

복잡지형에서 사면 개방도와 계절별 과열지수 사이의 관계

정유란¹ · 황범석² · 서형호³ · 윤진일¹

¹경희대학교 생명과학부/생명자원과학연구원, ²가평군농업기술센터

³원예연구소 과수재배과

(2003년 7월 25일 접수; 2003년 9월 8일 수락)

Relationship between Exposure Index and Overheating Index in Complex Terrain

U. Chung¹, B. S. Hwang², H. H. Seo³, and J. I. Yun¹

¹Department of Ecosystem Engineering/Institute of Life Science and Natural Resources, Kyung Hee University

²Gapyong Agricultural Technology Center, Gapyong, Gyunggi-Do, Korea

³Fruit Tree Cultivation Division, National Horticultural Research Institute, RDA

(Received July 25, 2003; Accepted September 8, 2003)

ABSTRACT

“Overheating index”, the normalized difference in incident solar energy between a target surface and a level surface, is helpful in estimating the spatial variation in daily maximum temperature at the landscape scale. It can be computed as the ratio of the 4-hour cumulative solar irradiance surplus or deficit from that over a level surface to the maximum possible deviation (15 MJ m^{-2}) during the mid-afternoon. Ecosystem models may, for simplicity, use an empirical proxy (exposure index) variable combining slope and aspect in place of the overheating index to account for the variation of mid-afternoon solar irradiance. A comparative study with real-world landscape data was carried out to evaluate the performance of exposure index in replacing the overheating index. Overheating indices for summer solstice, fall equinox and winter solstice were calculated at 573,650 grid cells constituting the land surface of Donggye-Myun, Sunchang County in Korea, based on a 10-m DEM. Exposure index was also calculated for the same area and fitted for the variation of overheating index to derive a 2nd-order linear regression equation. The coefficient of determination (R^2) was 0.50 on summer solstice, 0.56 on fall equinox, and 0.44 on winter solstice, respectively. These are much lower than the theoretically calculated R^2 values ranging from 0.7 in summer to 0.9 in autumn. According to our study, exposure index failed to accurately predict the cumulative solar irradiance over a complex terrain, hindering its application to daily maximum temperature estimation. We suggest direct calculation of the overheating index in preference to using the exposure index.

Key words : agro-climatic mapping, temperature, spatial scale, regional scale, BioSIM

I. 서 언

날씨에 따른 기후, 병해충의 생태과정 모의는 효율적 병해충 관리의 기본이다. 날씨요소 가운데 특히 기온은

발육속도, 생존율, 번식, 천이과정에 직접 영향을 미칠 뿐 아니라 기주식물, 피식자-포식자, 천적간의 복잡한 관계에까지 간접적인 영향을 미치므로 지금까지 집중적인 연구의 대상이 되어 왔다. 최근에는 온도에 의해

구동되는 식물병해충 예찰모형을 경관규모(landscape scale)로 확대 적용하려는 시도가 활발히 진행되고 있는데, 특히 지도를 매개로 하는 의사지원시스템에 접목됨으로써 생태모형의 실용화 및 수요확대에 대한 기대가 커지고 있다(Russo et al., 1993; Shaub et al., 1995; Regniere, 1996). 지금까지는 병해충 예찰모형이 어떤 지점 혹은 균질한 속성을 가진 소지역 단위로 구동되어 그 지역에만 적용할 수 있는 병해충 정보를 생산하였다. 같은 모형을 경관규모로 적용할 경우 보호대상자원(삼림, 작물 등)의 속성과 분포, 관련된 병해충의 개체군 및 피해에 대한 예측 등과 관련된 지역 분포도를 만들 수 있다. 따라서 이러한 지도를 만들고 표출하며 효율적으로 관리하기 위한 기술개발이 생태모형의 경관규모 확대 적용을 위해서 선결되어야 할 과제이다.

BioSIM은 캐나다 산림청에서 개발한 소프트웨어 도구로서 지형특성이 이질적인 넓은 지역에서 기존의 각종 온도기반의 생태모형을 결합하여 경관규모에서의 생태과정 모의를 가능하게 해 주는 인터페이스 기능은 물론, 지도 작성과 표출기능도 갖추고 있다(Regniere et al., 1996). 이 도구는 세계 여러 지역에서 경관생태학 연구 및 삼림 병해충 방제 프로그램에 성공적으로 이용되어 왔으며(Regniere and Sharov, 1999; Regniere et al., 1995), 우리나라에서도 농업병해충 방제 프로그램에 BioSIM의 도입을 시도한 바 있다(Regniere and Logan, 1996). 자연경관이 특히 복잡한 우리나라에서 BioSIM을 도입한다면 경관생태학 연구 및 식물 병해충 방제 측면에서 그 파급효과가 매우 클 것이다. 하지만 BioSIM 계산결과의 신뢰성을 좌우하는 가장 중요한 요인은 일 최고 및 최저기온 추정의 정확도로서, 본격적인 활용에 앞서 광범위한 지역에서 실측자료에 의한 검증이 이루어져야 할 것이다. 특히 BioSIM의 일 최고기온 추정과정은 국내의 기존방법보다 진보된 것으로서 충분한 검증을 거친다면 다양한 분야에서 활용이 가능할 것이다. 본 연구에서는 BioSIM에서 채택하고 있는 일 최고기온 추정방법이 과연 우리나라 환경조건에서 적합한지 여부를 검토하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

2.1. BioSIM의 일 최고기온 추정모듈 해설

기존의 표고차 보정에 의한 방법에 비해 BioSIM에

서 일 최고기온을 추정하는 방법은 매우 탁월하다. 일 최고기온의 결정에는 고도 외에 한낮의 일사량이 중요한 역할을 하는데 착안하여, 주어진 경사면에 대해 오전 11시부터 오후 3시까지 4시간 동안의 일사량을 적산하여 인근 기상대의 수평면 일사량과 비교하고 그 비율에 따라 기상대 최고기온을 보정하게 된다. 이 때 흐린 날과 맑은 날의 영향정도를 차별화하기 위해 당일의 기온일교차를 이용한다. 즉 흐린 날은 일교차가 작고, 맑은 날은 그 반대인 것을 감안한 것이다. 이것을 종합적으로 표현하면 일 최고기온 보정값 ε 은

$$\varepsilon = \nu \cdot R \cdot \Delta T_R \quad (1)$$

이 되는데, 여기서 R 은 기온일교차, ΔT_R 은 수평면과 경사면간 일사량 편차에 의한 기온상승분의 상한값으로, 일교차 1°C 당 기온으로 표현하면 산림군락에서 0.1429라고 알려져 있다(Regniere, 1996). 이 식에 의하면 일교차가 28°C인 맑은 날 경사면의 최고기온은 평지에 비해 4°C 까지 높아질 수 있다. ν 는 과열지수(overheating index)로 불리며, 4시간 동안 수평면 일사수광량(ϕ_0)과 경사면 일사수광량(ϕ)간의 차이를 표준화한 것이다.

$$\nu = \frac{\phi_i - \phi_0}{\Delta \phi_{\max}} \quad (2)$$

이 식에서 분모는 북반구에서 관측되는 수평면과 경사면간의 오후 4시간 동안 일사량 수광편차 가운데 최대값(15 MJ m⁻²)으로서, Regniere(1996)에 의하면 3월 중 북위 78도에서 남동쪽으로 45도 경사진 사면에서 나타난다. 이 식에 의해 계산되는 과열지수는 최대값이 1.0이며, 최소값은 북위 64도에서 북쪽으로 45도 경사진 사면 상에서 7월 중에 관측되며 그 값은 -1.935이다.

그러나 매일 4시간 동안의 일사량을 적산하는 일이 번거롭기 때문에 BioSIM에서는 과열지수 대신 순수한 지형변수로서, 계산이 용이하고 한번 작성되면 연중 수정없이 쓸 수 있는 개방도(Exposure Index, λ)를 이용한다. 중위도 지방에서 개방도와 과열지수의 관계를 2차 함수로 표현할 경우 월별로 결정계수가 0.75-0.92 사이에 드는 것으로 보고되었고, 다음 식으로 계산할 수 있다(Regniere, 1996).

$$\lambda = a[c \cos^2 \phi + \sin^2 \phi \cos(b-15)] \quad (3)$$

여기서 θ 는 사면의 위도, a 는 사면 경사도, b 는 사면의 경사향이다. c 는 1 혹은 -1의 값을 갖는데, b 가 135보다 크고 255보다 작을 경우만 -1이며, 다른 경우에는 1이다. 경사향 b 에서 15도를 빼는 것은 과열지수 계산시 13:00(정오로부터 15도)을 중심으로 11:00 - 15:00 시간대의 일사량을 적산하는 것을 감안한 것이다.

어떤 지점에 이 식을 적용하여 계산된 개방도 값이 0보다 크면 이 지점은 대체로 북향으로 많이 열려 있고, 0보다 작으면 남향으로 열려 있다고 생각할 수 있다. BioSIM에서는 개방도의 범위가 -45도에서 +45도까지 허용되는데, 모형구동 시 주어진 개방도 값을 만들어 내는 a 와 b 의 조합 8개를 찾아서 각각의 과열지수를 계산하고 이들을 산술 평균하여 식 (1)에서 최고기온 보정에 사용한다.

2.2. 지역 선정 및 수치표고모형 제작

전라북도 순창군 동계면을 대상으로 국립지리원의 25,000대 1 수치지형도를 구입하였다. 이 지형도에는 등고선, 도로, 하천, 취락 등 수십 가지의 주제가 DXF(data exchange format)의 layer 형태로 저장되어 있다. 여러 layer들 가운데 5 m 간격의 주곡선 layer를 도엽별로 추출하고, ArcGIS 8.2(ESRI Inc.,

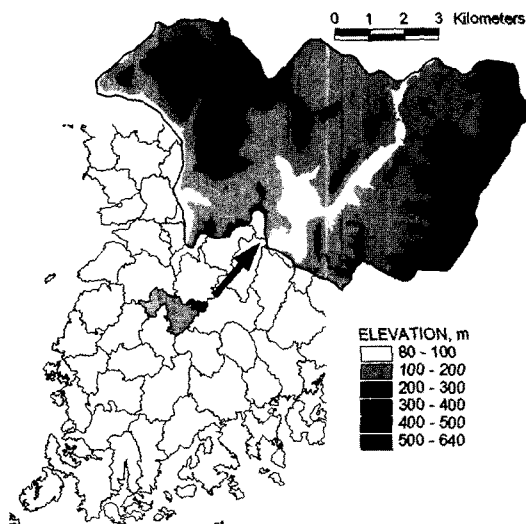


Fig. 1. Geographic location of the study area (Donggyemyun, Sunchang County, Jeollabuk-do, Korea) and the topography described by a digital elevation model with a 10-m grid spacing.

Redlands, California)의 map join과 edge matching 기능에 의해 하나의 등고선 주제도를 생성하였다. 이 등고선 주제도와 표고기준점을 토대로 이곳 지형을 부정형삼각망(Triangulated Irregular Network: TIN) 표면으로 표현하고(create tin 기능 이용), 이어서 수평 해상도 10 m, 수직해상도 1 m의 DEM을 제작하여 ArcGIS Grid로 저장하였다. 이 Grid로 표현된 동계면의 지형은 10×10 m 정방형 grid cell 573,650개로 구성되는데(Fig. 1), 총 면적이 5,736 ha인 이 지역의 최고점 표고는 640 m, 최저점 표고는 80 m로서 표고차는 560 m이다. 이 지역은 동쪽과 서쪽에 산악지형이 나타남과 동시에 북쪽에서 남쪽으로 흐르는 하천 주변에 평야도 발달해 있어 좁은 지역임에도 불구하고 다양한 지형과 경관을 갖고 있는 곳이다.

2.3. 북향개방도 계산

식 (3)을 이용하여 북향개방도를 계산하기 위해서는 각 grid cell의 a 와 b , 즉 경사도와 경사향이 준비되어야 한다. 제작된 DEM을 이용하여 ArcView 3.2(ESRI Inc., Redlands, California)의 확장모듈인 Spatial Analyst에 의해 경사도와 경사향을 계산하였다. 계산된 b 값이 135 - 255도 사이에 포함되는지 여부에 따라 DEM을 두 개의 grid로 분리 저장하고, 식 (3)을 적용할 때 각각 $c=1$ 혹은 -1의 값을 갖도록 하였다. 계산된 2개의 개방도 grid를 공간연산 기능(grid algebra)에 의해 합쳐서 하나의 grid로 통합하였다.

2.4. 과열지수의 계산

한번만 계산되면 날짜에 무관하게 사용할 수 있는 북향개방도 grid와 달리 과열지수 grid는 태양의 위치-사면 형태 사이의 기하학적 관계에 따라 연중 변화하므로 매일의 grid를 별도로 제작해야 한다. 본 연구에서는 춘분(추분), 하지, 동지 등 계절별로 하루씩 3일에 한해 준비된 DEM에 식 (2)를 적용하여 과열지수를 계산하였다. 경사면과 수평면 사이의 일사량 차이, 즉 식 (2)의 분모에 해당하는 값은 Chung and Yun (2002)의 방법에 따라 일사성분별로 다음과 같이 계산하였다.

우선 지표면에 도달하는 일사량은 대기외일사량(태양상수의 한 시간 적산값, S_0)으로부터 추정하였는데, 이 때 관측시점의 태양고도(α)에 따라 직달성분(S_{b0}) 및 산란성분(S_{d0})으로 구분하였다.

$$S_{b0} = S_0 \tau^{\frac{1}{\sin \alpha}} \sin \alpha \quad (4)$$

$$S_{d0} = S_0 \left(0.271 - 0.294 \tau^{\frac{1}{\sin \alpha}} \right) \sin \alpha \quad (5)$$

여기서 τ 는 태양복사의 대기 투과율 상한값으로서 대기권 최외각에 도달한 복사에너지 가운데 약 80% 까지 산란되지 않고 직접 지구표면에 도달한다고 가정하여 0.8로 두었다. 대기 투과율은 태양고도가 낮아짐에 따라 함께 낮아져 직달일사 성분을 감소시킨다.

관측시점의 태양방위각이 β 일 때 경사향이 b 이고 경사도가 a 인 지면이 받는 직달일사량은 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{b1} = S_{b0} \frac{\{\cos \alpha \cos(\beta - b) \sin a + \sin \alpha \cos a\}}{\sin \alpha} \quad (6)$$

산란일사는 광학적 등방성(isotropy)이 적용될 수 있으므로 수광량은 수광면의 각도에 무관하며 천공의 개방도(sky view factor)에만 의존한다. 따라서 경사면의 산란일사 수광량은

$$S_{d1} = S_{d0} \cos^2\left(\frac{a}{2}\right) \quad (7)$$

로 표현된다. 여기서 $\cos^2\left(\frac{a}{2}\right)$ 는 1을 최대값으로 하는 sky view factor를 가리킨다.

두 가지 성분을 합치면 각각 수평면과 경사면이 받는 시간대별 일사량을 구할 수 있으며, 이들을 오전 11시부터 오후 3시까지 적산하여 양자의 차이를 계산한 것이 식 (2)의 분자에 해당한다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 개방도의 공간분포 양상

표고 이외에 한 지역의 지형특성을 나타내는 방법으로서 지형음영(hill shade), 경사도(slope), 그리고 경사향(aspect) 등을 들 수 있는데, 10 m DEM을 토대로 이들을 생성하고, 개방도와 함께 비교한 것이 Fig. 2이다. 지형음영(Fig. 2A)은 북서쪽 45도 각도에서 입사되는 빛이 만들어내는 지형의 그림자이다. 따라서 육안으로 봤을 때 지형기복의 특징을 실제지형에 가장

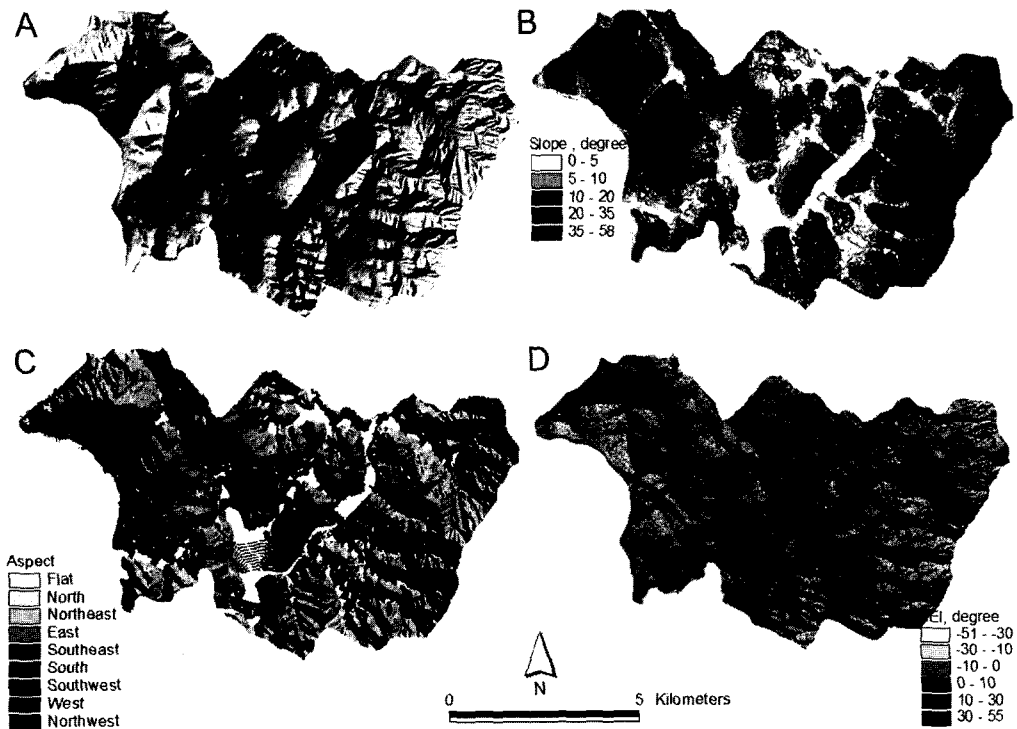


Fig. 2. The hill shade (A), slope (B), aspect (C), and exposure index (D) of the study area calculated from a 10-m DEM.

가깝게 표현하는 장점을 갖고 있다. 경사도로 표현된 지형도(Fig. 2B)는 평야지와 산간지역을 가장 간편하게 구분할 수 있도록 해 주며, 산간지역 가운데서도 험준한 곳을 한 눈에 가려낼 수 있다. 이 계산에 의하면 동계면의 토지는 최대 경사도가 58도나 되는 곳도 있지만, 10도 이내의 평지에 해당하는 grid cell도 163,526개로 전체 면적의 28.5%이다. 지형을 경사향으로 표현할 경우(Fig. 2C), 높낮이나 경사도와는 상관없이 사면이 향한 방향을 정확히 표현해 주므로 물이나 찬공기의 흐름을 추정하는데 편리하다(Chung *et al.*, 2002). 계산에 의하면 동계면 내에서 남동-남-남서 등 남향 계열의 경사향을 가진 grid cell이 185,848개로서 전체의 32.3%에 달한다. 경사도와 경사향을 동시에 고려할 경우도 있는데, 앞의 예에서 경사도가 10도 이내이면서 남향계열인 grid cell만 찾아보면 모두 45,488개로서 동계면 전체 토지면적의 7.9%이다. 개방도 역시 경사도와 경사향을 동시에 고려한 지표로서 한낮의 일사수광량과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Regniere, 1996). 동계면 내의 개방도 분포를 보면 음영에 의한 지형기복도와 흡사한 면이 있는 한편, 인접한 grid cell 간에 불연속적인 특성이 두드러짐을 볼 수 있다(Fig. 2D). 즉 경사향은 비슷할지라도 경사도에 따라 크게 다른 개방도를 가질 수 있다.

순창군 동계면의 지형을 나타내는 573,650개의 grid cell에 대하여 개방도를 계산한 결과 최대값 55.4, 최소값 -51.4, 평균값 3.68로서 표준편차는 13.0 이었다. BioSIM에서 개방도의 범위를 -45에서 +45까지 잡는 것을 감안하면, 동계면은 좁은 지역임에도 불구하고 다양한 지형특성 덕분에 매우 넓은 범위의 개방도 값이 계산되었음을 알 수 있다. 따라서 개방도와 과열지수간 관계를 검증하기 위해 동계면이 좋은 조건을 갖춘 곳임이 확인된다. 평균값이 0보다 크다는 것은 이 지역의 사면방향이 평균적으로 봤을 때 남향보다는 북향으로 더 많이 열려있다는 뜻이 될 것이다. 동계면 전체 토지를 개방도 값에 따라 나누어 보면 0보다 큰 지역이 61%, 작은 지역이 31.4%로서 실제로 북향 사면이 훨씬 더 많은 것을 알 수 있다(Table 1). BioSIM에서는 이 값들이 일 최고기온 추정(수평면에 놓인 인근 기상관측 값을 보정)에 이용되므로, 동계면에 적용한다면 인근 입실기상관측소보다 낮은 기온이 추정되는 지역이 그 반대인 지역보다 거의 두 배나 넓은 것

Table 1. Spatial statistics of “Overheating Index (OI)” calculated for 573,650 grid cells with a 10 m spacing in the study area (Donggye-myun, Sunchang County, Korea) on summer solstice, fall equinox and winter solstice, respectively. Also shown are the “Exposure Index” - related statistics in the same area.

Statistics	Overheating Index			Exposure Index (degree)
	22 June	21 Sept.	22 Dec.	
Minimum	-0.503	-0.734	-0.416	55.4
Maximum	0.089	0.242	0.356	-51.4
Mean	-0.027	0.004	0.005	3.7
S.D. [†]	0.067	0.087	0.121	13.0
Number of Grid Cells with				
Negative OI	344,520 (60.1%)	303,239 (52.9%)	296,399 (51.7%)	350,150* (61.0%)
Positive OI	185,956 (32.4%)	227,238 (39.6%)	236,310 (41.2%)	180,345** (31.4%)

[†]Standard deviation

*Northern Exposure Index

**Southern Exposure Index

임을 짐작할 수 있다.

3.2. 과열지수의 공간분포 양상

개방도 값이 계절에 무관하게 하나의 값을 갖는 데 비해 계산된 과열지수는 계절에 따라 상당히 큰 변이를 보였다. 하지, 추분, 동지의 과열지수를 계산하여 비교한 것이 Table 1이다. 사흘 모두 평균값은 거의 0에 가깝지만 태양고도가 낮아질수록 약간씩 증가하는 경향이다. 같은 지역에서 과열지수의 최소값은 동지보다 오히려 추분에 더 낮아져 일정한 경향을 찾기 어렵지만, 과열지수의 최대값은 태양고도가 높은 하지의 경우 수평면과 비슷한 0.089, 추분에는 0.242, 동지에는 0.356으로 급격히 증가하였다. 즉 하지에 비해 추분 및 동지에는 사면의 일 최고기온이 평지에 비해 높은 값을 가질 확률이 커진다는 것을 의미하는데, 과열지수 대신 개방도를 사용할 경우 이러한 계절적 효과를 기대할 수 없다.

같은 지형이 만들어 내는 공간변이의 폭 역시 양자간에 차이가 있는데, 개방도의 경우 대상지역 내 공간변이의 범위가 -51.4부터 55.4로 0을 중심으로 거의 균형을 이루고 있는 반면, 과열지수는 0보다 작은 쪽(대체로 북향사면)에서 더욱 큰 변이폭을 보인다. 표준편차로 표현할 경우 공간변이의 폭 역시 태양고도가 낮

아질수록 증가하는 것을 알 수 있다.

과열지수를 기준으로 0보다 작은 지역(대체로 북향)과 0보다 큰 지역(대체로 남향)으로 나누고, 그 분포 비율을 개방도에 의한 분포비율과 비교해 보면, 하지의 과열지수 분포가 개방도 분포와 가장 유사함을 알 수 있다(Table 1). 만약 과열지수를 일 최고기온 추정치에 사용한다면, 이 비율을 토대로 추정할 경우, 하지에는 개방도를 사용한 경우와 비슷한 60%가 수평면보다 낮은 기온을 갖게 된다. 그러나 추분과 동지에는 이 비율이 50% 대로 낮아진다. 예를 들어 과열지수 대신 개방도에 의해 일 최고기온을 추정할 경우 대상 지역 전체 면적의 최고 10% 까지 실제 분포양상과 상반된 값을 가질 수 있다는 뜻이다.

계절별 과열지수의 공간분포 양상을 그림으로 표현하여 이를 개방도의 분포와 비교해보면 그 차이가 보

다 뚜렷해진다(Fig. 3). 그림에서 보인 지역은 동계면의 중앙에 위치한 곳으로 북동쪽에서 남서쪽으로 오수천이 흐르며 북서쪽에는 가파른 언덕이 자리한 지역이다. 비교의 편의를 위해 개방도와 과열지수를 모두 평균값으로 부터의 편이(표준편차)로 표현하였다. 경사지에서의 분포양상은 개방도 쪽이 훨씬 복잡한 것이 특징인데, 과열지수의 분포가 동질적인 값들이 뭉쳐있는 양상을 보인다면, 개방도는 이질적인 값을 가진 픽셀들이 혼재되어 있음을 알 수 있다(Fig. 3A). 과열지수의 분포양상은 계절별로 상당히 달라지는 것을 확인할 수 있는데, 오수천 북서쪽에 인접한 남동향 급경사 언덕배기의 경우, 하짓날 한낮에는 평지에 비해 대체로 작은 과열지수가 계산되는데, 추분에는 이 경향이 약해져서 수평면과 비슷한 값을 갖는 구역이 늘어나고 동지에는 대부분 수평면에 비해 훨씬 큰 값을 갖는다.

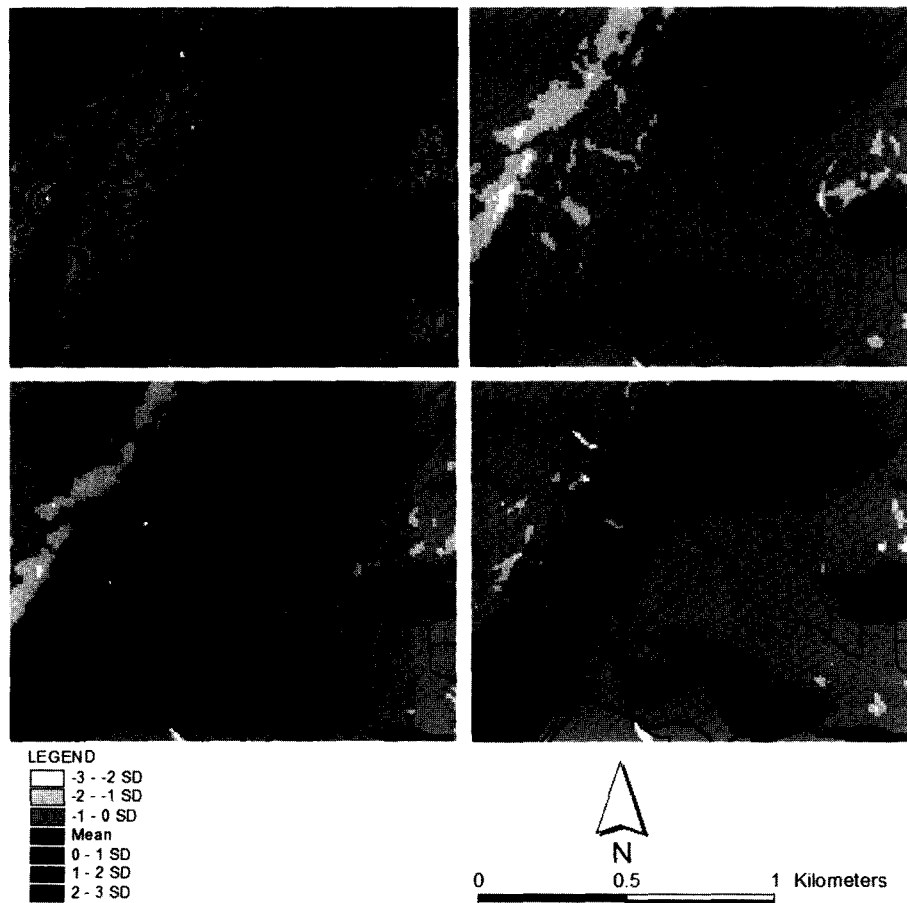


Fig. 3. Spatial distribution of overheating index for summer solstice (B), fall equinox (C), and winter solstice (D). The exposure index (A) is also shown for comparison. Classification by standard deviation was applied to all cases.

개방도의 경우 이 지역은 대체로 수평면에 비해 “북향”으로 열린 픽셀이 많으며 하지의 과열지수 양상과 가장 닮았다. 즉 전체적으로 봤을 때 개방도와 과열지수간 분포양상에 있어 닮은 점이 인정되지만, 국지적으로 계절의 영향을 고려하기 시작하면 두 변량간 차이점이 뚜렷해진다.

3.3. 개방도와 과열지수간 관계

연구대상지역의 573,650개 grid cell에서 계산된 춘분(추분), 하지, 동지의 과열지수를 연중 같은 값을 갖는 개방도와 1:1로 비교한 것이 Fig. 4이다. 각 그림의 산포도를 설명할 수 있는 최적 2차 함수식을 유도해보면 결정계수(R^2)의 범위가 0.44(동지)에서 0.56(추분)에 머문다. 순창군 동계면의 위도는 35.4N이므로 Regnier(1996)의 계산대로라면 이차 다항식의 결정계수가 연중 최저 0.75에서 최고 0.91 사이에 들어야 한다. 우리의 계산결과에 의하면 결정계수의 계절적인 변동 뿐 아니라 값 자체가 기대에 크게 미치지 못한다.

그림의 특징을 보면 개방도가 0에 가까울 경우(즉 수평면)보다 0으로부터 멀어질수록 오차가 급격히 커지고 있다. 예를 들어 개방도가 20으로 동일한 지역이라도 과열지수는 -0.4에서 +0.1 까지 크게 다를 수 있다는 것이다. BioSIM의 방법대로 이들 가운데 8개를 선택하여 산술평균을 얻는다면, 그 값이 해당 사면의 과열지수로서 대표성을 가질 확률은 높지 않을 것이다. 이러한 과열지수의 변이는 계절에 따른 것이 아니라 같은 날짜에 동계면처럼 좁은 지역에서도 항상 생길 수 있는 오류이기 때문에 그 문제가 심각하며, 적절한 보정방법을 찾기도 어렵다.

Regnier(1996)는 과열지수의 변이를 개방도에 의해 설명할 수 있는 관계식을 얻기 위해 0-45도의 경사도와 0-360도의 경사향 범위에서 몇 개의 조합을 선정하고 이들 조합에 대해서 식 (1)과 (2)를 이용하여 과열지수와 개방도를 계산하였다. 즉 자연상태에서 나타날 수 있는 거의 무한대의 조합 가운데 인위적으로 설정한 수백 개 정도만을 대상으로 한 실험이었다. 반면 우리의 실험은 57만 개의 자연상태 조합에 대해 동일한 계산을 수행하였다. 두 실험의 결과를 비교해보면 개방도와 과열지수 사이의 관계를 설명하기 위한 회귀식의 형태는 유사하지만, 전반적인 관계는 예상보다 느슨하였고, 특히 개방도가 0으로부터 멀어질수록, 즉 지형이 복잡해질수록 설명변수로서의 신뢰성에 치

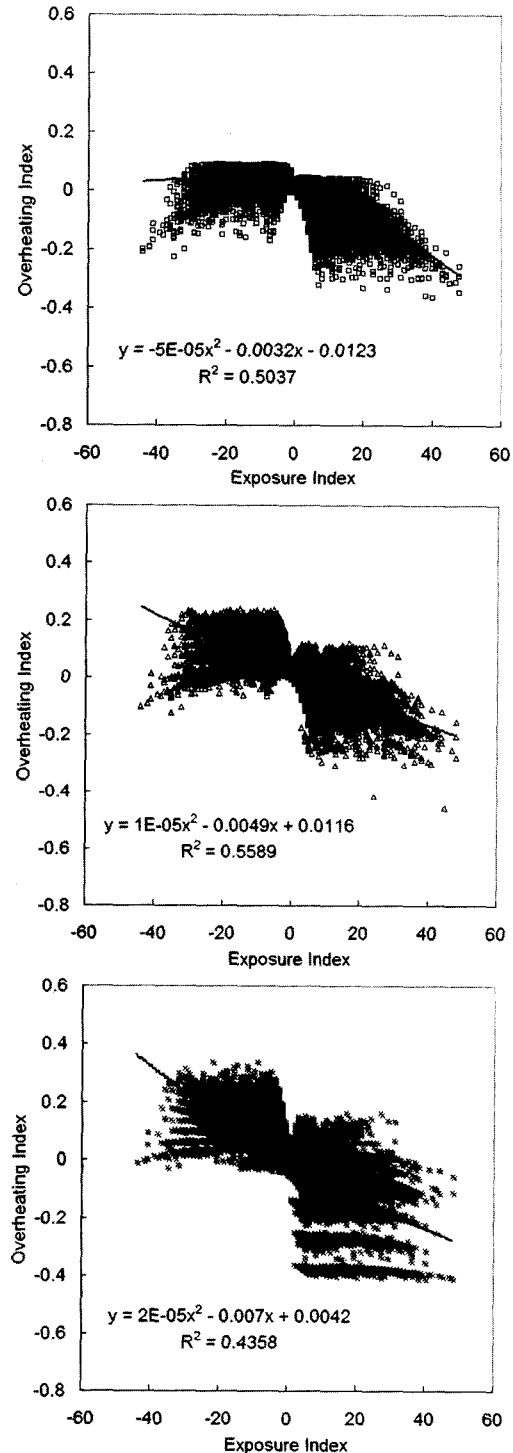


Fig. 4. Relationship between the exposure index and the overheating index calculated for 573,650 grid cells on summer solstice (top), fall equinox (middle), and winter solstice (bottom).

명적인 결점을 보였다.

결론적으로 개방도는 우리나라처럼 지형이 복잡한 곳에서는 일 최고기온 추정시 과열지수를 대신할 수 없다. 이미 사면상의 시간대별 일사량 계산방법이 경관규모에서 실용화 되었으므로(Yun and Taylor, 1998; Chung and Yun, 2002), 이들 가운데 한낮 4시간의 일사량을 적산하여 얻어지는 과열지수 계산은 사실상 매우 간단한 일이다. 오히려 과열지수를 사용한 일 최고기온 추정값이 신뢰성을 더하기 위해서는 다양한 지표피복 조건(삼림, 농경지, 과수원 등)에서 계절별로 적절한 ΔT_R 을 찾는 일이 더욱 중요할 것으로 보인다.

IV. 적 요

온도기반 생태모형을 경관규모에 적용하기 위해 널리 쓰이는 BioSIM을 우리나라 환경에 도입할 경우 예상되는 문제점을 파악하기 위해 먼저 일 최고기온 추정과정을 검토하였다. 과열지수 대신 사용되는 개방도의 신뢰성을 검증하기 위해 전라북도 순창군 동계면 전역을 대상으로 10×10 m 면적 단위로 총 57만여 개 지점의 개방도를 계산하고, 같은 지점에 대해 추분, 하지, 동짓날의 과열지수를 계산하였다. 각 날짜별 과열지수의 변이를 개방도에 의해 설명하기 위한 2차 회귀식을 작성한 바 회귀식의 결정계수(R^2)는 동지에 0.44, 하지에 0.50, 추분에 0.56으로 Regniere(1996)의 추정치 0.7-0.9에 비해 크게 낮았다. 따라서 개방도를 사용하여 추정된 복잡지형의 일 최고기온값은 신뢰도가 낮아 생태모형의 구동변수로 부적합하므로 반드시 과열지수를 직접 계산해서 사용해야 한다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 대형공동연구사업(과제명: 사과 저수고 밀식재배과원 종합관리기술 개발) 지원으로 수행되었다.

인용문헌

- hourly air temperature over sloping surfaces based on a solar irradiance correction. *Korean J. Agricultural and Forest Meteorology*, **4**(2), 95-102. (in Korean with English abstract)
- Chung, U., H. H. Seo, K. H. Hwang, B. S. Hwang, and J. I. Yun, 2002: Minimum temperature mapping in complex terrain considering cold air drainage. *Korean J. Agricultural and Forest Meteorology*, **4**(3), 133-140. (in Korean with English abstract)
- Regniere, J., 1996: A generalized approach to landscape-wide seasonal forecasting with temperature-driven simulation models. *Environmental Entomology*, **25**(5), 869-881.
- Regniere, J. and J. A. Logan, 1996: Landscape-wide projection of temperature-driven processes for seasonal pest management decision support: a generalized approach. In Shore, T. L. and D. A. MacLean (eds.) *Decision Support Systems for Forest Management*, Proceedings of a Workshop at the Joint Meeting of the Entomological Societies of Canada and British Columbia (Victoria, BC, Canada, Oct. 17, 1995), 43-55.
- Regniere, J. and A. Sharov, 1999: Simulating temperature-dependent ecological processes at the sub-continental scale : male gypsy moth flight phenology as an example. *International Journal of Biometeorology*, **42**, 146-152.
- 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. 50p.
- Regniere, J., D. Lavigne, R. Dichison, and A. Staples, 1995: Performance Analysis of *BioSIM*, a Seasonal Pest Management Planning Tool, in *New Brunswick in 1992 and 1993*. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service Info. Rep. LAU-X-115. 28p.
- Russo, J. M., A. M. Liebhold, and J. G. W. Kelley, 1993: Mesoscale weather data as input to a gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) phenology models. *Journal of Economic Entomology*, **86**, 838-844.
- Schaub, L. P., F. W. Ravlin, D. R. Gray, and J. A. Logan, 1995: Landscape framework to predict phenological events for gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) management programs. *Environmental Entomology*, **24**, 10-18.
- Yun, J. I. and S. E. Taylor, 1998: Modeling soil temperature of sloped surfaces by using a GIS technology. *Korean J. Crop Science*, **43**(2), 113-119.
- Chung, U. and J. I. Yun, 2002: Spatial interpolation of