

도심지의 온열성상에 관한 연구

- 제 1보 도심지 온열환경 예측모델을 위한 실측조사 -

손 원 득[†], 이 성^{*}

일본 三重대학교 공동벤처연구기관, ^{*}동의대학교 빌딩시스템공학과

Study on Thermal Property in Urban Area

- Part 1 : Experimental Analysis for Predicting Methodology of Thermal Property in Urban Area -

Won-Tug Son[†], Sung Lee^{*}

Satellite Venture Business Laboratory, Mie University, Tsu 514-0012, Japan

^{*}Department of Building System Engineering, Dong-Eui University, Pusan 614-714, Korea

(Received July 30, 2004; revision received September 13, 2004)

ABSTRACT: Significant air temperature increases in urban areas is well known as the heat island phenomenon in a global scale. Therefore, we propose numerical model in order to analyze quantitative effects of building environmental factors on the heat island phenomenon in urban area. In this paper, thermal property of upper atmosphere is experimentally investigated for Sakae, Nagoya Japan. In conclusion, it was confirmed that the boundary layer of a urban canopy existed near the altitude of 139 m.

Key words: Heat island(열섬), Urban climates(도시기후), Upper atmosphere(상공대기)

기 호 설 명

T : 온도 [°C]
 z : 높이 [m]
 z_{sta} : 기준높이 [m]

그리스 문자

θ : 온위 [°C]
 Γ : 건조단열감률(0.00976) [°C/m]

1. 서 론

최근, 급속한 도시의 고밀화 및 확대에 동반하여, 각지에서 도시열섬현상이 현저하게 관측되고 있다. 대부분의 도시가 온난지역에 위치하고 있는 한국에서는, 하기의 기온상승에 따른 공조부하의 증가는 전력소비의 연간최대치 상승을 초래하기 때문에 도시온난화의 유효한 완화책이 시급하게 요구되고 있다. 도시온난화로 인한 기후변화는 건축 환경을 비롯한 다방면의 변수가 복잡하게 관여하고 있기 때문에 그 메커니즘을 분석하고 대책을 검토하기 위해서는 각종 요인의 영향을 고려한 종합적인 해석기술 확립이 요망된다.

이러한 배경에서 실측 및 수치 시뮬레이션에 의한 도시열섬 현상 예측에 관한 연구가 다양하게 수행되어져 왔다.^(1,2) 도시열섬 현상에 관한 연구는 도시기후의 실태 해명을 위한 관측 및 실

[†] Corresponding author

Tel.: +82-59-231-9446; fax: +81-59-231-9452

E-mail address: sonwt@bbzone.net

험, 도시 환경정보의 데이터베이스화, 도시기후의 모델화, 도시의 에너지 소비형태, 도시열섬에 영향을 미치는 요인분석 등으로 크게 5가지로 분류되어진다.⁽³⁾

본 연구에서는 6년에 걸친 실측결과로부터 도심부의 온열성상을 파악하고, 시가지 규모의 1차원 도시 Canopy 모델을 이용하여 도시온난화 요인을 정량화하고자 한다.

일반적으로 도시열섬현상이 관측되어지는 도심부에서는 도시열섬의 높이를 표시하는 도시 Canopy 경계층이 존재하며, 그 경계층의 상부에서는 도심부와 그 주변지역에서의 기온격차가 거의 없는 것으로 나타났다.⁽⁴⁾ 그러나 이 도시 Canopy 경계층의 높이는 도시의 규모 등에 따라 큰 차이가 있으며, 연주기 또는 일주기로 변화할 것으로 예상되어진다.

따라서 본 논문에서는 나고야를 대상으로 도심시가지의 온열환경 예측시, 중요한 경계조건인 도심시가지의 상공부 대기의 열성상에 관해 실측을 통하여 분석함으로써 시가지 규모의 1차원 도시 Canopy 모델화를 위한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2. 실측조사의 개요

검토지역으로서 일본 아이치켄에 위치한 나고야 도심부(Sakae)를 대상으로 하였다. 일본의 3대 도시인 나고야시는 도시열섬현상의 영향으로 최근 100년간의 연평균기온이 약 1.3℃ 상승한 것으로 나타났다. Fig. 1에 최근 100년간의 나고야시의 연평균 온도의 추이를 나타내었다. 검토대상 지역인 나고야시 도심부의 기상조건을 대표하여, 나고야시 도심부 중심에 위치한 TV타워의 관측데이터를 이용하였다(Fig. 2 참조). 온도, 풍향

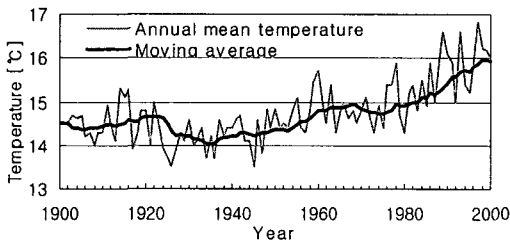


Fig. 1 Temperature of Nagoya during 100 years.

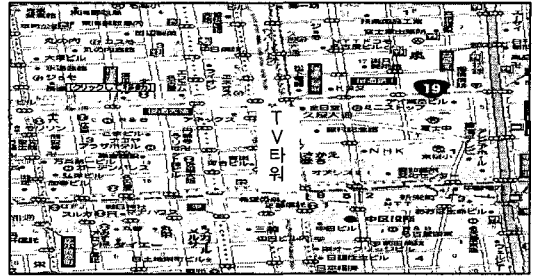


Fig. 2 Urban area of examination (Sakae, Nagoya Japan).

Table 1 Measured position in TV tower

Height [m]	10	40	60	75	80	139
Temperature	○	○	○		○	○
Wind direction and velocity				○		○

및 풍속의 관측 지점을 Table 1에 나타내었다. 1995~1997년 및 2000~2002년까지의 관측데이터를 본 연구의 검토를 위해 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 월평균 실측치에 의한 고찰

3.1.1 월별 풍향 및 풍속

Table 2에 1995~1997년 및 2000~2002년의 6년에 걸친 각 월별 최대풍속을, Fig. 3에 각 월별 평균 풍속을 각각 나타내었다. Table 2에 나타낸 바와 같이 전 실측대상 기간에 대해서 139 m 지점의 풍향은, 동기에는 북(N)의 경향이 나타났으

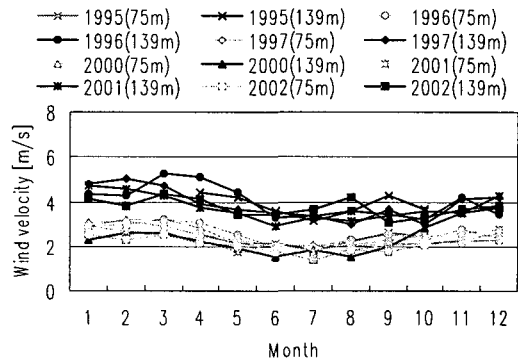


Fig. 3 Monthly mean wind velocity (Sakae, Nagoya-Si Japan).

Table 2 Monthly most appeared wind direction in TV tower

	1995		1996		1997		2000		2001		2002	
	75m	139m	75m	139m	75m	139m	75m	139m	75m	139m	75m	139m
JAN.	-	-	NW	NW	NW	NNW	N	NNW	N	NW	NW	NNW
FEB.	-	-	NW	NW	NW	NNW	NNW	NNW	N	NNW	NW	NNW
MAR.	-	-	NW	NNW	NNW	NNW	NW	NNW	NW	NW	0	NNW
APR.	WNW	NNW	NW	NW	NW	NNW	NNE	NNW	NNS	NNW	0	NNW
MAY.	WNW	NNW	NW	NW	NW	NW	SSW	SSE	NW	SW	0	NW
JUN.	WNW	NNW	SSW	SE	SSE	SE	SW	0	NNS	NW	0	NW
JUL.	-	NNW	SSE	SE	SSE	SE	SSE	0	SSW	SSE	0	SE
AUG.	WNW	NNW	SSW	SSE	SSW	-	SE	0	NNE	SSE	0	SE
SEP.	N	NNW	NNE	N	N	NNW	N	SE	NNE	NNW	0	NNW
OCT.	N	NNW	NNE	NNW	NNE	NNW	N	NNW	NNE	NNW	N	NNW
NOV.	-	-	-	NNW	NNE	NNW	N	NNW	N	NNW	NW	NNW
DEC.	N	-	-	NNW	NNE	NNE	NW	NW	NNE	NNW	N	NNW

* - is the lake of measured data, and 0 is a calm day when wind velocity is lower than 0.2 m/s.

며, 하기에는 남(S)의 경향이 나타났으나, 1995년 도에는 하기도 북(N)의 경향이 나타났다. 일반적으로 이 지역의 풍향은 도심 북쪽에 위치한 산맥의 영향으로 연중 거의 북(N)으로 나타나지만, 하기에 대해서는 남쪽에서 불어오는 해풍 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다. 또한 관측지점의 지상 75m 및 139m 지점의 각 월별 풍향은 연중 거의 일정하게 나타났다. 따라서 두 지점간의 상공에서의 대기의 혼합은 거의 없는 것으로 추정된다.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 평균 풍속에 대해서는 풍속 관측의 전 지점에서 추기에서 동기에 걸쳐 풍속이 증가하며, 춘기에서 하기에 걸쳐 풍속이 감소하는 경향이 나타났다. 또한 지상 75m 지점에서는 각 월의 평균 풍속이 거의 모든 연도별로 일정하게 나타난 것에 비해, 지상 139m 지점에서는 연도간의 약간의 차가 관측되었다.

3.1.2 월별 온도차의 수직분포

Fig. 4에 각 계절간의 관측기온으로부터 산출한 수직 방향의 온도차를 나타내었다. 온위는 실측 월평균 기온을 이용하여 아래에 나타난 식으로 산출하였으며, 그림의 횡축은 각 높이별 관측 지점과 최하부 지점인 지상 10m 지점과의 온도차를 표시하였다.

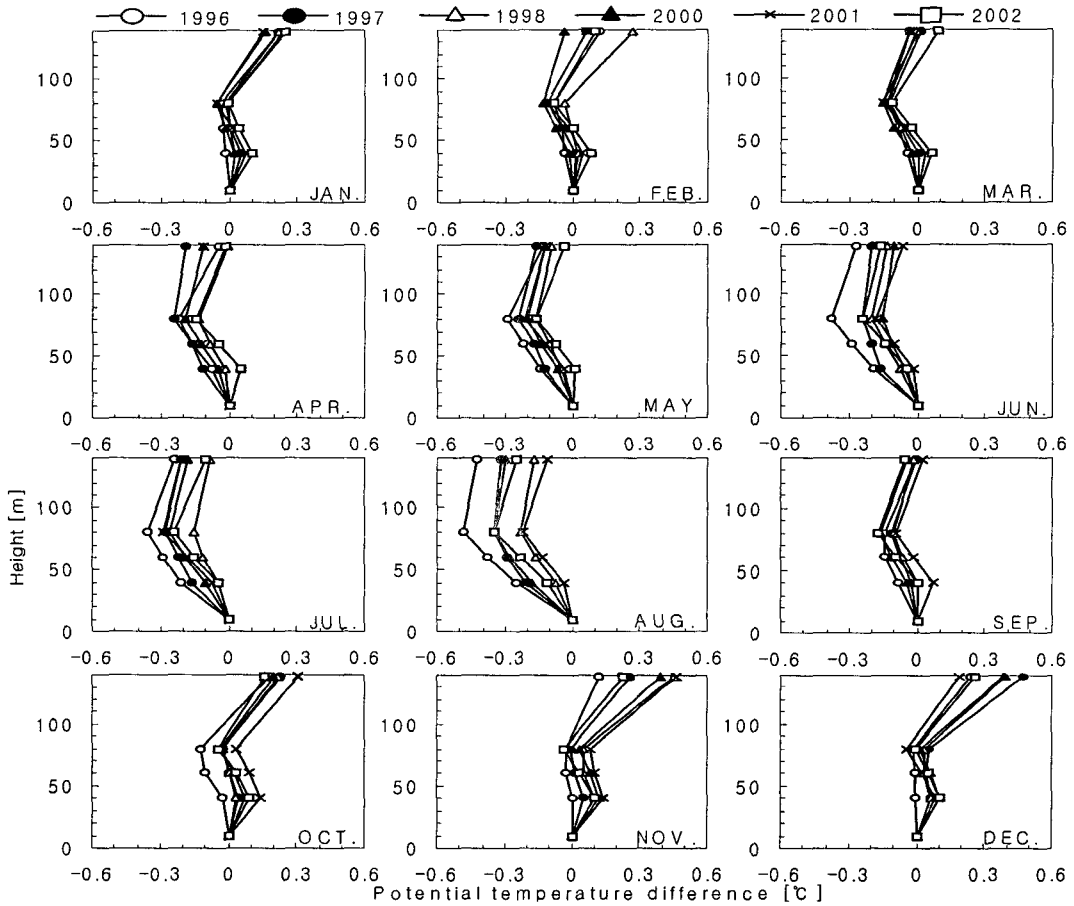
$$\theta(z) = T(z) + \Gamma(z - z_{sta}) \quad (1)$$

상기의 식(1)에서 $T(z)$ 는 관측 지점의 높이 z

에서의 기온을 나타내며, z_{sta} 는 기준높이를 나타내며, Γ 는 건조 단열 감률(0.00976°C/m)을 나타낸다. 상기의 식(1)에 의해 산출된 온위는 일반적인 대기상태의 경우, 자연대류에 의해 수직 방향으로 일정하게 나타나지만, 높이가 증가함에 따라 온위가 증가하는 경우에는, 상부대류의 이류가 상당히 억제되어지기 때문에 대기가 안정한 상태임을 의미하며, 반대로 상공의 온위가 감소하는 경우에는 대기가 불안정한 상태임을 의미한다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 계절간의 수직 방향 온도분포는 각기 다른 분포를 나타내고 있으나, 6년간 실측기간의 각 월별의 분포는 거의 동일하게 나타났다. 추기에서 동기에 걸쳐 실측대상 지역의 대기는 안정한 상태로 나타났으며, 하기에서는 불안정한 상태로 나타났다. 또한 하기가 다른 계절에 비해 온위의 연교차가 크게 나타났으며, 월평균 기온이 높은 연도일수록 상공부 대기는 더욱 불안정한 상태를 나타내었다. 하기가 다른 계절에 비해 연교차가 크게 나타난 이유는, 각 연도의 연평균 기온차와 그에 따른 인공적인 배열 등의 영향이 다른 계절보다 증가했기 때문이라고 추정된다.

이상의 결과로부터, 실측대상 지역인 일본 나고야시 도심부에서는 추기 및 동기에 대해서는 지상 100m 부근에서, 춘기 및 하기에 대해서는 지상 100m 이상의 지점에서 도시 Canopy 경계층이 위치하는 것으로 추정되며, 이 경계층은 연주기적인 변동이 있는 것으로 추정되어진다.



* In each figure, the legend of horizontal and of vertical axis is potential temperature difference and height, respectively.

Fig. 4 Perpendicular distribution of monthly mean potential temperature difference.

3.2 각 계절간의 일변화 고찰

전 절의 고찰결과로부터 실측대상 지역인 일본 나고야시 도심부의 상공에서 그 풍향, 풍속 및 온도성상은 월평균적으로는 연주기적인 성상을 나타내고 있음을 명확히 하였다. 따라서 상공의 경계조건으로서 연주기적 조건을 사용함으로써 월 평균적인 도심부 시가지의 온열성상의 예측이 가능함을 확인할 수 있었다.

본 장에서는 각 계절간의 청천일을 대표일로 설정하여, 일일주기의 상공부 대기의 성상에 관해 고찰하고자 한다. 각 계절간의 대표일은 청천일(일일 일조시간 6시간 이상)이 며칠간 계속되고, 비교적 바람이 약하며 온화한 날을 선정하였다.

3.2.1 춘기 대표일

Fig. 5에 춘기(春期) 대표일의 온위차 수직분포를 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 일출 전의 대기는 비교적 안정된 상태이며, 일중의 기온상승에 따라 대기는 불안정한 상태로 변동하였으며, 일몰 후는 다시 안정된 상태로 바뀌는 일주기의 변동을 나타내었다. 그러나 춘기에는 온화한 쾌청일에도 불구하고, 대기성상의 시간별 변화의 폭이 비교적 크게 나타났으며 명확한 일변동의 경향은 보이지 않았다.

3.2.2 하기 대표일

Fig. 6에 하기(夏期) 대표일의 온위차 수직분포를 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 하기에 대해서도 춘기의 대표일과 동일하게 일출 전은 안

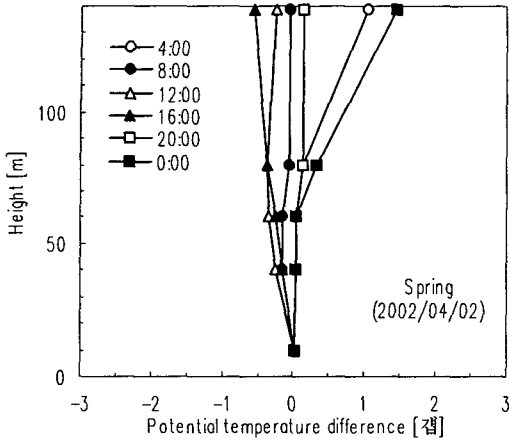


Fig. 5 Perpendicular distribution of potential temperature difference in spring.

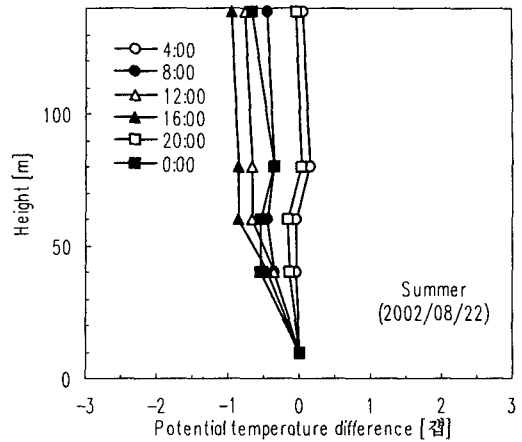


Fig. 7 Perpendicular distribution of potential temperature difference in autumn.

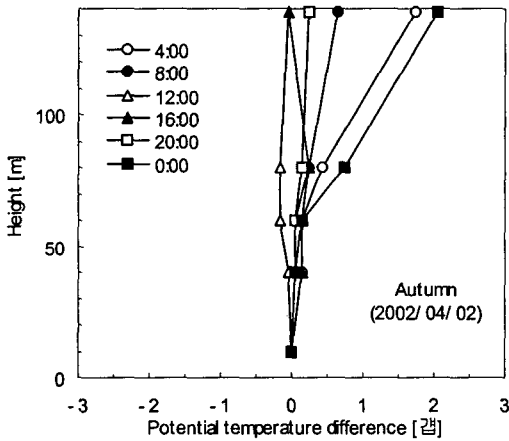


Fig. 6 Perpendicular distribution of potential temperature difference in summer.

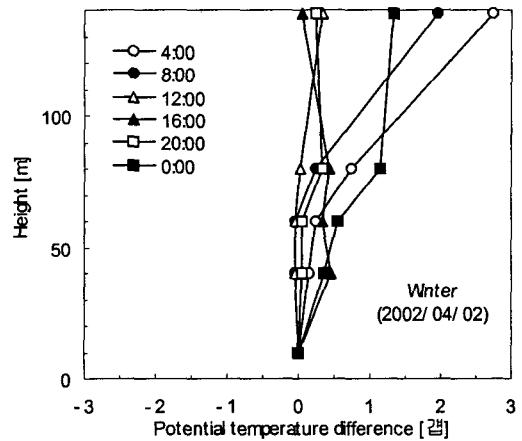


Fig. 8 Perpendicular distribution of potential temperature difference in winter.

정한 상태이며, 일중의 기온상승에 따라 불안정한 상태로 변동하였으나, 심야에도 불안정한 상태가 계속되었다. 오후 8시경에 불안정한 상태에서 중립적인 대기성상으로 변동하는 것은, 이 시간대에 낮의 해풍과 밤의 육풍이 교대기인 저녁뚝(evening calm)의 상태가 발생하기 때문이라고 추정된다. 하기에는 대기성상의 일일변화폭은 작게 나타났으며, 대표일 이외의 쾌청일의 변동도 Fig. 5에 나타난 대표일과 거의 동일한 경향을 나타내었다.

3.2.3 추기 대표일

Fig. 7에 추기(秋期) 대표일의 온위차 수직분포를 나타내었다. 추기 대기성상의 시간변화는 춘

기와 거의 동일한 경향을 나타내었으나, 대기의 안정도는 춘기보다 상승하는 경향을 나타내었다. 단, 추기에도 춘기와 동일한 대기성상의 시간별 변화의 폭은 비교적 크게 나타났다.

3.2.4 동기 대표일

Fig. 8에 동기(冬期) 대표일의 온위차 수직분포를 나타내었다. 동기의 대기성상의 일변화폭은 춘기 및 동기와 동일한 경향의 일변동을 나타내었으나, 심야에서 새벽에 걸친 대기의 안정도는 다른 계절에 비해 크게 나타났다. 또한 대기성상의 시간별 변화의 폭은 춘기 및 추기와 유사하게 나타났으며, 대표일 이외의 쾌청일의 대기성상도

Fig. 8에 나타낸 대표일과 거의 동일한 경향을 나타내었다.

3.3 기온 감소율 고찰

Fig. 9에는 각 연도별 8월의 월평균 기온의 높이별 기온 감소율(°C/10 m)을 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 지상 40 m 이상에서는 1995년을 제외하고, 기온 감소율의 일변화는 거의 동일하게 나타났다. 1995년의 기온 감소율이 다른 연도에 비해 크게 나타난 것은 8월의 평균 기온이 30°C 이상으로 다른 연도에 비해 평균 기온이 상당히 상승한 것이 원인으로 생각되어진다. 10~40 m 부근의 높이에 따른 기온 감소율이 매년 다른 경향을 나타내는 것은 지표면 부근으로부터의 인공배열의 영향이 크기 때문이라고 생각되어진다. 따라서 3.1.2절에서 나타낸 하기의 평균 온위분포의 연교차는 10~40 m 부근의 대기영향이 크게 나타난 것으로 추정되어진다. 한편 지상 80~139 m 부근의 높이별 기온 감소율의 변동은 연도별 차가 거의 없으며, 이 높이에서는 지표면 부근의 열적 영향을 거의 받지 않는다는 것을 알 수 있었다.

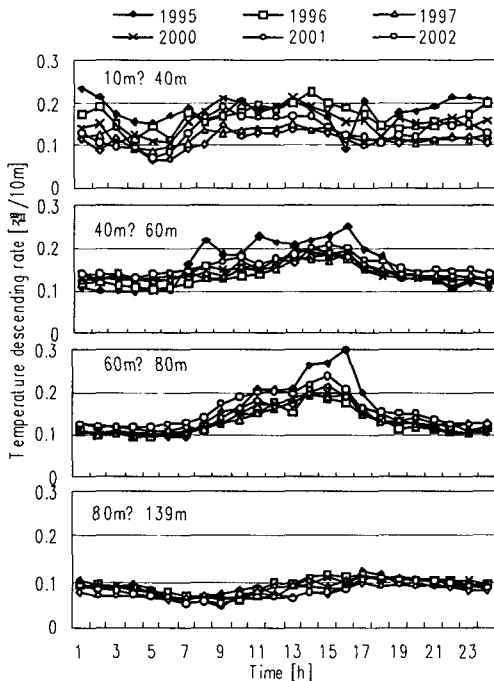


Fig. 9 Daily variation of temperature descending rate in each height.

4. 결 론

본 논문에서는 나고야를 대상으로 도심 시가지의 온열환경 예측시, 중요한 경계조건인 도심 시가지의 상공부 대기의 열성상에 관해 1995~1997년 및 2000~2002년의 6년간에 걸친 실측을 통하여 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 검토대상 도심 시가지의 상공 2지점(지상 75 m, 139 m)에서의 풍향은 연중 거의 동일한 방향으로 나타났으며, 이 기간의 두 지점간의 상공에서의 대기의 혼합은 거의 없음을 확인하였다.

(2) 월평균 풍속은 추기에서 동기까지 증가하며, 춘기에서 하기까지 감소하는 연주기적인 변동을 나타내었다.

(3) 상공 139 m 실측 지점까지의 계절별 평균 온위분포는 계절별로 거의 동일한 경향을 보였으며, 동기의 상공부 대기는 매우 안정된 상태이며, 하기의 상공부 대기는 불안정한 상태로 다른 계절에 비해 연교차가 크게 나타났으나, 연주기적으로 변동한다는 것을 명확히 하였다.

(4) 상공 40 m 이상에서의 8월의 시간별 높이에 따른 기온 감소율은 1995년을 제외하고 거의 동일한 경향을 보였으며, 높이별 상공부 대기의 열교환량은 일정한 일주기로 변동하는 것으로 사료된다.

따라서 본 연구는 이러한 실측 결과를 바탕으로, 제2보에서 도심부의 온열성상을 예측하기 위한 시가지 규모의 1차원 도시 Canopy 모델을 제안하여 도시온난화 요인을 정량화하고자 한다.

참고문헌

1. Sugawara, H., Narita, K. and Mikami, T., 2001, Estimation of effective thermal property parameter on a heterogeneous urban surface, *J. Meteorol. Soc. Japan*, Vol. 79, pp. 1169-1181.
2. Masson, V. A., 2000, Physically-Based Scheme of the Urban Energy Budget in Atmospheric Models, *Boundary Layer Meteorology*, Vol. 94(3), pp. 357-397.
3. Mochida, O., 2003, New frontiers in Architecture for a Global Environment, *Architectural Institute of Japan*, No. 1, pp. 128-133.
4. Tomio, A., 1996, Local meteorology, University of Tokyo publishing company, pp. 200-211.