

2006년 여름철 논에 의한 기온저감효과

The cooling effects of a paddy field area during 2006 summer

권성일*, 김진수**, 박종화***, 오광영****, 송철민*****

Sung Il Kwon, Jin Soo Kim, Jong Hwa Park, Kwang Young Oh, Chul Min Song

요 지

본 연구에서는 2006년 여름철(2006년 7월 15일~9월 30일) 동안 서로 다른 토지피복형태(논, 밭, 도시녹지 대 및 도시주택지)에서의 기온변화 특성을 비교하여 논에 의한 기온저감 효과를 파악하였다. 혹서기 동안 총 3회(2006년 8월 3일, 11일, 15일)에 걸쳐 논으로부터의 거리에 따라 기온을 실측한 결과, 논으로부터 거리가 멀어짐에 따라 기온이 상승하였으며, 170m 지점에서의 기온은 논 지점보다 14시에는 2.3℃, 22시에는 1.8℃, 익일 06시에는 1.3℃ 높게 나타났다. 혹서기 동안 논, 밭, 녹지대, 주택지에서의 열대야 완화효과를 비교해보면, 논이 열대야를 완화시키는 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 25℃이하로 낮아지는 평균시각은 논이 22.36시, 밭이 24.0시, 녹지대가 2.2시, 주택지가 2.3시로 나타났고, 이 시각으로부터의 평균 지속시간은 논이 7.7시간, 밭이 7.3시간, 녹지대가 4.3시간, 주택지가 1.0시간으로 나타났다. 또한 평균 일최저기온은 논이 23.1℃로서 밭과는 동일하게 나타났으며, 녹지대보다 0.9℃, 주택지보다 3.0℃ 낮게 나타났다. 그러나 논과 밭에서의 기온저감효과는 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 기온저감효과가 식생피복상태에 의해 크게 좌우되기 때문으로 생각된다. 본 연구에서는 논과 밭에 의한 기온저감효과의 메커니즘은 파악되지 않았으나, 이는 다양한 논지대 및 밭지대를 대상으로 열수지 특성을 분석함으로써 구명할 수 있을 것으로 생각된다.

핵심용어 : 토지피복형태, 기온저감효과, 논, 주택지, 열대야 지속시간, 평균 일최저기온

I. 서 론

2006년 우리나라의 경지면적 1,800천ha 중, 논은 약 60%(1,084천ha)를 차지하고 있다(국립농산물품질관리원, 2007). 논은 식량생산 이 외에, 홍수조절, 수질 정화, 대기 정화, 지하수 함양, 토양 유실방지, 기온완화 등의 다원적 기능을 가지고 있다. 이런 논이 감소하면 다원적 기능도 같이 상실되어 환경·보전적인 측면에서 수행해왔던 공익적 역할이 많이 감소될 것으로 예상된다.

도시에서는 도심이 교외보다 온도가 높게 되는 열섬(heat island)현상이 발생하는데, 이 현상은 녹지면적의 감소에 따른 증발산량과 잠열(潛熱)의 감소, 도시의 에너지 사용량의 증가에 따른 배열량의 증가 등이 원인으로 발생하며, 녹지와 수변(水邊)이 열섬현상을 완화시키고 있다.

일본에서 여름철 논의 기온완화기능은 관개와 식생에 의해 효과적으로 발휘하고 있다고 보고되었다(Oue et al., 1993). Yokohari et al. (2001)은 내부경계층 모형을 이용하여 도쿄 거주지에서 여름철 논의 기온저감 효과를 검토하였다. 우리나라에서 기온저감효과에 대한 연구는 대부분 도시의 하천 및 녹지의 영향을 검토하였으며(Cho and Shin, 2002), 논에 대하여 검토한 예로는 Kim et

* 정회원 · 충북대학교 농업생명환경대학 특별연구원 · E-mail : sungili2004@yahoo.co.kr

** 정회원 · 충북대학교 농업생명환경대학 교수 · E-mail : jskim@cbnu.ac.kr

*** 정회원 · 충북대학교 농업생명환경대학 교수 · E-mail : jhpak7@cbnu.ac.kr

**** 정회원 · 충북대학교 농업과학기술연구소 특별연구원 · E-mail : dreams01@nate.com

***** 정회원 · 충북대학교 대학원 석사과정 · E-mail : kaii4@nate.com

al. (2007)이 토지피복별 여름철 기온변화에 대하여 실시한 연구 정도이다. 이에 본 연구에서는 2006년 여름철에 논, 밭, 도시녹지대(이하, 녹지대) 및 도시주택지(이하, 주택지)를 대상으로 현지 관측을 중심으로 온도변화 특성을 파악하여 논에 의한 여름철 기온저감 효과를 평가하고자 한다.

II. 조사지역 및 연구방법

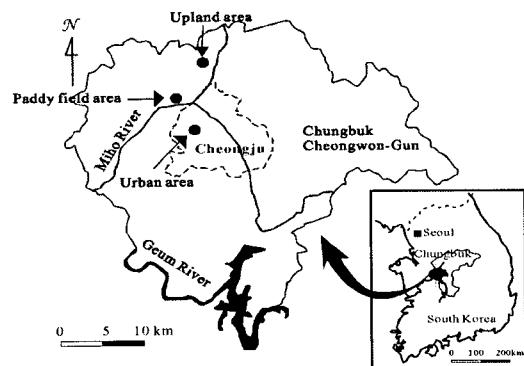
1. 조사지역

본 연구에서는 토지이용별 기온변화 특성을 파악하기 위하여 도시 교외에 위치한 논, 밭, 녹지대 및 주택지를 조사지역으로 선정하였다(Fig. 1). 논은 충청북도 청원군 옥산면 논지대($127^{\circ}25'E$, $36^{\circ}41'N$)에 있는 필지논($100m \times 100m$)으로 벼(*Oryza sativa*)가 식재되어 있으며 표고 $30 \sim 32$ m의 저평지에 위치하고 있다. 밭 지역은 충청북도 청원군 오창면 괴정리 농업기술원 내($127^{\circ}27'E$, $36^{\circ}43'N$)에 위치하고 있으며, 밭작물로는 참깨(*Sesamum indicum*)가 식재되어 있다. 녹지대는 인구 62만의 청주시 시내에 위치한 충북대학교 교내($127^{\circ}27'E$, $36^{\circ}37'N$, 면적 97.4ha)에 있고, 바닥은 잔디로 피복되어 있고, 주위에는 수목이 있으며, 아스팔트 주차장으로부터 20m 정도 떨어져 있다. 주택지($127^{\circ}27'E$, $36^{\circ}38'N$)는 청주시 도심에 위치하고 4차선 도로에서 220m 떨어진 주택가에 있는 개인 주택을 선정하였다.

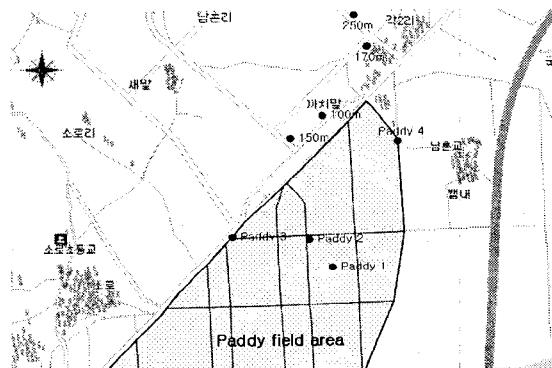
논지대 4지점은 광역논 안에서 선정하였고, 논주위부의 4지점은 논지대의 경계선으로부터 직선거리로 100, 150, 170, 250m의 지점을 선정하였다. 100, 150, 170m지점은 도로 옆 보도블럭 위에 위치하고 있고, 주위에 건물이 있었으나, 250m 지점은 도로 옆의 보도블럭 위에 위치하고 있지만 주위에 건물이 없고 개방되어 있다.

2. 연구 방법

연구기간은 2006년 7월 15일부터 9월 30일까지를 선정하였는데, 이 기간 중에는 최고기온이 $30^{\circ}C$, 최저기온이 $20^{\circ}C$ 를 넘는 날이 자주 나타났고, 본 연구에서는 이런 기준을 혹서일로 정의하였다. 연구 지역에는 Fig. 2와 같이 논, 밭 및 녹지대에는 데이터 로거형 기상측정장치(Spectrum Technologies Inc., Watchdog Weather Station

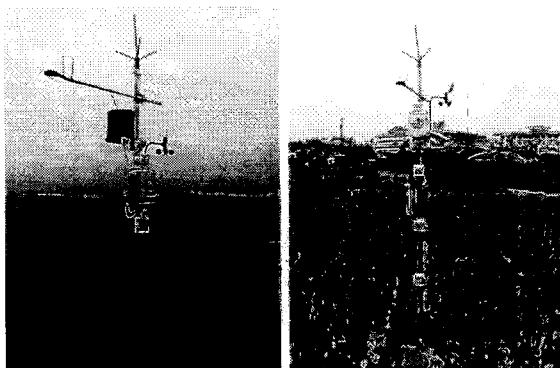


(a) Paddy field, upland and urban areas



(b) Observation points in and outside a paddy field area

Fig. 1. Study site



(a) Paddy field

(b) Upland

Fig. 2 Meteorological measurement equipment in study areas

#550 ; Veriteq, SP-2000)를 설치하여 풍향과 풍속(2.0m 높이에서 측정), 온도와 습도(0.5m와 1.5m 높이에서 측정)를, 주택지에서는 데이터 로거형 기상측정장치(Veriteq, SP-2000)를 설치하여 온도와 상대습도(1.5m 높이에서 측정)를 1시간 간격으로 측정하였다. 특히 논과 밭에서는 온도와 상대습도를 1.5m 높이 이외에 초관(草冠, canopy)의 영향을 받는 0.5m 높이에서도 측정하였다. 또한, 논과 그 주위부의 온도를 비교하기 위해 논 4지점과 주위부의 4지점의 온도를 휴대용 디지털 온도계(Sato, SK-1100)로 8시간 간격(14시, 22시, 익일 06시)으로 3회(8월 3일, 11일, 15일)에 걸쳐 1.5m 높이에서 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 논과 주위부의 기온 및 표면온도

3회에 걸쳐 측정한 논과 아스팔트로 포장된 주위부의 기온 및 표면온도 측정 값은 Table 1과 같다. 최고값은 아스팔트 표면온도가 8월 15일 14시에 50.0°C, 같은 시각에 논 주위부 기온은 36.5°C, 논 표면수의 수온은 33.4°C, 논 기온은 35.2°C로 나타났다. 일본에서 7월 중하순에 측정한 온도의 최대값은 아스팔트에서 50°C를 넘는 경우가 자주 나타났다(Oue et al., 1993). 논 주위부 지점에서 아스팔트 표면온도는 기온보다 항상 높았으나, 논에서는 논표면수의 수온이 한낮(14시 경)에는 기온보다 낮았으나, 22시와 06시에는 기온보다 높았다. 아스팔트의 온도는 최대 7°C의 비교적 적은 온도차를 보였다. 14시경 한낮의 온도는 아스팔트>보도블럭>논둑>논표면수의 순이었고, 논둑의 온도는 표면수의 수온보다 3~9°C 높게 나타났다. 기온은 측정 지점의 지표면 온도와 밀접한 관련이 있어 14시경 논 주위부에서는 아스팔트의 높은 표면온도가 기온을 상승시키고 있으나, 논에서는 수온이 기온보다 낮아 기온 상승을 억제하고 있는 것으로 추정된다.

2. 일기온 변화 비교

조사기간중, 논, 밭, 녹지대 및 주택지의 기온변화를 보면 Fig. 3과 같다. 일기온은 14~16시에 최고기온을 나타냈고, 5

Table 1 Air and surface temperatures in and outside a paddy field area

Date	Time	Point 170 m from paddy fields (°C)			Paddy fields (°C)		
		Asphalt road	Sidewalk block	Air	Ponded water	Bund	Air
Aug. 3~4, 2006	14	45.8	42.5	35.7	32.1	40.6	32.7
	22	31.0	30.1	27.2	27.4	27.9	24.5
	06	27.5	27.0	25.2	25.0	24.3	23.8
Aug. 11~12, 2005	14	44.1	38.3	33.1	30.6	33.2	30.7
	22	29.0	28.9	26.6	27.6	26.8	25.2
	06	27.0	26.7	24.5	25.1	24.2	23.9
Aug. 15~16, 2006	14	50.0	44.6	36.5	33.4	39.4	35.2
	22	32.0	30.8	28.8	28.6	29.1	27.8
	06	28.4	27.9	25.7	26.3	26.6	24.4

한낮과 새벽에 최소 17°C의 온도차를 보였으나, 수온은

14시경 한낮의 온도는 아스팔트>보도블럭>논둑>논표

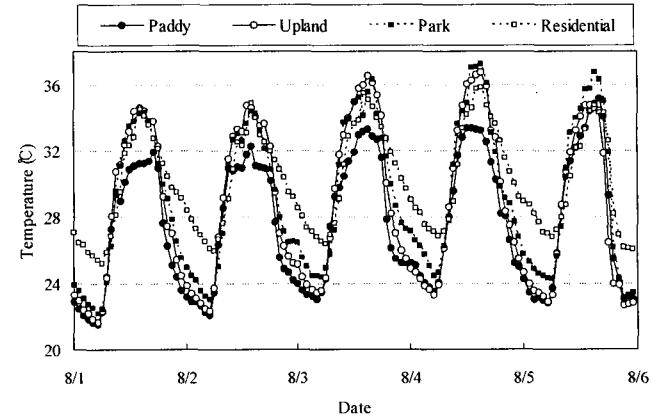


Fig. 3 Diurnal variation of air temperature in the study sites during August 1~6, 2006

~16시에 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 20m 밖에 떨어져 있지 않았는데에도 불구하고 최저기온은 주택지보다 크게 하강하였다. 조사기간 동안의 평균기온은 논(25.2°C)<밭(25.6°C)<녹지대(26.1°C)<주택지(27.0°C)의 순으로 논이 녹지대나 주택지보다 0.9~1.8°C 정도 낮게 나타났다(Table 2). 평균 최고기온은 녹지대에서 가장 높게, 주위 건물 그늘(shading)의 영향을 많이 받는 주택지에서 가장 낮게 나타났다. 평균 최저기온은 주택지에서 가장 높게, 논과 밭에서 가장 낮게 나타났다.

3. 혹서기 중 열대야 완화효과의 비교

관측기간중, 낮 기온이 30°C를, 최저기온이 20°C를 넘는 혹서일이 지속되는 8월 한달동안의 논, 밭, 도시부의 열대야 완화효과를 비교하면 Table 3과 같다. 낮 기온이 30°C를 넘는 혹서일중 열대야의 기준이 되는 25°C이하의 기온을 보인 날은 24일이었으며, 이 중 논에서 24일, 밭에서 24일, 녹지대에서 20일, 주택지에서 5일 동안 25°C이하의 기온을 보였다. 25°C 이하로 낮아지는 평균시각은 논이 23.3시, 밭이 24.0시, 녹지대가 2.2시, 주택지가 2.3시로서 주택지가 논과 밭에 비하여 2~3시간 늦은 새벽에 나타났다. 또한 25°C이하 지속시간은 논이 7.7시간, 밭이 7.3시간, 녹지대가 4.3시간, 주택지가 1.0시간으로 논과 밭이 주택지보다 6시간 이상 길게 나타났으며, 논과 밭은 숙면을 취할 수 있을 정도의 충분한 시간을 보였다. 또한 혹서기 동안의 평균 일최저기온은 논이 23.1°C로서 밭과는 동일하며, 녹지대보다 0.9°C, 주택지보다 3.0°C 낮게 나타나, 논, 밭 및 녹지대의 식생이 일최저기온을 낮추는 것으로 나타났다.

이상과 같이 25°C이하가 나타나는 일수, 시각, 지속시간, 평균 일최저기온 등으로 판단할 경우 논>밭>녹지대>주택지 순으로 열대야 완화시키는 것으로 나타났다. 그러나

논과 밭은 기온저감효과에서 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 기온저감효과는 식생의 피복상태에 의해 크게 좌우되기 때문으로 생각된다. Oue et al.(1993)은 토지이용별 온도환경이 관개와 식생에 의하여 완화되며, 특히 식생에 의한 온도완화효과는 큰 것으로 평가하였다. 조사기간 동안 작물의 초장은 벼가 70~100cm정도, 밭작물

Table 2. Comparison of mean air temperatures in study sites during midsummer

Land use type	Air temperature (°C)		
	Mean	Max	Min
Paddy	25.2	32.1	20.6
Upland	25.6	32.0	20.5
Park	26.1	32.5	21.3
Residential	27.0	31.6	23.6

Table 3. Comparison of cooling effect in study sites during midsummer (August 1 to 31, 2006)

	Paddy field	Upland	Park	Residential
Days to drop to below 25°C (d)	24(24) ^a	24(24) ^a	20(24) ^a	5(24) ^a
Mean hour to drop to below 25°C(h)	23.3	24.0	2.2	2.3
Mean duration of below 25°C (h)	7.7	7.3	4.3	1.0
Mean daily minimum temperature (°C)	23.1	23.1	24.0	26.1

^aParentheses indicate total days of study period

인 참깨는 100cm이상의 값을 보였고, 참깨의 높은 초장이 밭에서의 기온 상승을 억제하는 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 2006년 여름철(2006년 7월 15일~9월 30일) 동안 서로 다른 토지피복형태(논, 밭, 도시녹지대 및 도시주택지)에서의 기온변화 특성을 비교하여 논에 의한 기온저감 효과를 파악하였다. 혹서기 동안 총 3회(2006년 8월 3일, 11일, 15일)에 걸쳐 논으로부터의 거리에 따라 기온을 실측한 결과, 논으로부터 거리가 멀어짐에 따라 기온이 상승하였으며, 170m 지점에서의 기온은 논 지점보다 14시에는 2.3°C, 22시에는 1.8°C, 익일 06시에는 1.3°C 높게 나타났다. 혹서기 동안 논, 밭, 녹지대, 주택지에서의 열대야 완화효과를 비교해보면, 논이 열대야를 가장 완화시켜 주는 것으로 나타났다. 25°C이하로 낮아지는 평균시각은 논이 23.3시, 밭이 24.0시, 녹지대가 2.2시, 주택지가 2.3시로 나타났고, 이 시각으로부터의 평균 지속시간은 논이 7.7시간, 밭이 7.3시간, 녹지대가 4.3시간, 주택지가 1.0시간으로 나타났다. 또한 평균 일최저기온은 논이 23.1°C로서 밭과는 동일하게 나타났으며, 녹지대보다 0.9°C, 주택지보다 3.0°C 낮게 나타났다. 그러나 논과 밭에서의 기온저감효과는 큰 차이를 보이지 않았는데, 이는 기온저감효과가 식생피복상태에 의해 크게 좌우되기 때문으로 생각된다. 본 연구에서는 논과 밭에 의한 기온저감효과의 메커니즘은 파악되지 않았으나, 이는 다양한 논지대 및 밭지대를 대상으로 열수지 특성을 분석함으로써 구명할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농림기술관리센터의 연구비 지원(과제번호: 204109-03-3-CG000)에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. Cho, Y.H., and S.Y. Shin(2002). The effects of urban forest on summer air temperature in Seoul, Korea, J. of Korean Institute of Landscape Architecture, 30(4), pp. 28-36. (in Korean)
2. Kim J. S., J. H. Park, G. Y. Jung, and K. Y. Oh(2007). Characteristics of air temperature variations under different land covers during summer, Journal of the KSAE, 49(1), pp. 79-88. (in Korean)
3. National agricultural products quality management service(2006). Agriculture statistics info.
4. Oue H., H. Tagashira, T. Otsuki, and T. Maruyama 1993, The characteristics of heat balance and temperature regime in the paddy, potato, bare field and the asphalt area, J. of JSIDRE 164, pp. 97-104. (in Japanese)
5. Yokohari M., R.D. Brown, Y. Kato, and S. Yamamoto(2001). The cooling effect of paddy fields on summertime air temperature in residential Tokyo, Japan. Landscape and Urban Planning 53, pp. 17-27.