

# 우리나라 열대야 현상 발생의 시·공간적 특징과 최근의 변화\*

최광용\*\* · 권원태\*\*\*

## Spatial-Temporal Patterns and Recent Changes of Tropical Night Phenomenon in South Korea\*

Gwangyong Choi \*\* · Won-Tae Kwon\*\*\*

**요약** : 본 연구에서는 우리나라에서 야간의 시간진행에 따라 발생하는 열대야 현상의 평균적인 시·공간적 패턴과 기후인자와의 관련성 그리고 최근의 변화경향을 밝히고자 하였다. 이를 위해, 장기간(1973-2004) 우리나라 61개 관측지점의 야간 6시간별(9PM, 3AM) 기온 및 일 최저기온 자료를 바탕으로 각 시간대별 열대야 현상의 평균 발생빈도를 산출하였다. 시간적으로, 우리나라 열대야 현상은 연중 여름철 장마휴지기(7월 하순-8월 초순)에 집중하여 발생하며, 저녁(9PM)열대야 현상이 심야(3AM)나 새벽열대야 현상에 비해 많이 발생한다. 공간적으로, 저녁열대야 현상이 도시열섬 현상으로 저위도 내륙의 대도시에서 많이 발생하는 반면, 심야열대야 현상과 새벽열대야 현상은 따뜻한 해양의 열 관성의 영향을 받는 해양으로부터 30km 이내 해안가 지역을 따라서 많이 발생한다. 대조적으로, 저녁(새벽)열대야 현상은 고도상승에 따른 기온감률 때문에 태백·소백 산맥의 해발고도가 800m(300m)이상이 되는 고지대에서는 전혀 발생하지 않는다. 상관분석과 다중회귀분석 결과, 위도, 해발고도, 해양과의 인접성, 인구밀도 등의 자연적·인위적 기후인자는 야간에 시각에 따라 열대야 현상의 발생빈도에 다양하게 영향을 주고 있음이 밝혀졌다. 또한, 1990년 이후에는 이전에 비하여 늦장마 시기의 변화와 도시화의 심화로 인해 열대야 현상의 발생빈도가 주로 대도시를 중심으로 증가하였다. 따라서, 차후에는 인위적으로 증가하는 도시열대야 현상을 저감시키기 위한 대책이 마련되어야 할 것이다.

**주요어** : 열대야 현상, 야간 기온, 해양 열 관성, 도시화, 자연적·인위적 기후인자, 다중회귀분석, 지역기후변화

**Abstract** : This study examines relationships between climatic factors and spatial-temporal patterns and recent changes of tropical night phenomenon(TN) occurring through nighttime stages in South Korea. Frequencies of daily TN at different times of night are extracted from long term(1973-2004) 6 hourly nighttime(9PM and 3AM) temperature and daily minimum temperature data at 61 weather stations. Temporally, the occurrences of TN are more pronounced in the evening(9PM) and during the Changma Break period(late July - early August). Spatially, the TNs in the evening frequently occur in the urbanized inland cities at low latitudes due to urban heat islands, whereas the TNs in the middle of night(3AM) or at dawn frequently appeared along the coastal areas within 30km from ocean due to the thermal inertia of ocean. By contrast, the evening(dawn) TN is not seen in the highlands whose elevation is greater than 800m(300m) along the Taebaek and Sobaek mountain ridges due to temperature lapse rates with height. Correlation and multivariate regression analyses reveal that the impacts of human or physical climatic factors, such as latitude, elevation, proximity to ocean, and population density, are diverse on the frequencies of TN according to

\* 본 연구는 기상청 기상연구소 “기후변화 협약 대응 지역 기후 시나리오 활용 기술 개발” 연구 프로젝트의 지원에 의해 진행되었다.

\*\* 미국 럿거스 뉴저지주립대학교 지리학과 박사수료(Ph.D. Candidate, Department of Geography, Rutgers The State University of New Jersey, USA), tribute@hanmail.net

\*\*\* 기상청 기상연구소 기후연구실 연구실장(Director, Climate Research Laboratory, Meteorological Research Institute, Korea Meteorological Administration)

nighttime stages. Recent temporal changes of the Late Changma period and intensified urbanization during the 1990s have increased the occurrences of TN in urban areas. Therefore, strategies to mitigate the increasing urban TN should be prepared in the near future.

**Key Words** : tropical night phenomenon, nighttime temperature, thermal inertia of ocean, urbanization, human and physical climatic factors, multivariate regression analysis, regional climate change.

## 1. 서론

1990년대 이후 더욱 뚜렷하게 나타난 지구온난화 현상은 무더운 여름철 야간기온의 상승에 가장 탁월하게 반영되고 있다(Easterling *et al.*, 1997; Zhai *et al.*, 1999; Bonsal *et al.*, 2001). 이러한 여름철 야간기온 상승은 사회·경제·보건 등 다양한 측면에서 인간 생활에 영향을 미치고 있다. 야간의 고온발생은 일차적으로 인체에 누적된 피로를 해소시키는 인간의 수면활동을 방해한다. 야간 무더위로 인한 수면부족은 인간의 주간 경제생활활동의 효율성을 떨어뜨린다. 심지어 최근에는 우리나라 대도시에서는 주·야간의 강한 무더위가 심혈관계 질병을 가지고 있는 노약자의 사망자수를 증가시키고 있는 것으로 밝혀졌다(최광용 외, 2005). 또한, 에어컨 등의 냉방장치가 널리 보급됨에 따라, 야간 무더위시 야간 전력사용량 급증으로 과부하가 발생하여 전력공급이 중단되는 사례도 있었다(한국일보 2005년 7월 25일자).

이러한 야간 무더위는 동북아시아 몬순기후지역에 속한 한반도에 여름철 야간에 반복하여 발생하는 기후특징 중의 하나이다. 한반도는 여름철에 고온다습한 북태평양 고기압의 영향하에 자주 놓이게 되어 야간에도 열대저지대에서 발생하는 기후상태와 유사한 무더운 날씨가 자주 발생한다. 이러한 여름철 야간에 발생하는 고온다습한 무더위는 열대야 현상(Tropical Night Phenomenon)이라고 불리며, 최근 우리나라의 일기에 보에도 사용되고 있다.

미국, 중국 등 다른나라에서는 장기간의 시간별 자료를 이용하여 야간의 진행에 따른 기온의 장기간 추세나 고온현상 발생빈도의 변화에 대한 기후학적 연구

들이 수행되었다(Gaffen and Rebecca, 1998; Gaffen and Ross, 1999; Wang and Gaffen, 2001). 그러나, 우리나라의 장기간 여름철 기온변화에 대한 대부분의 기후학적 연구들은 일 최고기온 혹은 일 평균기온을 이용하여 주간 고온현상(이장렬, 1977; 최광용 외, 2000) 혹은 저온현상(박병익, 1996; 김해구 외, 1997)에 주로 초점을 두어왔다. 반면, 장기간 자료를 바탕으로 한 야간고온 발생의 평균이나 그 빈도의 장기간 추세변화에 대한 기후학적 연구들은 최근에 진행되기 시작하였다(최광용 외, 2002; 최영은, 2004). 최광용 외(2002)는 장기간(1973-1998)의 기온과 습도를 동시에 고려한 열지수(Heat Index)를 바탕으로 오전 3시에 남한에서 발생한 높은 열지수 발생빈도의 분포를 분석하였다. 최영은(2004)도 전국 14개 지점을 대상으로 연중 일 최저기온이 90th percentile 이상의 야간고온 발생빈도의 장기간 추세를 분석하였다. 이외에도 단기간의 국지적 열대야 현상 사례에 대한 기상학적 모델개발에 대한 시도가 있었다(최효, 2004). 또한, 최근 우리나라 기상청에서도 야간고온 발생 예보의 중요성을 인식하여, 일 최저기온 25°C 이상일 때 열대야 현상이 발생한 것으로 정의하고, 30년 일 최저기온 자료를 토대로 연평균 열대야 현상 발생빈도의 기본분포도를 작성하였다(기상연구소, 2001a and 2001b). 그러나, 지금까지 야간의 시간진행에 따라 발생하는 열대야 현상의 공간분포 특징을 종합적으로 분석하고, 그 원인을 밝힌 연구는 없었다.

여름철 야간의 고온현상을 지칭하는 열대야 현상(Tropical Night Phenomenon)라는 용어는 우리나라에서만 사용되는 것은 아니다. 이웃나라 일본에서는 Nettaiya(Tropical Nights in Japanese)라고 불리며, 노

르웨이, 네델란드, 독일, 이탈리아, 체코 등의 유럽 지역에서도 열대야 현상이라는 용어가 널리 사용되고 있다(Vaña *et al.*, 2001; Colombo *et al.*, 2005). 그러나, 열대야 현상의 발생유무를 결정하는데 주로 일 최저기온을 사용하지만 구체적인 임계치는 지역마다 다르다. 가령, 유럽지역에서는 일 최저기온이 20°C 이상일 때를 열대야 현상이 발생한 것으로 보지만(Vaña *et al.*, 2001; Colombo *et al.*, 2005), 우리나라와 일본 등 동북아시아에서는 일 최저기온이 25°C 이상일 때를 열대야 현상이 발생한 것으로 간주한다(기상연구소, 2001a; Shimoda, 2003; <http://www.cop.ne.jp/2005/frame04en.html>).

그러나, 일 최저기온만을 이용하여 열대야 현상을 정의할 경우에는 저녁이나 심야까지만 지속되고 사라지는 열대야 현상을 탐지하기가 쉽지 않다. 최근 최광용 외(2002)는 열대야 현상을 정의하기 위해 열지수 26.7°C(80°F)라는 임계치를 사용하였는데, 제시된 열지수표에서 습도의 영향을 제거하고 기온만으로 열대야 현상을 정의하면 기상청에서 제시한 25°C와 유사한 값이 된다. 최광용 외(2002)에서 소개된 미국 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 사용하고 있는 각 기온임계치별 인체 생리반응을 기준에 따르면, 열지수가 26.7°C 인 환경에 장기간 노출하거나 육체운동을 하게되면 열스트레스가 누적된다. 따라서, 인간 생리상학적으로 기온이 25°C 이상의 무더운 환경은 되는 저녁이나 심야에도 인체에 열스트레스로 유발하여 수면을 방해하게 된다. 또한, 열대야 현상의 발생 유무를 결정하는데 사용되는 임계치(25°C)는 우리나라 정부가 에너지 절약 정책의 일환으로 공공장소에서 에어컨 사용 시점을 결정하는 임계치(25~27°C 이상)와도 거의 일치한다. 따라서, 열대야 현상의 발생 유무를 파악하는 데 기온이 25°C 이상일 때는 생리기후학적으로도 중요한 의미를 지니고 있다. 그러나, 지금까지 연구들은 열대야 현상을 일 최저기온을 사용하여 새벽까지 발생하는 현상으로 간주하여 왔기 때문에, 실제 잠자리에 드는 저녁시간에 발생하여 심야까지만 지속되다가 사라지는 열대야 현상에 대한 연구는 이루어지지 못하였다.

따라서, 본 연구에서는 장기간(1973-2004)의 야간 시간별 기온자료를 바탕으로 여름철 진행 및 야간의

시간흐름에 따라 발생하는 열대야 현상의 평균적인 시·공간적 특성을 분석하고, 이에 영향을 미치는 주요 기후인자를 밝히고자 하였다. 4-10월 전국 61개 지점의 오후 9시와 오전 3시의 기온 및 새벽에 관측되는 일 최저기온 자료를 바탕으로 열대야 현상의 일별 혹은 월별 발생빈도의 특징을 분석하였다. 또한, 이러한 장기간 평균적인 열대야 현상 발생빈도의 공간패턴과 위도, 해발고도, 해양과의 거리, 인구밀도 등의 기후인자와의 관련성을 정량화하고자 하였다. 또한, 야간의 지역기후변화와 관련하여 전세계적으로 온난화가 감지되는 1990년 이후에 한반도 열대야 현상의 발생빈도에 어떠한 변화가 있었는지를 밝히고자 하였다.

## 2. 자료 및 연구방법

본 연구에서는 우리나라에 기상관측 지점이 현저하게 증가한 시점을 고려하여, 지난 32년(1973-2004) 동안 전국 61개 지점의 4-10월 중 야간 6시간별(9PM, 3AM) 기온자료와 새벽에 주로 관측되는 일 최저기온 자료를 사용하였다(Figure 1). 열대야 현상의 발생빈도를 산출하기 위하여, 앞에서 제시한 생리기상학적인 근거에 기반하여 야간 각 시간대별로 기온이 25°C 이상인 경우를 기준으로 삼았다. 새벽에 일 최저기온이 25°C으로 열대야 현상이 발생한 경우에는 오후 9시와 오전 3시에도 열대야 현상이 발생하여 새벽까지 지속된 경우가 대부분이다. 마찬가지로, 오전 3시에 열대야 현상이 발생한 경우에는 오후 9시에 열대야 현상도 발생하여 심야까지 지속된 경우이다. 따라서, 본 연구에서는 오후 9시에 발생한 열대야 현상을 “저녁열대야 현상”으로, 오전 3시에 발생한 열대야 현상을 “심야열대야 현상”으로, 일 최저기온을 기준으로 발생한 열대야 현상을 “새벽열대야 현상”으로 정의하였다. 특히, 심야열대야 현상의 경우는 자정(OAM)의 기온을 사용하는 것이 더 타당하지만, 그 시각에 장기간 관측된 자료가 없고 하루동안의 기온변화를 살펴보면, 오전 3시에 열대야 현상이 발생하면 실제 심야에 해당하는 이전 시간에도 열대야 현상이 발생한 경우이기 때문에 오전 3시 기온을 그대로 사용하였다. 그 후, 열대야 현상이

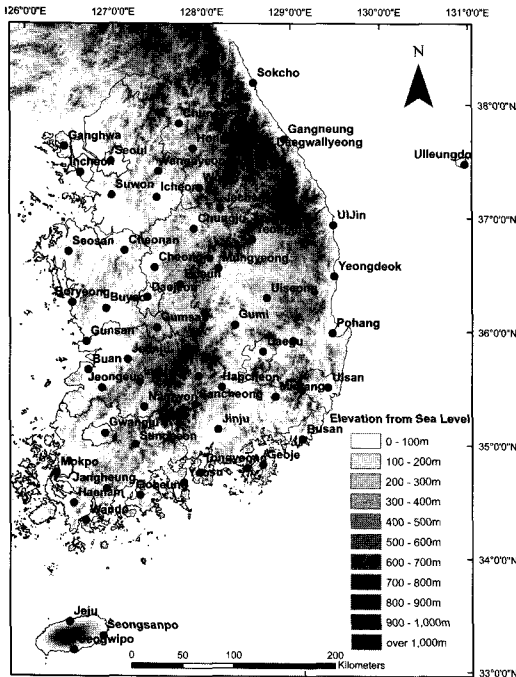


Figure 1. Topography and locations of 61 weather stations in South Korea(1973-2004).

여름철뿐만 아니라 늦봄이나 초가을에도 발생가능할 것으로 예상되어, 4-10월 동안 전 지역(61개 지점)에 걸쳐 일별 혹은 월별로 발생한 저녁 및 심야, 새벽열대야 현상의 빈도를 산출하였다. 본 연구에서는 32년 동안의 기후학적 평균적인 발생빈도를 사용하였기 때문에, 특정 연도(가령, 2000년도)의 관측방법의 대체 또는 국지적인 관측지점의 근접이동이 이러한 32년 동안의 평균값에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 간주하였다.

우선, 우리나라에서 야간동안의 시기별(저녁 및 심야, 새벽)로 열대야 현상이 자주 발생하는 보편적인 연중 시기를 파악하기 위해, 야간 시기별로 일평균 총 열대야 현상의 발생지점수를 구하여 총 관측지점수로 나누어 백분율(%)로 전환한 후 시계열을 작성하였다. 보다 세부적으로 전국 61개 관측 지점별로 열대야 현상이 주로 발생하는 7-8월의 일평균 열대야 현상의 발생률의 변화를 살펴보기 위해 가로축을 위도별(위 고위도, 아래 저위도 순)로 배열된 관측된 지점으로 하고 세로축을 날짜로 한 달력을 작성하였다. 각 격자는 음영을 주어 크게 7개의 그룹(0%, 0% 이상-5%미만, 5%

이상-15%미만, 15%이상-25%미만, 25%이상-35%미만, 35%이상-45%미만, 45%이상)으로 구분되는 달력을 작성하였다.

그 후에, 열대야가 많이 발생하는 7-8월의 저녁 및 심야, 새벽열대야 현상의 일별 혹은 월별 평균 발생빈도를 관측지점(61개)별로 산출하여 기후학적 평균분포도를 작성하거나, 특정해의 편차도를 작성하였다. 지도화는 지리정보시스템(Geographic Information System; GIS)에서 열대야 현상 발생빈도의 평균값과 수치고도 데이터(Digital Elevation Model)에서 추출한 100m 간격의 해발고도 자료를 겹쳐서 직접 화면상에서 등치선을 내삽하는 방법을 이용하였다. 왜냐하면 기온은 기온감율에 따라 해발고도의 영향을 많이 받기 때문에, 해발고도에 대한 보정없이 기온값만을 자동화된 프로그램들의 내삽알고리즘(예를 들면, Kriging)을 사용하면, 우리나라와같이 복잡한 지형을 나타내는 지역의 기온분포도 작성시에는 왜곡이 발생하기 때문이다.

한편, 열대야 현상의 공간분포에 기후인자들이 미치는 영향 정도를 정량화하기 위해, 각 야간 시간대별 열대야 현상의 평균 발생빈도와 상관성이 높을 것으로 예상되는 기후인자들과의 상관분석을 실시하여 Pearson 상관계수를 산출하였다. 사용된 기후인자는 크게 기온에 영향을 미치는 위도 및 해발고도, 해양과의 거리 등의 자연적 요소와 도시화 정도를 나타내는 각 관측지점이 속한 행정구역의 1km<sup>2</sup>당 인구수 등의 인문적 요소로 나뉜다. GIS 프로그램중의 하나로 널리 사용되는 ArcGIS(ver. 9.1)를 이용하여 관측소와 해양 사이의 최단거리를 측정하였고, 인구밀도는 각 기상관측소가 속한 행정구역의 과거 시·군별 자료가 가장 많이 존재하고 연구기간의 중반부에 해당하는 1990년 각 행정구역별 총 인구자료(통계청, 1991)를 각 행정구역의 면적(행정자치부, 2005)으로 나누어 1km<sup>2</sup>당 인구수로 산출하였다. 그 후에 이러한 기후인자들을 독립변수로 하고, 한반도 61개 지점의 평균적인 시간대별 열대야 현상의 발생빈도를 종속변수로 하는, stepwise 방법을 이용한 다중회귀모델(multivariate regression model)을 구축하였다. 이 다중회귀모델은 관측된 기상요소가 없는 지역에서 모델에 사용된 기후인자를 가지고 평균적인 열대야 현상의 발생빈도를 예

측할 수 있는 경험적 통계모델이다.

또한, 1990년대를 기점으로 전세계적으로 나타난 지구온난화가 우리나라의 열대야 현상의 발생빈도에 어떠한 변화를 가져왔는지 파악하기 위해, 1990년 이전과 이후의 각 61개 지점의 야간 시간대별 열대야 현상의 평균 발생빈도에 있어서의 차이를 지도화하였다. 또한 여름철에 어느 시기에 열대야 현상의 발생빈도가 바뀌고 있는지를 파악하기 위해 1990년 이전과 이후의 여름철 일별 열대야 현상 발생 지점수의 차이를 시계열화하여 나타내었다.

### 3. 열대야 현상 발생의 시기

Figure 2는 32년(1973-2004) 동안 평균적으로 우리나라 61개의 기상관측지점 중 여름철 일별 열대야 현상이 발생하는 관측소의 수를 백분율(%)로 나타낸 열

대야 현상 발생확률 시계열 그래프이다. 이 시계열에 따르면, 우리나라에서 저녁(9PM)열대야 현상은 보통 5월 하순경에 처음으로 나타나서 9월 하순경에 사라지게 된다. 여름철에 심야(3AM) 및 새벽열대야 현상이 평균적으로 나타나는 시기는 저녁열대야 현상의 경우보다 대략 10일씩 늦어져 6월 초순과 6월 중순에 각각 처음 나타난다. 열대야 현상의 시작 시기는 야간 시간대별로 상이하지만 열대야가 종결하는 시기는 9월 20일 경으로 거의 유사하게 나타난다. 이러한 일반적인 패턴에서 벗어나 2004년 4월 18일 강릉지역에서는 저녁열대야 현상이 이례적으로 남한에서 가장 빠르게 발생하기도 하였다.

저녁 및 심야, 새벽열대야 현상은 모두 늦봄이나 초여름에 시작된 후에 여름철이 진행됨에 따라 2-4일의 간격을 두고 발생지역의 수가 완급을 거듭하면서 증가한다. 이러한 패턴은 장마기간 중 2-3일의 강수와 휴지를 반복하면서 장마전선이 점핑하는 현상(기상연구

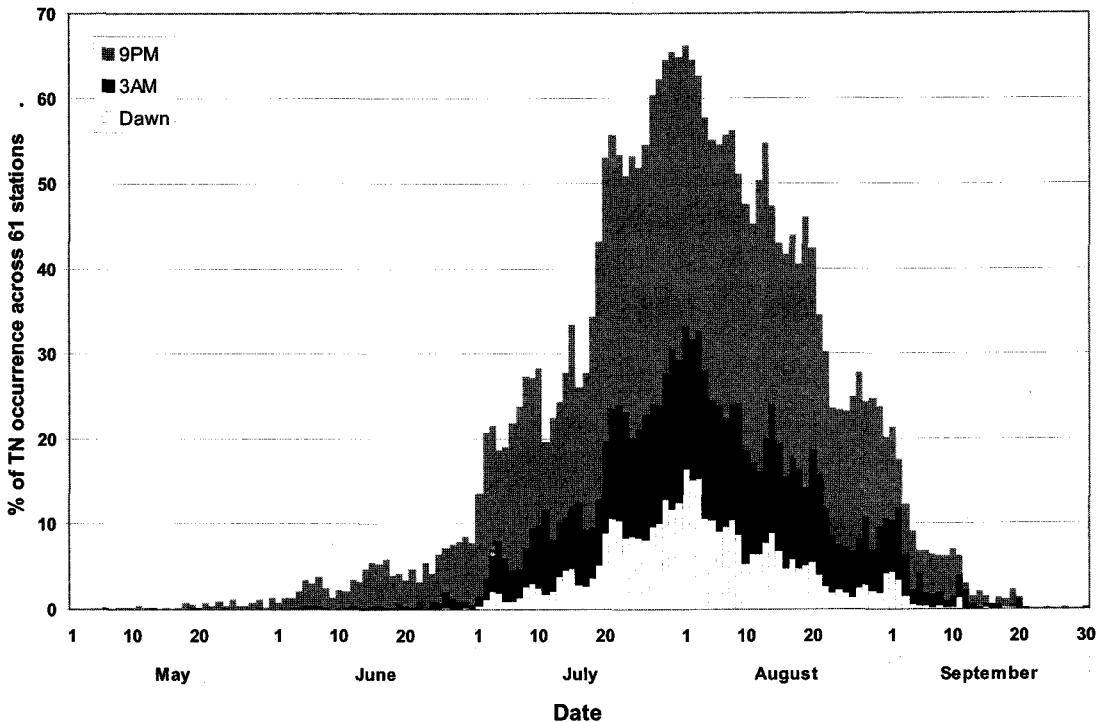


Figure 2. Long-term(1973-2004) averaged daily percentage of occurrences of Tropical Night phenomena across 61 weather stations in the evening(9PM), in the middle of night(3AM), and at dawn when daily minimum temperatures are observed in South Korea.

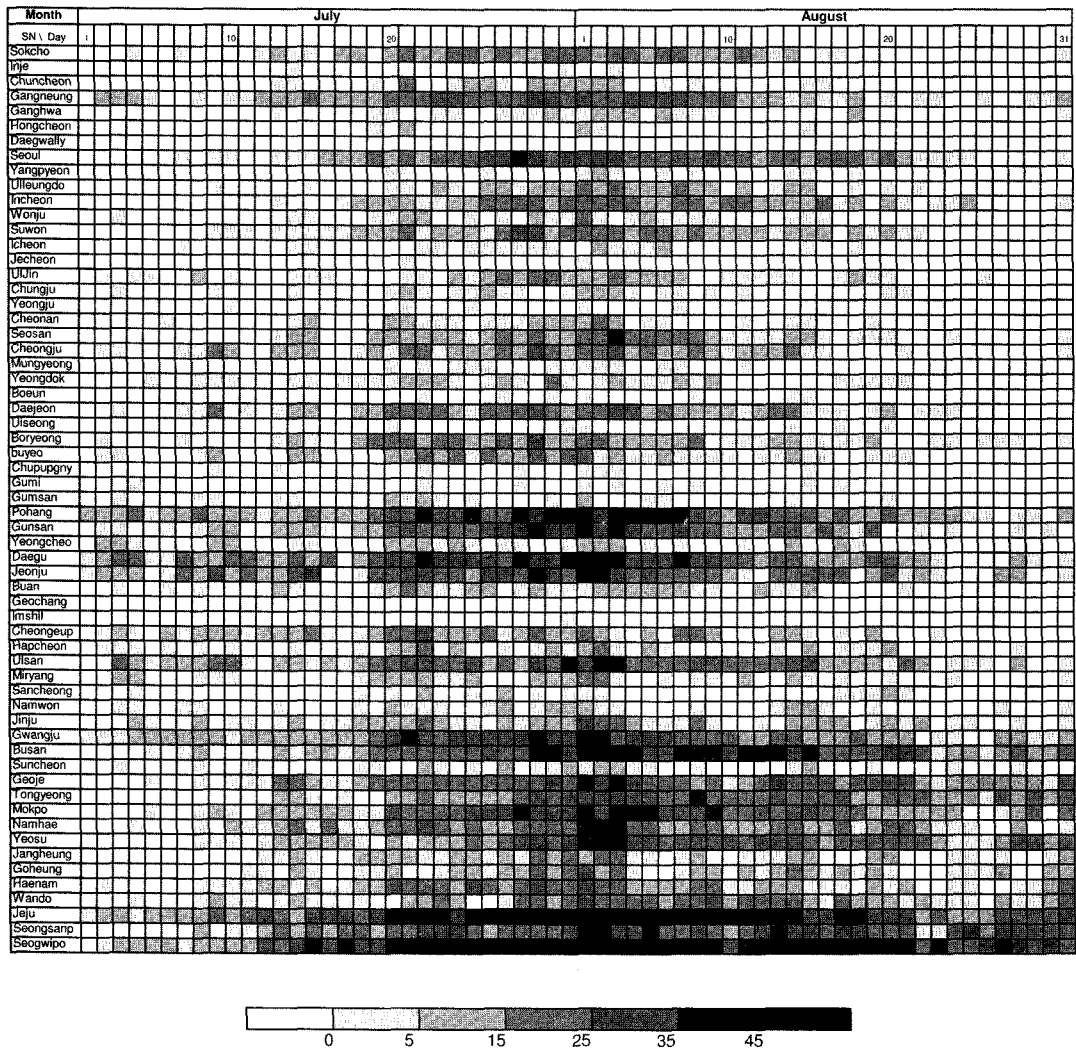


Figure 3. A calendar showing the possibility(%) of daily occurrence of Tropical Night phenomena(TN) at dawn in July and August at 61 weather stations across South Korea. The order of stations from the top in the calendar is made with respect to latitudes, i.e. top of page relates to North.

소, 2004)과 유사하다. 여름철 진행에 따라 증가하는 열대야 현상의 발생지점 수는 여름장마와 늦장마 사이의 장마휴지기 즉, 7월 하순에서 8월 초순사이의 성하기에 최고점에 달하게 된다. 장마휴지기에는 전체 61개의 관측지점의 저녁열대야 현상은 약 50%이상의 관측지점에서, 심야열대야 현상은 20%이상의 지점에서, 새벽열대야 현상은 7%이상의 관측지점에서 발생한다. 즉, 장마휴지기에 열대야 현상의 발생빈도가 최고

조에 이르렀을 때, 저녁에 열대야 현상이 발생하여 심야동안에 사라지는 지역이 모든 관측 지점수의 약 30%에 해당하고, 심야까지 지속하다가 새벽에 사라지는 지역이 모든 관측 지점수의 약 13%에 달한다.

그러나 이것은 장기간 평균적인 기후학적 결과이기 때문에, 매년 야간 시간진행에 따른 남한 전체의 열대야 현상의 발생률은 달라지게 된다. 가령, 연구기간 중 1994년, 1978년, 1973년 7월 초·중순과 8월 하순에는

평년에 비해서 무려 30%이상 더 많은 관측지점에서 저녁열대야 현상이 발생하였다(미제시). 이 무더웠던 해들의 여름철에는 장마가 일찍 종료하거나, 제트기류가 북상하여 북태평양 고기압이 비정상적으로 일찍 확장하였다(이병설과 김성삼, 1983; 김해구 외, 1998). 반면, 1993년과 1980년에는 비정상적으로 발달했던 냉습한 오호츠크해 고기압의 영향으로 여름이 서늘하여(박병익, 1996), 평년에 비해서 성하기를 중심으로 저녁열대야 현상이 발생하는 관측지점의 수가 30% 이상 감소하였다(미제시).

한편, 여름철 7-8월 일별 각 관측지점별 새벽열대야 현상의 발생확률 달력을 살펴보면, 지역마다 열대야 현상이 출현하여 사라지는 시기가 공간적인 차이를 보였다(Figure 3). 해안에서 30km이상 떨어져서, 해발고도 200m이상의 지역에서는 새벽열대야 현상이 거의 발생하지 않는다. 가령, 인제(200.3m) 및 영주(211.7m), 거창(222.4m), 추풍령(244m), 임실(248.4m), 제천(264.7m), 대관령(844m) 등의 지역에서는 7-8월 중 일평균 새벽열대야 현상의 발생률이 5% 이하이다.

반면, 대도시화나 산업화가 이루어진 남부지방의 포항 및 울산, 부산, 대구, 광주, 전주에서는 7월 초부터 새벽열대야 현상이 발생하기 시작하여, 7월 19일부터 8월 17일까지 일별 새벽열대야 현상의 발생률이 다른 지역에 비하여 15%이상으로 높게 나타난다. 중부지방의 서울, 인천 등의 대도시에서도 7월 중순부터 열대야 현상의 발생률이 증가하여 기간은 남부지방에 비해 약간 짧지만, 7월 26일부터 8월 11일에 새벽열대야 현상의 발생률이 거의 매일 15%이상으로 주변지역에 비해 높게 나타난다. 또한, 제주도에서도 농촌에 위치한 성산포와는 달리, 도시화가 진행된 제주시와 서귀포시에서는 7월 19일에서 8월 21일 사이에 새벽열대야 현상의 발생률이 35%이상으로 매우 높게 나타난다.

또한, 제주도와 남해안의 해안 인접지역에서는 7월 13일 이후에 열대야 현상 발생률이 증가하기 시작한다(Figure 3). 이와 같은 저위도 해안지역에서는 고위도 지역에 비해 주간에 지표에서 더 많은 복사에너지가 흡수되어 새벽까지 기온이 높게 지속될 수 있다. 또한, 이러한 해안 인접지역에서는 열 관성을 지닌 해양과

남쪽으로 유입하는 따뜻한 동한해류의 복합적인 영향으로 새벽 기온이 고위도 내륙지역에 비해 상대적으로 적게 떨어진다. 특히 제주도 지역에서는 8월 하순에 늦장마로 인하여 열대야 현상이 약간 줄어들었다가 8월 말-9월초 사이에 새벽열대야 현상 발생률이 다시 높아지는 특징을 보인다. 이외에도 동해안의 북부지역에 위치한 속초, 강릉에서는 동일 위도상의 영서지역에 비해 장마휴지기에 새벽열대야 현상의 발생률이 높다.

#### 4. 열대야 현상 발생의 공간적 분포

장기간(1973-2004) 평균적인 7-8월의 각 야간 시간대별 월평균 열대야 발생빈도 분포도를 분석하여 보면, 저녁열대야 및 심야열대야, 새벽열대야 현상이 많이 발생하거나 거의 발생하지 않는 지역의 공간 패턴은 야간 각 시간대별로 다르게 나타난다(Figures 4-6).

우선, 7-8월에 저녁(9PM) 열대야 현상은 대관령을 포함한 태백산맥 800m이상의 고지대에서는 전혀 발생하지 않는다(Figure 4). 또한 저위도에 위치한 제주도 의 저지대에 위치한 성산포(18.6m)의 연구기간 중 오후 9시 최고 기온기록(2003년 8월 5일 29.5°C)과 해발고도상승에 따른 평균적인 기온감률(0.5°C/100m)을 고려하면, 해발고도 1,000m이상이 되는 한라산의 고산지역에서도 저녁열대야 현상이 전혀 발생하지 않을 것으로 사료된다. 상대적으로, 고위도보다는 저위도지역일수록, 그리고 해양인접 지역보다는 내륙지역일수록, 해발고도가 낮은 저지대일수록, 인구가 많은 대도시일수록 저녁열대야 현상의 발생빈도가 높게 나타난다. 해발고도 200-800m 인 지역에서는 7-8월에 월평균 저녁열대야 현상이 약 5-10일 발생하고, 200m이하의 영서지방과 남부 내륙지역에서는 월평균 약 10-15일 발생한다. 특히, 한반도 내륙지방에서 북서-남동으로 향하는 산맥들 사이의 해발고도 100m이하에 위치한 대도시들(가령, 서울 및 대전, 전주, 광주, 대구)에서는 저녁열대야 현상이 월평균 16일 이상으로 매우 자주 발생한다. 또한, 저위도에 위치한 제주도 해안 저지대에서도 7월(8월)에 저녁열대야 현상의 발생빈도가

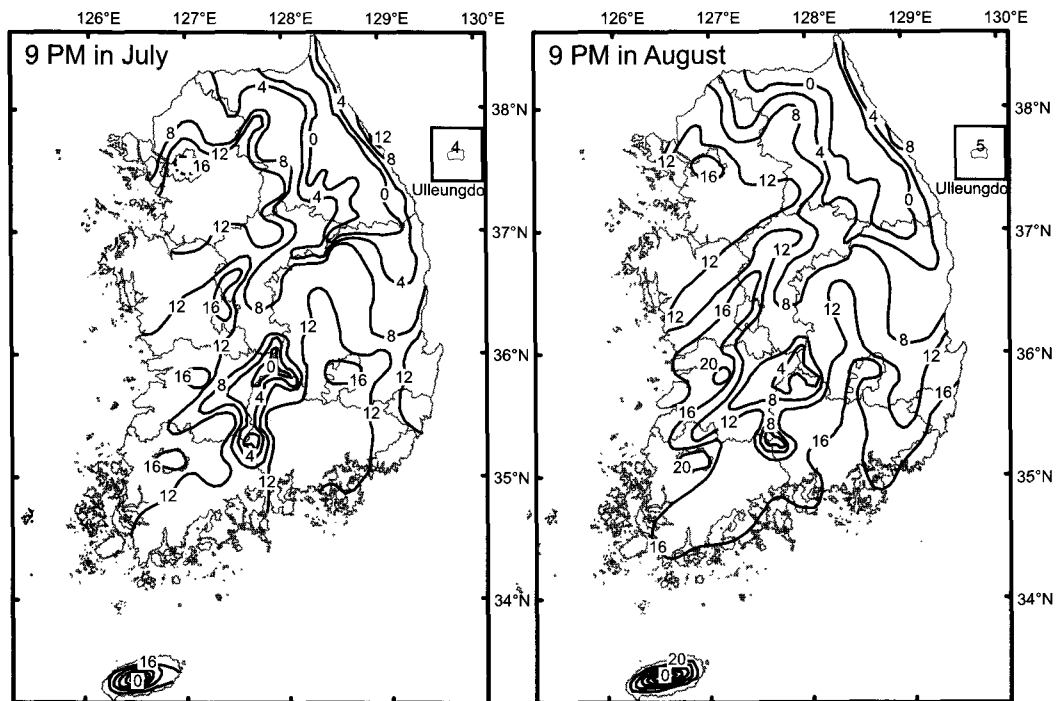


Figure 4. Long-term(1973-2004) averaged frequency(days) of monthly Tropical Night phenomena in the evening(9PM) in July(a) and August(b) across South Korea.

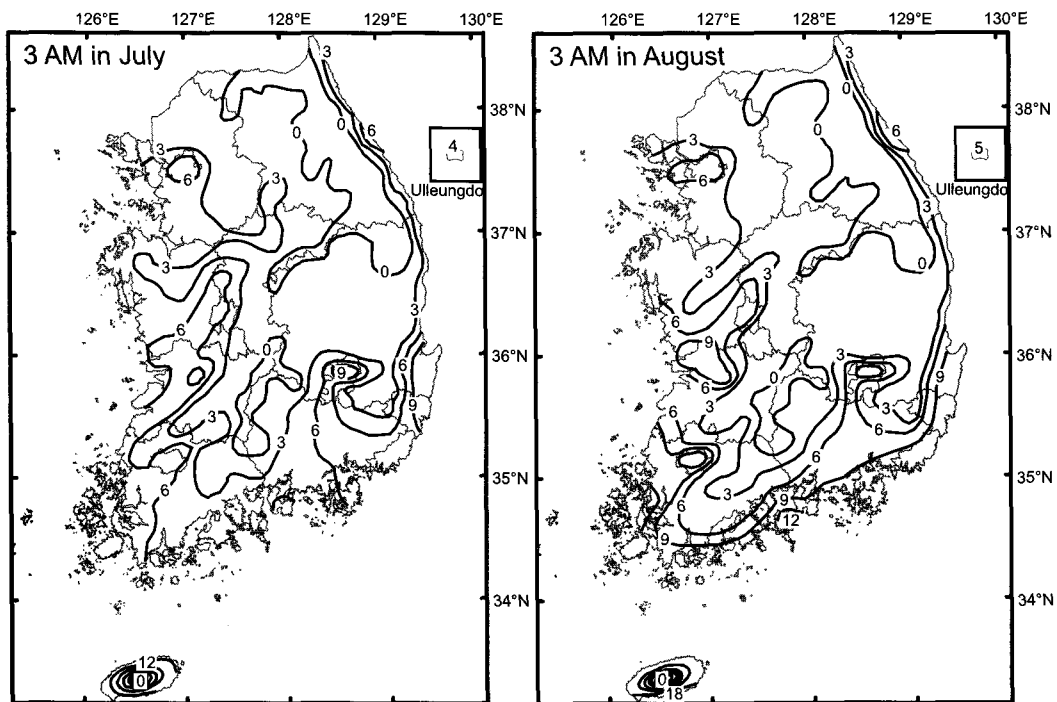


Figure 5. Same as Figure 4 except for middle of night(3AM).



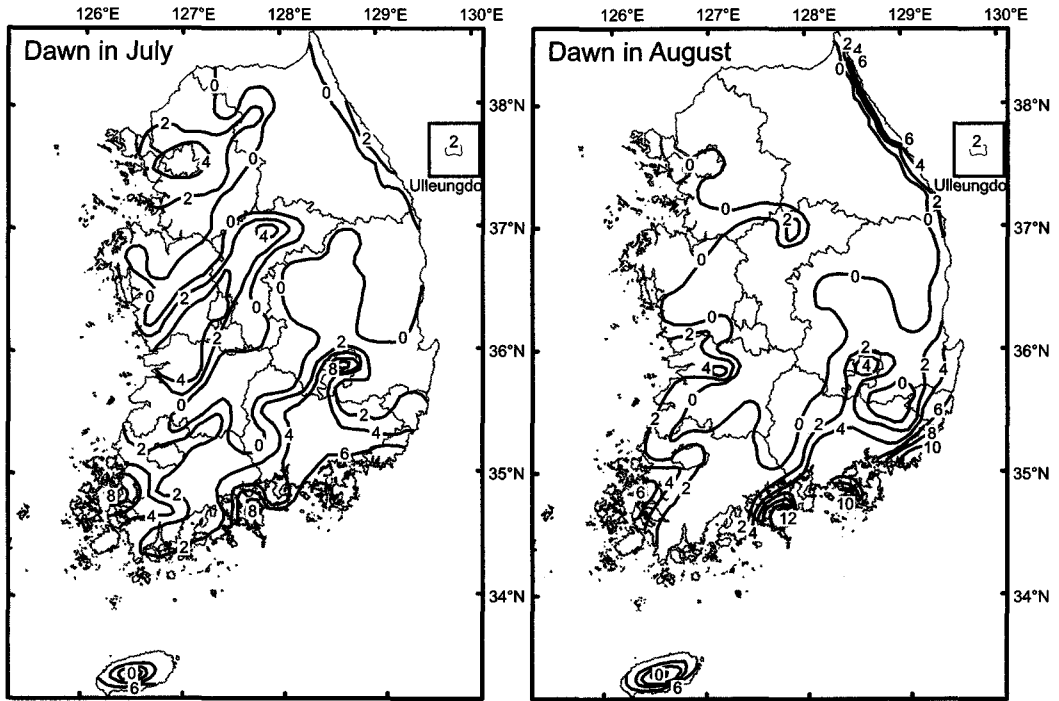


Figure 6. Same as Figure 4 except for dawn, when daily minimum temperature is observed.

월평균 16일(22일)로 매우 높다. 그 이유는, 제주도는 저위도에 위치하여 낮동안에 고위도에 비하여 더 많이 태양복사에너지를 흡수하여 야간에도 기온이 높게 유지되기 때문이다. 저녁열대야 현상의 월별 차이점을 비교하여 보면, 8월이 7월에 비하여 평균적으로 저지대를 중심으로 저녁열대야 현상의 발생빈도가 높다. 특히, 8월에 남해안의 울산 및 부산, 여수 등의 해안도시에서는 내륙지역보다 저녁열대야 현상의 발생빈도가 높게 나타난다. 또한, 태백산맥 동쪽의 급사면에 인접한 영동 해안지역의 경우에는, 동일 위도상의 영서 해안지역에 비해 8월에 저녁열대야 현상이 5일 이상씩 더 많이 발생한다.

심야(3AM)열대야 현상의 7-8월 발생빈도는 저녁열대야 현상에 비해 평균 10일 이상씩 적게 발생한다(Figure 5). 심야열대야 현상은 저녁열대야 현상이 내륙 저지대에 위치한 대도시에 집중하여 나타났던 것과는 달리, 7-8월 모두 제주도를 포함한 한반도를 감싸는 해안지역을 따라 자주 발생한다. 특히, 포항 및 울산, 부산 등의 산업 항구도시들에서는 심야열대야 현

상이 7-8월 모두 평균 9일 이상으로 주변 내륙지역에 비해 자주 발생한다. 또한, 중부지방에서도 서해안과 동해안의 해안가 지역이 오히려 내륙지역에 비해서 7-8월 모두 심야열대야 현상이 적어도 1-2일 이상 많이 나타난다. 반면, 500m이상의 태백산맥 및 소백산맥 등의 고지대와 내륙의 분지지역에서는 심야열대야 현상의 월평균 발생빈도가 7-8월 모두 1일 미만으로 거의 나타나지 않는다.

한편, 야간의 시간진행에 따라서 지표에서 대기로 방출되는 장파 복사에너지로 인하여 기온이 낮아져서 새벽열대야 현상은 저녁열대야와 심야열대야 현상에 비해서 발생빈도가 현저하게 줄어들게 된다(Figure 6). 특히, 저녁열대야 현상이 발생하던 지역이 내륙 저지대의 대도시였던 것과는 대조적으로, 새벽열대야 현상은 심야열대야보다 더욱 뚜렷하게 해안에 인접한 지역을 중심으로 자주 발생한다. 제주도를 포함한 남해, 북부 영동의 해양에서 30km이내인 해안가 지역의 대도시에서는 내륙지역에 비하여 7-8월 열대야 현상의 발생빈도가 3회 이상씩 높다. 특징적으로 8월에는 동일

Table 1. Pearson correlation coefficients( $r$  value) showing the relationships between long-term(1973–2004) averaged annual frequency of Tropical Night phenomena(TN) through nighttime stages(at 9PM, 3AM, and dawn) and climatic factors, such as latitude, elevation, proximity to ocean(km), and population density(persons/km<sup>2</sup>) across 61 weather stations in South Korea.

Factors	TN	TN in the evening (9PM)	TN in the middle of night(3AM)	TN at dawn
Latitude		-0.535**	-0.658**	-0.500**
Elevation		-0.609**	-0.457**	-0.331**
Proximity to ocean		-0.138	-0.580**	-0.456**
Population density		0.336**	0.255*	0.231

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level(2 tailed)

\* Correlation is significant at the 0.05 level(2 tailed)

위도상의 강화, 인천 등의 서해안 지역에서는 새벽열대야 현상이 거의 발생하지 않지만, 속초, 강릉 등의 동해안 북부 해안지역에서는 새벽열대야 현상의 월평균 6회 이상으로 발생빈도가 높다. 강용규(1984)가 제시한 우리나라 연근해의 7-8월 해수온도 분포도에 따르면, 우리나라에는 8월에 해수온도가 가장 높아지며, 동한해류가 복상을 하게 된다. 강용규(1984)의 해수분포도와 본 연구에서 제시하는 새벽열대야 현상의 발생빈도 분포도를 비교해 보면, 해수온도가 23°C 이상이 되고 동한해류가 북상하는 지역을 따라서 새벽열대야 현상이 자주 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한, 국지적으로 서울 및 전주, 대구 등의 인구가 많은 일부 내륙 대도시에서도 7월에 새벽열대야 현상의 발생빈도가 월평균 5회 이상으로 주변지역에 비해 높다. 반면, 태백산맥과 소백산맥에서 해발고도가 200m 이상 되는 산악 지역에서는 새벽열대야 현상이 거의 발생하지 않는다.

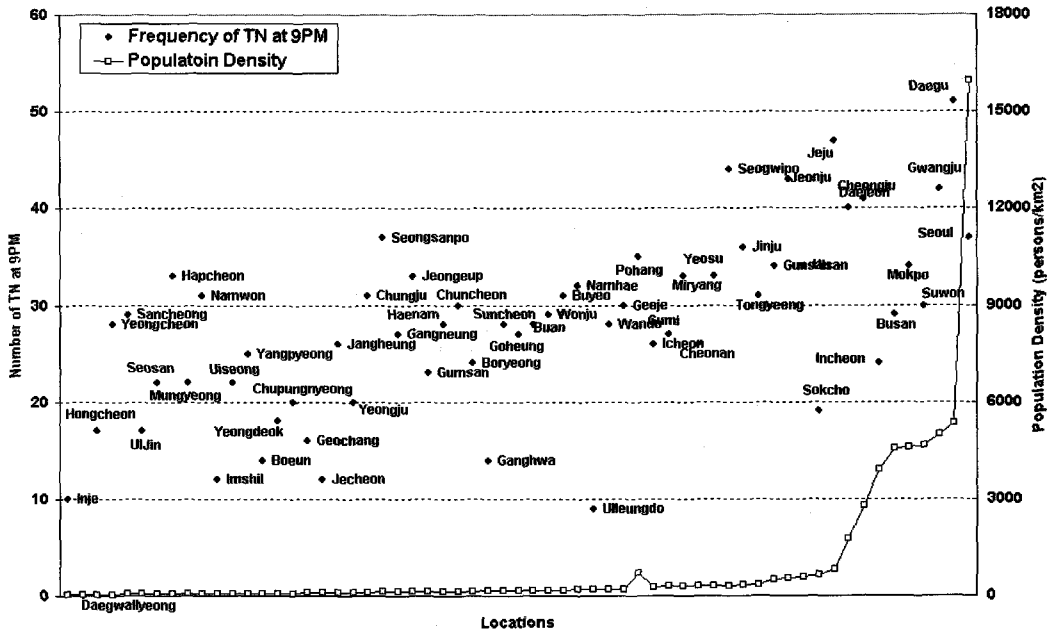
## 5. 연평균 야간 시간대별 열대야 현상 발생 빈도와 기후인자와의 관계

야간의 시간대별 진행에 따른 열대야 현상 발생빈도의 공간분포를 앞에서 살펴본 결과, 열대야 현상의 발생에 영향을 줄 수 있는 기후인자로는 위도, 해발고도, 해양 인접성, 도시화 등을 예로 들 수 있었다. 이 기후인자들이 연평균 야간 시간대별(저녁 및 심야, 새벽)

열대야 현상의 발생빈도에 구체적으로 얼마나 영향을 주는지를 정량화하고자 상관분석과 다중회귀분석을 실시하였다.

우선, 야간 각 시간대별 Pearson 상관계수를 비교하여 본 결과, 99%이상의 유의수준에서 위도는 새벽열대야( $r = -0.500$ ) 현상보다는 저녁열대야( $r = -0.535$ )나 심야열대야( $r = -0.658$ )현상의 연평균 발생빈도와 더 높은 상관관계를 나타내었다(Table 1). 유사하게 해발고도와 인구밀도도 새벽열대야 현상보다는 저녁열대야 현상의 발생빈도와 통계적으로 더 높은 상관관계를 나타내었다. 반면, 해양에서 떨어진 거리는 저녁열대야 현상의 발생빈도와는 상관관계가 유의미하지 않으나, 심야열대야( $r = -0.580$ )나 새벽열대야( $r = -0.456$ )현상의 발생빈도와는 유의미한 상관관계를 보였다. 구체적으로 인구밀도와 저녁열대야 현상 발생빈도와 관계를 보여주는 그래프를 살펴 보면, 공간적으로 대구 및 서울, 광주, 청주 등 인구밀도가 3,000명/km<sup>2</sup> 이상인 내륙 대도시나 울산, 포항과 같이 산업화가 진행된 도시에서는 저녁열대야 현상이 연평균 35회 이상으로 자주 발생함을 알 수 있다(Figure 7a). 왜냐하면 이와같이 인구밀도가 높아 지표가 콘크리트화된 대도시 지역에서는 낮동안에 도시피복이 태양에너지를 많이 흡수하였다가 야간에 장파에너지 형태로 인접 대기로 발산하므로 높은 기온이 유지되어, 초저녁일수록 새벽에 비하여 도시열섬의 강도가 높고 열대야 현상도 자주 발생할 수 있기 때문이다. 특징적으로 제주도는 해

(a) Population density vs. frequency of Tropical Night phenomena(TN) in the evening(9PM)



(b) Proximity to ocean vs. frequency of Tropical Night phenomena(TN) at dawn

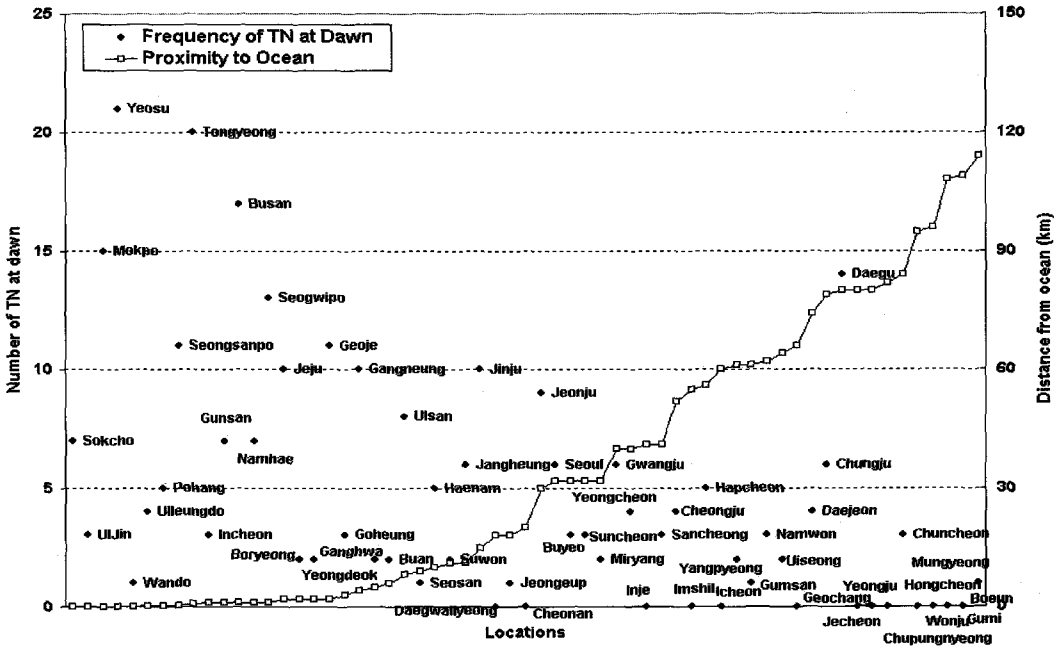


Figure 7. Relationships between population density(persons/km<sup>2</sup>) and long-term(1973–2004) averaged annual frequency of Tropical Night phenomena(TN) in the evening(9PM)(a), and between proximity to ocean(km) and the long-term averaged annual frequency of Tropical Night phenomona at dawn(b) across 61 weather stations in South Korea.

안지역에 인접해 있고 인구밀도가 900명/km<sup>2</sup>이하인 저밀도 지역이지만, 다른 지역에 비하여 위도가 낮기 때문에 저녁열대야 현상의 발생빈도가 높게 나타났다.

또한, 새벽열대야 현상은 주로 비열이 높은 해양의 영향을 많이 받을 것으로 추정되었는데 해양으로부터 거리와의 관계를 나타내는 그래프를 살펴보면, 특히 해안으로부터 30km 이내에 있는 지역에서 연평균 8회 이상으로 내륙지역에 비해 그 발생빈도가 높게 나타났다(Figure 7b). 이것은 해양의 열 관성과 관련이 있는데, 새벽으로 시간이 진행할수록 해수는 열용량이 높아 육지에 비해 온도가 쉽게 하강하지 않으며, 부차적으로 잠열에 의해 발생하는 증기무가 해양표면으로부터의 장파 복사에너지를 간섭하게 되어 기온하강을 둔화시킨다(Oke, 1987; Oliver and Hidore, 2002). 따라서, 새벽 시간의 해양의 열 관성은 한반도에서도 해안 지역을 중심으로 새벽열대야 현상이 많이 발생할 수 있는 조건을 형성한다. 예외적으로 대구는 해양으로부터 약 80km 떨어진 내륙지역임에도 불구하고, 새벽 열대야 현상의 발생빈도가 연평균 14회로 매우 높게 나타났다.

한편, 이러한 상관분석 결과를 바탕으로 위에서 상

관성이 높게 나타난 요소들을 모두 독립변수로 하고, 각 야간 시간대별 평균적인 열대야 현상 발생빈도를 종속변수로 하는 다중회귀모형을 구축하였다(Eq. 1).

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 \text{-----Eq. 1.}$$

y: 61개 지점의 32년 평균 각 야간 시간대별(저녁 및 심야, 새벽) 열대야 현상 발생빈도

$x_1, x_2, x_3, x_4$ : 사용된 기후인자, 즉, 관측소의 위도, 해발고도, 해양과의 거리, 인구밀도

$a_1, a_2, a_3, a_4$ : Stepwise방법으로 포함된 각 기후인자의 상대적인 변화에 따른 열대야 현상 발생빈도의 변화를

$a_0$ : 절편

Stepwise방법을 통해 모델에 포함된 기후인자들을 살펴본 결과, 해발고도, 위도, 인구밀도, 해양으로부터의 거리 등의 4가지 기후인자를 모두 독립변수로 한 심야(저녁)열대야 현상의 연평균 발생예측모델이 가장 높은 66%(60%)의 적합도를 나타내었다(Table 2). 반면, 새벽 열대야의 발생빈도를 예측하는 다중회귀모델은 위도, 해양으로부터의 거리, 인구밀도 등의 3가지

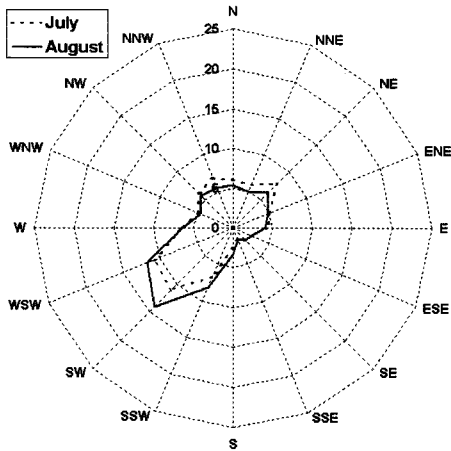
Table 2. Empirical multivariate regression models predicting long-term(1973–2004) averaged annual frequency of Tropical Night phenomena(TN) through nighttime stages(at 9PM, 3AM, and dawn) for locations without observations, based on climate factors, such as latitude(L), elevation(H), proximity to ocean(PO), and population density(persons/km<sup>2</sup>)(PD) in South Korea. Tolerance showing collinearity among independent variables is less than 1.0 in each model.

TN	Multivariate regression equations	r <sup>2</sup>
TN at 9PM (Evening)	Y=170.786-0.039×H-3.961×L+0.001×PD+0.055×PO	0.609*
	Y=156.735-0.35×H-3.527×L+0.001×PD	0.618**
	Y=143.990-0.39×H-3.128×L	0.505**
	Y=31.997-0.49×H	0.371**
TN at 3AM (Middle of night)	Y=133.270-3.330×L-0.074×PO+0.001×PD-0.010×H	0.663*
	Y = 141.905-3.589×L-0.082×PO+0.001×PD	0.644**
	Y = 133.784-3.333×L-0.088×PO	0.565**
	Y = 161.758-4.193×L	0.423**
TN at dawn	Y = 71.611-1.826×L-0.044×PO+0.001×PD	0.378**
	Y = 66.799-1.674×L-0.048×PO	0.322**
	Y = 81.830-2.136×L	0.237**

\*\* All coefficients in the equation are significant at the 0.01 level.

\* All coefficients in the equation are significant at the 0.05 level.

(a) Gangneung



(b) Daegwallryeong

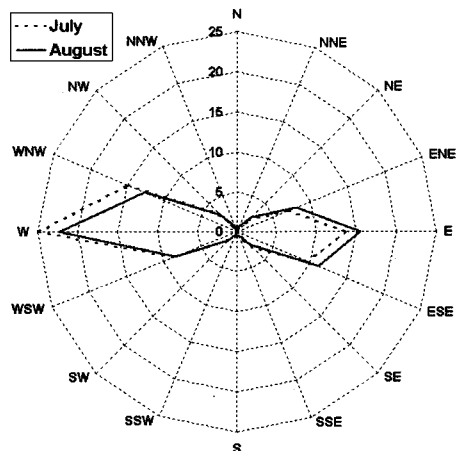


Figure 8. Long-term(1971-2000) averaged percentage for wind direction frequency in July and August: (a) in Gangneung and (b) in Daegwallryeong.

기후인자를 모두 독립변수로 사용한 경우가 가장 높은 (38%) 모델적합도를 나타내었다. 이 다중회귀모델들은 한반도에서 기상관측을 하지않아 기상자료가 없는 지역에서 해발고도, 위도, 인구밀도, 해양으로부터의 거리 등의 기후인자를 이용하여 장기간 평균적으로 발생하는 야간 시간대별 열대야 현상의 연평균 빈도를 예상할 수 있는 기초를 제공한다

한편, 국지적으로 동해안 북부지역에서는 여름철 7-8월에 영서지역이나 서해안 북부지역에 비해 새벽 열대야 현상의 발생빈도가 높게 나타난다(Figure 6). 강릉과 대관령의 지난 30년 평균 바람장미(wind rose)의 특징을 살펴보면, 동해안 북부지역에서 서풍 혹은 남서풍이 자주 불고, 대관령에서는 더욱 뚜렷하게 서풍이 탁월하게 분다(Figure 8). 초여름에 오호츠크 고기압의 확장할 때, 북동풍의 높새바람이 태백산맥 서사면의 영서지역으로 분다(박병익, 1996; 김연옥, 1999; 기상연구소, 2004). 그러나, 높새바람이 영서지역으로 넘어가면서 발생하는 고온건조한 바람의 영향은 복잡한 지형과의 마찰로 인해 거의 찾아 볼 수 없다(이현영, 2000). 대조적으로, 태백산맥의 동사면에 위치한 영동지역은 서사면에 비하여 지형적 마찰이 적고, 해발고도 1,000m정도 급경사와 인접하며 좁은 해안을 이루고 있다. 따라서, 탁월한 서풍이 1,000m 이상의 태백산맥을 넘어 영동지역으로 도달할 때 공기가

건조단열 증가하여 편현상이 나타나기 쉽다. 영동지역에 이와같이 높은 해발고도, 경동성 지형, 서풍의 상호작용에 의해 발생하는 편현상으로 여름철 열대야 발생 빈도도 증가하게 될 것으로 사료된다.

이러한 가정하에 구체적으로 영동해안에만 열대야 현상이 발생할 때 편현상이 실제 발생하는지 살펴보기 위해, 영서해안에 위치한 강화에는 열대야가 발생하지 않고 영동해안에 위치한 강릉지역에 새벽열대야 현상이 발생한 모든 사례를 추출하여, 영서과 영동의 일 최저기온의 차이(강화-강릉)와 오전 3시의 상대습도의 차이(강화-강릉)를 그래프로 나타내어 보았다(Figure 9). 그 결과, 강릉에 새벽열대야 현상이 발생한 대부분의 경우에는, 강화에 비해 기온이 평균 4°C 이상씩 높았지만, 상대습도는 30%정도씩 낮았다. 대부분 영동지역에 열대야 현상이 나타나기 전에는 상대습도(95% 이상)는 높았지만 1-2일 전부터 강수가 거의 없었다. 즉, 영서 지역의 습한 공기가 서풍에 의해 해발고도가 높은 태백산맥 서사면을 따라 상승될 때, 강수현상이 나타나지는 않지만 안개나 이슬의 형태로 지표 피복에 응결되어 수증기를 잃는다. 따라서, 태백산맥을 넘어 영동지역에 도달할 때는 습도가 낮아지고 단열감열에 의해 고도 하강에 따라 기온은 상승하게 된다. 특히, 이러한 바람받이 사면의 무강수 현상에도 불구하고 나타나는 편현상을 유사편현상이라고 하며(김용상과 홍

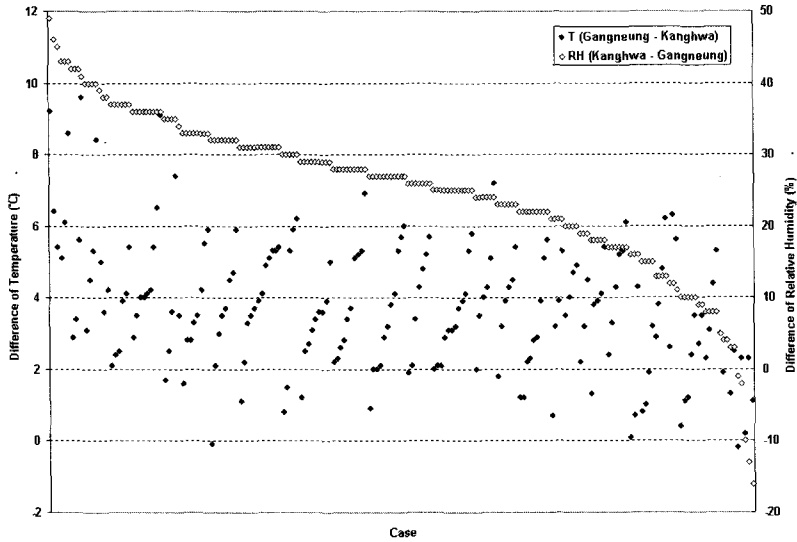


Figure 9. Differences of temperature(T) at dawn and relative humidity(RH) at 3AM between Gangneung and Kanghwa, when Tropical Night phenomena at dawn occurred in Gangneung(1973–2004).

성길, 1996), 이 유사권현상이 영동 해안지역의 열대야 현상의 발생빈도를 증가시키고 있음을 알 수 있다.

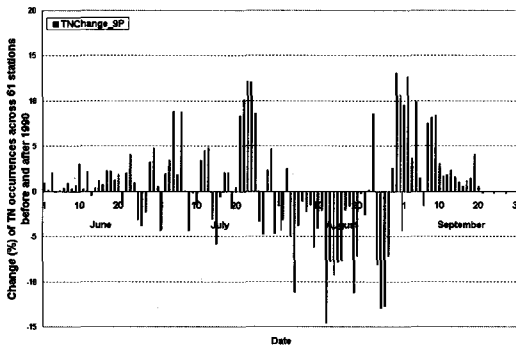
### 6. 최근 우리나라 열대야 발생빈도의 시·공간적 변화

최근 야간 각 시간대별 열대야 현상 발생빈도에 변화가 있었는지를 살펴보기 위해, 전세계적으로 온난화 경향을 보이는 1990년 이후(1990–2004)의 여름철 각 시간대별 일평균 열대야 현상의 발생빈도와 1990년 이전(1973–1989)의 평균 발생빈도간의 차이를 구하여 시계열로 나타내어 보았다(Figure 10). 그 결과, 1990년 이후에, 저녁(9PM)열대야 현상이 발생하는 관측지점 수가 8월 중·하순에 눈에 띄게 감소한 반면, 7월 말 장마휴지기 전후와 9월 상·중순에는 뚜렷하게 증가하였다. 심야(3AM)열대야 및 새벽열대야 현상이 발생하는 지점수도 8월 하순을 중심으로 감소한 반면, 장마휴지기의 시작(7월 20일–25일) 및 종료시기(8월 5일–10일)와 9월 초순 늦장마가 종료되는 시기에는 그 수가 1990년대 이전에 비해 증가하였다. 본 연구와 사용된 자료기간에는 차이가 있지만, 이와 같은 결과는

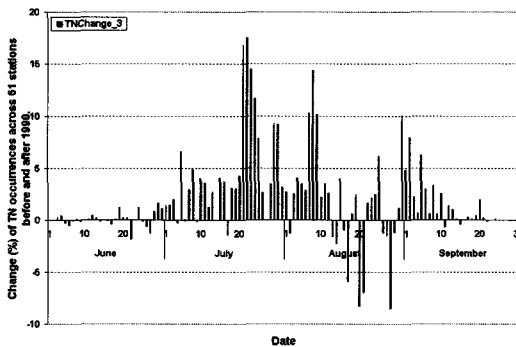
Ho *et al.*(2003)의 연구에서 언급된 1979년 이후에 우리나라 늦장마 시기가 9월초에서 8월 중·하순으로 바뀌었다는 결과와 일치한다. 즉, 강수가 집중하는 늦장마 시기가 이동하게 되면 그 기간동안 기온도 하강하므로, 열대야 현상의 발생시기도 바뀌게 된 것이다.

한편, 1990년 이후의 연평균 열대야 현상 발생빈도의 변화정도를 나타내는 공간분포도를 살펴보면, 1990년 이전보다 새벽열대야 현상은 해안에 인접한 지역이나, 내륙에서 인구가 집중된 대도시들을 중심으로 증가하였다(Figure 11). 특히, 서울 및 인천, 대전, 광주, 전주, 대구, 부산 등의 대도시와 포항 및 울산 등의 산업도시를 중심으로 1990년대 이후 저녁 및 심야, 새벽 열대야 현상의 발생빈도가 모두 눈에 띄게 증가하였다. 또한, 제주도에서 농촌에 위치한 성산포에서는 1990년 이전과 이후의 새벽 열대야 현상의 발생빈도에 차이가 거의 없었지만, 제주시와 서귀포시 관측지점에서는 1990년대 이후 가속화된 도시피복의 변화로 새벽 열대야 현상의 발생빈도가 11–12일 정도 증가하였다. 또한, 저녁열대야 현상은 1990년대 이후에 도시화가 많이 진행된 수원 및 원주, 청주 등의 내륙도시에서도 10회 이상 증가하였다(미제시). 이것은 인구가 대도시에 집중함에 따라 심화되는 지표의 콘크리트화 등의

(a) Evening



(b) Middle of night



(c) Dawn

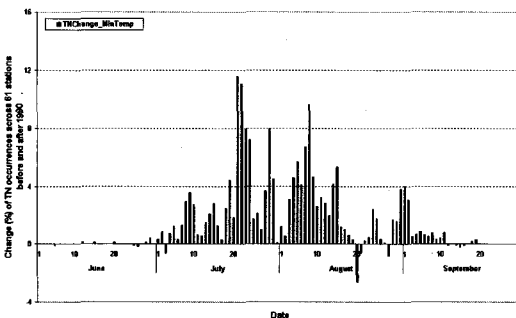


Figure 10. Change (%) of daily occurrences of Tropical Night phenomena (TN) across 61 weather stations in South Korea before and after 1990: (a) in the evening(9PM), (b) in the middle of night(3AM), and at dawn.

인간활동이 도시열섬 강도를 높여서 인위적으로 도시 열대야 현상을 증가시키고 있다는 것을 보여준다.

한편, 저녁열대야 현상은 해안에 인접한 대도시보다는 내륙에 위치한 대도시에서 더 현저하게 증가하였다

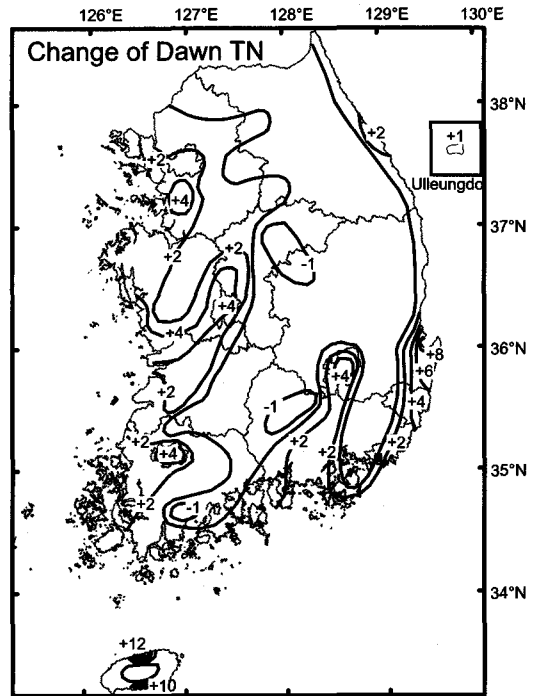


Figure 11. Change of annual frequency of Tropical Night phenomena(TN) at dawn before and after 1990 in South Korea.

(미제시). 가령, 서울의 저녁열대야 현상은 1990년대 이전과 비교하여 그 이후에 연평균 10회 증가하였으나, 이웃 대도시인 인천은 해안에 인접하여 4회 정도만 증가하였다. 부산의 경우에도 연평균 저녁열대야 현상이 1990년대 이후 연평균 3회 정도만 증가하였으나, 내륙 대도시인 대구의 경우에는 저녁열대야 현상이 무려 7회씩이나 증가하였다. 이것은 도시열섬의 강도가 해안가에 위치한 도시보다는 내륙에 위치한 도시에서 강하게 나타난다는 결과(Sakakibara and Owa, 2005)와 일치한다.

반면, 내륙의 해발고도가 200m이상의 산악 지역에서는 1990년대 이전과 이후의 새벽 열대야 현상의 발생빈도에 차이가 거의 없었다(Figure 11). 도시화가 거의 진행되지 않은 문경-의성, 거창-합천 등의 내륙분지에 위치한 소도시 지역은 새벽열대야 현상의 발생빈도가 약간 감소하는 경향도 보여주었다.

## 7. 요약 및 결론

본 연구는 우리나라 장기간(1973-2004) 평균적인 야간 시간진행에 따라 발생한 여름철 열대야 현상의 시·공간적 특징을 분석하고, 그 공간분포에 영향을 준 기후인자의 관련성을 규명하였다. 이를 위해, 전국 61개 지점의 6시간별(9PM, 3AM) 자료와 일 최저기온에서 야간 시간대별(저녁 및 심야, 새벽) 열대야 현상의 발생빈도를 일별, 월별로 추출하여 장기간에 걸친 평균적인 공간분포를 지도화하고 시계열화하여 분석하였다. 또한, 위도, 해발고도, 해양과의 거리, 인구밀도 등의 기후인자들이 열대야 현상의 발생에 미치는 영향을 정량화하기 위해 상관분석과 다중회귀분석을 실시하였다. 또한, 최근 가시화되고 있는 지구온난화와 관련하여, 1990년대 이전과 이후 우리나라 열대야 현상 발생빈도에 나타난 시·공간적인 변화를 분석하였다. 주요한 연구 결과들을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 열대야 현상은 시간적으로 여름장마가 끝나고 늦장마가 시작되기 전의 장마휴지기(7월 중순-8월 초순)에 주로 집중하여 발생하며, 이 시기에 새벽(7%)이나 심야(20%)까지 지속되는 열대야 현상보다는 저녁(50%)에 발생하여 심야 이전에 사라지는 열대야 현상의 발생확률이 높다. 특히, 저위도에 위치한 제주도의 경우에는 늦장마가 끝난 8월말-9월초순에 열대야 현상의 발생빈도가 다시 증가하기도 한다.

둘째, 공간적으로 저녁(9PM)열대야 현상은 주로 위도와 해발고도(100m이하)가 낮고 도시화 혹은 산업화가 진행되어 인구밀도가 높으며, 해양에서 떨어진 내륙의 대도시 지역에서 자주 발생한다. 반면, 심야(3AM)열대야 현상과 일 최저기온이 관측되는 시각의 새벽열대야 현상은 낮동안에 데워진 해양과 동한해류의 열 관성의 영향을 받는 해안가 저지대를 따라서 자주 발생한다. 또한, 제주도에서는 위도가 낮아 다른 해안지역에 비해 저녁 및 심야열대야 현상의 발생빈도가 더 높게 나타난다.

셋째, 한반도 지형은 열대야 발생빈도를 결정하는 중요한 기후인자 중의 하나로, 고도 상승에 따른 기온 감율로 인하여 내륙의 해발고도 800m(300m)이상의 고산지역에서는 저녁(새벽)열대야 현상이 전혀 발생하

지 않는다. 한편, 강릉, 속초 등의 영동 북부지역에서는 경동성 지형과 서풍에 의해 유사핀현상이 자주 발생하여, 동일 위도상의 서해안 지역에 비하여 새벽열대야 현상의 발생빈도가 8월에 월평균 6회 이상으로 높게 나타난다.

넷째, 상관분석과 그래프 분석결과, 위도와 해발고도 이외에도 높은 인구밀도(3,000명/km<sup>2</sup>이상)가 내륙 대도시의 저녁열대야 현상의 증가에 중요한 영향을 미치고 있고, 해양에서 인접한(30km이내) 지역에서는 해양의 열 관성이 새벽열대야 발생빈도를 증가시키는 데에 중요한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 이러한 기후인자과의 관련성을 이용하여 우리나라에서 기온관측이 이루어지지 않은 지역에서 평균적으로 발생하는 야간열대야 현상의 빈도를 추정할 수 있는 경험적 다중회귀모델도 구축하였다.

다섯째, 최근의 지역기후변화적 측면에서, 1990년 이후에는 시기적으로 늦장마 시기에 열대야 현상의 발생빈도가 감소한 반면, 장마휴지기 전후 시기에는 증가하는 변화를 보였다. 공간적으로는, 1990년 이후에 도시화 또는 산업화가 진행된 저위도 대도시를 중심으로 1990년 이전에 비하여 연평균 4-8회 이상 새벽열대야 현상의 발생빈도가 뚜렷하게 증가하였다. 반면, 해발고도 200m이상의 산악지대에서는 두 기간 동안의 열대야 현상의 연평균 발생빈도에 거의 변화가 없었다.

본 연구에서 밝혀진 내용들은 도시열섬 현상과 열대야 현상의 관련성, 한반도 전체에 걸쳐 비정상적으로 발생한 열대야 현상과 상층의 종관분석, 열대야 현상 예측모델의 개발 등의 차후에 필요한 후속연구들의 기초로서 활용될 수 있을 것이다. 특히, 최근의 열대야 현상 발생공간의 변화에 대한 분석에 따르면, 20세기 후반 도시화가 빠르게 진행된 대도시 지역을 중심으로 열대야 현상의 발생빈도가 뚜렷하게 증가하였다. 따라서, 차후에는 도시지역의 경제활동 및 인위적인 피복 변화와 열대야 현상 증감의 관련성을 정량적으로 밝혀, 인위적으로 증가하는 도시열대야 현상을 저감할 수 있는 대책을 마련하도록 해야 할 것이다.



謝辭

본 연구는 한국기상청 기상연구소 사업 “기후변화  
협약 대응 지역 기후 시나리오 활용 기술 개발” 의 일  
환으로 기후자료 제공과 연구비 지원에 의해 이루어진  
것으로, 이에 대해 진심으로 한국기상청 기상연구소에  
감사드립니다. 또한, 논문 향상에 도움을 주신 익명의 심  
사자 분들과 지도작업에 조언을 아끼지 않은 텃거스  
지리학과 Cartographer, Mr. Michael Siegel에게도 감  
사드립니다.

文獻

강용규, 1984, “한국 주변 해양 표면 수온의 계절적 변화,”  
한국해양학회지, 19(1), 31-35.

기상연구소, 2001a, 한국기후도 1971-2000, 기상청.

기상연구소, 2001b, 온실가스 저감 기술 개발 사업: 기후변  
화 시그널 검출 기술 개발, MR-J-CG-01-B-29.

기상연구소, 2004, 한국의 기후, MR044C30.

김연옥, 1999, 기후학 개론(개정), 정익사.

김용상, 홍성길, 1996, “늦봄 또는 초여름에 영동지방에서  
나타나는 유사핀 현상에 관한 연구,” 한국기상학  
회지, 32(4), 593-600.

김해구, 민경덕, 김경익, 이광목, 1997, “한반도 하계 이상  
저온과 북반구 대기 순환의 특성 제 1부: 이상저온  
의 출현과 종관 개요,” 한국기상학회지, 33(1),  
138-154.

김해구, 민경덕, 윤일희, 문영수, 이동인, 1998, “1987년과  
1994년에 일어난 하계 이상 고온의 특징,” 한국기  
상학회지, 34(1), 47-64.

박병익, 1996, “한국의 하계 기온 분포형과 냉하형에 관하  
여,” 지리교육논집, 35, 14-22.

이병설, 김성삼, 1983, “장마계의 종관적 특성,” 한국기상  
학회지, 19(1), 1-11.

이장렬, 1977, “남한에 있어서 하계 일 최고기온의 출현 특  
성에 관한 연구,” 지리학과 지리교육, 7, 43-65.

이현영, 2000, 한국의 기후, 법문사.

최광용, 최종남, 권호장, 2005, “높은 체감온도가 서울의  
여름철 질병 사망자 증가에 미치는 영향 1991-  
2000,” 예방의학회지, 38(3), 283-290.

최광용, 최종남, 김종육, 2000, “20세기 한반도 증부지방의  
여름철 기온 변화,” 대한지리학회지, 35(4), 519-  
528.

최광용, 최종남, 김종육, 손석우, 2002, “남한의 체감 무더  
위의 기후학,” 대한지리학회지, 37(4), 385-402.

최영은, 2004, “한국의 극한 기온 및 강수 사상의 변화 경  
향에 관한 연구,” 대한지리학회지, 39(5), 711-  
721.

최효, 2004, “산악 연안 도시에서 열대야(야간고온),” 한국  
환경과학회지, 13, 965-985.

통계청, 1991, 인구주택총조사보고서.

한국일보 2005년 7월 25일자.

행정자치부, 2005, 2005년 지방자치단체의 행정구역 및 인  
구현황(2005.1.1현재).

Bonsal B.R., Zhang X., Vincent L.A., and Hogg W.D.,  
2001, Characteristics of daily and extreme  
temperatures over Canada, *Journal of Climate*,  
14, 1959-1976.

Colombo T., Pelino V., Vergari S., and Bonasoni P.,  
2005, A study on detection of climate variations  
over Italy based on surface instrumental  
observations, *Global and Planetary Change*  
(submitted).

Easterling D.R., Horton B., Jones P.D., Peterson T.C.,  
Karl T.R., Parker D.E., Salinger M.J., Razuvayev  
V., Plummer N., Jamason P., and Folland C.K.,  
1997, Maximum and minimum temperature  
trends for the globe, *Science*, 277, 364-367.

Gaffen D.J., and Rebecca J.R., 1998, Increased  
summertime heat stress in the U.S., *Nature*, 396,  
529-530.

Gaffen D.J., and Ross R.J., 1999, Climatology and trends  
of U.S. surface humidity and temperature,  
*Journal of Climate*, 12(3), 811-828.

Ho C.-H., Lee J.-Y., Ahn M.-H., and Lee H.-S., 2003, A  
sudden change in summer rainfall characteristics  
in Korea during the late 1970s, *International  
Journal of Climatology*, 23(1), 117-128.

Landsberg H.E., 1981, *The Urban Climate*, New York,  
NY: Academic Press.

Oliver J.E., and Hidore J.J., 2002, *Climatology: an*

- atmospheric science*(2nd ed.), Prentice Hall.
- Vaña M., and coauthors, 2001, *Quality of the natural environments in the Czech Republic at the regional level*, Czech Hydrometeorological Institution.
- Oke T.R., 1987, *Boundary Layer Climate*(2nd ed.), Routledge.
- Sakakibara Y., and Owa K., 2005, Urban-rural temperature differences in coastal cities: influence of rural sites, *International Journal of Climatology*, 25(6), 811-820.
- Shimoda Y., 2003, Adaptation measures for climate change and the urban heat island in Japan's built environment, *Building Research & Information*, 31(3-4), 222-230.
- Wang J.X.L., and Gaffen D.J., 2001, Late-twentieth-century climatology and trends of surface humidity and temperature in China, *Journal of Climate*, 14(13), 2833-2845.
- Zhai P.M., Sun A., Ren F, Liu X., Gao B., and Zhang Q., 1999, Changes of climate extremes in China, *Climatic Change*, 42, 203-218.
- 교신 : 최광용, 럿거스 뉴저지 주립대학교 지리학과 (email: tribute@hanmail.net)
- Correspondence: Gwangyong Choi, Department of Geography, Rutgers The State University of New Jersey, 54 Joyce Kilmer Ave., Piscataway, NJ, 08854, USA(email: tribute@hanmail.net)

최초투고일 05. 10. 10

최종접수일 05. 12. 16