

여름철 논에서의 기온저감 효과

The cooling effect of a paddy field area during summer.

송철민*, 김진수**, 박종화***, 정구영****

Chul Min Song, Jin Soo Kim, Jong Hwa Park, Gu Young Jeong

Abstract

The cooling effect of paddy fields was compared with those of other land-use areas (upland, urban park, and urban residential area) during midsummer. The temperature were monitored using data logger at one hour intervals in study sites. Diurnal temperature range of study areas in clear days was larger than in cloudy days. Also, diurnal temperature ranges in paddy field, upland, and park areas were larger than those in the urban residential area during clear days. The paddy field or upland area has shown more remarkable cooling effect compared to urban residential areas: Mean duration of temperature below 25°C in the paddy field area is longer(7 to 8 hours) than in the residential area; The time to fall to below 25°C in the paddy field area is sooner than in the residential area; Mean daily minimum temperature in the paddy field area is much lower than in the residential area.

Keywords: Land use, Park, Mean daily minimum temperature

1. 서론

우리나라의 총 국토면적(9,990천ha)중 경지면적은 2002년을 기준으로 1,863천ha이며, 그 중 논 면적은 1,138천ha에 이른다. 논은 식량생산 이 외에, 다원적 기능, 즉, 홍수조절, 수질 정화, 대기 정화, 지하수 함양, 토양유실방지, 기온완화 등의 기능을 가지고 있다. 논이 감소하면 다원적기능도 같이 상실되어 환경적인 측면에서 누렸던 혜택이 감소될 것으로 예상된다. OECD(경제협력기구)에서도 농업 다원적기능의 중요성을 인식하여 이의 올바른 정책형성에 대하여 논의하기 시작하였다.

도시에서는 도심이 교외보다 온도가 높게 되는 열섬(heat island)현상이 발생하는 데, 이는 여름철 일최저기온이 높게 되는 특징을 나타낸다. 열섬현상은 한낮에 콘크리트나 아스팔트 구조물 등에 축적된 열의 야간 방출, 녹지면적의 감소에 따른 증발산량과 잠열(潛熱)의 감소, 도시의 에너지 사용량의 증가에 따른 배열량의 증가, 등이 원인으로, 녹지와 수변(水邊)이 열섬현상을 완화시키고 있다.

일본에서 여름철 논 기온완화기능은 관개와 식생에 의해 효과적으로 발휘하고 있다고 보고되었고(Oue 등, 1993), Yokohari 등(2001)은 도쿄 거주지에서 여름철 논 기온저감 효과를 검토하였다. 우리나라에서 기온저감효과에 대한 연구는 대부분 도시의 하천 및 녹지의 영향을 검토한 것으로, 논에 대하여 검토한 예는 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 2005년 혹서기에 다른 토지이용 형태(논, 밭, 도시녹지대 및 도시주택지)를 대상으로 실측자료를 비교함으로써 논에 의한 여름철 기온저감 효과와 그 효과가 미치는 범위를 평가하고자 한다.

2. 조사지역 및 연구방법

2.1 조사지역

* 정회원 · 충북대학교 대학원 석사과정 · E-mail : kaii2@dreamwiz.com
** 정회원 · 충북대학교 농업생명환경대학 교수 · E-mail : jskim@chungbuk.ac.kr
*** 정회원 · 충북대학교 농업생명환경대학 교수 · E-mail : jhpak7@chnu.ac.kr
**** 정회원 · 충북대학교 대학원 석사출업 · E-mail : gguing@nate.com

본 연구는 조사지역으로서 도시 교외에 위치한 논, 밭, 도시녹지대(이하, 녹지대), 및 도시주택지(이하, 주택지)를 선정하였다(Fig. 1). 논은 충청북도 청원군 옥산면(동경 127°25', 북위 36°41')의 필지(100 m x 100 m)으로 벼(*Oryza sativa*)가 식재되어 있으며 주위는 대부분 논으로 되어 있고, 표고 30~32m의 저평지에 위치하고 있다. 밭 지역은 충청북도 청원군 오창면 괴정리 농업기술원 내(동경 127°27', 북위 36°43')에 위치하고 있으며, 밭작물로는 호밀(*Secale cereale L*)이 주위로 식재되어 있다. 녹지대는 인구 62만의 청주시 시내에 위치한 충북대학교 교내(면적 97.4ha)로서, 바닥은 잔디로 피복되어 있고, 주위에는 수목이 있으며, 아스팔트 주차장으로부터 20m 정도 떨어져 있다. 주택지는 청주시 도심에 위치하고 4차선 도로에서 50m 떨어진 주택가에 있는 개인 주택을 선정하였다.

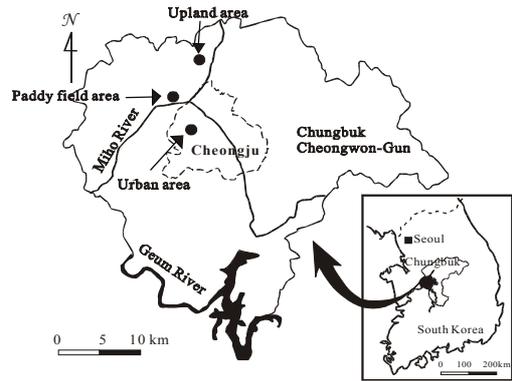


Fig. 1 Location of study site

2.2 연구방법

연구기간은 2005년 7월 15일부터 8월 19일까지를 선정하였는데, 이 기간 중에는 최고기온이 30℃, 최저기온이 20℃를 넘는 날이 자주 나타났고, 본 연구에서는 이런 기준을 흑서일로 정의하였다.

연구 지역에는 Fig. 2와 같이 논과 녹지대에서는 데이터 로거형 기상측정장치(Spectrum Technologies Inc., Watchdog Weather Station #550)를 설치하여 온도, 습도(1.5m 높이에서 측정), 풍속, 풍향(2.0m 높이에서 측정)을, 밭과 주택지에서는 데이터 로거형 기상측정장치(Veriteq, SP-2000)를 설치하여 온도와 습도(1.5m 높이에서 측정)를 1시간 간격으로 측정하였다. 특히 논과 밭에서는 온도와 상대습도를 1.5m 높이 이외에 0.5 m 높이에서도 측정하였다.



Fig. 2 Meteorological measurement equipment in study areas

3. 결과 및 고찰

3.1 논, 밭의 1.5m와 0.5m 높이에서의 온도와 상대습도 비교

7월 논과 밭의 1.5m와 0.5m 높이에서 측정한 실측온도와 상대습도는 일반적으로 기온이 높아지면 상대습도가 낮아지며 기온의 일교차가 클수록 상대습도의 일교차도 크게 나타났다. 논인 경우 7월 15일부터 8월 19일까지 0.5m 높이의 평균 일최고기온은 32.4℃, 평균 일최저기온은 22.5℃, 일평균기온은 26.8℃로 1.5m 높이에 비하여 각각 0.9℃, -0.5℃, -0.2℃의 차이를 보였다(Fig. 3). 한편 밭의 경우 0.5m 높이의 평균 일최고기온은 34.2℃, 평균 일최저기온은 22.7℃, 일평균기온은 28.0℃로 1.5m 높이에 비하여 각각 2.1℃, -0.4℃, 1.2℃의 차이를 보였다. 이와 같이 0.5m 지점이 1.5m 지점보다 일최고기온은 높고, 일최저기온은 낮게 나타났는데, 이는 지표 복사열 및 균락(canopy)의 영향에 의한 불량한 통풍환경 때문으로 생각된다.

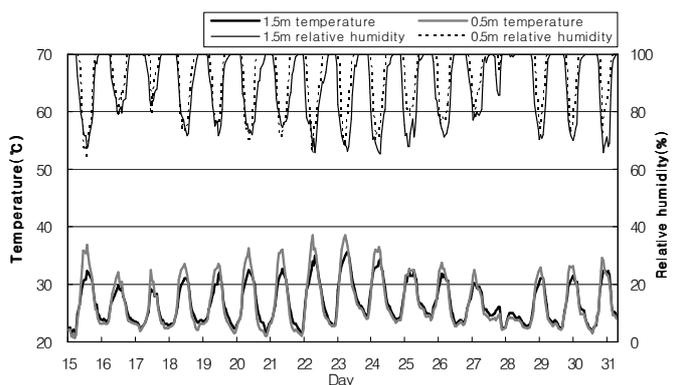


Fig. 3. Temporal variations of temperature and relative humidity in paddy-field, July

상대습도는 논에서 담수의 영향으로 65% 이상을 나타냈는데, 밭에서는 50%까지 저하되는 경우도 발생하였다. 논에서는 0.5m 높이가 1.5m 높이보다 상대습도가 크게 나타났으나 밭에서는 역으로 낮게 나타났는데,

이는 논 표면수의 증발에 의한 영향 때문으로 생각된다.

3.2 일기온 변화 비교

조사기간중, 논, 밭, 녹지대 및 주택지의 기온 변화를 보면 Fig. 4와 같다. 일 기온은 오후 2~4시에 최고기온을 나타냈고, 새벽 5시에 최저기온을 나타냈다. 최고기온은 일반적으로 녹지대가 높게 나타난 경우가 많았으나, 최저기온은 주택지가 논, 밭, 녹지대보다 높게 나타났는데, 이는 낮 동안 콘크리트 건물이나 아스팔트 도로에 축적된 복사열이 야간에 방출되고, 건물에 의한 바람소통의 저하로 대기를 고온화시키기 때문으로 생각된다. 또한 녹지대는 아스팔트 포장의 주차장에서 20 m 밖에 떨어져 있지 않는 데에도 불구하고 최저기온은 주택지보다 크게 강하하였다. Israel에서 조그만 면적(0.15 ha)의 공원이라도 기온저하효과는 크게 나타나는 것으로 보고되었다(Shashua-Bar and Hoffmann, 2000).

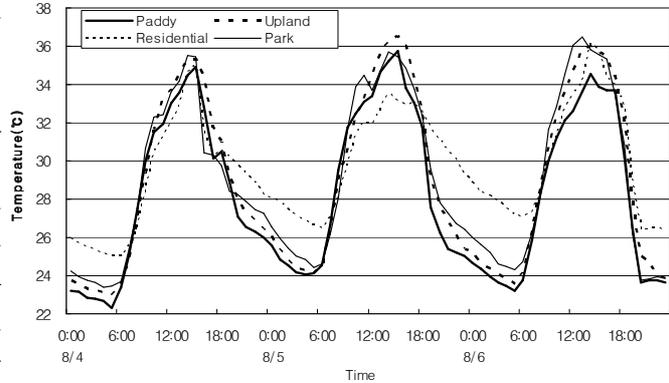


Fig. 4 Diurnal variation in study sites during 4 to 6 August, 2005

조사기간 동안의 평균기온은 논(26.6°C) < 밭(27.0°C) < 녹지대(27.5°C) < 주택지(28.0°C)의 순으로 논이 녹지대나 주택지보다 0.9~1.4°C 정도 낮게 나타났다. 평균 최고기온은 논이 밭과 녹지대보다 낮게 나타났으나, 주위 건물 그늘(shading)의 영향을 많이 받는 주택지와 비슷하게 나타났다. 한편 평균 일최저기온은 논이 밭보다는 0.2°C, 녹지대보다는 0.8°C, 주택지보다 2.4°C 낮은 값을 보였다.

3.3 논, 밭 및 도시부의 일교차 비교

조사기간(7월 15일부터 8월 19일)중 논과 밭, 도시의 평균일교차는 논이 8.6°C, 밭이 9.0°C, 녹지대가 8.9°C, 주택지가 6.3°C로 나타났으며, 최대일교차는 논, 밭 및 녹지대에서 7월 22일 각각 13.4°C, 14.7°C, 14.2°C로 나타났으며, 주택지에서는 8월 4일 10.0°C로 나타났다. 또한 최소일교차는 모두 8월 11일 나타났으며, 논과 밭이 2.0°C, 녹지대가 1.8°C, 주택지가 1.4°C로 나타났다. 또한 혹서기간 중 10 mm/day 이상의 강우일을 제외한 날의 평균일교차는 논이 9.2°C, 밭이 9.6°C, 녹지대가 9.4°C, 주택지가 6.6°C로 주택지는 다른 3곳에 비하여 일교차가 작게 나타났다. 또한 10 mm/day 이상의 강우일의 평균일교차는 논이 6.7°C, 밭이 6.8°C, 녹지대가 7.0°C, 주택지가 5.3°C로 맑은 날에 비하여 작고 모두 7°C 이하로 거의 비슷하게 나타났다.

3.4 논과 녹지대의 풍속 비교

풍속은 7월 26일에서 8월 19일까지 논과 녹지대에서 측정되었는데, 이 중 8월 13일부터 16일까지는 풍속기의 작동불량으로 데이터를 얻지 못했다. 측정기간 동안의 평균풍속은 논에서 1.4 m/s, 녹지대에서 0.2 m/s로서 일반적으로 논이 도시보다 높은 값을 보였다. 또한 최대 풍속은 8월 9일 논에서 10.8 m/s, 녹지대에서 2.2 m/s를 나타냈다. 논에 비하여 녹지대의 풍속이 낮게 나타나는 이유는 논지대에서는 바람의 소통이 원활히 이루어지고 있는 데 반하여, 녹지대는 도시의 주변부가 고층 아파트로 둘러싸여 바람의 소통을 방해하기 때문으로 생각된다. 또한, 하루를 1~6시, 7~12시, 13~18시, 19~24시로 구분하여 각 시각의 평균풍속은, 논 지역에서 1~6시에 최소값을 보였으며, 오후(13~18시)에 최대값을 보였다. 이와 반대로 녹지대에서는 1~6시와 19~24시에 높은 값을 보였고, 오후(13~18시)에 최소값을 보였다(Fig. 5).

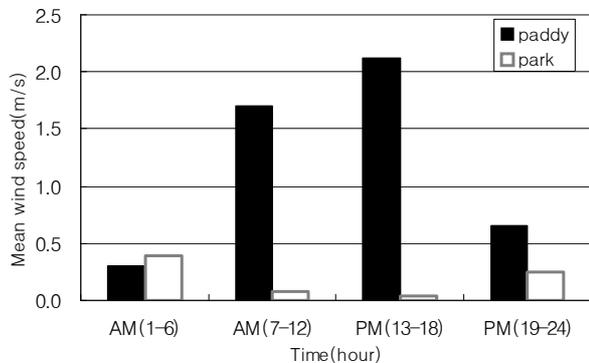


Fig. 5. Six-hour mean wind speed

3.5 혹서기 중 열대야 완화효과의 비교

논, 밭, 도시부의 열대야 완화효과를 비교하면 Table 1과 같다. 낮 기온이 30℃를 넘는 혹서일(7월 15일부터 8월 19일)중 열대야의 기준이 되는 25℃이하의 기온을 보이는 날은 27일이었는데, 이중 논은 27일, 밭은 26일, 녹지대는 23일, 주택지는 7일 동안 25℃이하의 기온을 보였다. 25℃ 이하로 낮아지는 평균시각은 논이 22.4시, 밭이 23.3시, 녹지대가 0.4시, 주택지가 3.9시로서 주택지가 논과 밭, 녹지대에 비하여 훨씬 늦은 새벽에 나타났다. 또한 25℃이하 지속시간은 논이 8.6시간, 밭이 7.3시간, 녹지대가 5.6시간, 주택지가 0.6시간으로 논, 밭 및 녹지대가 주택지보다 훨씬 크게 나타났으며, 논과 밭은 숙면을 취할 수 있을 정도의 충분한 시간을 보였다. 또한 혹서기 동안의 평균 일최저기온은 논이 22.9℃로서 밭보다 0.2℃, 녹지대보다 0.8℃, 주택지보다 2.4℃ 낮은 값을 보여, 일최저기온을 낮추는 것으로 나타났다.

이상과 같이 25℃이하가 나타나는 일수, 시각, 지속시간, 평균 일최저기온 등으로 판단할 경우 논>밭>녹지대>주택지 순으로 열대야를 완화시키는 것으로 나타났다. 한편, 논과 밭은 기온저감효과에서 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 기온저감효과는 식생에 의한 영향이 크기 때문으로 생각된다(Oue et al., 1993). 이 기간 동안 작물의 초장은 벼가 70~90cm, 밭작물인 호밀은 1m 이상의 값을 보였다.

Table 3. Comparison of cooling effect in study sites during midsummer(July 15 to August 19)

	Paddy field	Upland	Residential	Park
Days to drop to below 25℃	27(27) ^a	26(27) ^a	7(27) ^a	23(27) ^a
Mean hour to drop to below 25℃	22.4hr	23.3hr	3.9hr	0.4hr
Mean duration of below 25℃	8.6hr	7.3hr	0.6hr	5.6hr
Mean daily min temperature	22.9℃	23.1℃	25.3℃	23.7℃

^aTotal days of hot season

4. 결론

본 연구에서는 도시 교외에 위치한 논과 밭, 도시에 위치한 녹지대와 주택지를 대상으로 2005년 혹서기 동안 기온의 변화를 비교하여 논에 의한 여름철 기온저감 효과와 그 효과가 미치는 범위를 평가하였다. 여기서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 혹서기간(7월 18일부터 8월 19일)중 맑은 날에는 평균일교차가 논이 9.2℃, 밭이 9.6℃, 녹지대가 9.4℃, 주택지가 6.6℃로 주택지는 다른 3곳에 비하여 큰 일교차를 보였고, 10 m/d를 넘는 강우일에는 7℃이하로 작게 나타났다.
2. 평균풍속은 논에서 1.4 m/s, 녹지대에서 0.2 m/s로 논이 녹지대보다 훨씬 높은 값을 보였는데, 이는 논은 저평지에 위치하여 바람의 소통을 방해하는 장애물이 없기 때문으로 생각된다.
3. 혹서기 동안 논, 밭 및 녹지대는 주택지보다 열섬현상이나 열대야를 완화시키는 효과가 큰 것으로 나타났는데, 특히 논에 의한 효과가 가장 크게 나타났다. 25℃ 이하로 낮아지는 평균시각은 논이 22.4시, 밭이 23.3시, 녹지대가 0.4시, 주택지가 3.9시로서 주택지가 논과 밭, 녹지대에 비하여 훨씬 늦은 새벽에 나타났다. 또한 25℃이하 지속시간은 논이 8.6시간, 밭이 7.3시간, 녹지대가 5.6시간, 주택지가 0.6시간으로 논, 밭 및 녹지대가 주택지보다 훨씬 크게 나타났다. 또한 평균 일최저기온은 논이 22.9℃로서 밭보다 0.2℃, 녹지대보다 0.8℃, 주택지보다 2.4℃ 낮게 나타났다.

참고문헌

1. Oue H., H. Tagashira. T. Otsuki, T. Maruyama(1993). The characteristics of heat balance and temperature regime in the paddy, potato, bare field and the asphalt area (in Japanese), J. of JSIDRE 164: 97-104
2. Shashua-Bar L. and M. E., Hoffmann(2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. Energy and Buildings, 31: 221-235.
3. Yokohari M, RD Brown, Y. Kato, S. Yamamoto S.(2001). The cooling effect of paddy fields on summertime air temperature in residential Tokyo, Japan. Landscape and Urban Planning 53: 17-27.