

도시화에 의한 야간 대기 냉각율 변화에 관한 연구

Study on the Variation of Nighttime Cooling Rate Associated with Urbanization

이 순 환* · 박 명 희¹⁾ · 김 해 동¹⁾
부산대학교 BK21 연안환경시스템연구사업단
¹⁾계명대학교 지구환경보전학과
(2007년 10월 6일 접수, 2008년 1월 3일 채택)

Soon-Hwan Lee*, Myung-Hee Park¹⁾ and Hea-dong Kim¹⁾
BK21 Coastal Environment System School, Pusan National University
¹⁾*Department of Environment Studies, Keimyung University*

(Received 6 October 2007, accepted 3 January 2008)

Abstract

In order to clarify the urbanization intensity of Daegu Metropolitan and its characteristics, comparative study on the variation of the cooling rate of two different sites was carried out using observation data for 40 years by Korea Meteorological Administration. Daegu Metropolitan and Chupungnyung represent well urbanized and rural areas, respectively.

In comparison with Chupungnyung, yearly mean temperature at Daegu Metropolitan increases rapidly and especially the differences of minimum temperature increasing rate during 40 years becomes greater. These differences of regional warming are caused by the different urbanization intensity between two sites. And the impact of anthropogenic heat due to urbanization should be stronger in nighttime than in daytime.

Sensible heat advection by regional wind during 6 hours from 18 LST contributes to atmospheric cooling. For this reason wind speed is in proportion to cooling rate of atmosphere. However, wind after 24 LST induces the warm air advection and makes decrease the cooling rate in urban area. Although the cooling rates between Daegu Metropolitan and Chupungnyung are some different, the variation tendencies of cooling rate of two site are almost same. Therefore atmospheric cooling rate in nighttime tends to be associated with the intensity of wind speed.

Key words : Urbanization, Cooling rate, Anthropogenic heat, Daegu, Chupungnyung

1. 서 론

현재 세계적인 고온현상으로 지구온난화에 대한

관심이 고조되고 있다. 지구온난화는 일반적으로 열적 복사수지에 관한 개념을 적용하여, 지구규모 또는 대륙규모의 열적인 상승현상으로 규정하여 접근한다. 그리고 기후변화를 일으키는 요인으로 지구온난화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Karl and

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)51-583-2651, E-mail : withshlee@pusan.ac.kr

Trenberth, 2003; Wigley and Raper, 2001). 현재 지구 온난화연구는 이산화탄소와 메탄 등 온실기체에 의한 대기 중의 열에너지 축적에 관한 관점에서 주로 이루어져 왔다(Plattner *et al.*, 2001; Fearnside, 1995). 온실기체에 의한 대기 중의 에너지 증가는 결국 평균상태의 지구규모 기후 변화를 가져온다.

평균적인 대기의 열적인 상태는 지구규모뿐 아니라 국지규모, 도시규모의 열환경에도 영향을 미친다. 그러므로 이러한 지구규모와 더불어 인간 활동에 밀접하게 영향을 미치는 국지규모의 열적인 변화에 대한 이해도 필요하다. 일정지역에 인구가 증가하고 그에 비례하여 에너지소비가 증가하면서 국지적인 도시규모의 인공열 발생이 증가한다. 이러한 인공열의 증가는 도시지역 열수지 변화에 관여한다(김해동 등, 2003).

Mikami (2005)는 일본 동경의 도심기온이 교외지역보다 약 5도 정도 높다고 보고한 바 있으며, Kuttler *et al.* (1998)은 유럽의 내륙에 위치한 도시지역의 열환경을 조사하여 도심의 온도가 항상 교외보다 높은 것이 아니고 낮 시간 동안에는 반대의 경향이 나타나기도 한다고 결론지었다. 그러나 우리나라의 경우 유럽과 미국과는 달리 복잡한 산지로 둘러싸인 해안지역에 대도시가 위치하여 도시화에 따른 온난화 정도가 매우 복잡적으로 나타난다. 이러한 특성을 이해하기 위하여 자동차와 자동기상장비 등 다양한 관측 자료를 이용한 도시지역의 열적환경에 관한 연구가 다수 실시되었다(Ohashi and Kida, 2002; Lee and Kimura, 2001; 부경은 등, 1999; 윤일희 등, 1994). 안지숙과 김해동(2006)은 대구지역 기상조건에 따른 도시열섬의 강도변화를 통하여 도시지역의 인공열 변화가 도심지역의 계절적인 기후변화에 영향을 미치고 있음을 보였다. 그리고 그들은 도시열섬 강도는 오후보다 오전에 크게 나타나며, 여름철 최고기온상승보다는 야간의 열섬강도가 중요하다고 보았다.

그리고 이들 도시의 열환경이 대기오염물질의 이동과 관련된 국지적인 중규모 기류장에 미치는 영향에 대한 연구도 수행되었다. 이순환 등(2002)은 한반도 남서지역의 도시화에 따른 대기오염물질의 이동에 관한 수치연구를 통하여 도시지역의 열적인 변화는 대기오염의 이동에도 영향을 미치며, 내륙의 오염도변화에 관여함을 보였다. Lee and Kim (2008)은 대

구지역의 1963년과 2002년의 토지이용자료를 이용하여 도시지역의 인공열 발생을 조사하였다. 수치실험을 통하여 39년 간의 이 지역 도시 확대에 따른 바람장 변화를 분석하였다. 도시화에 따라 대구 중심부에서 나타나는 대기의 수렴장이 변화하였으며, 이를 통하여 대구광역시 주변의 중규모 기류장이 변화함을 보였다. 이처럼 도시화에 따른 대기의 열환경변화가 대기의 운동과 오염에 직접적으로 영향을 미친다고 할 수 있다.

도시의 열적요인은 도시기후학적인 통계치인 냉방도일과 난방도일에 의하여 간접적으로 평가할 수 있다(Nakazato, 1998). 냉방도일은 일평균기온이 기준온도인 24도 이상인 날에 대하여 평균기온과 기준온도의 차이를 1년간 합산한 것이며, 난방도일은 반대로 난방이 필요한 날을 합산한 것이다. 이들은 도시지역의 온난화 정도를 도시대기의 승온율과 냉각율로 표현한 것이다. 그러나 일반적으로 도시 승온화 효과는 일 최고기온보다는 최저기온, 하계보다는 동계에 더욱 뚜렷하게 나타난다(Ichinose *et al.*, 1999; Oke, 1978). 이는 도시지역의 온난화 정도를 평가하는 데 있어서 도시기온의 승온율보다는 대기의 냉각율 변화가 더욱 유용하다는 것을 의미한다. 그러므로 도시의 승온화 정도를 정량적으로 평가하기 위해서는 도시지역의 냉각율을 정량적으로 평가하는 것이 중요하다.

본 연구는 대구지역의 도시화 정도를 정량적으로 분석하기 위하여 도시화의 영향이 매우 작다고 판단되는 추풍령지역의 관측 자료와 비교하여, 대구지역의 야간 온도 냉각정도를 평가하였다. 이 연구의 결과는 장기적인 도시지역의 열환경 계획 및 에너지 수급과 관련된 도시환경 계획의 주요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 제2장에서는 연구대상지역과 연구에 사용된 관측 자료를 보였다. 3장에서는 국지적인 온난화 경향성과 이들 지역에서의 국지적인 대기 냉각율을 도시화 강도의 측면에서 설명하며, 4장에서는 결론을 보인다.

2. 관측 자료

본 연구는 한반도 내륙의 대표적인 대도시인 대구 지방을 대상으로 열환경을 평가하였다. 그림 1은 연

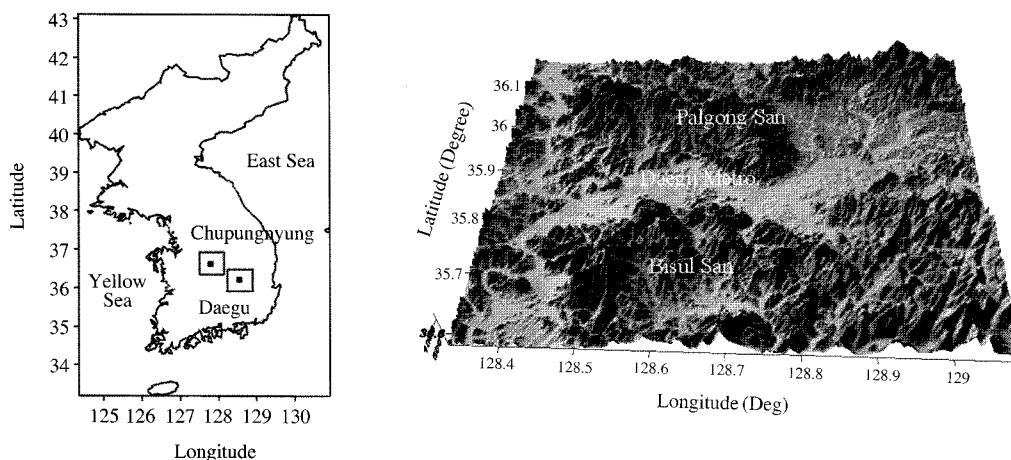


Fig. 1. Location of Daegu Metropolitan and Chupungnyung in the Korean Peninsula and topography of Daegu Metropolitan.

구대상지역인 대구와 추풍령의 위치와 대구지역의 지형을 나타낸 그림이다. 대구광역시와 한반도의 동남부 내륙에 위치한 인구 250만의 대도시이다. 대구 지역은 팔공산과 비슬산에 둘러싸인 전형적인 분지 지형으로 외부와의 열적인 교환이 용이하지 않기 때문에 도시화에 의한 열적인 영향이 크게 나타난다 (Lee and Kim, 2008). 그리고 추풍령은 한반도의 중앙부에 위치하는 소백산맥의 한 자락으로 교통의 요충지 역할을 한다. 추풍령은 대구와 달리 주변에 인구밀도가 매우 낮고, 산업시설 등이 없기 때문에 인공열의 발생원이 없다고 볼 수 있다. 그러므로 이 두 지역 기상 관측값의 차이는 도시화에 따른 인공열의 차이를 반영한다고 볼 수 있다. 본 연구는 두 지역의 절대적인 온도값을 비교 대상으로 하는 것이 아니고 각 지역의 기온 변화 경향을 대상으로 하는 것이기 때문에 대구와 추풍령간의 지리적인 위치에 따른 고도와 위도의 영향은 고려하지 않았다.

장기적인 온난화 경향을 살펴보기 위하여 1960년부터 2000년의 대구 지방기상청과 추풍령관측소의 연중 최고기온과 최저기온자료를 분석하였다. 그리고 계절별 두지역의 냉각정도를 비교하기 위하여 기상청에서 관측한 2005년 12월부터 2006년 8월까지의 시간대별 일 최고온도, 일 최저온도, 일평균기온과 풍속자료를 분석하였다. 그리고 이들 자료 중에서 도시화의 영향을 명확하게 표현하기 위하여 중관적인 영

향이 작은 날을 선정하였다. 그들은 고기압이 지배적으로 작용하며, 일최고기온과 다음날 일최저기온의 차이가 10도 이상인 날과 동시에 운량이 30% 미만인 날을 선정하여 분석에 사용하였다.

대상기간의 일최고기온과 최저기온의 차가 10도 이상인 날은 대구와 추풍령에서 각각 42일과 66일로 추풍령이 대구에 비하여 1.5배 정도 많이 나타난다. 이를 여름철(6~8월)과 겨울철(12~2월)로 구분하면 대구의 경우 여름철(20일)이 겨울철(22일)에 비하여 적다. 그러나 추풍령의 경우 반대로 여름철(36일)이 겨울철(30일)보다 많다. 이때 야간의 최저기온이 25도 이상인 열대야의 경우 대구지역에서는 20회 발생하였으나, 추풍령의 경우 발생하지 않았다. 이러한 일기특성은 중관적인 요인과 도시화에 따른 국지적인 요인이 복합적으로 나타난 것으로 보인다. 그리고 위의 조건을 만족하며, 운량이 30% 미만인 날수는 대구와 추풍령에서 각각 23일과 32일이었다. 이에 본 연구에서는 연구대상기간 중의 각각 23일과 32일의 관측 자료를 바탕으로 분석하였다.

3. 결 과

3.1 국지적 온난화 경향성

그림 2는 대구와 추풍령에서 관측한 연평균기온의

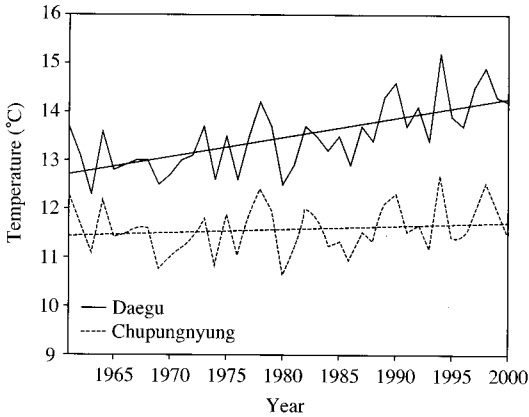


Fig. 2. Time evolution of yearly mean temperature at Daegu Metropolitan and Chupungnyung from 1963 to 2000.

시간변화를 나타낸 것이다. 1960년대부터 도시화가 급격히 진행된 대구지역의 평균기온 증가율이 0.7°C로 추풍령의 평균기온 증가율 0.2°C보다 크게 나타난다. 이것은 대구지역의 도시 확장에 따른 영향이다. 이러한 도시화는 극지적인 온난화를 가속시키는 역할을 하며, 이러한 온난화 강도는 한반도의 온난화 평균 강도인 20년간 상승률 0.3°C보다 크게 나타난다(이명인과 강인식, 1997).

그림 3은 하계(6~8월) 최고기온과 최저기온의 경년변화를 나타낸 것이다. 대구지방의 하계 최고기온의 경년변화를 보면, 그림 2에서 보는 바와 같이 평균기온이 상승하는 경향을 보임에도 불구하고 전체적으로 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 이것은 극지적인 온난화는 최고기온을 상승시키는 것이 아님을 의미한다. 즉 도시화에 의한 인공열은 낮 동안에는 크게 영향을 미치지 않는 것을 볼 수 있다. 이것은 태양복사에너지에 비하여 인공열의 크기가 의미를 가진 양이 아니라는 것을 나타낸다. 그리고 추풍령의 경우 약간 감소하는 경향을 보인다. 그러나 최저기온의 경년변화에서는 최고기온의 변화경향과는 다르게 나타난다. 대구지역 최저기온의 경년변화는 급격한 상승을 나타낸다. 온도 상승율은 연평균 온도 상승율과 비슷하게 나타난다. 반면 추풍령지역 최저기온의 경년변화는 감소하는 경향을 가진다.

그러므로 두 지역에서 나타난 극지적인 온난화를

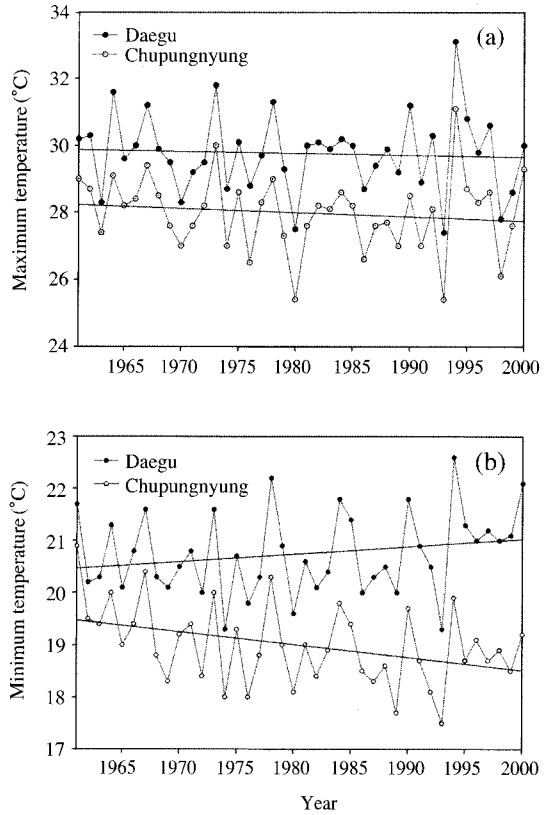


Fig. 3. Time evolution of (a) maximum and (b) minimum temperature for three months (June, July, and August) at Daegu Metropolitan and Chupungnyung from 1963 to 2000.

분석하면, 한반도 전 지역의 평균기온이 상승하는 관측적인 증거에도 불구하고 최고기온과 최저기온의 경향은 다르게 나타나는데 도시지역의 경우 최고기온보다는 최저기온의 변화 경향이 뚜렷하며 시간이 경과함에 따라 최고와 최저온도간의 차이가 작아진다. 반면 추풍령과 같은 교외지역의 경우 연간 온도 변화의 진폭이 커지는 경향을 나타낸다. 이는 도시화에 의한 인공열이 최저온도의 상승에 직접적으로 관계한다는 것을 의미한다.

3.2 대기 냉각율의 시간변화

그림 4는 여름철과 겨울철 분석대상일의 평균 기온의 일변화를 나타낸 것이다. 두 지역 모두 계절에 상관없이 야간의 기온하강이 뚜렷하다. 기온이 상승

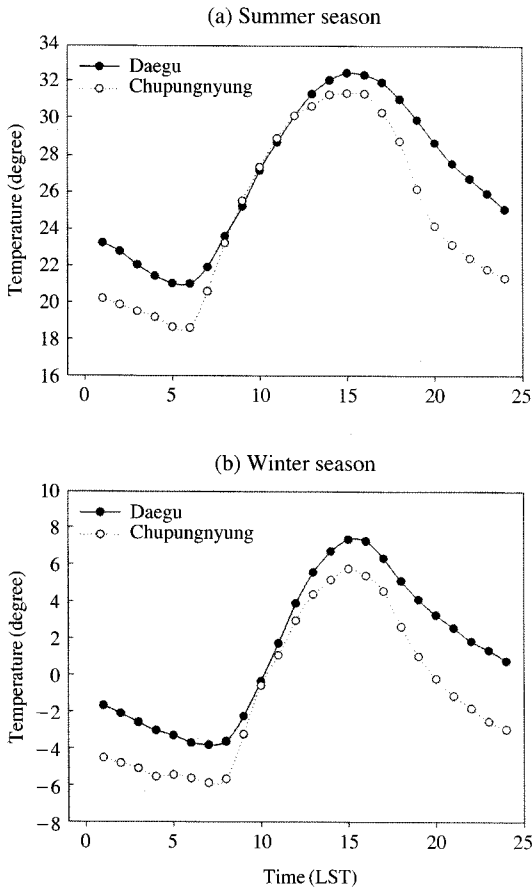


Fig. 4. Diurnal variation of mean air temperature observed at Daegu Metropolitan and Chupungnyung for (a) summer season and (b) winter season.

하는 오전에는 두 지역의 기온 상승 정도가 매우 유사하게 나타난다. 여름철의 경우 9시부터 12시까지 두 지역의 기온차이가 거의 발생하지 않는다. 이것은 태양복사에너지가 강해지는 오전에는 도시화에 의한 인공열 방출이 오후에 비하여 상대적으로 작기 때문에 두 지역의 기온차이가 크지 않다고 판단된다. 그러나 인간 활동에 의한 도시의 인공열이 증가하는 오후로 갈수록 두 지역의 기온차이는 크게 나타난다. 대구의 경우 32.5°C까지 증가하는데 비하여 추풍령의 기온은 31°C에서 최대가 된다. 그리고 16시를 기점으로 두 지역의 기온이 하강한다. 기온하강비율은 추풍령에서는 20시까지 급격하게 하강한다. 반면 대구의 경우 기온의 하강정도가 상대적으로 낮다.

그리고 여기서 나타난 또 다른 한 가지 특징은 추풍령의 경우 13시에서 15시까지 기온 상승이 진행되지 않고 14시의 기온이 15시의 기온보다 낮다는 것이다. 이것은 추풍령이 산악지역에 위치하고 있기 때문에 오후에 곡풍에 의한 수증기의 응집으로 구름이 형성되어 태양복사에너지의 유입이 방해받기 때문이다. 이러한 수증기의 순환은 Lee and Kimura (2001)의 연구결과와 잘 일치한다.

겨울철의 기온의 일변화는 여름철과 유사한 경향성을 가진다. 그러나 여름철에 비하여 최고기온의 차이가 크게 나타난다. 이것은 전술한 바와 같이 도시의 인공열에너지는 여름철 동안의 태양복사에너지에 비하여 작기 때문에 인공열의 의미가 축소되지만 겨울철의 경우 상대적으로 태양복사에너지의 강도가 감소되기 때문에 인공열에너지의 강도가 강화되어 나타나기 때문이다. 그러므로 도시화에 따른 영향이 겨울철에 더욱 뚜렷이 나타나는 것이다. 그리고 기온 상승할 때 두 지역의 기온차이가 여름에는 12시 가까이 유사했지만 겨울에는 10시 이후부터 차이가 급격히 커진다. 이 역시 도시화의 인공열의 영향이 여름에 비하여 겨울철에는 이른 시간부터 나타나는 것이다.

대기냉각율 시간 변화를 보기 위해서 대구와 추풍령지역의 여름철과 겨울철 시간별 냉각율을 그림 5에 나타내었다. 여름철 냉각율의 경우 추풍령은 최고값이 약 2.7°C (19시), 최저값은 약 0.07°C (06시), 그 차는 2°C 이상을 보였다. 대구의 최고값은 약 1.25°C (20시), 최저값은 약 0.21°C (06시)로 그 차는 약 1°C로 추풍령에 비해 낮은 냉각율을 보였다. 그리고 겨울철에도 동일한 경향을 나타낸다. 이처럼 계절에 상관없이 추풍령의 냉각율이 대구보다는 크게 나타나는데 이는 대구지역의 인공열이 지구복사 냉각율을 저해하기 때문이다.

그리고 전체적으로 추풍령의 경우, 여름철의 냉각율이 큰데 이것은 여름철 중간에 강한 태양복사에너지에 의하여 높은 에너지가 대기 중에 축적되어 있다가, 오후에 이들이 급격한 복사냉각에 의하여 식기 때문이다. 반면 대구의 경우 냉각율의 시간지연은 있으나 전체적인 계절적인 냉각율의 차이는 추풍령에 비하여 크지 않다. 이는 도시에서 방출되는 인공열이 전체적인 지구복사에너지에 의한 기온의 계절적인 변화를 감소시킨 것으로 볼 수 있다.

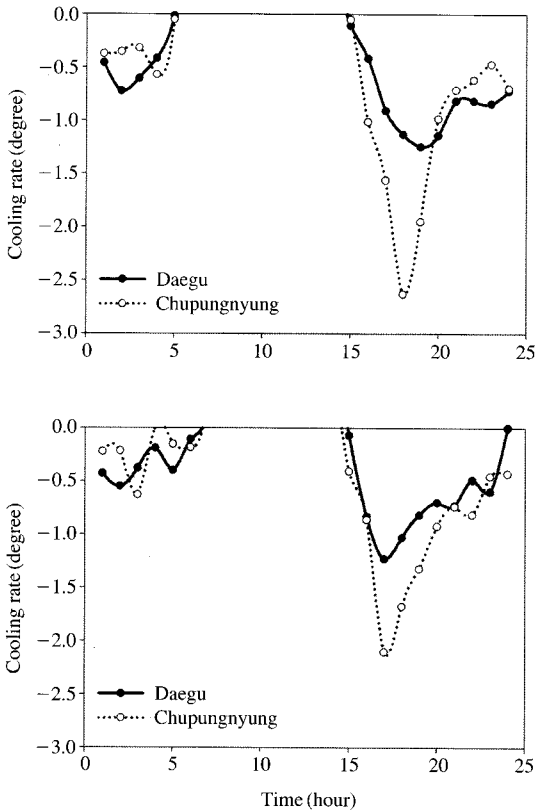


Fig. 5. Time variation of cooling rate during every one hour at Daegu Metropolitan and Chupungnyung.

3.3 기온 냉각율과 바람과의 관계

바람은 기계적인 난류를 유발시키며, 이러한 난류는 대기혼합에 의하여 야간의 기온을 변화시킨다. 그러므로 야간 기온의 냉각율은 바람의 강도와 밀접한 관계를 가진다. 그림 6은 여름철 추풍령과 대구에서 18시부터 24시까지의 냉각율과 풍속을 나타낸 것이다. 그림은 본 연구대상일의 관측자료 전체를 이용하여 그린 것이다. 비록 명확한 상관관계를 나타내지는 않으나, 냉각율과 풍속의 전체적인 경향성은 볼 수 있는데, 두 지역 모두 냉각율과 풍속은 정비례관계를 나타낸다. 즉 풍속이 증가함에 따라 냉각율이 증가하는 경향을 나타낸다. 이러한 관계는 대구보다는 추풍령이 강하게 나타난다. 또한 전체적인 냉각율을 보면 추풍령이 크게 나타나며, 반대로 풍속의 경우 대구지역이 크게 나타나는 경향이 있다. 그러므로 풍속이

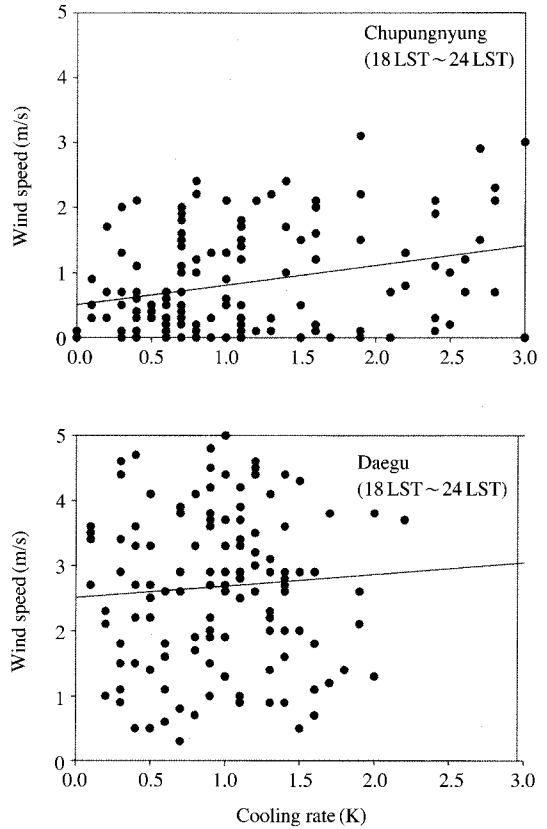


Fig. 6. Scatter plots of wind speed versus cooling rate from 18 LST to 24 LST in summer season.

강한 대구지역에서 냉각율이 낮은 것은 풍속과 냉각율의 관계가 일반적인 경향성은 일치하지만 비례정도는 지역에 따른 차이가 나타날 수 있다는 것을 의미한다.

그림 7은 여름철 두 지역의 24시부터 익일 06까지의 냉각율과 풍속을 나타낸 것이다. 전시간인 그림 6과 비교할 때 24시부터 06시의 냉각율과 풍속 모두 감소하였다. 이는 대기가 시간이 경과함에 따라 안정화되어서 풍속과 이에 의한 냉각율의 감소가 나타난 것이다. 그러나 그림 6과 달리 각 시간별 냉각율과 풍속은 역비례관계를 나타낸다. 이는 풍속이 증가하면 냉각율이 감소하는 것을 의미한다. 이러한 경향성은 이전 시간과 마찬가지로 추풍령에서 뚜렷하게 나타난다. 전체적인 풍속은 이전시간과 마찬가지로 추풍령보다는 대구지역에서 강하게 나타난다.

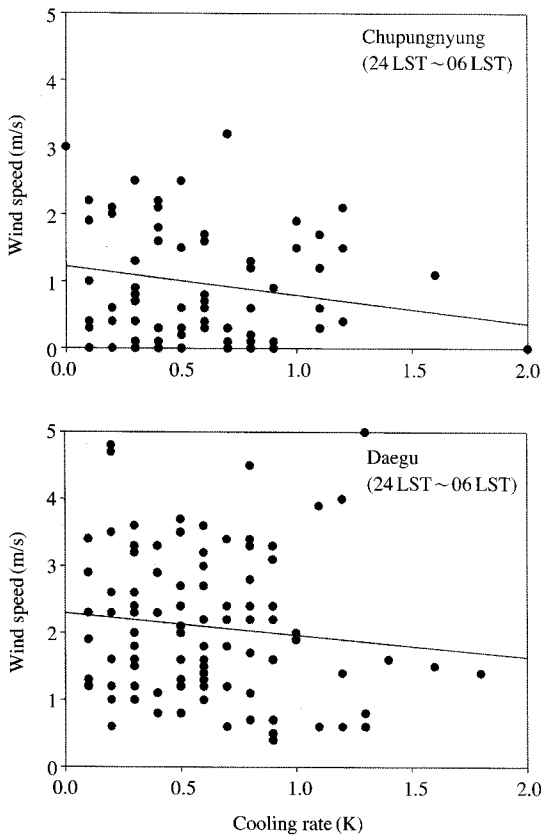


Fig. 7. Same as Fig. 6 except for the time from 24 LST to 06 LST of next day.

그림 6과 7을 종합하면 풍속과 냉각율이 일정한 경향성을 가지는 것이 아니고 시간에 따라 다른 경향을 나타낸다. 즉 일몰 후 지구 복사에너지의 방출에 의하여 지표냉각이 시작된다. 이때 주간에 형성된 중규모 바람장에 의하여 이류가 발생한다. 즉 교외에서 도시의 중심부로 불어오는 바람에 의한 이류는 현열수송을 통하여 대기를 냉각시키는 역할을 한다. 그러므로 풍속이 증가함에 따라 냉각율이 증가하는 경향을 나타낸다. 그러나 대구의 경우 내부 인공열과 건축물들에 의한 복사냉각이 억제되어 냉각율이 추풍령에 비하여 작게 나타난다. 그러나 24시가 지나면서 주간과 다른 바람장이 형성되면서 풍속이 주간에 비하여 작아진다. 동시에 바람에 의한 이류는 현열수송을 통하여 대기를 가열시키는 경향을 나타낸다. 이러한 현열 수송에 의한 가열은 추풍령이 크게 나타

하는데 이는 대구 도심지내의 온도가 높기 때문에 주위에서 불어오는 바람에 의한 가열의 효과가 낮기 때문이다.

그러므로 대기냉각과 풍속은 도시화의 정도에 따라 다양하게 나타나고 이에 대한 효과 역시 도시 내 인공열 등 국지적인 열환경에 의하여 달라질 수 있다. 정확한 도시규모의 온난화를 추정하기 위해서는 이러한 국지적인 열적인 특성을 정확히 평가하여야 한다.

4. 결 론

특정지역에 인구가 집중되어 나타나는 도시화가 도시지역 열환경변화에 관한 기초자료를 제공하고 대구지역의 도시화정도를 정량적으로 분석하기 위하여 도시화의 영향이 매우 작다고 판단되는 추풍령지역의 관측 자료와 비교하여, 대구지역의 야간 온도 냉각정도를 평가하였다.

연구에 이용한 자료는 대구광역시와 추풍령지역을 대상으로 기상청에서 관측한 2005년 12월부터 2006년 8월까지의 시간대별 일 최고온도, 일 최저온도, 일 평균기온과 풍속자료와 1963년부터 2000년까지 연 중 최고, 최저 기온자료를 이용하였다.

먼저 1960년대부터 도시화가 급격히 진행된 대구 지역의 평균기온 증가율이 0.7°C로 추풍령의 평균기온 증가율 0.2°C보다 크게 나타난다. 이것은 대구지역의 도시 확장에 따른 영향이다. 이러한 경향성은 최고온도보다 최저온도의 상승율에서 뚜렷이 나타났다. 그리고 대구지역의 최고온도와 최저온도의 진폭은 도시화가 진행됨에 따라 점점 감소하는 경향을 나타낸다. 대기 냉각율의 시간변화를 보면, 두 지역 승온의 경향성은 유사하게 나타났으나, 냉각시에는 추풍령의 냉각정도가 대구지역의 냉각정보다 매우 빠르게 나타난다. 이는 도시의 인공열에 의한 것이며 이들은 주간 승온시보다 야간 냉각시 대기 열환경에 더욱 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

지표복사냉각이 시작되는 18시부터 24시에는 이류의 현열수송에 의하여 대기가 냉각되기 때문에 풍속과 냉각율은 정비례하지만, 24시 이후가 되면 반대로 바람은 외부의 따뜻한 공기를 이류시켜 대기를 가열시킨다. 그러므로 이때는 풍속과 냉각율은 반비

례한다. 그리고 이때 냉각과 가열의 정도는 추풍령이 크게 나타나는데, 이는 대구광역시내의 높은 열적인 에너지가 존재하기 때문이다. 그러므로 도시화가 진행된 대도시의 열환경 개선을 위하여서는 바람과 냉각율의 관계를 정확히 이해하고 정확한 국지적인 바람장 평가를 바탕으로 이루어져야 한다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 과학기술부의 지원으로 한국 과학재단(과제번호 R01-2006-10104-0)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고 문헌

김해동, 이송욱, 구현숙(2003) 대구모 주택단지 내의 인공구조물에 의한 승온화 효과에 관한 연구, 한국환경과학회지, 12(7), 705-714.

부경은, 전영신, 박지용, 조하만, 권원태(1999) 자동차상관측장치자료를 이용한 서울의 기온수평분포 분석, 한국기상학회지, 35(3), 335-343.

안지숙, 김해동(2006) 대구지역의 기상조건에 따른 도시열섬강도의 계절별 변화 특성, 한국환경과학회지, 15(6), 527-532.

윤일희, 민경덕, 김경익(1994) 대구지역 기상특성 및 대기확산모델의 개발: II. 열섬현상에 관한 사례연구, 한국기상학회지, 30(2), 303-313.

이명인, 강인식(1997) 한반도 기온변동성과 온난화, 한국기상학회지, 33(3), 429-444.

이순환, 이화운, 김유근(2002) 복잡지형에서 도시화에 따른 대기확산에 관한 수치시뮬레이션, 한국대기환경학회지, 18(2), 67-83.

Fearnside, P. (1995) Amazonian deforestation and global

warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest, Forest Ecology and Management, 80, 21-34.

Ichinose, T., K. Shimodozono, and K. Hanaki (1999) Impacts of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, Atmospheric Environment, 33, 3897-3909.

Karl, T. and K. Trenberth (2003) Modern global climate change, Science, 302, 1719-1723.

Kuttler, W., D. Dutemeyer, and A. Barlag (1998) Influence of regional and local winds on urban ventilation in Cologne, Meteorological Zeitschrift, 7, 77-97.

Lee, S.-H. and F. Kimura (2001) Comparative studies in the local circulations induced by land-use and by topography, Boundary Layer Meteorology, 101, 157-182.

Lee, S.-H. and H.-D. Kim (2008) Effects of regional warming due to urbanization on daytime local circulations in a complex basin of Daegu Metropolitan Area, Korea, Journal of Applied Meteorology and Climate (now print).

Mikami, T. (2005) The abnormal climate in Tokyo, Yosensha Press, 95pp.

Nakazato, T. (1998) Heating and cooling degree days, Meteorology, 42, 46-47 (In Japanese).

Ohasi, Y. and H. Kida (2002) Effects of mountains and urban areas on daytime local circulations in the Osaka and Kyoto regions, Journal of the Meteorological Society of Japan, 80, 539-560.

Oke, T. (1978) Boundary layer climate, John Wiley and Sons, 324pp.

Plattner, G., F. Joos, T.F. Stocker, and O. Marchal (2001) Feedback mechanisms and sensitivities of ocean carbon uptake global warming, Tellus, 53, 564-592.

Wigley, T. and S. Raper (2001) Interpretation of high projection for global warming, Science, 293, 451-454.