면보다 낮은 일 최고기온을 보였고, 남쪽에 가까운 S3에서는 7, 8, 9, 10월까지는 기준면과 거의 같은 기온을 보이다가 11, 12월에만 0.5°C 정도 높은 기온이 관측되었다.

하지에서 동지까지 183일간 평균편차를 구해보면 기준면에 비해 일 최고기온이 가장 높은 곳은 S4(정남향)로서 1.02°C 였고, 가장 낮은 곳은 S1(정북향)이었지만 중간에 결측이 있어 정확한 편차를 알 수는 없었다. 다만 가까이 위치한 S8의 경우 평균편차가 -0.72°C 이므로 이보다는 더 낮은 기온을 보였을 것으로 예상된다. 즉 남북향 사면 사이의 일 최고기온 편차는 평균 $1.7\sim 1.8^{\circ}\text{C}$ 에 이르는 것으로서, 미국 동부 애플래치아 산림지대에서 남향과 북향사면 간 관측된 연평균 1.4°C 편차보다 큰 값이다(Bolstad *et al.*, 1998). 제주도기생화산이 경사도 면에서 $20\sim 30$ 도로서 애플래치아 산림지대 실험장소의 $21\sim 31$ 도와 거의 비슷하며, 위도(33.5°N)로 보아 애플래치아 산림지대 실험장소($35\sim 36^{\circ}\text{N}$)보다 낮은 것을 감안한다면 1.8°C 에 이르는

남북사면 간 일 최고기온편차의 평균값은 충분한 유의성을 갖는다. 즉 같은 정도의 복잡지형이라면 산림군락보다는 초지피복에서 사면방향에 따른 일 최고기온변이가 클 것이라는 가설을 뒷받침한다고 볼 수 있다.

Fig. 2. Deviations in daily maximum temperature at 8 locations compared with a reference observed from summer solstice to winter solstice in 2007. Thick lines indicate the 45 day-moving average. Approximate aspect for each site is: 1=N, 2=NE, 3=SE, 4=S, 5=SW, 6=W, 7=NW, and 8=N.

3.2. 일 최고기온의 일별 추세

각 지점에서 얻은 일 최고기온의 일별편차를 하지부터 동지까지 날짜에 대해 작도해보면 수평 기준면에 비해 경사방향에 일 최고기온에 미치는 영향을 자세히 이해할 수 있는데, 동향과 서향경사면을 제외한 모든 지점에서 사면효과는 하지 때 가장 적고 동지로 갈수록 커지고 있다(Fig. 2). 정남향인 S4에서는 관측기간 중 일 최고기온이 기준면에 비해 거의 4°C까지 높아졌으며, 북향인 S1과 S8에서는 기준면에 비해 훨씬 낮은 일 최고기온을 보였지만 그 편차는 3°C를 넘지 못했다. 45일 이동평균값을 구해보면 연중 태양고도(날짜)에 따른 사면 방위별 일 최고기온의 변동추세가 더욱 뚜렷해진다. 경사방향에 무관하게 하지 무렵에는 높은 태양고도 때문에 일사수광량에 있어 기준면과 큰 차이가 없으며 이는 기준면과 크게 다르지 않은 일 최고기온으로 나타난다. 태양고도가 점차 낮아짐에 따라 경사향에 따른 일사수광량에 차이가 생기기 시작하며 일 최고기온은 남향계열 관측지점(S4, S5)에서 점차 높아지며 북향계열 지점(S1, S8)에서는 점차 낮아지고 있다. 그러나 동향과 서향 관측점에서는 그 변동폭이 크지 않으며 일 최고기온의 편차는 기준면에 비해 2°C를 초과하지 않는다.

3.3. 일사수광량과 일 최고기온간 관계

본 실험의 결과로부터 일사수광량의 차이가 일 최고기온의 차이로 나타난다는 사실은 분명히 확인할 수 있다. 일사수광량이 일 최고기온을 결정짓는 과정, 즉 지표에 도달한 일사에너지가 궁극적으로 일 최고기온에 해당하는 현열로 바뀌는 에너지의 변환에 대해서는 지표에너지수지식과 보조관측자료에 의해 추론이 가능하다. 본 실험은 자연상태에서 수행되었지만 지표피복이 초지로 통일되어있고, 관측지점의 경사방향과 경사도, 표고 등이 엄격하게 통제되었기 때문에 대기습도, 바람, 토양수분, 지온 등 몇 가지 보조관측자료가 주어지면 일 최고기온 발생시점의 지표에너지수지를 파악할 수 있을 것이며 나아가 일사(순복사)에너지의 현열 변환을 및 기온형성의 기여도를 정량화할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 이 논문에서는 우선 관찰된 기온과 계산된 일사수광량만으로 경험적인 관계를 파악하고자 하였다.

먼저 일 최고기온은 주로 오후에 발생하므로 일사량 가운데 오전 중에 지표에 도달한 부분보다는 오후에

도달한 부분이 더 큰 영향을 미칠 것이다. Regnier (1996)는 주어진 경사면에 대해 태양 남중 전 1시간, 남중 후 3시간 도합 4시간 동안 누적일사량을 계산하고 인근 기상관측소의 수평면 일사량과의 편차를 구해 일 최고기온 추정에 이용하였다. 본 실험에서도 Regnier(1996)가 제시한 다음 식(1)에 의해 매일 8개 지점의 일사수광량 편차를 계산하고 이것이 관측된 일 최고기온 편차와 어떤 관계에 있는지 분석하였다.

$$\nu = \frac{\varphi_t - \varphi_0}{\Delta\varphi_{\max}} \quad (1)$$

이 식에서 ν 는 과열지수(overheating index)로 불리며, 4시간 동안 수평면 일사수광량(φ_0)과 경사면 일사수광량(φ_t)간의 차이를 표준화한 것이다. 표준화에 쓰인 값은 북반구에서 관측되는 수평면과 경사면간의 오후 4시간 동안 일사수광량 편차 가운데 이론상 최대값(15 MJ m⁻²)으로서 3월 중 북위 78도에서 남동쪽으로 45도 경사진 사면에서 나타난다. 앞서 제작된 실험지역의 1m DEM과 여기에서 산출된 경사도와 경사향자료, 기생화산 정상에서 관측된 전천일사량자료를 토대로 Chung et al.(2007)의 방법에 의해 2007년 하지부터 동지까지 매일 과열지수를 계산하였다. Fig. 3은 각 지점별 과열지수 가운데 S4(남향)와 S8(북향)에 해당되는 것만 표현한 것이다. 음의 값은 기준면에 비해 일사수광량이 적다는 뜻이고, 양의 과열지수는 수평면에 비해 잉여 일사에너지를 갖는다는 뜻이다. 결론은 태풍에 의해 일사관측장비가 파손되어

Fig. 3. Seasonal march of the calculated values for daily overheating index (OHI) at south- and north-facing slopes.

자료를 얻을 수 없었기 때문이다. 눈에 띄는 특징은 우선 과열지수가 북향사면에서는 그 변동폭이 매우 크나 남향사면에서는 상대적으로 적다는 것이다. 또한 남향사면의 과열지수는 태양고도가 낮아짐에 따라 점차 기준면의 값(0)으로부터 양의 방향으로 멀어지는 추세이지만 북향사면의 과열지수는 오히려 기준면의 값에 가까워지고 있다. 앞서 지점별로 관측된 일 최고기온의 편차 변동추세와 비교해보면 남향사면의 경우 상호간 정의 상관이 기대되지만, 북향사면에서는 관찰된 일 최고기온 편차 추세와 반대경향임을 알 수 있다. 따라서 Regnier(1996)가 과열지수를 이용하여 사면 일 최고기온을 추정할 수 있다고 한 것은 양의 과열지수, 즉 남향사면에만 해당되며, 북향사면의 경우에는 해당되지 않는다.

양의 과열지수가 계산된 경우만 자료를 뽑아서 그 지점에서 관찰된 일 최고기온 편차와 비교한 것이 Fig. 4이다. 사면의 한낮 4시간 동안 일사수광량이 수평면에 비해 클 경우(즉, 과열지수가 양수), 하지부터 동지까지 관찰된 일 최고기온의 기준점 대비 편차는 일별 과열지수와 0.8의 상관을 보였다. 이 관계로부터 과열지수를 설명변수로 하는 1차 회귀식을 도출하면 임의 사면의 과열지수로부터 일 최고기온을 추정할 수 있다. 예를 들면 어느 날 주어진 초지피복 경사면의 과열지수가 0.1로 계산되었다면 그날의 일 최고기온은 수평면 기준값에 비해 2°C 가량 높을 것으로 추정할

수 있다. 이 추정식은 해당날짜의 토양수분, 강수, 바람, 운량 등을 고려하지 않고 적용할 수 있으며, 결정계수는 0.64로서 기온편차 변이의 64%를 설명할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 토양수분, 강수, 바람 등 보조자료의 연계분석을 통해 이 추정식을 정교하게 다듬을 경우 결정계수는 더욱 커질 수 있다.

Regnier *et al.*(1996)에 의하면 과열지수에 의해 기온편차(ϵ)를 추정할 때 흐린 날과 맑은 날의 영향 정도를 차별화하기 위해 기온일교차와 기온상승분의 상한값을 이용하여 다음 식(2)로 표현하였다.

$$\epsilon = \nu \cdot R \cdot \Delta T_R \quad (2)$$

여기서 R 은 기온일교차, ΔT_R 은 수평면과 경사면간 일사수광량 편차에 의한 기온상승분의 상한값으로, 일교차 1°C당 기온으로 표현하면 산림군락에서 0.1429이다. 식 (2)는 캐나다 산림청에서 개발한 산림생태계 모형(BioSIM)의 일 최고기온 추정모델로 사용되는데, 만약 일교차가 10°C인 날 사면의 과열지수가 0.1로 계산되었다면 수평면에 비해 사면의 일 최고기온은 0.14°C 정도 높을 것으로 추정하게 된다. 피복조건이 다르긴 하나 본 실험에서 관찰된 기온편차는 이보다 훨씬 크다. 본 실험에서 얻은 회귀식의 기울기 23.2는 식 (2)에서 R 과 ΔT_R 의 곱에 해당한다. 따라서 일교차의 범위를 10~20으로 가정하면 초지피복에서의 일교차 1°C당 일 최고기온 상승분의 상한은 1.16~2.32로서 산림군락의 근 10배 혹은 그 이상에 해당한다. 실험여건이 서로 달라 직접 비교하기는 곤란하지만, 캐나다의 습윤한 산림군락은 제주도의 건조한 초지피복에 비해 순복사에너지 가운데 잠열로 변하는 비율이 클 것이다. 뿐만 아니라 산림군락이 보유한 열 저장용량을 감안한다면 일사수광량의 공간변이에 따른 일 최고기온의 변화에 대한 완충능력 면에서 초지피복보다는 훨씬 클 것으로 보인다. 현재 시험지 인근의 산림군락 기생화산(‘개오름’)에서 수행중인 유사실험과 자동기상관측장비에 의한 수증기압, 지온 및 토양수분자료의 수집이 마무리되어 보웬비 계산 등 기본적인 지표 열수지 분석이 가능해지면 지표피복간 이러한 차이가 과연 존재하는지 여부가 밝혀질 수 있을 것이다.

Fig. 4. Relationship between daily overheating index (OHI) and deviation in daily maximum temperature at the locations on south-facing slopes of the grass-covered volcano from June to December 2007.

적 요

초지피복 조건에서 사면의 일사수광량 차이가 일 최

고기온에 미치는 영향을 파악하기 위해 2007년 하지부터 동지까지 밑면지름 570m, 높이 90m인 원추형 기생화산 “높은오름”의 측면 경사 8 지점에서 일 최고기온을 측정하였다. 8개 지점 평균값을 기온온도로 하여 각 지점의 기온편차를 구해 비교한 결과 기온편차는 하지로부터 동지로 갈수록 커지는 경향이었고, 관측기간 평균은 남향사면에서 1.0°C, 북향사면에서 -0.8°C로서 그 차이가 평균 1.8°C에 달했다. 기온편차의 월별 평균은 11월에 가장 크며 남향사면에서 2.1°C, 북향사면에서 -1.3°C였다. 일별 기온편차의 최대값은 남향사면에서 3.8°C, 북향사면에서 -2.7°C에 달했는데, 이러한 기온편차 변이는 일사수광량 편차에 근거한 지형특성지수와 높은 상관을 보여 복잡지형의 일 최고기온 추정모형 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

실험에 필요한 장소(높은오름)를 제공한 제주시 구좌읍 하도리 주민 여러분께 감사드립니다. 이 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원으로 이루어졌다.

REFERENCES

- Bolstad, P. V., L. Swift, F. Collins, and J. Regniere, 1998: Measured and predicted air temperatures at basin to regional scales in the southern Appalachian mountains. *Agricultural and Forest Meteorology* **91**, 161-176.
- Choi, J., U. Chung, and J. I. Yun, 2003: Urban-effect correction to improve accuracy of spatially interpolated temperature estimates in Korea. *Journal of Applied Meteorology* **42** (12), 1711-1719.
- Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, J. Choi, J. T. Lee, and J. I. Yun, 2006: Minimum temperature mapping over complex terrain by estimating cold air accumulation potential. *Agricultural and Forest Meteorology* **137**, 15-24.
- Chung, U., K. H. Lee and J. I. Yun, 2007: Performance of Northern Exposure Index in reducing estimation error for daily maximum temperature over a rugged terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**, 195-202. (in Korean with English abstract)
- Regniere, J., 1996: A generalized approach to landscape-wide seasonal forecasting with temperature-driven simulation models. *Environmental Entomology* **25**, 869-881.
- Regniere, J., B. Cooke, and V. Bergeron, 1996: *BioSIM: A Computer-Based Decision Support Tool for Seasonal Planning of Pest Management Activities. User's Manual*. Canadian Forest Service Info. Rep. LAU-X-116. 50pp.
- Running, S. W., R. R. Nemani, and R. D. Hungerford, 1987: Extrapolation of synoptic meteorological data in mountainous terrain and its use for simulating forest evaporation and photosynthesis. *Canadian Journal of Forest Research* **17**, 472-483.
- Yun, J. I., 2004: Visualization of local climates based on geospatial climatology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**, 272-289. (in Korean with English abstract)
- Yun, J. I., 2007: Applications of “High Definition Digital Climate Maps” in restructuring of Korean agriculture. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **9**, 1-16. (in Korean with English abstract)