

한국의 열파 분포와 그 원인에 관한 연구

김지연* · 이승호**

The Distribution of Heat Waves and Its Cause in South Korea

Jiyoun Kim*, Seungho Lee**

요약 : 본 연구에서는 우리나라 열파의 지역별 분포를 파악하고 그 원인을 분석하고자 하였다. 이를 위해 1973~2005년 5~9월까지 60개 기상관측지점의 일최고기온과 수증기압, 상층의 바람 자료 등을 사용하여 일최고기온 상위 5% 이상인 날이 3일 이상 지속되는 현상을 열파로 정의하고, 열파일수의 분포와 그 원인을 분석하였다. 우리나라 열파일수는 충청 내륙 및 충청 서해안, 전라 내륙, 경상 내륙, 제주도 남부 지역에서 160일 이상으로 많고 동해안 중부와 제주도 북부 지역에서 110일 이하로 적다. 충청 내륙 및 충청 서해안과 전라 내륙 지역은 열파 발생 시 남서기류의 영향이 크므로 열파가 장기간 지속된다. 경상 내륙 지역은 남서기류에 소백산맥의 지형 효과가 결합되어 고온 건조해진 공기가 분지 지형 때문에 정체되고 지속적인 남서기류의 유입으로 인해 기온 편차가 큰 열파가 장기간 지속된다. 동해안 중부 지역은 태백산맥이 남서기류를 차단하기 때문에 열파일수가 적으나 일단 열파가 발생하면 편 효과가 결합되어 기온 편차가 크다.

주요어 : 열파, 열파일수, 열파의 분포, 일최고기온

Abstract : This study aims to examine the distribution of heat waves and to understand its cause for 33 years(1973~2005) from 60 weather stations in Korea. Heat wave is defined as a period of 3 or more days with a daily maximum temperature exceeds the 95th percentile. In the inland of Chungcheong region, the Chungcheong western costal region, the inland of Jeolla region, the inland of Gyeongsang region and the southern region of Jeju island, heat wave days appeared more than 160 days. In the middle region of eastern costal and the northern region of Jeju island, heat wave days were less than 110 days. In regions that were heavily influenced by southwesterly winds during the occurrence of heat waves, such as the inland of Chungcheong region, the Chungcheong western costal region, the inland of Jeolla region and the inland of Gyeongsang region, heat waves continued for the longer term.

Key Words : heat waves, heat wave days, distribution of heat waves, daily maximum temperature

1. 서론

최근 전 지구적으로 기온 상승이 계속되면서, 겨울철의 이상난동과 더불어 여름철의 이상고온이 세인의 주목을 받고 있다. 여름철의 이상고온은 건강과 위생

등 주민생활에 미치는 영향이 적지 않다. 우리나라에서도 최근 수년 동안에 여러 차례의 여름철 이상고온 현상이 출현하였다. 특히 1994년과 2004년 등의 여름철 이상고온은 열파에 대한 관심을 집중시키는 계기가 되었다(환경부, 2003; 변희룡 등, 2006).

* 건국대학교 대학원(Department of Geography, Konkuk University)

현재 (주)환경예측연구소 선임연구원(Senior Researcher, Environmental Prediction Co., Ltd.), jykim82@hanmail.net

** 건국대학교 지리학과 교수(Professor, Department of Geography, Konkuk University), leesh@konkuk.ac.kr

일반적으로 열파(heat wave)는 극한고온현상이 수 일 이상 지속되는 것을 의미하며, 인간에게는 물론 동·식물 등의 생태계에 열 스트레스를 가중시킨다. 열파는 인간의 야외 활동을 제한하는 요인의 하나일 뿐만 아니라 야간에도 효율적인 숙면을 방해하면서 건강에 영향을 미친다. 또한 열파가 지속되면 가축과 작물의 성장에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 최근의 기후 모델을 이용한 시나리오 연구에 의하면 21세기에 우리나라에서 열파현상이 증가할 것이라고 예측되고 있어서 열파에 대한 경각심이 증대되고 있다(기상연구소, 2004).

이와 같이 열파는 다양한 보건상의 문제를 야기할 수 있다. 인체가 오랜 시간동안 고온에 노출될 경우 체내에 열에너지가 과잉 축적되면서 열 피로와 일사병 등을 일으킨다. 이는 어린이나 노인 등 노약자의 사망률을 높일 수 있는 요인이 된다. 서울의 경우, 1994년 여름에 유례없이 강한 이상고온현상이 지속되어 예년에 비해 사망자수가 크게 증가하였다는 보고가 있다(환경부, 2003). 최근에는 2006년 8월에 장마가 끝난 후 전국적으로 33°C가 넘는 고온 현상이 2주 이상 지속되면서 이와 관련된 사망자가 발생하였을 뿐만 아니라, 전력 중단에 따른 열차 운행 지연과 과일 및 채소 가격 폭등 등의 다양한 피해가 잇따랐다.

열파가 발생할 수 있는 여름철은 각종 작물이 활발하게 성장하는 시기이다. 그러나 초여름에 열파가 발생하면 일부 작물은 일조량 급증으로 너무 일찍 웃자라서 수확을 포기해야 하는 상황이 발생할 수 있다. 즉, 비닐하우스에서 재배되는 작물은 뜨거운 열을 이겨내지 못하고 썩거나 말라 죽는 일이 발생할 수 있다. 또한 가축은 성장장애가 나타날 수 있고 병원균에 대한 면역력이 약화되며, 출산율이 감소할 수 있다.

2000년대 이후 전 세계적으로 극한고온과 열파 등 이상고온과 관련된 연구가 점차 증가하는 경향이다. DeGaetano and Allen(2002)은 1960~1996년 동안에 미국에서 3일 이상 지속되는 열파의 빈도가 증가한다고 하였고, Frich *et al.*(2002)은 1946~1999년까지 알래스카, 캐나다, 유럽의 중부와 동부, 시베리아, 호주 중부에서 HWDI¹⁾가 유의하게 길어졌고, 미국의 남동부, 캐나다 동부, 아이슬란드, 중국 남부에서 짧아졌다

고 밝혔다. Kysely(2002)는 체코의 프라하와 스위스의 바젤에서 20세기의 열파 빈도를 분석한 결과, 1990년대에 빈도가 높았으나 20세기 초에 낮았다고 하였다. Kostopoulou and Jones(2005)는 1958~2000년 기간에 HWDI는 해안가와 섬을 제외한 대부분 지역에서 증가하는 경향을 나타낸다고 밝혔다. 그러나 HWDI의 기준 온도인 5°C는 해안 지역에 적용하기에는 너무 높기 때문에 백분위수를 이용하는 것이 더 적합하다고 하였다.

우리나라에서 열파와 관련된 연구는 대도시를 중심으로 최근 10년의 기온과 사망자수의 관계를 파악한 연구(김소연, 2004; 환경부, 2005)와 열지수 및 HWDI를 도입하여 우리나라에 적용한 연구(최광용 등, 2002; 최영은, 2004) 등이 있다. 이러한 연구에서 지역별 특성을 반영할 필요성은 제시하고 있으나 사망자수 및 질병 자료 등의 기초 자료와 지역별 열파 특성에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다.

또한 열파를 발생시키는 원인에 관련된 연구로 김해구 등(1998)은 북태평양 고기압의 이상적인 북상으로 한반도가 고기압 중심에 위치하여 이로 인한 하강운동과 함께 단열압축이 발생하여 고온현상이 나타났다고 하였다. 변희룡 등(2006)은 2004년 밀양 이상더위의 원인을 태풍이 유도한 2차 순환과 티벳 고원의 적설면적 감소로 인하여 북태평양 고기압이 평년보다 강하게 발달했기 때문에 남서해상에 고기압 중심이 생겨서 고온역의 축이 남하하였기 때문이라고 하였다. 이러한 연구에서는 주로 고온 현상의 원인을 중규모 이상의 대기 순환에 의해서 분석하고 있다.

국지적인 고온 현상의 발생에 관한 연구 중 이현영(1994)은 지형 효과로 발생한 전형적인 편현상의 경우 인제, 원주, 홍천, 춘천, 서울로 갈수록 기온은 높아지고 상대습도는 낮아져서 태백산맥 서쪽지방에 고온현상이 발생할 수 있음을 보였고, 김용상과 홍성길(1996)은 유사 편현상에 의해 강수현상 없이 영동지방에 고온 현상이 발생한다고 하였다. 김상윤과 민경덕(2001)은 서풍이 불 때 산을 넘는 공기와 산의 경사면을 타고 오르는 상승류를 보상하기 위해 형성되는 하강류의 침강에 의한 단열승온과 높은 현열속에 의해 대구 지역에 고온이 나타나며, 지형에 의해 강화되는 상승 정도

는 지형이 없을 때의 최대 10배 이상의 큰 영향을 미치고 있다고 하였다. 이승호(2003)는 여름철 동풍계 바람이 불 때 동해안에 비하여 서해안 지역에서 기온이 높으며 동해안에 증기압이 높고 운량도 많아서 서해안쪽 사면에 편현상이 나타날 가능성이 크다고 하였다. 이상에서 국지적인 기온의 상승에는 지형의 영향이 큰 것을 확인할 수 있다.

열파의 분포에 관한 연구는 그 수가 적고 일부 지역에 국한되어 있으므로 다수의 지점을 대상으로 열파의 특성을 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 열파의 지역별 분포를 파악하고 사례 연구를 통하여 그 원인을 분석하고자 하였다.

2. 연구 자료 및 방법

본 연구에서 사용한 자료는 기상청에서 관측한 일최고기온과 수증기압, 오산과 광주의 상층 풍향 자료이다. 열파의 분포를 파악하기 위해서는 가능한 많은 관측지점의 자료가 필요하다. 그러므로 자료의 분석기간은 기상관측소의 수가 급격히 증가한 1973년 이후 관측이 개시된 기상관측소를 포함할 수 있도록 하기 위하여 1973년부터 2005년까지 33년간의 5~9월이다. 분석지점은 분석기간의 기상 자료를 보유하고 있는 60개의 기상관측소이다(그림 1). 그러므로 분석지점의 분포는 비교적 고르다고 할 수 있다. 상층 자료는 오산과 광주에서 09시에 관측한 850hPa 등압면의 풍향 자료를 이용하였다. 광주는 1978년부터 상층 관측을 시작하였으므로 1978~2005년 자료를 이용하였다.

각 지역의 기후에 따라 날씨에 대한 순응과 열 스트레스에 대한 반응이 다르기 때문에 국가마다 열파의 정의가 다양하다. 일반적으로 열파는 절대적인 접근법과 상대적인 접근법을 사용하여 정의할 수 있다. 절대적인 접근법을 사용할 경우, 열파는 일정 기온을 초과하는 날이 일정 기간 지속되는 현상이라고 정의할 수 있다. 이 접근법은 모든 사람이 연속적인 열 스트레스에 비슷하게 반응한다고 가정한다. 체코를 대상으로 한 Huth *et al.*(2000)과 Kysely(2002)의 연구와 미국,

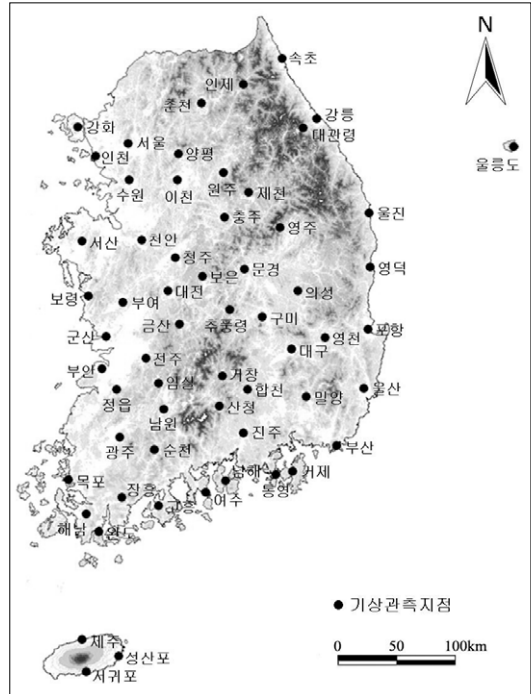


그림 1. 분석지점

네덜란드, 그리스 등의 국가의 기상관련 기관에서 열파를 결정할 때에 이 방법이 사용되고 있다(표 1). 네덜란드에서는 일최고기온 25℃ 이상인 날이 5일 이상 지속되거나 30℃ 이상인 날이 3일 이상 지속될 때는 열파라 하고 있다. 그리스 기상청에서는 일최고기온 38℃ 이상인 날이 3일 이상 지속되는 현상을 열파라고 정의하고 있다. 미국에서는 일최고기온이 90°F 이상인 날이 3일 이상 지속되는 현상을 열파라고 정의하고 있으나, 주에 따라서 90°F 대신 100°F를 사용하기도 한다. 또한 미국 기상청에서는 기온과 습도를 결합한 열파 지수를 개발하여 고온경보시스템을 운영하고 있다. 그러나 이러한 방법은 모든 지역에 동일한 기준을 적용하기 때문에 지형과 해양 및 고도 등에 의한 지역별 기온차를 고려할 수 없는 문제가 있고, 각 열파의 정의가 사용되는 지역마다 다르므로 지형이 복잡한 우리나라에 그대로 적용하는 것은 무리가 있을 수 있다.

상대적인 접근법은 지역별로 특정 백분위수에 해당하는 날이 일정 기간 지속되는 현상이라고 정의하는 것이다. 이 방법은 기후에 따라 날씨에 대한 순응과 열

표 1. 절대적인 접근법을 이용한 열파의 정의

출처	열파의 정의
미국 기상청	일최고기온 90°F(32.2°C) 이상인 날이 3일 이상 지속되는 현상
네덜란드 기상청	일최고기온이 25°C 이상인 날이 5일 이상 지속되거나 일최고기온이 30°C 이상인 날이 3일 이상 지속되는 현상
그리스 기상청	일최고기온 38°C 이상인 날이 3일 이상 지속되는 현상
Huth <i>et al.</i> (2000), Kysely(2002)	1) 일최고기온이 30°C 이상인 날이 3일 이상 지속 2) 열파기간동안 일최고기온의 평균이 30°C 이상 3) 일최고기온이 25°C 이하로 하강하지 않는 상태

표 2. 상대적인 접근법을 이용한 열파의 정의

출처	열파의 정의
DeGaetano and Allen(2002)	전년 일최고기온 상위 5% 이상인 날이 3일 이상 지속되는 현상
Hajat <i>et al.</i> (2002)	전년 일평균기온 상위 1% 이상의 기온이 발생하는 상태
Meehl and Tebaldi(2004)	1) 5~9월까지 일최고기온 상위 2.5% 이상인 날이 3일 이상 지속 2) 열파기간동안 일최고기온의 평균이 상위 2.5% 이상 3) 일최고기온 상위 19% 이하로 하강하지 않는 상태
Baldi <i>et al.</i> (2006)	1961~1990년 6~9월의 일최고기온 상위 10% 이상인 날이 6일 이상 지속되는 현상

스트레스에 대한 반응이 지역별로 다르다는 점을 반영할 수 있다(Karen *et al.*, 2003; WHO, 2004).

표 2는 상대적인 접근법을 이용한 열파의 정의를 나타낸 것이다. 주로 극한고온의 기준이 되는 상위 1, 5, 10%를 기준으로 3일 이상 지속되는 현상을 열파로 정의하였다. DeGaetano and Allen(2002)은 일최고기온이 상위 5% 이상에 해당하는 날이 3일 이상 지속될 때는 열파라고 정의하였고, Hajat *et al.*(2002)는 그 값이 상위 1% 이상인 기온일 때는 열파라고 정의하였다. 전 세계를 대상으로 열파를 연구한 Meehl and Tebaldi(2004)는 체코에서 절대적인 접근법을 이용하여 열파를 정의하였던 Huth *et al.*(2000)의 정의를 백분위수로 전환하여 사용하였다. 이 외에도 영국 기상청은 지역별로 낮과 밤의 열파 임계치를 다르게 지정하여 네 단계로 고온경보를 발령하고 있으며 2일 이상 지속될 경우 건강에 영향을 미칠 수 있다고 하였다. 이러한 방법은 지역별 기후 특성을 반영할 수 있으나 통계 기간에 따라 그 기준값이 달라질 수 있다.

여러 국가와 연구에서 사용되고 있는 열파의 정의를

보면, 열파는 일시적인 이상고온현상과 달리 극한고온 현상이 일정 기간 이상 지속되는 특성을 지니고 있어서 대부분 일최고기온을 이용하여 정의하고 있다. 우리나라의 경우 일최고기온과 사망자수의 관계에 관한 환경부(2003)의 연구 결과에 의하면, 서울은 30~32°C 부터 사망자가 증가하고 대구는 35~38°C 이상에서 사망자가 증가하여 지역별 고온에 대한 민감성이 다를 수 있다고 하였다. 뿐만 아니라 우리나라는 남북으로 길고 산지가 많아 지역별 기후 특성이 다양하게 나타나고 있으므로 열파의 정의도 지역별 다양성이 반영되도록 할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 극한고온현상이 일정 기간 이상 지속되는 열파의 특성과 지역별 다양한 기후를 반영할 수 있는 DeGaetano and Allen(2002)의 정의를 도입하여 “일최고기온 상위 5% 이상인 날이 3일 이상 지속되는 현상”을 열파라고 정의하였다. DeGaetano and Allen(2002)은 여름철의 열파뿐만 아니라 겨울철의 극한저온현상도 연구 내용에 포함하여 분석기간을 1~12월로 하였다. 그러나 본 연구에서는 열파를 분석하는 것이 목적이므로 분석기간

표 3. 분석지점별 일최고기온 상위 5% 백분위수의 기온값(°C, 1973~2005년 5~9월)

지 점	최고기온	지 점	최고기온	지 점	최고기온	지 점	최고기온
속 초	31.3	포 향	34.3	양 평	33.6	해 남	32.6
대 관 령	27.8	군 산	32.6	이 천	33.2	고 흥	33.2
춘 천	33.3	대 구	35.2	인 제	32.7	성 산 포	31.8
강 릉	33.8	전 주	34.0	제 천	32.6	영 주	33.2
서 울	32.7	울 산	33.9	보 은	32.6	문 경	33.7
인 천	31.8	광 주	33.4	천 안	33.2	영 덕	33.7
원 주	33.1	부 산	31.7	보 령	32.2	의 성	34.2
울 릉 도	30.1	통 영	31.6	부 여	33.8	구 미	34.0
수 원	32.6	목 포	32.6	금 산	33.2	영 천	34.5
충 주	33.3	여 수	31.2	부 안	33.2	거 창	33.4
서 산	32.6	완 도	31.4	임 실	32.6	합 천	34.2
울 진	32.0	제 주	32.6	정 읍	33.9	밀 양	34.1
청 주	33.7	서 귀 포	31.7	남 원	34.0	산 청	34.0
대 전	33.4	진 주	33.4	순 천	33.8	거 제	32.2
추 풍 령	32.8	강 화	31.6	장 흥	33.0	남 해	33.1

을 5~9월로 하였다. 이에 따른 분석지점별 일최고기온 상위 5% 백분위수의 기온값은 표 3에 제시하였다. 일최고기온이 상위 5%에 해당하는 값은 대구가 35.2°C로 가장 높고, 고도가 높은 대관령이 27.8°C로 가장 낮다. 대체로 도서지방과 해안지방의 그 값이 낮은 편이고 내륙에서 높다. 동해안의 포항은 그 값이 34.3°C로 높은 편이다.

열파는 지속기간에 따라 단기지속 열파와 장기지속 열파, 또는 단기지속 열파, 중기지속 열파, 장기지속 열파로 구분할 수 있다(Kysely *et al.*, 2000; Khaliq *et al.*, 2005). 열파의 지속기간이 길어지면 그 피해가 더 커지기 때문에 발생 비율이 10% 이상으로 비교적 높고 지속기간이 짧은 5일 이하 지속 열파를 단기지속 열파로, 발생 비율이 5~10%인 6~8일 지속 열파를 중기지속 열파로, 발생 비율이 5% 미만으로 출현 빈도가 낮고 지속기간이 긴 9일 이상 지속 열파를 장기지속 열파로 구분하였다.

열파일수의 분포를 파악하기 위해서 1973~2005년까지 발생한 열파일수를 지속기간에 따라 전체 열파일수, 중·장기지속 열파일수, 장기지속 열파일수로 구

분하여 분포도를 작성하였다. 열파일수의 분포 차이의 원인을 파악하기 위해서 비교 지점을 선정하여 상층 풍향별로 수증기압과 기온 편차의 차이를 분석하였다. 상층 풍향 자료는 중부지방에서는 오산의 자료를 이용하였고 남부지방의 경우는 광주의 자료를 이용하였다. 풍향의 기준은 북, 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서, 북서 등의 8방위로 구분하였다. 기온 편차는 열파 발생 기준이 되는 지점별 일최고기온 상위 5% 백분위수의 기온값과 열파 발생 시 일최고기온의 차이를 의미한다.

3. 열파일수의 분포

전체 열파일수는 충청남·북도의 내륙과 충청남도 의 서해안, 전라남·북도의 내륙, 경상남·북도의 내륙에서 많다. 이에 반하여 동해안 중부지역에서 열파일수가 적다(그림 2). 충청북도 내륙의 천안(172일), 충주(171일)와 충청남도 서해안의 보령(180일) 등은 전체 열파일수가 170일 이상으로 많다. 전라남·북도 내륙

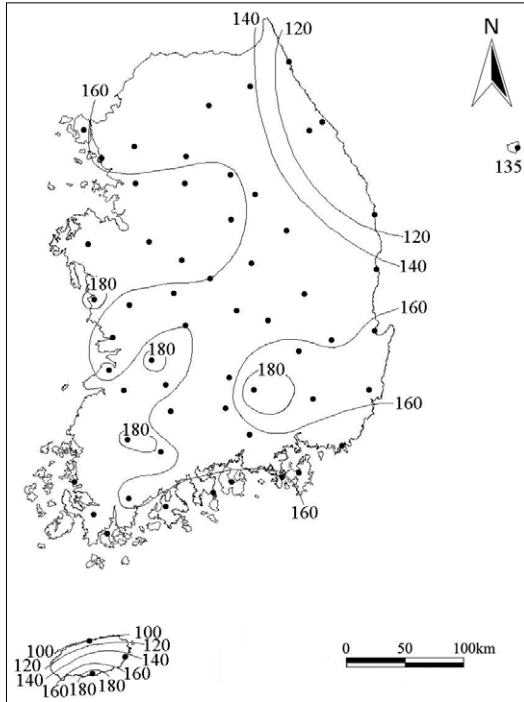


그림 2. 전체 열파일수의 분포(1973~2005)

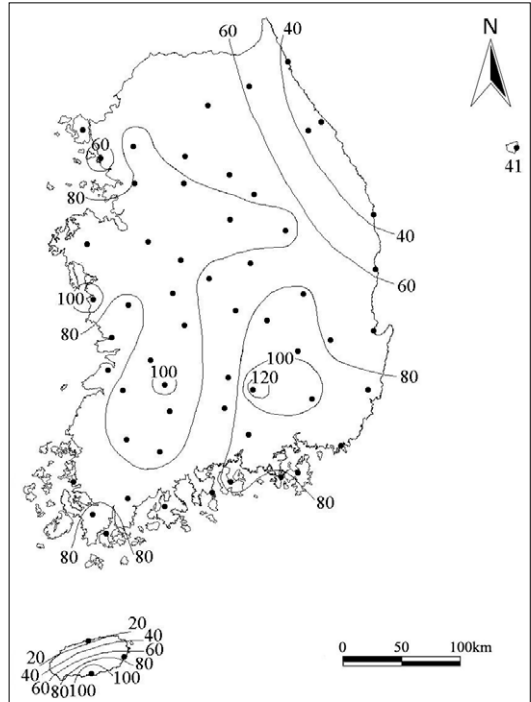


그림 3. 중·장기지속 열파일수의 분포(1973~2005)

의 전주(180일), 광주(182일), 순천(179일), 임실(173일)에서도 열파일수가 많으며, 경상남·북도 내륙의 합천(193일)과 밀양(170일)에서도 열파가 많이 발생하였다. 반면에 동해안 중부의 속초(110일)와 강릉(108일), 울진(101일), 대관령(101일)에서 열파일수가 110일 이하로 적고, 동해안 남부의 포항(167일), 울산(166일)은 중부에 비해 상대적으로 많다.

제주도의 경우는 한라산 북부와 남부지역 간에 열파일수의 차이가 크다. 제주시에서는 87일로 전국에서 가장 적지만 한라산 남부의 서귀포는 184일로 한반도의 다른 관측지점에 비하여 열파일수가 많은 곳이다. 이러한 경향은 중·장기지속 열파 및 장기지속 열파의 분포에서도 잘 나타난다. 울릉도도 열파일수가 135일로 다른 내륙지방에 비하여 출현빈도가 적은 편이다.

그림 3은 연구기간 동안 발생한 열파 중 6일 이상 지속된 중·장기지속 열파일수의 분포를 나타낸 것이다. 충청남도 서해안의 서산(95일)과 보령(110일), 그리고 충청남·북도 내륙의 천안(98일)과 청주(99일)에서 중·장기지속 열파일수가 95일 이상으로 많다. 또한

전라북도 내륙의 전주(94일)와 임실(100일), 경상남·북도 내륙의 합천(127일)과 대구(99일), 밀양(103일)에서도 중·장기지속 열파일수가 많다. 경상남·북도 내륙은 전체 열파일수에 비하여 다른 지역과 더욱 차별화된다. 전체 열파일수의 경우는 이 지역과 동해안지역과의 차이가 60일 내외이지만, 중·장기지속 열파일수의 차이는 80일에 가깝다. 중·장기지속 열파일수가 전체 열파일수에 비하여 줄었음에도 불구하고 그 차이가 커진 것은 이 지역의 강한 열파의 집중도가 뚜렷하다는 것을 보여준다. 뿐만 아니라 합천과 밀양 등은 2000년대 들어서 여름철 극한고온이 자주 출현하는 지역으로 주목받고 있는 곳이기도 하다. 변희룡 등(2006)은 과거 최고 더위의 축이 대구 중심에서 밀양 등지로 이동하고 있을 가능성을 제시하였다.

동해안 중부의 속초, 강릉, 울진의 중·장기지속 열파일수는 40일 이하이며 울릉도도 41일로 다른 지역에 비해 적다. 제주도에서 중·장기지속 열파일수는 제주시가 12일, 서귀포가 106일로 전체 열파일수의 분포와 같이 한라산 북부와 남부 간의 차이가 크다. 대체로 산

지에 의하여 남서기류가 직접적으로 유입되기 어려운 곳에 중·장기지속 열파의 빈도가 낮다고 할 수 있다.

그림 4는 연구기간 동안 발생한 열파 중 9일 이상 지속되는 장기지속 열파일수의 분포를 나타낸 것이다. 중·장기지속 열파일수가 많았던 경남 내륙지방의 합천과 대구는 장기지속 열파일수도 많다. 또한 남서기류의 영향을 직접적으로 받을 수 있는 충청 내륙 및 충청 서해안의 서산, 청주, 천안, 보령과 전라 내륙의 전주, 임실, 정읍 등에서 50일 이상의 장기지속 열파가 발생하였다. 장기지속 열파의 빈도가 높은 곳은 대부분 남서기류에 대한 배후지 쪽에 산지가 자리 잡고 있다. 즉 남서기류에 의하여 유입된 고온다습한 공기가 산지에 막혀 장기간 정체하면서 장기지속 열파가 발생하는 것이라고 생각된다.

대도시인 서울(50일)은 강화(16일), 인천(20일)등의 주변 지역보다 장기지속 열파일수가 많다. 대도시에서는 온실 기체와 인공열이 많이 배출되고 시멘트, 아스팔트, 벽돌 등으로 이루어진 지표 면적이 넓어서 녹지가 많은 교외 지역보다 쉽게 가열되고 장시간 열을 저장한다. 또한 분진 및 각종 대기 오염 물질 등의 에어로솔은 돔 형태로 도시 상공을 덮어 대기의 순환을 방해하고 도시 열섬을 가중시키므로 주변 지역보다 서울에서 열파가 장기간 지속된다고 생각한다. 그러나 일반적인 관념과 달리 서울지방의 장기지속 열파가 남부 내륙지방 등 다른 지역에 비한다면 탁월하게 많은 지역에 포함되지 않는다. 즉, 이는 도시의 열섬효과 등이 열파의 발생에 절대적인 것은 아니라는 사실을 시사하는 것이다. 도시 자체의 열섬효과 등 보다는 지형이나 지리적 위치 등 다른 요인에 의한 영향이 적지 않다고 할 수 있다.

남서기류의 영향이 적은 동해안 중부의 속초와 강릉, 울릉도, 제주시에서는 장기지속 열파가 한 번도 발생하지 않았다는 사실이 주목할 만하다. 이들 지역 외에도 대관령과 동해안의 대부분 지역, 그리고 경기도 북서부 해안지역 등은 장기지속 열파일수가 20일 이하인 곳이다. 대체로 해안지역과 고도가 높은 지역에서 장기지속 열파의 빈도가 낮다. 이와 더불어 지형의 영향이 반영된 것이라 판단할 수 있다. 태백산맥에 의하여 직접적인 남서기류에 막혀 있는 동해안의 중부에서

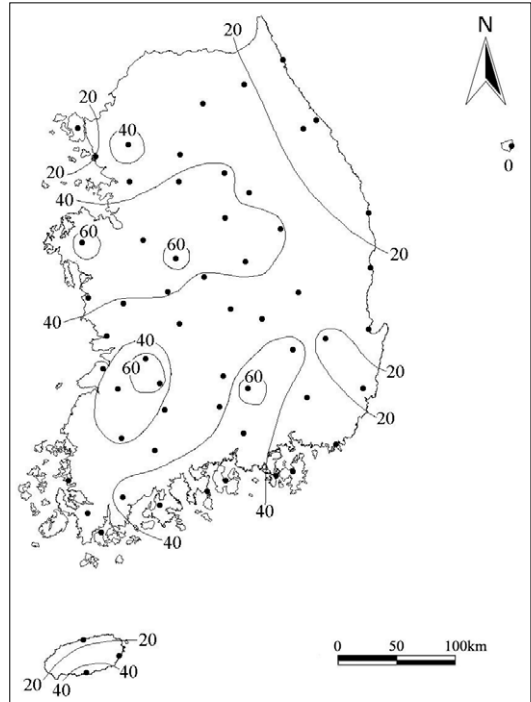


그림 4. 장기지속 열파일수의 분포(1973~2005)

는 장기지속 열파가 거의 없거나 빈도가 낮지만 그 산맥의 연속성이 낮은 남부의 경우 다른 상황이다. 즉, 포항은 장기지속 열파일수가 40일이며, 영덕도 22일로 강릉, 속초 등에 비하여 월등하게 높은 값이다. 한라산 북사면에 자리한 제주시에서도 장기지속 열파가 전혀 출현하고 있지 않는 것은 동해안 중부와 같은 이유라고 생각된다. 그러나 서귀포의 장기지속 열파일수가 52일이라는 높은 빈도의 출현은 이후 자세히 조사되어야 할 과제이다. 울릉도도 연구기간 동안에 장기지속 열파가 전혀 출현하지 않았다. 이는 주변 해양의 영향과 더불어 관측소가 비교적 높은 고도(220.9m)에 자리 잡고 있기 때문이라고 생각한다.

이상에서 보면, 우리나라의 열파의 분포에서 몇 가지의 특성을 찾을 수 있다. 우선 동해안에 비하여 서해안에서의 출현빈도가 더 높다. 동해안의 경우는 장기지속 열파의 경우 전혀 출현하지 않고 있어서 다른 지역과 대비가 된다. 다음은 해안보다 내륙지방일수록 열파의 출현빈도가 높다고 할 수 있다. 또한 같은 해안에서도 지역에 따라서 차이가 크다. 즉, 서해안의 경우

는 전체 열파일수의 차이는 크지 않지만, 장기지속 열파의 경우 남부에서는 빈도가 높은 편이지만 중부에서 크게 감소한다. 동해안의 경우도 남부에서는 장기지속 열파도 출현하지만 중부에서는 전혀 나타나지 않았다.

4. 열파일수 분포 차이의 원인

우리나라는 지형과 지리적 위치, 해양의 영향 등에 의해 지역별 기온 차이가 발생한다. 이러한 기후 인자를 고려하여 열파일수 분포 차이의 원인을 파악하기 위해서 비교 지점을 선정하여 상층 풍향에 따라서 비교 지점 간의 수증기압과 일최고기온 차이를 분석하였다. 해양에서 유입되는 다습한 공기의 영향을 받아서 열파가 발생한 경우에는 수증기압이 높을 것이다. 그러나 지형의 영향을 받는 경우에는 직접적으로 해양의 영향을 받는 경우와 비교하여 수증기압은 낮고 기온은 높은 열파가 발생할 수 있으므로 상층 풍향별 수증기압과 일최고기온을 분석하였다. 비교 지점은 해양과 지형의 영향을 비교할 수 있는 2쌍으로 구성하였다. 남서기류의 영향을 직접적으로 받는 서해안과 태백산맥의 동쪽에 위치한 동해안의 차이를 분석하기 위하여 강화와 강릉을 비교 지점으로 선정하였다. 같은 내륙 지방일 경우 열파의 출현빈도가 높은 내륙지방 중 소백산맥의 서쪽인 전주와 동쪽인 합천을 또 다른 비교 지점으로 선정하였다.

중부지방의 서해안에 위치한 강화의 전체 열파일수는 162일이며 동해안에 위치한 강릉은 108일이다. 중·장기지속 열파일수는 각각 67일, 33일로 중·장기 지속 열파의 빈도 차이가 상대적으로 크다고 할 수 있다. 그림 5는 상층 풍향별로 강화와 강릉의 열파 발생 비율을 나타낸 것이다. 강화에서는 북서와 서, 남서풍 등 서풍계 바람일 때의 열파 발생 비율이 25.5%이고 북동과 동, 남동풍 등 동풍계 바람일 때는 55.7%로, 동풍계 바람의 영향을 받을 때 열파의 출현빈도가 더 높다. 반면, 강릉에서는 서풍계 바람일 때의 열파 발생 비율이 88.5%로 압도적이다. 이와 같이 두 지점의 풍향별 열파 발생 비율의 차이는 서로 다른 원인에 의해

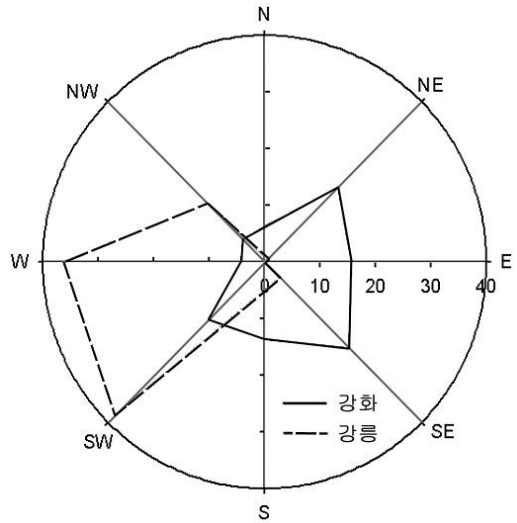


그림 5. 상층 풍향별 강화와 강릉의 열파 발생 비율 (1973~2005)

서 열파가 발생하고 있음을 보여주는 것이다. 그러므로 열파 발생 시 태백산맥과 같은 지형효과에 의한 차이를 파악하기 위하여 두 지점 간의 수증기압의 차이와 열파 발생 시의 기온 편차(열파 발생 기준이 되는 지점별 일최고기온 상위 5% 백분위수의 기온값과 열파 발생 시 일최고기온의 차이)의 차이를 분석하였다.

표 4는 열파 발생 시 상층 풍향별 강화와 강릉의 수증기압과 기온 편차를 나타낸 것이다. 강릉에서 동풍계 바람과 북풍의 영향을 받을 때의 열파 발생일은 5일 이하로 사례수가 적어서 그 풍향의 수증기압을 대표하기에는 무리가 있다고 판단되어 분석에서 제외하였다. 강화의 경우는 동풍계 바람일 때의 수증기압은 26.5~26.8hPa이며, 기온 편차는 1.7~2.1°C이다. 반면에 서풍계 바람일 때의 수증기압은 28.1~29.3hPa이고 기온 편차가 0.6~1.4°C이다. 강화와 같이 상층 풍향이 서풍계일 때 강릉의 수증기압은 24.3~26.7hPa이고 기온 편차는 1.6~1.8°C로, 강화보다 수증기압이 약 3.3hPa 낮고 기온 편차가 약 0.8°C가 더 크다. 이는 서풍계 바람이 불 때 영동지방에서 편현상이 발생했을 가능성을 보여준다. 여름철에 서풍계 바람이 불 때는 영동지방에 편현상이 나타날 가능성이 높으므로(이승호, 2003), 영동지방의 열파는 대부분 서풍계 바람의 영향을 받을

표 4. 상층 풍향별 강화와 강릉의 수증기압(hPa)과 기온 편차(°C)

풍향	지점	강화		강릉	
		수증기압	기온 편차	수증기압	기온 편차
	N	25.2	1.2	.	.
	NE	26.5	2.1	.	.
	E	26.6	1.8	.	.
	SE	26.8	1.7	.	.
	S	28.0	1.1	27.4	1.7
	SW	29.3	1.4	26.7	1.6
	W	28.1	0.6	25.4	1.8
	NW	28.9	0.9	24.3	1.8

때 고온다습한 남서기류가 태백산맥을 넘으면서 발생할 수 있는 편현상이 결합하여 발생한 것이라고 생각된다.

내륙지방 중 열파일수가 많은 전라 내륙의 전주와 경상 내륙의 합천은 전체 열파일수가 각각 180일, 192일이고 장기지속 열파일수가 각각 68일, 71일로 열파의 출현빈도가 높으며 열파가 발생하면 장기간 지속되는 지점이다. 그림 6은 상층 풍향별로 전주와 합천의 열파 발생 비율을 나타낸 것이다. 전주의 열파 발생 비율은 특정 풍향에 집중되지는 않지만 상대적으로 남서, 남, 남동풍 등 남풍계 바람일 때가 50.0%로 우세하다. 합천은 서풍계 바람일 때의 열파 발생 비율이 52.0%이고 동풍계 바람일 때가 25.2%로, 서풍계 바람의 영향을 받을 때 열파가 2배 이상 많이 발생하였다. 이처럼 두 지점에 열파 발생 시에 영향을 미치는 풍향이 다른 것은 열파의 발생 원인이 다르다는 것을 보여준다. 전주와 합천 사이에는 소백산맥이 있어서 지형 효과에 의한 차이를 파악하기 위하여 두 지점 간의 수증기압의 차이와 열파 발생 시의 기온 편차값의 차이를 분석하였다.

표 5는 열파 발생 시 상층 풍향별 전주, 합천의 수증기압과 기온 편차를 나타낸 것이다. 전주의 경우는 서풍계 바람일 때의 수증기압은 28.8~29.0hPa이며, 기온 편차는 0.7~0.9°C이다. 반면에 합천은 서풍계 바람일 때의 수증기압이 24.0~26.6hPa이고 기온 편차는 1.3~1.8°C로, 전주보다 수증기압이 약 3.8hPa 낮고 기

온 편차가 2배 정도 크다. 같은 서풍계 바람의 영향을 받아도 전주는 직접적인 영향으로 열파가 발생하여 수증기압이 높고 기온 편차가 작으나, 합천은 서풍계 바람이 소백산맥을 넘으면서 편 효과가 더해져 수증기압은 낮아지고 기온 편차는 커진 것이라고 생각한다.

그림 7은 전주와 합천이 모두 남서기류의 영향을 받아 열파가 발생한 1994년 8월 4~8일의 두 지점의 수증기압을 비교한 것이다. 전주의 수증기압은 29.8~31.7hPa이고 합천은 24.8~27.1hPa로, 열파가 발생한 5일 모두 합천이 전주보다 수증기압이 낮았다.

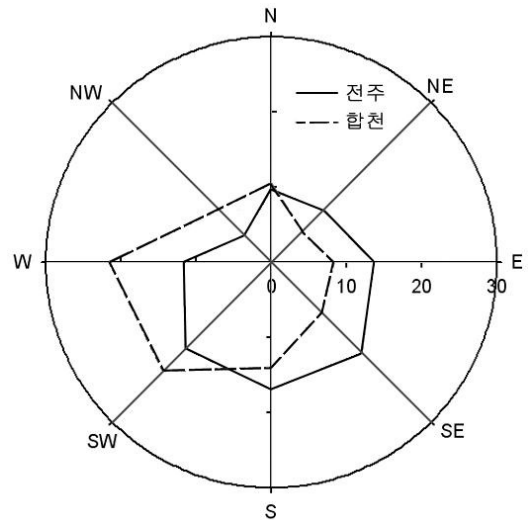


그림 6. 상층 풍향별 전주와 합천의 열파 발생 비율 (1973~2005)

표 5. 상층 풍향별 전주와 합천의 수증기압(hPa)과 기온 편차(°C)

풍향	지점	전주		합천	
		수증기압	기온 편차	수증기압	기온 편차
N		28.9	1.3	27.3	2.0
NE		28.3	1.5	25.1	2.1
E		27.0	0.9	26.3	1.2
SE		28.2	1.1	25.8	1.8
S		28.4	0.9	26.3	1.5
SW		28.8	0.9	24.6	1.3
W		28.8	0.7	26.6	1.5
NW		29.0	0.8	24.0	1.8

그 차이는 평균 4.9hPa 정도이며 차이가 가장 클 때는 5.8hPa를 기록하였다. 이렇게 태백산맥의 지형 효과에 의해 고온 건조해진 공기는 분지 형태를 띤 합천의 지형 때문에 정체되고, 지속적인 남서기류의 유입으로 인해 장기간 고온을 유지한다고 생각한다.

이상에서 해안에 위치한 지역과 내륙에 위치한 지역, 직접적으로 남서기류의 영향을 받는 지역과 지형의 영향을 함께 받는 지점 간의 비교 분석을 통하여 열파 발생의 원인을 파악하였다. 남서기류가 열파의 발생에 중요한 역할을 하고 있으며, 태백산맥을 비롯한 비교적 규모가 큰 지형이 열파의 발생에 영향을 미치고 있다고 판단할 수 있다. 따라서 열파의 지역 차이는 남서기류 및 지형과 관련되어 발생하는 경우가 많다.

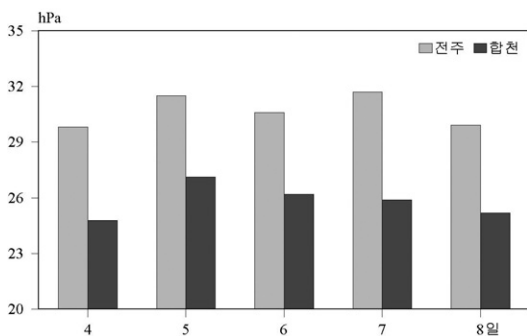


그림 7. 남서기류 유입 시 전주와 합천의 수증기압 (1994년 8월)

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 우리나라 열파의 지역별 분포를 파악하고 그 원인을 분석하고자 하였다. 이를 위해 일최고 기온 상위 5% 이상인 날이 3일 이상 지속되는 현상을 열파라고 정의하고, 1973~2005년까지 열파일수의 분포와 그 원인을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

우리나라 열파일수는 충청남·북도 내륙 및 충청남도 서해안, 전라남·북도 내륙, 경상남·북도 내륙, 제주도 남부 지역에서 160일 이상으로 많고 동해안 중부와 제주도 북부 지역에서 110일 이하로 적다.

동해안에 비하여 서해안에서의 출현빈도가 더 높고, 해안보다 내륙지방일수록 열파의 출현빈도가 높다. 또한 같은 해안지역에서도 서해안의 경우는 전체 열파일수의 차이는 크지 않지만, 장기지속 열파의 경우 남부 지역에서 빈도가 높은 편이다. 동해안의 경우도 남부에서는 장기지속 열파도 출현하지만 중부에서는 전혀 나타나지 않았다.

서해안 지역은 남서기류의 영향으로 열파가 장기간 지속되며 열파일수가 많다. 동해안 중부 지역은 태백산맥이 남서기류를 차단하기 때문에 열파일수가 적으나 일단 열파가 발생하면 뽀 효과가 결합되어 기온 편차가 크다.

전라 내륙 지역은 남서기류의 직접적인 영향으로 장기지속 열파일수가 많다. 경상 내륙 지역은 남서기류

에 소백산맥의 지형 효과가 결합하여 고온 건조해진 공기가 분지 형태의 지형 때문에 정체되고, 지속적인 남서기류의 유입으로 인해 장기간 고온을 유지한다고 생각한다.

이상에서 우리나라에 알맞은 열파의 정의를 도입하여 열파일수의 분포를 파악하고 상층 풍향별 일최고기온과 수증기압을 이용하여 열파일수 분포 차이의 원인을 분석하였다. 이후에 열파를 발생시킬 수 있는 종관적 상황 등에 대한 연구도 필요하다고 생각하며, 그와 관련된 연구가 계속되어야 할 것이다. 열파는 한 번의 발생으로도 인간을 비롯한 생태계에 큰 영향을 주며, 사회적·경제적 손실을 가져올 수 있다. 또한 최근 3년 동안 여름철 무더위로 인해 많은 피해가 잇따르고 있다. 뿐만 아니라 전 지구적으로 진행되고 있는 온난화 등을 고려할 때, 열파로 인한 피해를 최소화하기 위해서 지역별 고온경보시스템을 구축할 필요가 있다. 본 연구의 결과는 고온경보시스템 등을 구축함에 있어서 기초 자료로 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

註

1) 열파 지속 지수(Heat wave duration index)로서 1961~1990년의 일최고기온 평균에 비해 5°C 이상 높은 날이 5일 이상 지속되는 현상을 열파 지속기간으로 정의한 지수를 말한다.

文獻

기상연구소, 2004, “한반도 기후 100년 변화와 미래 전망” (<http://crlweb.metri.re.kr/oasis.php>)

김상윤 · 민경덕, 2001, “지형과 지표특성이 여름철 대도시 지역의 국지순환과 기온변화에 미치는 영향,” 한국기상학회지, 37(5), 487-512.

김소연, 2004, 기후변화로 인한 여름철 폭서현상이 사망률에 미치는 영향, 아주대학교 박사학위논문.

김용상 · 홍성길, 1996, “늦봄 또는 초여름에 영동지방에서 나타나는 “유사핀” 현상에 관한 연구,” 한국기상학회지, 32, 593-600.

김해구 · 민경덕 · 윤일희 · 문영수 · 이동인, 1998, “1987년

과 1994년에 일어난 한반도 하계 이상고온의 특징,” 한국기상학회지, 34, 47-64.

변희룡 · 황호성 · 고혜영, 2006, “2004년 밀양의 이상더위의 특징과 종관적 원인,” 대기, 16(3), 187-201.

이승호, 2003, “우리나라 동·서 해안의 기온 차이에 관한 연구,” 한국기상학회지, 39(1), 43-57.

이현영, 1994, “영서지방의 편현상,” 대한지리학회지, 29(3), 266-280.

최광용 · 최종남 · 김종욱 · 손석우, 2002, “남한의 체감 무더위의 기후학,” 대한지리학회지, 37(4), 385-402.

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

환경부, 2003, 한반도 기후변화 영향평가 및 적응프로그램 마련: 기후변화로 인한 건강피해 가능성 조사 및 피해 저감정책 방향에 관한 연구.

환경부, 2005, 기후변화가 건강에 미치는 영향 및 적응대책 마련: 이상고온으로 인한 초과사망률 역학연구를 중심으로.

Baldi, M., Dalu, G., Maracchi, G., Pasqui, M., and Cesarone, F., 2006, Heat waves in the Mediterranean: a local feature or a larger-scale effect?, *International Journal of Climatology*, 26, 1477-1487.

DeGaetano, A.T. and Allen, R.J., 2002, Trends in twentieth-century temperature extremes across the United States, *Journal of Climate*, 15, 3188-3205.

Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P.D., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A.M.G., and Peterson, T., 2002, Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century, *Climate Research*, 19, 193-212.

Hajat, S., Kovats, R.S., Atkinson, R.W., and Haines, A., 2002, Impact of hot temperatures on death in London: a time series approach, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 56, 357-372.

Huth, R., Kyselý, J., and Pokornal, L., 2000, A GCM simulation of heat waves, dry spells, and their relationships to circulation, *Climatic change*, 46,

- 29-60.
- Karen, E.S., Kuhn, R., and Hudson, A., 2003, Heat wave hazards: an overview of heat wave impacts in Canada, *Natural Hazards*, 28, 463-485.
- Khaliq, M.N., St-Hilaire, A., Ouarda, T.B.M.J., and Bobée, B., 2005, Frequency analysis and temporal pattern of occurrences of southern Quebec heatwaves, *International Journal of Climatology*, 25, 485-504.
- Kostopoulou, E. and Jones, P.D., 2005, Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89, 69-85.
- Kyselý, J., Kalvová, J., and Květoň, V., 2000, Heat waves in the south Moravian region during the period 1961-1995, *Studia geophysica et geodaetica*, 44, 57-72.
- Kyselý, J., 2002, Temporal fluctuations in heat waves at Prague-Klementinum, the Czech Republic, from 1901-97, and their relationships to atmospheric circulation, *International Journal of Climatology*, 22, 33-50.
- Meehl, G.A. and Tebaldi, C., 2004, More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st Century, *Science*, 305, 994-997.
- WHO, 2004, *Heat Waves: Risks and Responses*.
- 교신: 이승호, 143-701, 서울시 광진구 화양동 1번지, 건국대학교 이과대학 지리학과(이메일: leesh@konkuk.ac.kr, 전화: 02-450-3380, 팩스: 02-3436-5433)
- Correspondence: Seungho Lee, Department of Geography, Konkuk University, 1 Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul, 143-701, Korea(e-mail: leesh@konkuk.ac.kr, phone: 02-450-3380, fax: 02-3436-5433)
- 최초투고일 07. 02. 06.
최종접수일 07. 06. 12.