

토지이용형태가 도시열섬현상에 미치는 영향 - 충주시를 사례로 -

윤 용 한 · 배 병 호* · 김 원 태 · 박 봉 주* · 조 성 모 · 조 현 수
건국대학교 산림과학과, *건국대학교 원예학과
(2007년 4월 9일 접수; 2007년 8월 21일 채택)

Effects of Land Use Pattern on Urban Heat Island in Chungju City

Yong-Han Yoon, Byung-Ho Bae* Won-Tae Kim, Bong-Ju Park*
Sung-Moh Cho and Hyun-Soo Cho

Department of Forest Science, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea

*Department of Horticulture, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea

(Manuscript received 9 April, 2007; accepted 21 August, 2007)

The present study investigated the causes and intensity of the urban heat island phenomenon by the seasons according to the pattern of land use in Chungju City. Highest temperature and lowest moisture areas of the urban were very similar to the distribution of commercial districts, on the other hand, lowest temperature and highest moisture areas were distributed in manufacturing districts, green zones and the Hoam Lake. If appear at intensity of the distance from the outer circumference of commercial districts, wind direction and the rise of temperature, we could observe the remarkable expansion of high temperature from commercial districts toward residential districts around of downwind in all seasons. In case the effect of the wind was not significant as well, high temperature in commercial districts appeared tendency that a little spread to 1, 2 residential districts around. But checked up the intimate relations between the amount of moving heat and wind, when out of consideration that size of area was not much compared than residential areas of downwind affected by the wind. These phenomenon was relatively obvious in summer, the other side, in spring and autumn appeared a similar tendency.

Key Words : Air temperature, Greenspace, Humidity, Temperature, Urban environment

1. 서 론

지금까지 도시의 성장은 도시의 기반시설의 공급과 배치에 중점을 두면서 발전해 왔다. 이로 인하여 주민생활의 질적 향상 보다는 양적 팽창 위주로 도시계획이 이루어져 왔다. 이러한 도시발전에 따라 도심구조가 점차 복잡해지고 다기능화 됨에 따라 그 본질의 순기능보다 역기능을 유발시키는 등 그 한계를 나타내며 도시환경에 부정적인 영향을 나타내게 되었다. 특히, 도심은 열섬현상(고온건조)으로 인하여 도시환경문제가 발생되었다^{1,2)}. 이러한 현상을 완화시키기 위해서는 인간생활에서 동반 발생하는 인공열의 억제뿐만 아니라, 도시녹지의 일사차폐

와 증발산작용을 이용하는 것이 가장 합리적이고 현실적이다^{3,4)}. 또한, 녹지내의 저온의 주체는 식재지, 수면, 초지의 순이고, 그 토지피복별 비율에 따라 기온저감효과가 서로 달랐다⁵⁾. 더욱이 식재의 층위구조(교목+소교목+관목)로 피복되어 있는 구역과 수면을 핵으로 그 주변이 교목중심의 식재로 둘러싸여진 구역은 현저히 낮은 기온임이 밝혀졌고, 그 저온의 냉기는 녹지내뿐만 아니라, 풍하쪽 주변시가지로 흐르는 경향을 보였다^{6,7)}. 또한, 도시녹지(가로수, 공원, 수면)를 띠 형태로 연결 배치하면 열섬현상완화에 효율적이다^{8,9)}. 대기오염, 열섬현상, 토양침식 및 생물다양성의 감소 등 도시생태계가 심각하게 악화되는 도시환경의 질을 개선시키는 다양한 환경생태기능을 지니고 있다.

본 연구는 현재 도시화가 진행되고 있는 충주시를 대상으로 계절별 상업지역, 주거지역, 생산 및 녹

Corresponding Author : Won-Tae Kim, Department of Forest Science, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea
Phone: +82-43-840-3538
E-mail: midori66@kku.ac.kr

지지역 등 토지이용형태 차이가 열섬현상에 미치는 영향과 상업지역의 고온과 바람과의 관련성 등을 파악하기 위해 기온 및 습도를 관측하였다. 관측데이터를 바탕으로 도시의 토지이용형태와 기온 및 습도 분포, 열섬현상이 바람의 영향에 따라 어느 정도의 열량이 어느 정도의 거리까지 영향을 미치는가를 파악하기 위해 회귀분석 등에 의해 해석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구범위

공간적 범위는 도시화가 진행되고 있는 충청북도 충주시 시가지를 중심으로 기온 및 습도를 관측하였으며, 시간적 범위로는 2003년 여름(8월 1~10일), 2004년 봄(3월 28~30일, 4월 7~14일), 가을(10월 8~18일)로 하였다. 관측 해석일의 기상조건은 Table 1과 같다.

2.2. 관측방법

2.2.1. 정점관측

자동기상 관측기를 중앙공원내의 지상고 1.5 m에 설치하여 기온, 습도, 풍향풍속, 구름량 및 일사량을 24시간 관측하였다. 최고최저온도계를 중앙공원에 5 m 간격을 유지하면서 약 25개를 지상고 1.5 m에 설치하였다. 최고최저온도계는 1일의 최고 및 최저기온을 기록할 수 있기 때문에 데이터 수집은 1일 1회, 오전 9시 전후에 실시하였다. 또한 최고최저온도계는 알루미늄 호일을 이용한 방사차폐우산을 설치하여 직사일광을 차폐하였다.

2.2.2. 이동관측

이동관측은 디지털온습도계를 사용하였으며, 감지기는 방사차폐용에 알루미늄 호일을 덮은 통속에 넣어 이것을 탑재한 자동차에 의한 이동관측(1일 2회, 4시 및 14시 전후)을 지상고 1.5m에서 실시하였

다. 관측시간은 주간 약 40분, 야간 30분 소요하였다. 연구의 관측코스과 각 정점 및 이동관측점은 Fig. 1과 같다. 모니터용으로 자동기상관측기의 기온 및 습도의 데이터를 이용하여 이동 및 정점관측의 데이터와 비교하기 위하여 보정을 실시하였다. 보정은 자동기상관측기의 1일의 기온 및 습도와 관측시각에 나타난 1일의 기온 및 습도와의 차이를 각각 이동 및 정점관측치에 증감하여 실시하였다.

이상과 같은 방법으로 얻어진 데이터 가운데 맑은 날 주간 풍속은 3 m/s 전후, 야간 풍속은 1 m/s 전후, 일사량 3 MJ/m² 전후를 선택해서 아래의 해석방법에 따라 해석하였다. 이때, 연구목적에 부합되지 않는 날은 제외시켰다.

2.3. 해석방법

2.3.1. 도시의 기온 및 습도분포

도시의 토지이용형태별 기온 및 습도분포와의 관련성을 파악하기 위해 관측치를 근거로 기온(최고,

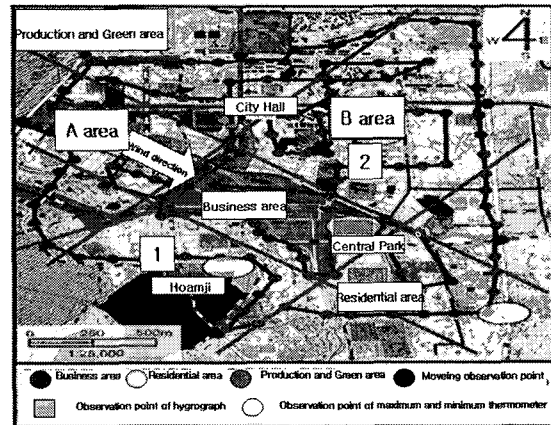


Fig. 1. Observation course and stopping or moving observation point.

Table 1. Outline of survey

Season	Observation date (2004)	Observation time	Wind direction	Wind velocity (m/s)	Amount of insolation (MJ/m ²)	Amount of cloud (1/10)	Observation time	Wind direction	Wind velocity (m/s)
spring	03.29		SW	3.2	2.54	4		S	1.3
	04.08		S	2.4	2.57	4		S	1.1
	04.13		E	2.8	2.48	3		SE	1.4
summer	08.02		S	2.0	3.21	3		SE	1.0
	08.06	14 o'clock	SE	2.2	3.12	4	4 o'clock	NE	1.1
	08.09		S	2.3	3.48	3		SW	1.0
autumn	10.10		W	2.4	2.69	2		N	1.1
	10.16		N	2.5	2.84	2		NE	0.9
	10.17		NE	2.7	2.65	3		NE	0.8

최저기온), 습도(14시, 4시의 습도)분포도를 계절별로 작성하였다. 이것들을 증첩시켜 토지이용형태와 기온 및 습도분포와의 관련성을 비교, 검토하였다.

2.3.2. 토지이용형태별 풍향과 거리 및 열섬현상

예를 들어 Fig. 1에 나타난 A지역내의 관측점에 대해서 상업지역외주로부터 주변 주거지역의 기온과의 관련성을 파악하였다. 이때, 바람은 Fig. 1에 나타난 A지역내의 화살표 방향과 같다. 또한, 바람의 영향을 받은 풍하쪽 주거지역에 미치는 열량과 거리와의 관련성을 파악하기 위해 상업지역을 중심으로 풍상풍하쪽의 관측치에 대해서 상업지역외주로부터의 거리와 기온간의 단회귀분석을 실시하였다. 이때, 상업지역외주로부터 풍하쪽 주거지역에 미치는 기온상승의 영향범위는 풍상쪽의 평균치와 풍하쪽의 회귀직선과의 교점까지로 정의하였다. 그 정의에 따라 풍상쪽에 있는 데이터의 평균치를 구해서 풍하쪽 회귀직선과의 비교를 통해 풍하쪽 주거지역에 미치는 기온상승의 영향범위와의 관계를 계절별로 비교, 검토하였다.

2.3.3. 토지이용형태별 거리의 열섬현상

Fig. 1에 나타난 B지역내 관측점에 대해서 상업지역외주로부터 1, 2주거지역에 미치는 기온상승의 영향범위를 파악하기 위하여 상업지역을 중심으로 1, 2주거지역의 관측치에 대해서 상업지역외주로부터의 거리와 기온간의 단회귀분석을 실시하였다. 이때, 풍향은 Fig. 1에 나타난 A지역내의 화살표의 대각선 방향으로 거의 바람의 영향을 받지 않은 것을 의미한다. 상업지역외주로부터 1, 2주거지역에 미치는 기온상승의 영향범위는 1주거지역의 평균치와 2주거지역의 회귀직선과의 교점까지로 정의하였다. 또한, 그 정의에 따라 1주거지역에 있는 데이터의 평균치를 구해서 2주거지역의 회귀직선과의 비교를 통해 2주거지역에 미치는 기온상승의 영향범위와의 관계를 계절별로 비교, 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 도시의 기온 및 습도분포

토지이용형태의 차이가 기온 및 습도분포에 미치는 영향을 파악하기 위해 관측치를 근거로 작성한 대표적인 여름철 최고기온분포도를 Fig. 2에, 여름철 14시의 습도분포도를 Fig. 3에 나타냈다.

최고기온의 경우, 어떤 계절이라도 토지이용형태별 최고온분포는 상업지역의 형태와 일치하는 경향을 보였다. 이는 상업지역의 주구성물인 인공구조물(주간 : 일사에 의해 뜨거워지기 쉬움, 야간 : 차가워지기 어려운 특성이 있음) 으로부터 증발산의 생

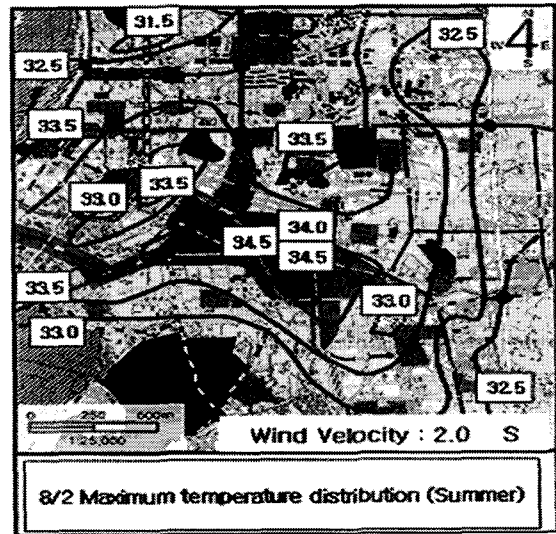


Fig. 2. Maximum temperature distribution in summer.

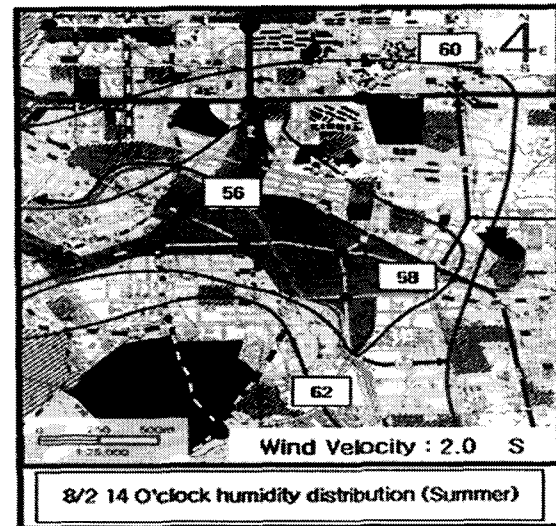


Fig. 3. 14 o'clock humidity distribution in summer.

성에 의한 결과라고 생각된다. 이때, 토지이용형태별 기온분포는 상업, 주거, 생산 및 녹지지역의 순으로 높았으며, 상업지역에서도 제1로터리와 제2로터리주변이 최고치로 여름 35.0~34.5℃, 봄과 가을 25.5~24.0℃를 나타냈다. 이것은 자동차로부터의 배열(排熱)이나, 일사에 의해 뜨거워지기 쉬운 특성 등이 원인이라고 생각된다. 그러나 상업지역에 있는 중앙공원은 주변의 기온보다 2.0~1.5℃의 낮은 기온이었다. 이로부터 열섬현상이 형성된 곳에서도 녹지의 존재는 그 공간만이라도 냉섬이 형성된 것으로 보아 녹지내외는 대기의 순환이 활발해져 녹지내의 냉기는 풍하쪽 주변 시가지로, 시가지의 고온

(오염된 공기)은 대기 중으로 확산이 예상된다.

최저온분포는 생산녹지지역 주변에 주로 형성되었고, 이지역의 구성물은 녹지 및 밭(주간 : 일사에 의해 뜨거워지기 어려움, 야간 : 차가워지기 쉬운 특성이 있음)으로부터 증발산량의 생성에 의해 공기 밀도가 크게 되면 하강기류가 형성되고 이 냉기는 바람방향에 따라 도심으로 유입가능성이 예상된다. 최저치는 호암지쪽과 생산녹지지역을 중심으로 형성되었다. 이때, 앞에서 설명한 상업지역의 최고치와 생산녹지지역의 최저치의 차이는 여름철 3.5~3.0℃ 봄과 가을철 2.5~2.0℃ 정도였다. 또한, 생산녹지지역은 상업지역의 주구성물인도로, 건축물, 포장면, 아스팔트보다 비열이 큰 것으로도 설명된다¹⁰⁾. 특히, 호암지쪽의 저온의 냉기가 인공구조물이 밀집된 시가지(상업 및 주거지역)로의 유입 가능성이 확인되었다.

최저기온의 경우, 어떤 계절이라도 토지이용형태별 최고온역과 최저온역의 출현위치 등은 최고기온과 거의 같은 경향을 나타냈다. 상업지역의 최고치 여름철(26.0℃) 봄과 가을철(19.0~18.0℃)와 생산 및 녹지지역의 최저치 여름철(24.5~23.5℃)의 차이는 2.5~1.5℃ 봄과 가을철(16.5℃)의 차이는 2.0~1.5℃ 정도였다. 등온선의 밀도는 최고기온보다 상대적으로 단순하였다. 그러나 호암지쪽의 기온은 최고기온과는 달리 생산 및 녹지지역보다 상대적으로 1.0~

0.5℃ 높은 기온을 나타냈다. 吉野¹¹⁾에 의하면, 수면(야간)은 수림지, 초지보다 방열하기 어려운 성질을 갖고 있기 때문에 판단된다.

14시 및 4시 습도의 경우, 2계절 모두 계절에 관계없이 기온분포에 거의 대응하는 형태로, 14시 습도에 있어서 최고온역이 최저습역 여름철(58.0~56.0%), 봄과 가을철(57.0~55.0%)이고, 최저온역이 최다습역 여름철(64.0~62.0%), 봄과 가을철(59.0~57.0%) 정도로 나타났다. 또한, 등습선은 14시의 습도보다 4시의 습도분포가 비교적 단순하나, 습도의 수치 여름철(86.0%) 봄과 가을철(84.0%) 정도로 높게 나타났다.

3.2. 토지이용형태별 풍향과 거리 및 열섬현상

예를 들어 Fig. 1에 나타낸 A지역내의 화살표 방향(바람의 영향을 받음)의 관측점에 대해서 상업지역외주로부터 주변 주거지역의 기온과의 관련성을 파악하였다. 이때, 바람은 A지역내에 표시한 화살표 방향으로 풍상쪽 주거지역에서 상업지역 위를 거쳐 풍하쪽 주거지역을 통과하게 된다. 상업지역을 중심으로 그 외주로부터의 풍향 및 거리와 기온간의 단회귀분석 결과는 Table 2에 나타났다. 그 결과 어떤 계절이라도 최고최저기온에 관계없이 풍상쪽보다는 풍하쪽이 상대적으로 높은 상관계수 및 유의상관이 인정되었다. 이로부터 상업지역의 고온은 바람의 영

Table 2. Air temperature-multiple regression formula of wind direction and distance from the outer surrounding of business area
Y : Air temperature(℃) X : Distance(m)

Observation time	Season	Observation date	Windward		Leeward	
			Regression formula	R ²	Regression formula	R ²
Maximum temperature	spring	03.29	Y=-0.020X+23.85	-0.472	Y=-0.023X+24.32	-0.627
		04.08	Y=-0.021X+24.24	-0.591	Y=-0.024X+25.57	-0.614
		04.13	Y=-0.022X+22.71	-0.499	Y=-0.025X+23.39	-0.529
	summer	08.02	Y=-0.019X+23.17	-0.544	Y=-0.024X+25.35	-0.539
		08.06	Y=-0.021X+24.83	-0.589	Y=-0.024X+26.02	-0.652
		08.09	Y=-0.019X+25.09	-0.635	Y=-0.022X+25.94	-0.540
	autumn	10.10	Y=-0.024X+32.65	-0.541	Y=-0.029X+34.31	-0.683
		10.16	Y=-0.025X+30.17	-0.620	Y=-0.030X+32.48	-0.581
		10.17	Y=-0.026X+32.29	-0.606	Y=-0.032X+34.47	-0.644
Minimum temperature	spring	03.29	Y=-0.013X+13.25	-0.487	Y=-0.015X+14.74	-0.531
		04.08	Y=-0.015X+14.26	-0.632	Y=-0.018X+15.02	-0.562
		04.13	Y=-0.014X+13.81	-0.513	Y=-0.016X+14.89	-0.507
	summer	08.02	Y=-0.020X+24.84	-0.553	Y=-0.023X+26.41	-0.618
		08.06	Y=-0.021X+24.13	-0.621	Y=-0.025X+25.87	-0.732
		08.09	Y=-0.019X+25.82	-0.611	Y=-0.023X+27.07	-0.688
	autumn	10.10	Y=-0.014X+15.79	-0.574	Y=-0.016X+16.32	-0.704
		10.16	Y=-0.012X+17.02	-0.480	Y=-0.015X+18.25	-0.522
		10.17	Y=-0.015X+16.33	-0.498	Y=-0.017X+17.74	-0.560

향을 받아 풍하쪽 주거지역으로 이류하는 경향을 보였다. 또한, 상업지역외주로부터의 거리와 풍향 및 최고기온간의 관계를 Fig. 4에 나타냈다.

어떤 계절이라도 상업지역외주로부터 주변 주거지역에 미치는 열량과 거리를 살펴보면, 상업지역의 기온은 주변의 주거지역과 비교해서 약간 높은 기온이고, 그 고온은 풍하쪽 주거지역으로 이류현상이 확인되었다.

풍상쪽의 경우, 관측치의 편차는 매우 크지만 주거지역으로부터 상업지역에 이르기까지 계속적으로 조금씩 기온이 상승하는 경향을 보였다.

풍하쪽의 경우, 풍상쪽과 거의 같은 편차의 관측치를 보였지만, 최고최저기온 모두 상업지역에 가까워질수록 기온이 높아지는 경향을 보였다. 이러한 현상은 상업지역내외의 기온 및 기압차이에 의해 상업지역의 고온은 바람의 영향을 받아 풍하쪽 주

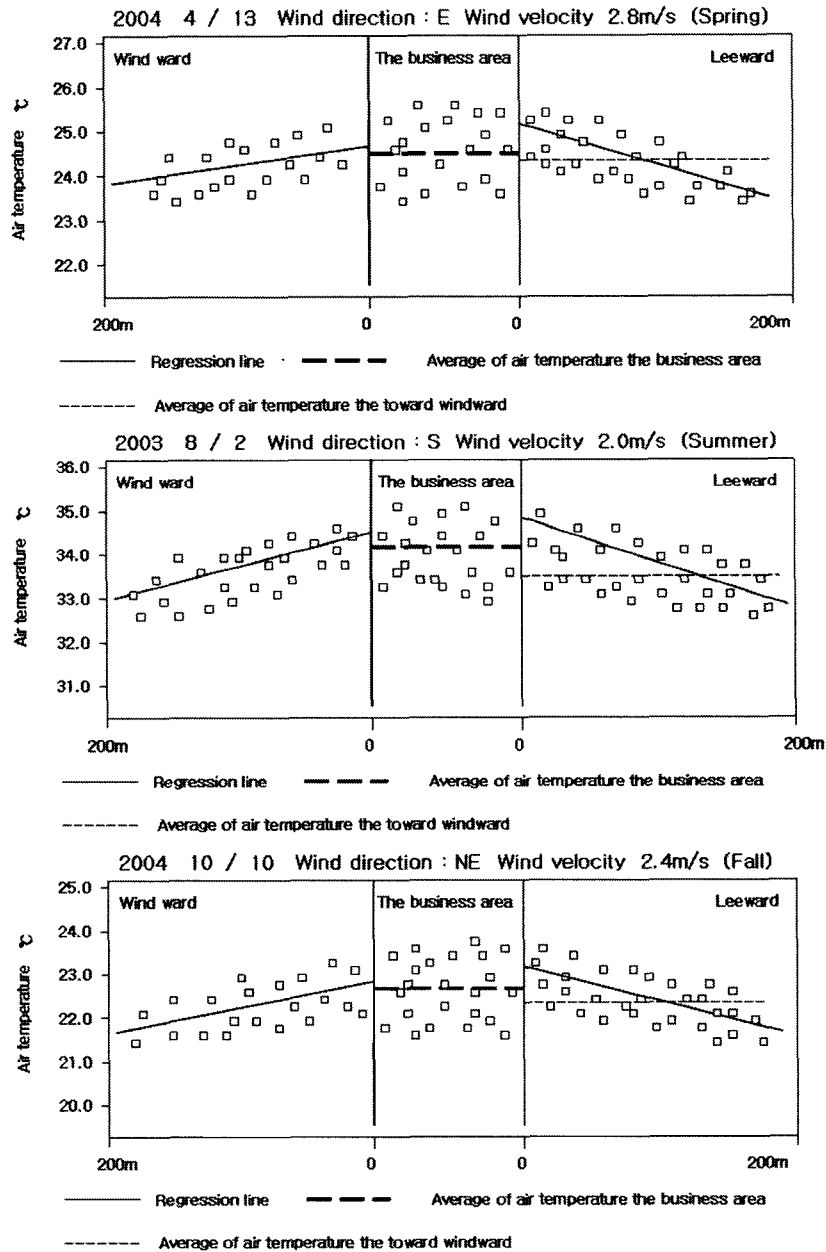


Fig. 4. Relationship of the highest air temperature and wind direction and distance from the outer surrounding of business area.

Table 3. Air temperature-multiple regression formula of distance from the outer surrounding of business area
 Y : Air temperature(°C) X : Distance(m)

Observation air temperature	Season	Observation date	Residential area 1		Residential area 2	
			Regression formula	R ²	Regression formula	R ²
Maximum temperature	spring	03.29	Y=-0.017X+24.18	-0.513	Y=-0.018X+24.69	-0.501
		04.13	Y=-0.016X+23.07	-0.536	Y=-0.017X+24.13	-0.575
	summer	08.02	Y=-0.021X+31.85	-0.547	Y=-0.023X+32.70	-0.663
		08.06	Y=-0.020X+32.37	-0.684	Y=-0.022X+33.05	-0.631
autumn	10.28	Y=-0.018X+24.73	-0.532	Y=-0.019X+25.08	-0.516	
	10.16	Y=-0.017X+24.58	-0.486	Y=-0.018X+25.31	-0.548	
Minimum temperature	spring	03.29	Y=-0.013X+12.89	-0.472	Y=-0.014X+13.38	-0.536
		04.13	Y=-0.012X+13.05	-0.523	Y=-0.013X+13.94	-0.529
	summer	08.02	Y=-0.021X+22.56	-0.512	Y=-0.022X+23.16	-0.623
		08.06	Y=-0.020X+24.01	-0.605	Y=-0.023X+24.77	-0.616
	autumn	10.10	Y=-0.012X+14.27	-0.517	Y=-0.013X+14.98	-0.544
		10.16	Y=-0.011X+15.23	-0.490	Y=-0.012X+15.91	-0.528

거지역으로 이루어진 결과라고 생각된다. 상업지역의 주로부터 풍하쪽 주거지역에 미치는 기온상승의 영향범위는 최고기온의 경우, 여름철(170~120 m) 봄과 가을철(120~80 m), 최저기온의 경우, 여름철(120~90 m) 봄과 가을철(80~70 m) 정도였다. 이러한 현상은 여름철이 가장 현저하였고 봄과 가을철은 거의 같은 경향을 보였다.

3.3. 토지이용형태별 거리와 열섬현상

예를 들어 풍향은 앞의 2의 대각선 풍향을 의미한다. 이때, 풍상풍하쪽이 아닌 양측면으로 바람의 영향을 거의 받지 않은 것이 된다. Fig. 1의 B지역내의 관측점에 대해서 상업지역외주로부터 주변 1, 2주거지역에 미치는 기온상승의 영향범위를 파악하였다. 상업지역을 중심으로 그 외주로부터의 거리와 기온간의 단회귀분석 결과는 Table 3에 나타났다. 그 결과 어떤 계절이라도 최고최저기온 모두 1, 2주거지역은 거의 같은 상관계수 및 유의상관이 인정되었다. 어떤 계절이라도 상업지역의 기온은 주변 1, 2주거지역과 비교해서 약간 높은 기온이고, 그 고온은 주변 1, 2주거지역으로 바람과 관계없이도 확산되는 경향을 보였으나, 바람의 영향을 받은 앞의 2의 풍하쪽 주거지역 기온상승의 영향범위보다는 작은 수치와 좁은 범위였다. 또한, 1, 2주거지역 모두 상업지역에서 멀어짐에 따라 기온이 하강하는 경향을 보였다. 상업지역외주로부터 2주거지역에 미치는 기온상승의 영향범위는 최고기온의 경우, 여름철(90~80 m), 봄과 가을철(70 m), 최저기온의 경우, 여름철(70~60 m), 봄과 가을철(50~40 m) 정도였다. 상업지역외주로부터 주변 1, 2주거지역에 미치는 열량과 거리는 바람과 밀접한 관계가 있는 것이 확인되었다.

4. 결 론

본 연구는 충주시의 토지이용형태에 따른 계절별 도시열섬현상의 원인과 그 강도를 조사하였다. 도시의 최고온 및 최저습역은 상업지역의 형태와 매우 일치하였으며, 최저온 및 최대습역은 생산 및 녹지지역과 호암지역에서 형성되는 것으로 나타났다. 상업지역 외주로부터의 거리 및 풍향과 기온상승의 강도를 살펴보면 어떤 계절이라도 상업지역의 고온은 주변의 풍하쪽 주거지역으로의 이류현상이 현저하였다. 바람의 영향을 별로 받지 않는 경우에도 상업지역의 고온은 주변 1, 2주거지역으로 약간 확산되는 경향을 보였다. 그러나 바람의 영향을 받은 풍하쪽 주거지역보다는 그다지 크지 않은 것으로 보아 열류량과 바람과는 밀접한 관계가 있는 것이 확인되었다. 이러한 현상은 상대적으로 여름이 가장 현저하고 봄과 가을은 거의 같은 경향을 보였다.

감사의 글

본 논문은 2004년도 충북지역환경기술개발센터 지원에 의한 연구의 일부임.

참 고 문 헌

- 1) Landsberg H. E., 1981, Urban climate, Academic Press, 275.
- 2) Yoshino M. M., 1981, Change of air temperature distribution due to on urbanization in Tokyo and its surrounding regions, Sci. Rept. Geoscience. Univ. Tsukuba Sect. A, 45-60.
- 3) 設樂寬, 1971, 都市砂漠, 地理, 16(8), 10.
- 4) 尹龍漢 等, 1998, 綠地의 規模와 周邊市街地의

- 氣溫低下와의 關聯性에 關해서, 環境情報科學論文集, 275-280.
- 5) 윤용한, 2000, 공원에 의한 고온성 저감효과에 관한 연구, 한국정원학회, 18(1) 83-90.
 - 6) 윤용한, 2001, 녹지에 의한 열섬현상의 저감효과에 관한 연구, 대한국토·도시계획학회지, 36(2) 187-196.
 - 7) 丸田頼一, 1972, 公園綠地の都市自然環境におよぼす影響, 都市計劃, 69(70) 49-77.
 - 8) Honjo T., Takamura, 1990/1991, Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas, Energy and Buildings, 15-16, 443-446.
 - 9) 윤용한 등, 2004, 호소 주변지역 도시의 열섬현상효과에 대한 녹지정책의 개발연구, 충북지역환경기술개발센터, 1-4.
 - 10) 吉野正敏, 1986, 新版小氣候, 地人書館, 84-86.
 - 11) 吉野正敏, 1983, 都市氣候における水面の效果, 建築雜誌, 1208, 42-45.