

## 도심지의 온열성상에 관한 연구

— 공조배열량의 감소에 따른 도심지 온열환경의 변화 —

손원득<sup>†</sup>, 이성\*

일본 三重대학교 공동벤처연구기관, \*동의대학교 빌딩시스템공학과

### Study on Thermal Property in Urban Area

— Quantitative Estimation of Heat Island in Urban area using the Simple Urban Canopy Model —

Won-Tug Son<sup>†</sup>, 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 November 5, 2004)

**ABSTRACT:** Significant air temperature increases in urban areas are 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, we propose a predicting model to analyze the heat island phenomenon quantitatively. Using this model, numerical simulation is performed in order to analyze quantitative effects of many factor on the heat island phenomenon.

**Key words:** Heat island(열섬), Urban climates(도시기후), Numerical analysis(수치해석)

#### 기 호 설 명

$a$  : 일사 흡수율  
 $c$  : 공기의 비열 [J/(kg·K)]  
 $C$  : 상부 공기간의 열전달률 [W/(m<sup>2</sup>·K)]  
 $COP$  : 공조기의 성능계수 [-]  
 $D$  : 건물군 폭  
 $E_b$  : 지표면 방사량  
 $E_o$  : 대기 방사량  
 $E_w$  : 외벽 방사량  
 $E_{w1}$  : 반대편 외벽 방사량  
 $H$  : 건물군 높이

$I_d$  : 외벽 확산일사량  
 $I_r$  : 외벽 직달일사량  
 $Q_A$  : 공조 배열량  
 $Q_b$  : 지표면으로부터의 열류  
 $Q_{car}$  : 자동차에서의 배열  
 $Q_g$  : 창으로부터의 열류  
 $Q_i$  : 실내 발열량  
 $Q_{ig}$  : 창에서 실내로의 관류열량  
 $Q_{ir}$  : 옥상면에서 실내로의 관류열량  
 $Q_{iw}$  : 외벽에서 실내로의 관류열량  
 $Q_r$  : 옥상면으로부터의 열류  
 $Q_s$  : 도로 공간에 흡수된 반사일사량  
 $Q_u$  : 상공부 대기 제1층에의 열류  
 $Q_{u1}$  : 상공부 대기 제2층에의 열류  
 $Q_{un}$  : 상공부 대기 제n층에의 열류

<sup>†</sup> Corresponding author

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

E-mail address: sonwt@bbzone.net

- $Q_w$  : 벽면으로부터의 열류
- $S_b$  : 지표면 면적
- $S_g$  : 창 면적
- $S_r$  : 옥상 면적
- $S_w$  : 외벽 면적
- $t$  : 시간
- $V$  : 도로 공간의 체적
- $V_1$  : 상부 대기 제1층 체적
- $V_n$  : 상부 대기 제n층 체적
- $W$  : 도로폭

**그리스 문자**

- $\alpha$  : 대류 열전달률 [ $W/m^2 \cdot K$ ]
- $\gamma$  : 일사 반사율
- $\epsilon$  : 복사율
- $\theta$  : 온도 [ $^{\circ}C$ ]
- $\lambda$  : 열전도율 [ $W/m \cdot K$ ]
- $\rho$  : 공기의 밀도 [ $kg/m^3$ ]
- $\sigma$  : 형태계수
- $\omega$  : 일향률

**하첨자**

- 1 : 상공부 대기 제1층
- a : 공기
- b : 도로면
- can : 도로 공간
- g : 창
- n : 상공부 대기 제n층
- s : 토양
- w : 외벽

**1. 서 론**

도시의 에너지 소비 및 인공배열 등의 각종 문제는 1970년대의 공해문제가 현저히 제기된 시기부터 이미 지적되어 왔다. 도시의 에너지 소비에 관한 연구에는, 도시 열환경 형성요인의 측면<sup>(1)</sup>과 미활용 에너지 사용의 측면<sup>(2)</sup>으로 분류될 수 있다. 전자는 공조에 의한 인공배열이 도시기후 변

화에 미치는 영향에 관한 것이며, 후자는 건물 및 지역의 열공급을 위한 인공배열의 재활용에 관한 것이다.<sup>(3)</sup> 최근 도시의 온난화현상이 현저하게 나타남으로써 전자의 측면에서 도시기후에 미치는 인공배열의 영향에 관하여 각종의 연구가 수행되어져 왔다.

본 연구는 건축 환경 및 설비적인 측면에서 도시 온난화에 영향을 미치는 요인에 대해서 정량적으로 평가하는 것을 목적으로 한다. 따라서 본 논문에서는 제1보에서 나타낸 도심지 상공부 대기성상의 고찰결과를 이용하여, 도심부 시가지 공간 내의 온열성상을 예측하기 위한 시가지 규모의 1차원 도시 Canopy 모델을 제안하고, 이 수치 모델을 이용하여 미활용 및 자연 에너지 이용에 의한 공조배열의 감소에 따른 도시 온열환경 개선효과 및 에너지 절약효과를 정량적으로 분석하고자 한다.

**2. 1차원 도시 Canopy 모델의 개요**

**2.1 건축물 및 토양 모델**

건축물 모델은 건축물 열부하 계산을 기초로 하여 벽체 및 창으로 구성된 직방체의 건축물을 설정하였다. 외벽 및 옥상벽면 내에 대해서는 1차원 열전도방정식에 기초하였으며, 표면에서는 방위에 따른 일사, 장파방사 및 일사의 1차 반사와 대류에 의한 열전달을 고려하였다. 창을 통한 투과일사는 실내 벽체에 흡수된 후 실온상승에 기여한다고 가정하였다. 실내 벽면 간의 장파복사는 실온에 의해 실의 벽면 온도가 거의 동일하다고 가정하여 고려하지 않았다.

도로면 및 토양에 대해서는 지중 0.5m 지점을 온도지정 경계층으로 하는 1차원 열전도방정식에 의해 계산하였다. 지표면에 대해서도 일사, 장파복사 및 일사의 1차반사와 대류에 의한 열전달을 고려하였다.

건축물 외벽과 도로 및 토양의 열평형 방정식은 다음과 같다.

- 외벽 및 토양 내

$$c_{w,s} \rho_{w,s} \frac{\partial \theta_{w,s}}{\partial t} = \lambda_{w,s} \left( \frac{\partial^2 \theta_{w,s}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta_{w,s}}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

- 외벽 표면

$$\begin{aligned}
 q_w = & \sigma_{w,o} \varepsilon_w E_o + \sigma_{w,b} \varepsilon_w E_b \\
 & + \sigma_{w,w1} \varepsilon_w E_{w1} - E_w \\
 & + \alpha_w (\omega_w I_r + \sigma_{w,o} I_d) \\
 & + \alpha_w \sigma_{w,b} (\gamma_b (\omega_b I_r + \sigma_{b,o} I_d)) \\
 & + \alpha_w \sigma_{w,w1} (\gamma_{w1} (\omega_{w1} I_r + \sigma_{w1,o} I_d)) \\
 & - \alpha (\theta_w - \theta_{can})
 \end{aligned} \tag{2}$$

- 토양 표면

$$\begin{aligned}
 q_b = & \sigma_{b,o} \varepsilon_b E_o + \sigma_{b,w} \varepsilon_b E_w \\
 & + \sigma_{b,w1} \varepsilon_b E_{w1} - E_b \\
 & + \alpha_b (\omega_b I_r + \sigma_{b,o} I_d) \\
 & + \alpha_b \sigma_{b,w} (\gamma_w (\omega_w I_r + \sigma_{w,o} I_d)) \\
 & + \alpha_b \sigma_{b,w1} (\gamma_{w1} (\omega_{w1} I_r + \sigma_{w1,o} I_d)) \\
 & - \alpha (\theta_b - \theta_{can})
 \end{aligned} \tag{3}$$

## 2.2 도로 공간 및 상부 대기

도로 공간은 일반적으로 복잡한 기하학적 공간이나, 주변의 건축물을 동일한 직방체로 단순화하여 아래와 같은 가정을 하였다.

(1) 도로 공간 내부 및 각 층의 상부 대기는 온도분포가 없으며, 각 공간의 온도는 일정하다.

(2) 도로 공간의 길이는 남북방향으로 무한하며, 동서방향으로는 동일한 형태의 공간이 연속된다.

(3) 건물군으로부터의 공조배열은 옥상에서 배출된다.

(4) 잠열의 영향은 작다고 가정하고 현열만 고려한다.

이러한 가정 하의 도로 공간 및 상부 대기 각 층의 열평형식은 아래와 같다.

- 도로 공간

$$c_a \rho_a V \frac{\partial \theta_{can}}{\partial t} = Q_w + Q_g + Q_b - Q_u + Q_s + Q_{car} \tag{4}$$

$$Q_w = S_w \cdot \alpha (\theta_w - \theta_{can}) \tag{5}$$

$$Q_g = S_g \cdot \alpha (\theta_g - \theta_{can}) \tag{6}$$

$$Q_b = S_b \cdot \alpha (\theta_b - \theta_{can}) \tag{7}$$

$$Q_u = C (\theta_{can} - \theta_1) \tag{8}$$

- 상부 대기 제1층

$$c_a \rho_a V_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial t} = Q_u + Q_r - Q_{u1} + Q_A \tag{9}$$

$$Q_r = S_r \cdot \alpha (\theta_r - \theta_1) \tag{10}$$

$$Q_A = (Q_{ir} + Q_{iw} + Q_{ig} + Q_i) \times (1 + 1/COP) \tag{11}$$

$$COP = -0.0697 \times \theta_1 + 5.0801 \tag{12}$$

- 상부 대기 제n층

$$c_a \rho_a V_n \frac{\partial \theta_n}{\partial t} = Q_{n-1} - Q_n \tag{13}$$

$$Q_n = C (\theta_n - \theta_{n+1}) \cdot (W + D) \tag{14}$$

단, C는 각층 상부 대기 간의 열전달률을 의미한다. 일반적으로 상부 대기 각층 간의 열이동은 부력에 의한 이류(Advection)에 의해 지배되므로, 그 풍속을 입력조건으로 설정할 필요가 있으나, 계산의 간략화를 위해서 여기서는 제1보에서의 하기의 상공부 대기정상 고찰 결과를 기초로 한 시간별 열전달률을 사용하였다. 이 부분에 대해서는 4절에서 상세히 검토하기로 한다.

## 3. 계산 및 기상조건

### 3.1 계산조건

계산대상 지역은 Fig. 1에 나타낸 바와 같은 일

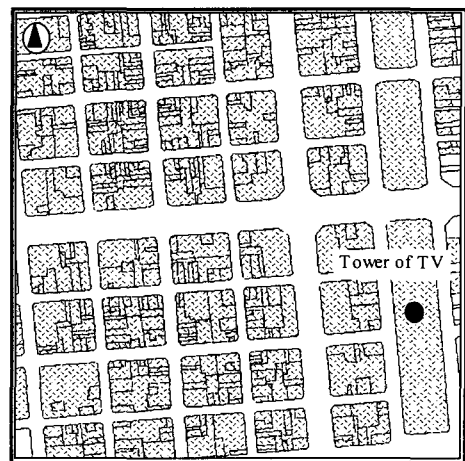


Fig. 1 Urban area of calculation (Sakae, Nagoya Japan).

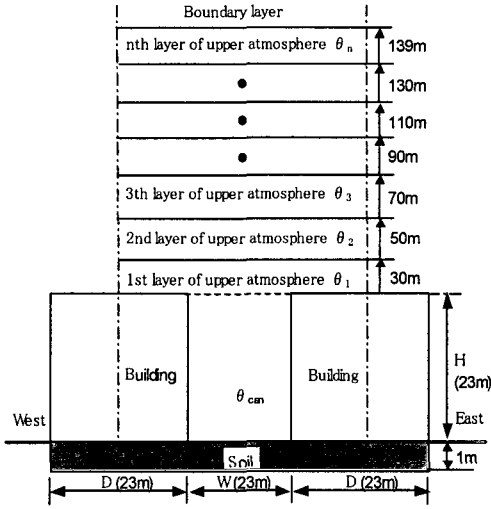


Fig. 2 Scheme of calculation.

Table 1 Condition of simulation

Height of buildings	23 m
Total floor area	396 m <sup>2</sup>
Typical floor area	66 m <sup>2</sup>
Number of floor	6
Resident area per a person	0.2 m <sup>2</sup> per person
Rate of air conditioning area	65%
Internal heat generation	Person: 116 W per person Light: 20 W/m <sup>2</sup>
Air requirement for air ventilation	30 m <sup>3</sup> /h per person
Indoor set temperature	26°C
Air conditioning schedule	Continuous
COP of air conditioning system	3
Soil temperature at 1.0 m	31.7°C

본 나고야의 Sakae 지역으로 설정하였다, 나고야의 GIS 데이터에 의해 평균 건물군 높이는 23m, 도로 폭은 23m, 건물군 폭은 66m로 선정하였다. 건물군의 창면적 비율은 30%로 설정하였다. 실내 발열 및 환기에 대해서는 바닥면적을 기준으로 산정하였다. Fig. 2에 계산대상을, Table 1에 계산 조건을 나타내었다. 또한 도로의 교통수단에 의한 배열은 실측조사를 기초로 하여, 발열량 및 배기가스의 발열량을 산출하였다.<sup>(4)</sup>

3.2 기상조건

계산 대상기간은 2000~2002년까지 3년간의 나

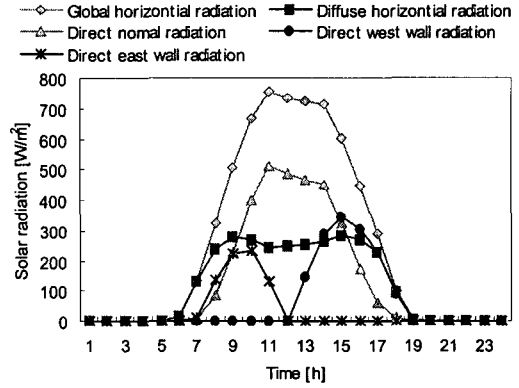


Fig. 3 Solar radiation using calculation.

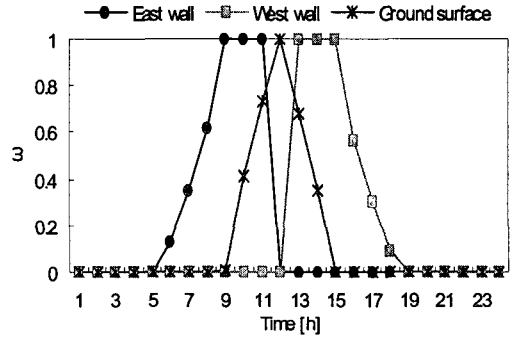


Fig. 4 Incident area ratio of direct solar radiation.

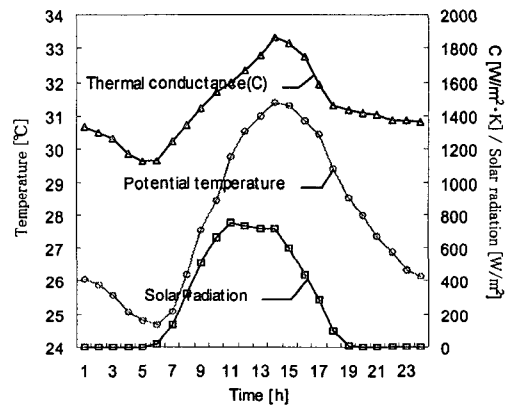


Fig. 5 Boundary condition and thermal conductance (C).

고야 Sakae 지역 실측데이터 중에서 8월을 대상으로, 청천일이 계속되고 기온의 일변화가 안정된 기간을 선정한 결과, 2000년 8월 22일~8월 30일

Table 2 Thermal property used for simulation

Solar absorptance of wall	0.8
Thermal conductivity of wall	537.2
Volumetric specific heat of wall [J/m <sup>3</sup> ·K]	1.64
Indoor convective heat transfer coefficient [W/m <sup>2</sup> ·K]	9.3
Solar absorptance of ground surface	0.95
Thermal conductivity of asphalt [W/m·K]	0.73
Volumetric specific heat of asphalt [J/m <sup>3</sup> ·K]	570.9
Thermal conductivity of soil [W/m·K]	1.5
Volumetric specific heat of soil [J/m <sup>3</sup> ·K]	465.1
Volumetric specific heat of air [J/m <sup>3</sup> ·K]	0.35

까지의 9일간으로 설정하였다. 계산에는 이 기간의 시간별 평균치를 기상조건으로 사용하였다. 일사량의 데이터는 수평면 전천일사량을 Udagawa et al.에 의한 직산 분리식<sup>(5)</sup>을 이용하여 법선면 직달일사량과 수평면 확산일사량으로 분리하였고, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

계산 대상기간의 태양고도와 태양방위각으로부터 산출한 도로 공간의 일향률( $\omega$ : 직달일사량이 벽면에 입사하는 면적비)을 도로 공간의 지표면, 동측 및 서측 벽면에 대해 각각 계산하고, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Table 2에는 계산에 사용된 각 물성치를 나타내었다. Fig. 5에 상공의 혼합대기 경계층 기온 및 일사량의 경계조건과 상공층간의 열전달률( $C$ )을 나타내었다.

4. 상공층 대기의 열전달률 및 경계조건

상공 경계층의 온도조건을 지상 139m에서의 실측온도로 설정하고, 경계층 이하의 상공부 대기층간의 열전달률  $C$ 는 제1보에서 검토한 하기

시각별 평균 온도차에 기초하여 일주기로 설정한 계산 결과와 실측치와의 비교에 의해 산정하였다. 그 결과 상공부 대기층간의 열전달률( $C$ )은 일평균 1,450 W/m<sup>2</sup>·K으로 나타났다.

Fig. 6에  $C=1,450$ (풍속 환산치=1.1 m/s)의 경우, 도로 공간 및 지상 80 m 지점의 계산 결과와 실측 결과의 비교를 나타내었다. 실측치와 계산치의 최대오차는 0.68°C(지상 80 m 지점), 평균 오차는 0.38°C로 나타났다. 단, 계산 대상일 동안의 실측치의 높이 범위(10~139 m)에서는 높이 방향 온도차가 역전되는 안정된 대기층은 관측되지 않았으나, 지상 100 m 부근에서 온도차의 변화가 나타난 것으로부터 본 논문에서는 지상 139 m 지점의 온도를 상공 경계조건으로 가정하였다.

5. 계산결과 및 고찰

Fig. 7에 제안한 모델에 의해 계산한 시각지 각 부분의 일일 온도변화를 나타내었다. 계산조건에서 건물군을 평균 높이로 일정하게 설정한 결과,

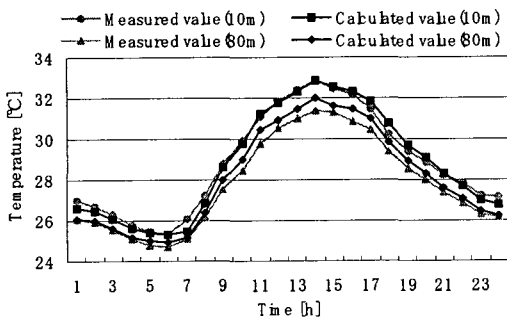


Fig. 6 Comparison of measured and calculated value.

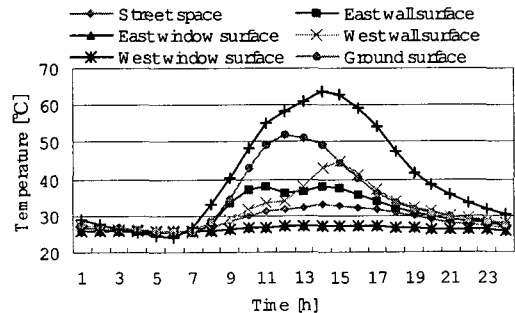


Fig. 7 Daily variation of each calculated temperature.

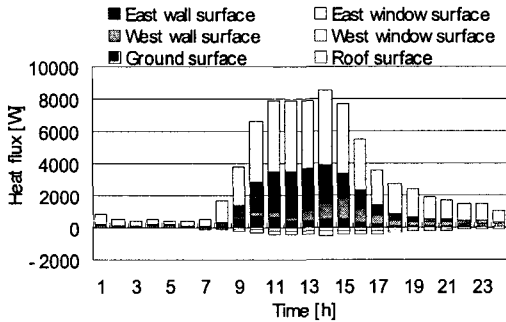


Fig. 8 Daily variation of each calculated heat flux.

옥상면은 일영의 영향을 받는 건물 외벽 및 지표면에 비해 온도가 높게 나타났다. 건물군의 외벽 및 지표면의 최고온도는 동측 외벽의 경우 오전 10~11시, 서측 외벽의 경우 오후 3~4시, 지표면의 경우 오후 12~1시에 나타났다.

Fig. 8에 건물군 및 지표면에서 도로 공간으로 유입되는 열류를 나타내었다. 일사량의 변화에 따라 오전 중에는 건물군의 동측 벽면으로부터, 오후에는 서측 벽면으로부터의 열류가 증가하는 것을 알 수 있다. 오전 중의 건물군 서측 벽면의 열류가 음(-)의 값으로 나타난 것은 Fig. 7에 나타난 바와 같이 오전중의 서측 벽면의 표면온도가 도로 공간의 온도보다 낮기 때문이라고 사료된다. 건물군 동측 벽면에서는 오후에도 표면온도가 크게는 낮아지지 않았으며, 따라서 오후에도 도로 공간으로의 열류가 나타났다. 건물군 창과 도로 공간의 온도차는 비교적 작게 나타났으며, 열류량 또한 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 지표면으로부터의 열류는 일사취득량이 가장 많은 일중에 크게 나타났으며, 토양에의 축열에 의해 일중 도로 공간으로의 열류가 나타났다.

6. 공조배열 감소에 따른 효과

이 절에서는 지금까지의 계산결과를 이용하여, 건축물로부터 배출되는 공조배열의 감소에 의한 도로 공간 내의 온열성상 및 에너지 절약효과에 관해서 검토하고자 한다. 일반적으로 지표면 부근에서 인공배열이 감소될 경우 그 부력효과도 감소되기 때문에, 공조에 의한 배열량이 감소된 경우에는 대기층간의 열전달률도 감소할 가능성이 있다. 그러나 이 절에서는 그 영향이 작다고 가

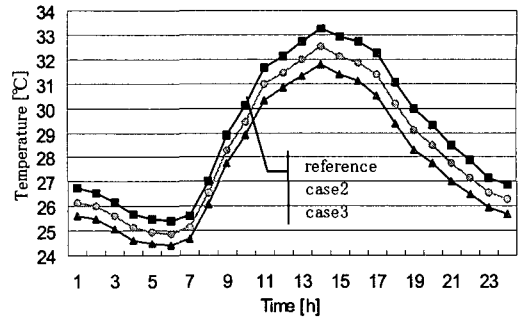


Fig. 9 Comparison of street space temperature by the difference in exhaust heat rate.

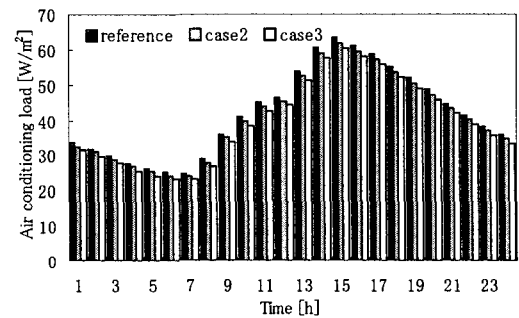


Fig. 10 Comparison of air conditioning load by the difference in exhaust heat rate.

정하고 전 절에서 계산한 열전달률값(C=1,450)을 사용하여 공조배열이 감소된 경우에 대해서 검토하였다.

Fig. 9에 공조 배열량이 현 상태의 경우(기준조건)와 미활용 및 자연에너지 사용에 의해 50% 감소된 경우(case 2) 및 전 공조 배열량이 대상 공간에는 배출되지 않는 경우(case 3)의 도로 공간 온도의 일일변화를 비교하였다. Case 2의 경우, 도로 공간의 시각별 평균 온도는 기준조건에 비해 0.59°C 낮게 나타났으며, 15시에는 0.92°C 낮게 나타났다. Case 3의 경우, 도로 공간의 시각별 평균 온도는 기준조건에 비해 1.15°C 낮게 나타났으며, 15시에는 1.77°C 낮게 나타났다.

Fig. 10에 공조배열조건별 공조부하(실부하+의기부하)의 일변화를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 case 2와 case 3의 공조배열조건의 경우 공조부하 저감량은 각각 2.8%와 5.5%로 나타났다.

이상의 결과로부터, 시가지 공간에의 공조 배열량의 감소는 도로 공간의 온도저하에 의한 도시 온난화의 완화와, 건물 외벽으로부터의 관류

열 감소 및 환기에 의한 외기부하 감소를 통해 에너지 절약에도 유효하다는 것을 확인할 수 있었다.

## 7. 결 론

본 논문에서는 도심부 시가지 공간 내의 온열 성상을 예측하기 위한 시가지 규모의 1차원 도시 Canopy 모델을 제안하였고, 이 수치모델을 이용하여 미활용 및 자연 에너지 이용에 의한 공조 배열의 감소에 따른 도시 온열환경 개선효과 및 에너지 절약효과를 정량적으로 분석하였다.

제안한 간이 모델에 의한 계산결과와 실측치로부터 상공부 대기층의 열전달률을  $1,450 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  (풍속 환산치 =  $1.1 \text{ m/s}$ )으로 설정한 경우, 계산 대상지역의 온열환경을 예측할 수 있다는 것을 확인하였다.

또한 본 모델을 이용하여 공조배열이 감소한 경우에 대해 검토한 결과, 공조 배열량이 현 상태의 경우에 대해 미활용 및 자연 에너지 사용에 의해 50% 감소된 경우 및 전 공조 배열량이 대상 공간에는 배출되지 않는 경우의 도로 공간의 온도는 각각  $0.59^\circ\text{C}$ ,  $1.15^\circ\text{C}$ 로 저하되는 것으로 나타났다. 이 경우 도로 공간의 온도저하에 따른 공조부하 저감량은 각각 2.8%, 5.5%로 나타났다.

금후 본 논문의 검토 결과를 이용하여, 도시온난화에 영향을 미치는 요인에 대해 상세히 검토하고, 각 변수의 감도분석을 통한 모델의 상세화에 대해서도 검토하고자 한다.

## 참고문헌

1. Shimoda, Y., 1998, Evaluation of low-level thermal energy flow in the osaka prefectural area, International Journal of Global Energy Issues, Vol. 11, No. 1-4, pp. 178-187.
2. Sadohara, S. and Ojima, T., 1986, Study on the classification of districts in tokyo according to district heating and cooling, Journal of AIJ, No. 364, pp. 86-93.
3. Mochida, T., 2002, New frontiers in architecture for a global environment, Architectural Institute of Japan, No. 1, pp. 128-133.
4. Nimura, T., 1998, A study on evaluation of the cross section for the road in urban, MS thesis, Nagoya University, Nagoya, Japan.
5. Udagawa, M. and Kimura, K., 1978, The estimation of direct solar radiation from global radiation, Journal of AIJ, No. 267, pp. 83-90.