

## 대구지역 인공열의 시공간적 분포 추정에 관한 연구

안 지 숙 · 김 해 동 · 홍 정 혜\*  
계명대학교 환경학부 · 부산광역시 보건환경연구원  
(2002년 7월 7일 접수; 2002년 10월 10일 채택)

### Estimation of the Temporal and Spatial Distribution of Anthropogenic Heat in Daegu

Ji-Suk Ahn, Hae-Dong Kim and Jung-Hye Hong\*  
Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea  
\*Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Busan 613-100, Korea  
(Manuscript received 7 June, 2002; accepted 10 October, 2002)

Urban atmospheric conditions are usually settled as warmer, drier and dirtier than those of rural counterpart owing to reduction of green space and water space area, heat retention in surfaces such as concrete and asphalt, and abundant fuel consumption. The characteristics of urban climate has become generally known as urban heat island. The purpose of this study is to investigate the temporal and spatial distribution of the heat emission from human activity, which is a main factor causing urban heat island.

In this study, the anthropogenic heat fluxes emitted from vehicles and constructions are estimated by computational grid mesh which is divided by 1km×1km. The anthropogenic heat flux by grid mesh can be applied to a numerical simulation model of the local circulation model. The constructions are classified into 9 energy-consumption types - hospital, hotel, office, department store, commercial store, school, factory, detached house and flat. The vehicles classified into 4 energy-consumption types - car, taxi, truck and bus. The seasonal mean of anthropogenic heat flux around central Daegu exceeded  $50 W/m^2$  in winter. The annual mean anthropogenic heat flux exceeded  $20 W/m^2$ . The values are nearly equivalent to the anthropogenic heat flux in the suburbs of Tokyo, Japan.

Key words : Urban Heat Island, Heat retention, Anthropogenic heat

#### 1. 서 론

도시와 도시주변지역의 기온분포를 보면, 등온선이 도심부를 중심으로 마치 섬과 같은 모습으로 시가지를 에워싸고 있다. 이러한 도시의 고온현상을 도시열섬(heat island)라고 부른다. 시가지의 기온이 교외에 비하여 높다는 사실은 19세기 후반에 영국의 Howard에 의해 처음으로 알려졌다.<sup>1)</sup> 1820년경에 그는 도시내외의 기온을 비교하여 두 지역간 월별 평균기온의 차를 나타내었는데, 도심에서는 주변지역보다 야간에  $3.7^{\circ}C$ 가 높고 낮에는  $3.36^{\circ}C$ 가

높다고 지적하였다.<sup>2)</sup> 이것이 도시열섬에 대한 최초의 사실적 발견이다. Howard는 도시의 승온화 현상은 도시지역의 막대한 연료사용에 기인한다고 지적하였다.

그 후에 도시 승온화의 원인을 규명하는 연구가 활발히 이루어져 다양한 열섬화의 원인이 밝혀졌는데, 그 중에서도 다음의 3가지 - (1)인간활동으로 유발되는 인공열(anthropogenic heat)의 대량 방출, (2)도시화로 인한 녹지대(green space)와 수면지역(water surface area)의 감소, (3)콘크리트나 아스팔트 포장의 증가로 인한 열저장(heat retention)의 증가 - 가 주요 원인으로 밝혀졌다.<sup>3,4)</sup> 이러한 사실은 최근에 수행된 수치시물레이션에서도 증명되고 있다.<sup>3,5,6)</sup> 도시에는 이러한 열섬화로 대표되는 도시특

Corresponding Author : Hae-Dong Kim, Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea  
Phone : +82-53-580-5930  
E-mail : hdkim@kmu.ac.kr

유의 기후(이름, 도시기후라고 한다)가 발생하여, 기온상승으로 인한 도시민의 불쾌감 증가, 냉방용 에너지 소비의 증가, 도심의 대기환기 악화로 인한 대기오염의 심화 등으로 대기환경의 쾌적성(amenity)이 떨어지고 있다.<sup>7,8)</sup> 1970년대까지 주요 선진국의 도시대기환경관리의 주요 관심사가 대기오염물질의 규명과 이들 물질에 대한 규제방안을 만드는 것이었다. 그러나 1980년대 이후의 도시대기환경관리의 주요 관심이 도시 승온화 억제와 대기환기(ventilation) 기능의 개선을 통한 도시의 쾌적성 창조에 모아지고 있다.<sup>9)</sup>

이러한 배경에서, 본 연구에서는 대구의 도시열섬 원인을 수치시뮬레이션 과정으로 평가하기 위하여 필요한 기초자료 수집의 일환으로, 인공열 배출량에 대한 시·공간적 자료를 파악하고, 자료의 타당성 및 인공열 분포특성을 분석함을 목적으로 한다. 인공열 플럭스는 냉난방, 제조, 운송, 조명 등의 목적으로 도시 내에서 소모되는 연료에 의한 배출과 인간과 동물의 신진대사에 의한 배출이 포함된다. 인간활동에 의한 인공열 플럭스는 개인별 평균 에너지의 사용과 도시의 인구밀도에 의존하며, 개인별 에너지 사용은 경제력과 겨울철의 난방 및 그 이외의 여러 요인에 의존한다.<sup>10)</sup> 따라서 적당한 공간과 시간규모에 대한 연료사용자료가 파악될 수 있다면, 이러한 인공열 플럭스가 이론적으로 높은 정확도로 추정되어질 수 있다. 그러나 현실적으로는 주어진 시간과 공간에서 소모되는 연료의 양을 측정한다는 것이 불가능에 가깝기 때문에, 도시에서 사용된 연료로부터 발생한 인공열이 대기로 방출되는 것에 대한 시·공간적 분포에 대한 정확한 정보가 거의 없는 실정이다.

이와 관련된 국내외의 연구결과를 살펴보면 다음과 같다. 영국 런던에서 1971년의 에너지 사용 자료에 근거한 인공열방출에 대한 상세한 지도가 작성되었다.<sup>11)</sup> 이 연구결과에 의하면, 도시외곽지역의 평균 인공열 배출량은  $5 W/m^2$  이하이고, 도시 중심부에 속하는 수  $km^2$  이내에서는 평균  $100 W/m^2$ 를 초과하는 것으로 추정되었다. 그리고 상업, 산업, 교통 등에 이용되는 에너지는 연평균  $17.4 GW/day$ 이고, 연중 최대값은 12월에 약  $21.8 GW/day$ 로 추정되었다. 폴란드에서는 Lodz지역을 대상으로 공업지역, 대단위 주거지역, 주거와 공업의 혼합지역, 근교 주거지역의 4개 지역으로 분류된 영역에 대해서 연료사용량에 대한 인공열 배출량이 추정된 바 있다.<sup>12)</sup> 그 결과에 의하면, 시내 중심지역에서는 연평균  $40 W/m^2$ (1월에  $71 W/m^2$ , 8월에  $18 W/m^2$ )의 인공열이 배출되었다. 한편, 일본에서는 인공열 배

출이 동경의 도시승온화에 미치는 효과를 정량적으로 평가할 목적으로 동경지역을  $1km \times 1km$  격자간격으로 나누고, 격자별 인공열 배출 현황을 조사하였다.<sup>13)</sup> 이 결과에 의하면, 최대치로 Shinjuku 부도심에서  $1,590 W/m^2$  (겨울철, 오전 9시)가 얻어졌다. 그 내역은 난방 34%, 급탕 51%, 동력 8%, 자동차 교통 2% 이었다. 여름철에도 같은 장소에서  $908 W/m^2$ (오전 9시)이 얻어졌는데, 냉방의 기여율은 약 13%이었다. 14시에 Ginza, Marunouchi와 Shinjuku 주변에  $400 W/m^2$  이상의 영역이 넓게 나타났다. 한편 21시에는 주택지역 가운데, 값이 다소 큰 쪽이 약  $30 W/m^2$ 이고, 도심부도  $100 W/m^2$  이하인 지역이 대부분을 차지하는 것으로 평가되었다. 이처럼 도회지에서의 인공열 배출량은 도시의 열환경을 논의함에 있어서 무시할 수 없는 중요한 요소가 되고있다.

본 연구에서는 인공열 배출량은 건물에서 사용되어지는 에너지에 의한 인공열과 차량의 운행으로 소비되는 연료로부터 배출되는 인공열의 합과 같다고 가정하였다. 건물로부터의 인공열 배출량은 건물의 종류를 9개의 용도별로 분류하여  $1km \times 1km$ 의 격자내에 각 용도의 건물의 면적비율을 결정하여 인공열 배출량을 추정하였다. 차량으로부터 방출되는 인공열은 도로에서 운행되는 차종별 통행량과 도로길이를 이용하여 추정하였다. 이를 위해 대구지역의 1:1,000 수치지형도를 이용하여 건물과 도로의 공간적 분포를 파악하였고, 건물 용도별 바닥면적당 에너지 소비 원단위와 차종별 연료 소비율을 활용하여 인공열의 시·공간적 분포도를 작성할 수 있었다.

## 2. 자료 및 연구방법

### 2.1. 건물로부터의 인공열

GIS(Geographic Information Systems) 자료인 1:1,000 수치지형도를 이용하여 대구지역을  $1km \times 1km$ 로 격자를 나누어, 격자 내 건물을 상점, 공장, 백화점, 아파트, 단독주택, 병원, 호텔, 사무실, 학교의 9개 용도별로 분류하였다. 각 격자별로 용도별 바닥면적을 산정하고, 건물 용도별 에너지소비량 통계자료인 에너지 총 조사 보고서<sup>14,15)</sup>를 이용하여 에너지 소비분포를 구하였다. 건물 용도별 바닥면적의 월별 및 연간 에너지소비 원단위는 호텔에서  $2051 MJ/(m^2 \cdot year)$ 로 가장 컸으며, 다음은 병원과 백화점이 각각  $1378 MJ/(m^2 \cdot year)$ 과  $1278 MJ/(m^2 \cdot year)$ 로 나타났다.

건물에서 배출되는 연간 인공열 추정은 건물 용도별 바닥면적과 연간 에너지소비 원단위를 곱해서

## 대구지역 인공열의 시공간적 분포 추정에 관한 연구

추정하였으며, 같은 방법으로 계절별, 월별, 주·야간별 인공열을 추정하였다. 이와 같은 인공열 추정에 관한 관계식은 다음과 같다.<sup>16)</sup>

### 2.1.1. 연간 인공열

$$D_i = F_i / M, \quad HB_Y = D_i \times Z_Y \quad (1)$$

$$HB_Y = D_i \times Z_Y \quad (2)$$

여기서,  $D_i$ 는 건물 용도별 바닥면적비,  $F_i$ 는 용도별 건축물의 바닥면적의 합,  $M$ 은 격자 하나의 면적,  $HB_Y$ 는 연간 건물의 용도별 인공열( $MJ/(m^2 \cdot year)$ ),  $Z_Y$ 는 건물의 용도별 연간 에너지소비 원단위( $MJ/(m^2 \cdot year)$ )이고,  $i$ 는 건물 용도별 분류번호이다.

### 2.1.2. 월별 인공열

$$Z_{mr} = (Z_m / \sum_{m=1}^{12} Z_m) \quad (3)$$

$$HB_m = Z_{mr} \times HB_Y \quad (4)$$

여기서,  $Z_m$ 은 건물의 용도별 연간 에너지 소비 원단위( $MJ/(m^2 \cdot year)$ )이고,  $Z_{mr}$ 은 월별 변동계수,  $HB_m$ 은 월별 인공열이다.

### 2.1.3. 계절별 인공열

냉난방 기간별 인공열 배출량을 1년을 3기간으로

나누어 추정하였는데, 난방이 필요한 난방요구기(겨울철에 상당)와 냉방이 필요한 냉방요구기(여름철에 상당) 그리고 그 중간기(봄과 가을철에 상당)로 나누었다. 난방요구기는 12월, 1월, 2월 그리고 3월, 냉방요구기는 6월, 7월, 8월 그리고 9월, 중간기는 4월, 5월, 10월 그리고 11월로 구분하여 각 기간별로 인공열 배출량을 추정하였다.

### 2.1.4. 시간별 인공열

$$Z_{dr} = (Z_i / \sum_{i=1}^{24} Z_i) \quad (5)$$

$$HB_d = Z_{dr} \times (HB_m / 30) \quad (6)$$

여기서,  $Z_i$ 는 건물의 용도별 시간별 에너지소비 원단위( $MJ/(m^2 \cdot year)$ )로 Fig. 1에 계절별, 용도별 값을 나타내었다. 그리고  $Z_{dr}$ 은 시간별 변동계수,  $HB_d$ 는 시간별 인공열이다.

### 2.1.5. 주·야간별 인공열

하루 24시간 가운데 주간은 0700LST~1900LST, 야간은 2000LST~2400LST 및 0100LST~0600LST를 각 시간별 인공열 배출량의 합을 주간과 야간의 인공열 배출량으로 간주하였다.

## 2.2. 차량으로부터의 인공열

최근 차량 운행의 증가로, 차량에 의한 인공열

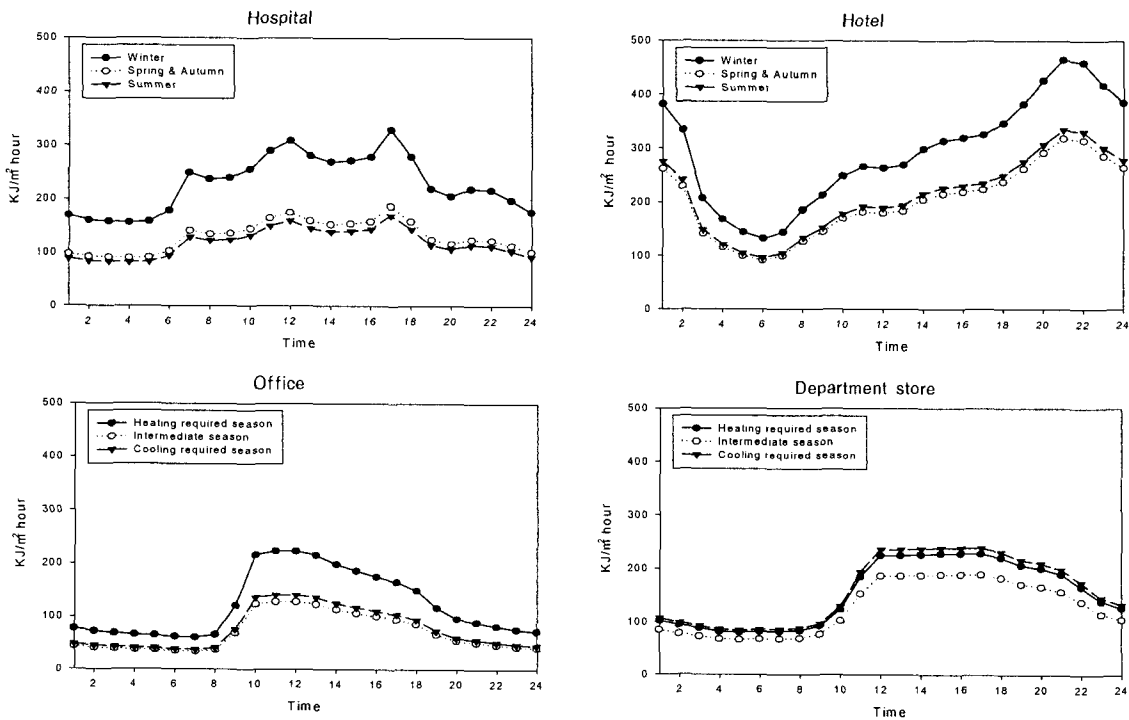


Fig. 1. Diurnal variation of anthropogenic heat from each constructions( $W/m^2$ ).

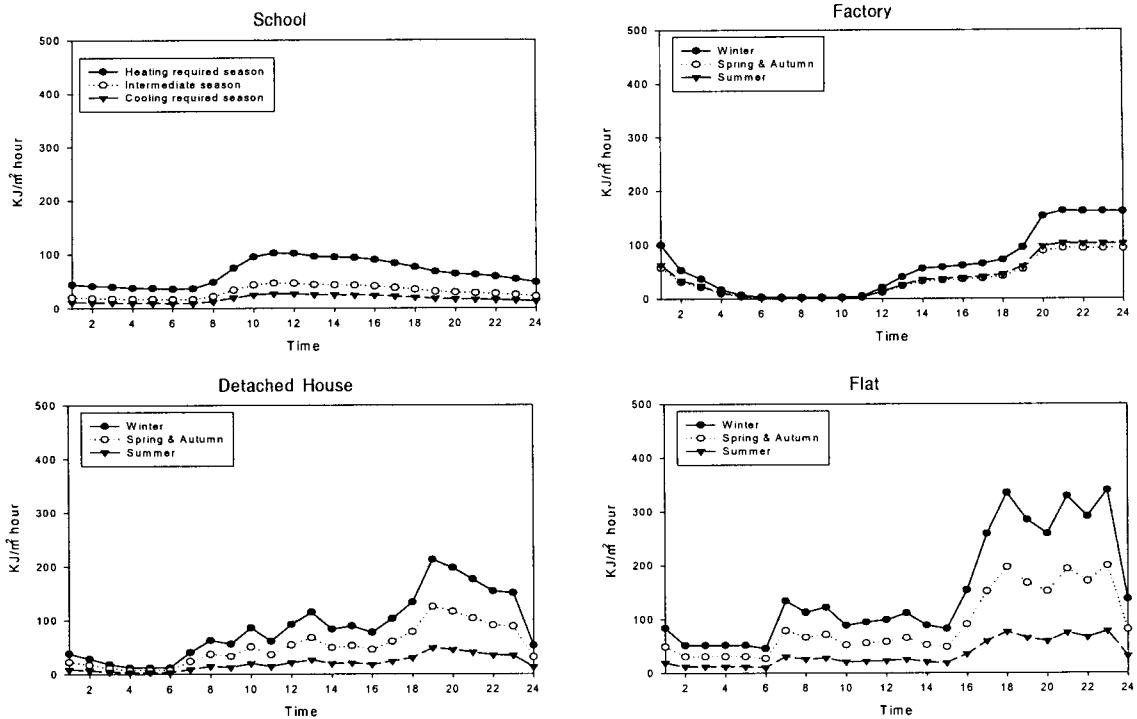


Fig. 1. Continued.

배출의 비중이 건물에서 사용되어지는 에너지 소비량에 비하여 무시할 수 없을 만큼 커지게 되었다. 건물로부터의 인공열 추정 기본 격자와 마찬가지로 GIS 자료인 1 : 1,000 수치지형도를 이용하여, 차량으로부터의 인공열 추정의 기본 격자를 1km×1km로 두어 격자내 대구시 모든 도로의 총 연장거리를 추정하였다.

대구지역의 차량에 의한 인공열을 추정하기 위하여 이용한 자료는 대구시 차종별 등록대수 현황, 차종별 1일 평균 주행거리, 대구지역의 도로길이 그리고 각 연료의 발열량과 연료 사용비이다. 차량에 의한 인공열 추정에 있어서, 차량의 종류는 승용차, 택시, 트럭, 버스로 구분하여 고려하였다. 그리고 각 격자 내에서 조사된 정확한 교통량 자료가 없기 때문에 도로 길이율로 추정하는 방법을 채택하였다. 도로길이율은 대구지역의 수치지형도를 이용하여 각 격자별 도로길이를 구하고, 이것과 대구지역 전체 도로길이에 대한 비를 각 격자별 계산하여 얻는다.

Table 1. Registration number of vehicles

	Car	Taxi	Truck	Bus
number	437795	96555	223385	2523

등록된 모든 차량은 도로를 따라 랜덤하게 운행되어진다는 가정 하에, 대구지역의 도로길이율에 대구에 등록된 차량대수<sup>17)</sup>를 곱하여 각 격자별로 운행되어지는 차량을 추정하였다. 이렇게 구한 격자별 각 차량별 일일 운행대수에 각 차량별 일일 평균 주행거리와 각 차종별 연료의 발열량을 곱한 후에, 차종별 연료 사용비(使用比)와 격자별 면적을 나누어 줌으로써 격자별 일일 총 운행거리를 구할 수 있었다. 이를 수식으로 표현하면, 다음과 같다.

$$HC_Y = \sum_K (V_{RN} \times D_C \times (M_I / R_I) \times G) / (N_k \times M) \quad (7)$$

여기서,  $HC_Y$ 는 연간 차량에서 배출되는 인공열,  $V_{RN}$ 는 자동차 등록대수,  $D_C$ 는 차량별 1일 평균 주행거리(km/day),  $M_I$  각 격자내의 도로길이(km),  $R_I$ 는 대구의 총 도로연장 길이(km),  $G$ 는 연료별 발열량(kcal/l),  $N_k$ 는 차종별 연료사용비(km/l),  $M$ 은 격자면적( $m^2$ )이다. 계산에 사용된 자료를 Table 1에서 4에 제시하였다.

Table 2. Daily distance covered of vehicles(km)

	Car	Taxi	Truck	Bus
distance	45.3	257.8	65.3	242

Table 3. Caloric value of vehicles(kcal/l)

	Car	Taxi	Truck	Bus
Caloric value	8300	6890	9200	9200

Table 4. Fuel ratio of vehicles(kcal/l)

	Car	Taxi	Truck	Bus
ratio of fuel consumption	13.3	12	11.3	2.175

### 3. 결 과

#### 3.1. 연평균 인공열 분포

대구지역에서 추정된 연평균 인공열 배출량을 Fig. 2에 나타내었다. 대구지역 전체의 연평균 값은 약  $6.7 W/m^2$ 이었다. 이를 보다 상세히 보면, 도심지역인 중구에서 약  $23.2 W/m^2$ 으로 가장 높고, 서구와 남구가 각각  $15.8 W/m^2$ ,  $13.2 W/m^2$ 로 뒤를 이었으며, 북구와 동구는 각각  $5.5 W/m^2$ ,  $3.3 W/m^2$ 로 낮게 추정되었다(Fig. 3).

이를 배출 요인별로 살펴보면 다음과 같다. 건물과 차량에서 배출된 인공열을 대구지역 전체에서 평균하면, 각각  $4.2 W/m^2$ ,  $2.6 W/m^2$ 으로 평가되어, 건물과 차량의 총 인공열에 대한 기여도는 대략 2 : 1 이었다. Table 4에 대구지역의 각 구별로 인공열 배출량에 기여하는 요인별 양을 제시하였다. 이에 의하면, 도시의 중심지역인 중구에서 건물과 차량에 의한 인공열 배출량은  $15.8 W/m^2$ 과  $7.8 W/m^2$ 로 추정되어 가장 높은 분포를 보였다. 한편, 남구와 서구에서는 건물이 배출하는 인공열이 각각  $9.8 W/m^2$ ,  $8.3 W/m^2$ 으로 중구의 약 50~60%에 지나지 않지만, 차량이 배출하는 인공열은 각각 약  $6.0 W/m^2$ ,  $5.0 W/m^2$ 으로 평가되어 중구의 약 70%에 상당하였다. 이는 중구에 상가와 고층 사무실이 밀집하여 건물로부터 많은 양의 인공열이 배출된 결

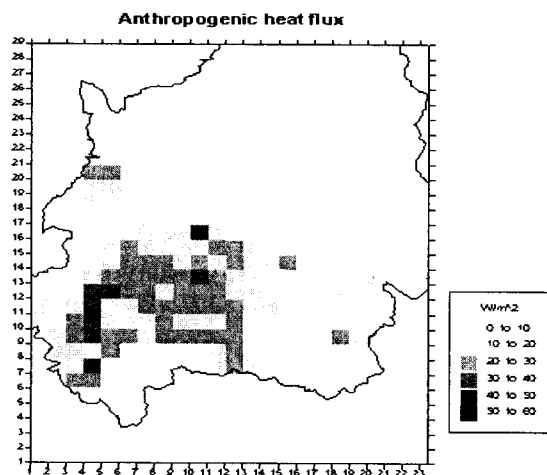


Fig. 2. Distribution of annual mean anthropogenic heat flux in Daegu.

과로 해석된다.

Fig. 4(a), (b)에 대구지역의 건물과 차량이 배출하는 인공열의 연평균 공간분포를 나타내었다. 건물에서 배출되는 인공열의 분포는 건물 밀집도가 큰 중구에서 가장 높았고, 서구와 남구의 순서로 많았다. 수성구에서는 아파트 밀집지역에서 높은 인공열 배출을 나타내었지만, 수성구 전체에서 평균하면 높은 녹지면적율의 영향으로 낮게 평가되었다. 차량에 의한 인공열 배출량의 분포도 중구에서  $7.4 W/m^2$ 으로 가장 높았고, 이어서 서구와 남구에서 각각 약  $6.0 W/m^2$ ,  $5.0 W/m^2$ 으로 추정되어 그 뒤를 이었다.

이를 행정단위별로 평가하면, 대구의 인공열 배출량에 대한 공간분포는 중구에서 가장 높고, 이어서 서구, 남구 그리고 달서구의 순이었다. 이에 비하여 수성구, 북구 및 동구의 인공열 배출량은 상당히 낮게 평가되었다. 그러나 이를 격자별로 상세히 보아도, 대체로 중구, 서구 및 남구에 높은 값이 분포하지만 북구와 수성구(아파트 단지) 및 동구에도 높은 인공열이 배출되는 영역이 존재함을 확인할 수 있다.

#### 3.2. 계절별 인공열 분포

Fig. 5에 계절별로 추정한 인공열의 공간분포를 나타내었다. 계절별 인공열 발생량을 대구 전역에 걸쳐서 평균하면, 에너지소비가 가장 많은 겨울에  $8.5 W/m^2$ , 봄과 가을에  $6.0 W/m^2$  그리고 여름철에  $4.2 W/m^2$ 으로 추정되었다. Fig. 6 (a), (b) 및 (c)에

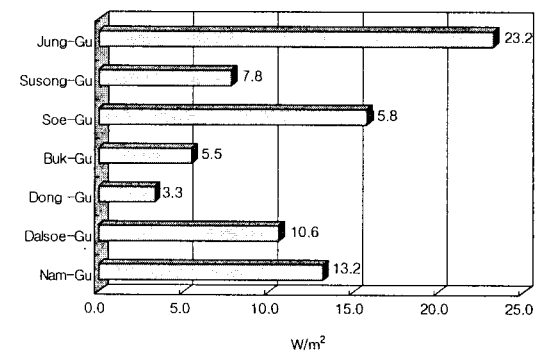


Fig. 3. Annual average anthropogenic heat flux for each area.

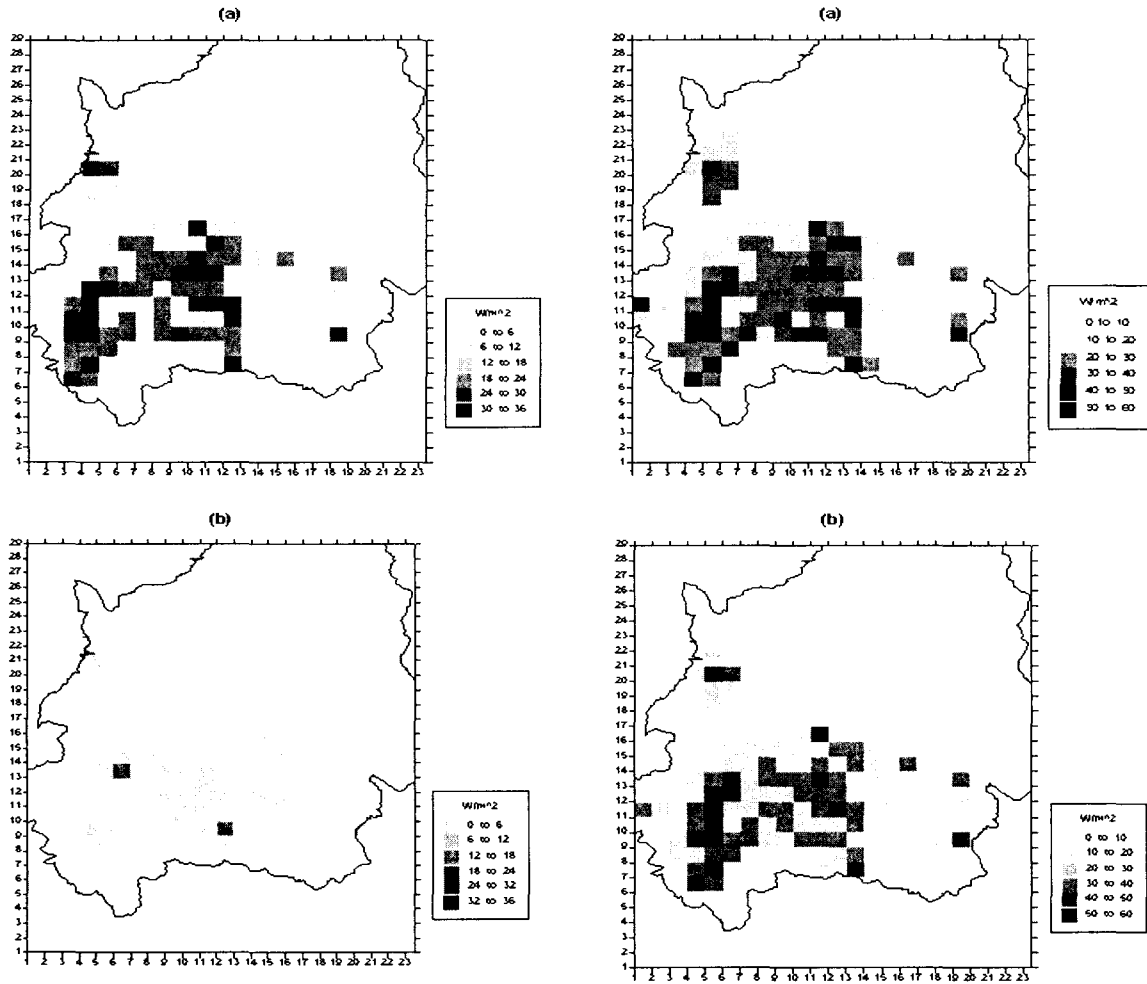


Fig. 4. Distribution of annual mean anthropogenic heat flux from (a) construction and vehicle in Daegu.

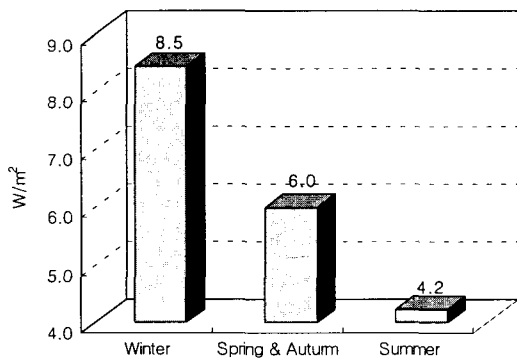


Fig. 5. Seasonal mean anthropogenic heat flux in Daegu.

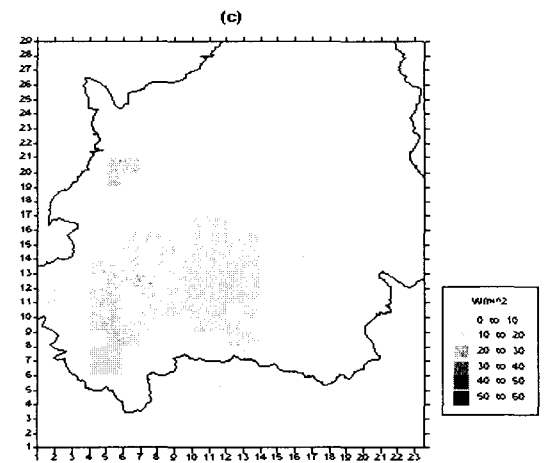


Fig. 6. Distribution of Seasonal anthropogenic heat flux in Daegu. (a) Winter, (b) Spring and Autumn, and (c) Summer

계절별 인공열 배출량을 격자별로 나타내었다. 이에 의하면, 도심지역인 중구에서 겨울철에  $31.9 \text{ W/m}^2$ , 봄과 가을에  $21.6 \text{ W/m}^2$  그리고 하계에  $16.5 \text{ W/m}^2$ 로 추정되었다. 이를 부산의 도심지역인 서면 주변의 계절별 인공열 배출량<sup>6)</sup>과 비교하여 보면, 배출량은 부산의 약 60%에 상당하고 계절별 발생 순위는 일치하였다.

Table. 5에 구별로 계절별 인공열 배출량을 제시하였다. 계절별 배출량은 겨울철, 봄과 가을 그리고 여름의 순서이고, 구역별로는 중구, 서구, 남구의 순서이었다. 겨울철에 중구( $31.9 \text{ W/m}^2$ ), 서구( $21.6 \text{ W/m}^2$ ), 남구( $18.6 \text{ W/m}^2$ )인 것에 대하여, 하계에 중구( $16.5 \text{ W/m}^2$ ), 서구( $10.7 \text{ W/m}^2$ ), 남구( $8.6 \text{ W/m}^2$ )의 값을 보여, 여름철의 인공열 배출량은 겨울철 값의 약 50%에 불과한 것으로 추정되었다.

3.3. 시간별 인공열 분포

Fig. 7에 대구 전지역에서 평균한 시간대별 인공열 배출량을 나타내었다. 계절별로 각 시간대에서 배출된 인공열을 살펴보면, 최대 방출량은 겨울철에 야간인 18~23시경에 약  $16 \text{ W/m}^2$ 에 이르렀다. 주간의 최대 배출량은 겨울철 13시경에  $9.5 \text{ W/m}^2$

으로 추정되었다. 다른 계절에는 인공열 배출량이 겨울철보다 적었지만, 시간대별 배출경향은 겨울철과 거의 같았다.

Fig. 8에 대구의 7개 구별로 계절별, 시간대별 인공열 배출량 추정치를 제시하였다. 대구의 중심지역인 중구에는 고층의 상가건물이 밀집되어 있어 다른 지역에 인공열의 배출이 월등히 많았다. 겨울철에 중구에서는 오후 1시경에 약  $40 \text{ W/m}^2$ , 오후 7시에 경에는 약  $50 \text{ W/m}^2$ 의 인공열을 배출하는 것으로 평가되었다. 이는 부산의 서면 일대를 대상으로 추정된 결과<sup>6)</sup>에 비하여 대체로 30%정도 작은 값이다. 인공열의 배출량이 가장 적은 것으로 평가되는 하계에도 인간활동 시간대에서는  $20 \text{ W/m}^2$ 이상의 인공열이 배출되는 것으로 평가된다. 아파트와 단독주택 및 공장의 밀집도가 큰 서구에서도 겨울철 오후 7시경에 최대  $35 \text{ W/m}^2$ , 오후 1시경에 약  $20 \text{ W/m}^2$ 의 인공열 배출이 추정되었다. 공장의 기여도는 작지만, 주택의 밀집도가 높은 남구에서도 겨울철 오후 7시경에 최대  $30 \text{ W/m}^2$ , 오후 1시경에  $20 \text{ W/m}^2$  정도의 인공열 배출이 추정되었다. 산지가 많아 인간활동도가 가장 낮은 동구에서는 연중  $10 \text{ W/m}^2$ 이하의 인공열 배출이 추정되어, 다른 지역보

Table. 5. Seasonal anthropogenic heat flux for each ward.(Unit:  $\text{W/m}^2$ )

Area	Winter	Spring & Autumn	Summer
Nam - Gu	18.3	12.7	8.56
Talseo - Gu	15.2	10.2	6.38
Tong - Gu	4.37	3.20	2.32
Puk - Gu	7.55	5.20	3.62
Seo - Gu	21.6	15.0	10.7
Susong - Gu	10.9	7.56	4.96
Chung - Gu	31.6	21.6	16.5

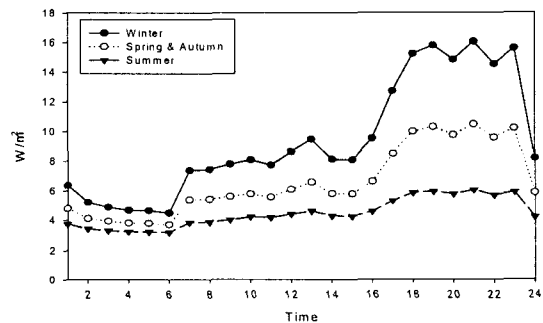
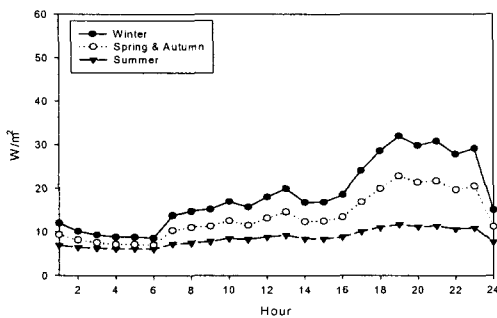
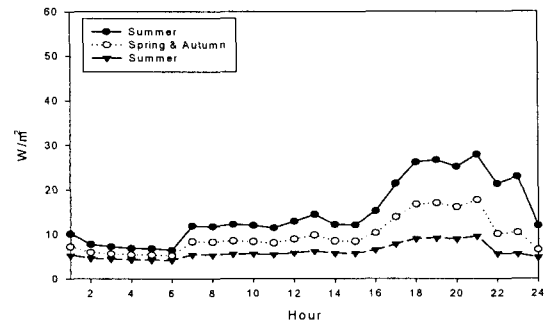


Fig. 7. Diurnal anthropogenic heat flux in Daegu.



(a)



(b)

Fig. 8. Diurnal anthropogenic heat flux in each area. (a) Nam-Gu, (b) Dalseo-Gu

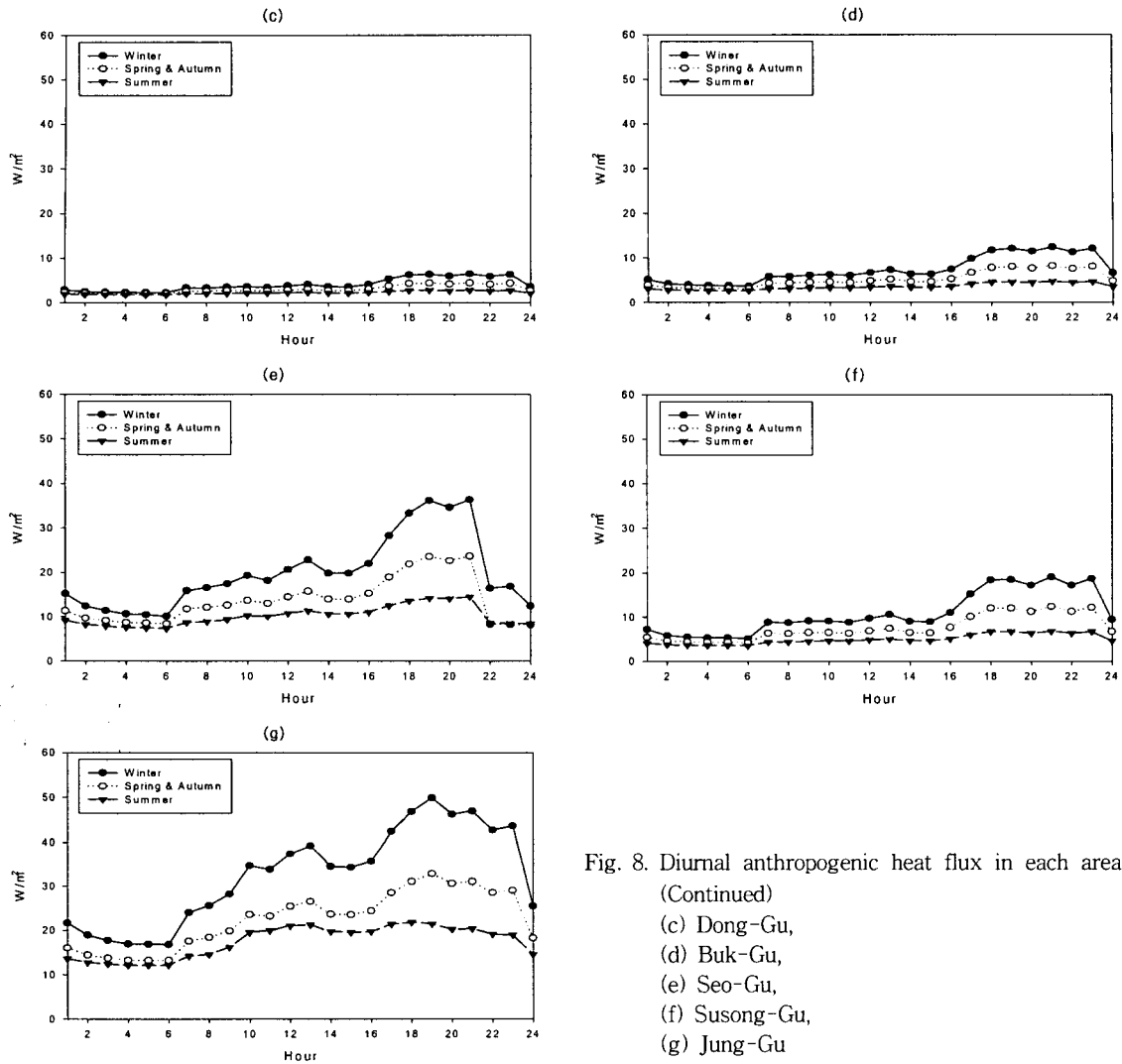


Fig. 8. Diurnal anthropogenic heat flux in each area.  
(Continued)  
(c) Dong-Gu,  
(d) Buk-Gu,  
(e) Seo-Gu,  
(f) Susong-Gu,  
(g) Jung-Gu

다 인공열 배출이 월등히 낮았다.

#### 4. 요약 및 결론

도시고온화에 관한 연구는 영국의 Howard 이래 많은 연구가 이루어졌는데, 도시에서 배출되는 인공열이 도시열섬을 유발하는 주요인으로 지적되고 있다. 최근에는 도시열섬을 유발하는 요인으로 에너지 소비에 의한 인공열 배출뿐만 아니라, 도시화에 따른 지표면 피복상태의 변화에 따른 증발잠열의 감소, 열저장효과가 큰 건축자재의 사용 등이 주목받고 있기도 하다<sup>18,19</sup>. 우리나라에서도 도시열섬화와 함께 도시의 열대야현상의 심화가 사회적 문제로 부상하고 있어, 이에 대한 원인조사와 대책 마련이 시급하다. 그렇지만, 우리나라의 경우, 도

시에서의 기상관측망의 미비, 토지이용도(Land-use)에 대한 자료부족 그리고 인공열 배출량에 대한 추정연구 등의 기초자료가 거의 얻어지지 못하고 있는 실정이다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 대구 지역의 도시열섬화 현상에 대한 이론적 연구를 하기 위한 기초자료 수집을 위하여, 에너지 소비구조에 따른 인공열 배출량에 대한 시·공간적 자료를 구하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 대구 전지역에서 평균적으로 방출되는 인공열은 건축물에서 기원하는 것이 약  $4.2 \text{ W/m}^2$ , 차량에 의한 것이  $3.0 \text{ W/m}^2$ 으로 평가되어, 전체 인공열에서 건축물이 차지하는 양이 차량의 약 160%로 평가되었다. 이는 부산의 서면 일대를 대상으로 한



연구에서 평가된 약 300%보다 작았다. 그 주된 이유는, 부산의 중심지역인 서면에 상가와 사무실 등이 많이 존재하기 때문으로 평가된다. 이는 대구에서도 인간활동이 적어 건물이 차지하는 비중이 낮은 동구에서는 건물과 차량의 인공열 배출 기여도가 거의 1 : 1( $1.73 W/m^2$ :  $1.57 W/m^2$ )임에 대하여, 상가와 사무실 및 주택의 비중이 큰 중구와 남구 등에서는 약 2 : 1의 비중을 보였다는 점에서도 확인할 수 있다.

둘째, 인공열의 계절별 배출경향은 부산과 다른 외국의 예<sup>13)</sup>와 마찬가지로, 겨울철에 가장 많고( $8.5 W/m^2$ ), 이어서 봄·가을( $6.0 W/m^2$ )과 여름철( $4.2 W/m^2$ )의 순이었다. 겨울철에 인공열이 많이 배출되는 것도, 도시열섬 강도가 하계보다 동계에 크고, 도시승온화가 겨울철에 월등한 현상을 유발하는 하나의 원인이 된다<sup>20)</sup>.

셋째, 인공열 배출에 대한 시간분포를 살펴보면 대구의 전지역에서 모든 계절에 걸쳐 낮시간 대에는 오후 1시경에, 그리고 야간에는 21시경에 최고치가 추정되었다. 이는 일본 동경의 경우에, 사무실과 상가가 밀집한 Shinjuku 지역에서 오전 9시에 최대치(동계에, 최대  $1,590 W/m^2$ ; 하계에 최대  $908 W/m^2$ )를 보이고, 21시경에 주택가에서 약  $30 W/m^2$ , 상가 밀집지역에서 약  $100 W/m^2$ 가 추정되었다는 결과<sup>13)</sup>와는 다른 경향을 보였다. 그러나 부산의 서면 일대에서 추정된 결과와는 유사한 경향을 보였다.

이번 연구에서, 대구지역에 격자별( $1km \times 1km$ ), 시간대별로 인공열 배출에 대한 자료를 추정하였는데, 이 결과는 향후 국지순환장모델을 이용한 수치시뮬레이션 기법을 이용한 대구의 도시열섬 및 하계 열대야현상 원인 규명에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 이번에 추정된 인공열 배출량 자료를, 도심인 중구의 연평균 값( $23.2 W/m^2$ )과 겨울철 평균값( $50 W/m^2$ )을 외국의 여러 도시와 비교하여 보면, 영국 런던의 도심( $>100 W/m^2$ ) 및 부도심( $>50 W/m^2$ ) 보다 작게 평가되었다. 중구의 겨울철 평균값이 영국 런던의 부도심과 비슷하였다. 일본 동경<sup>21)</sup>과 비교하면, 일본의 도심( $\sim 120 W/m^2$ )보다는 훨씬 적고, 주택단지( $\sim 30 W/m^2$ )보다는 약간 작았다. 국내의 경우에는, 도시 전체에 대한 인공열 배출량 추정연구가 이루어진 경우가 거의 없어 자세한 비교가 불가능하였다. 다만, 부산의 도심지인 서면 일대에 대해서 추정된 인공열 배출량에 비하여 대구의 도심지인 중구의 값이 약 70%정도로 추정되었는데, 이는 두 도시간의 도시화 정도를 고려할 때

타당한 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 학국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00020-0)의 지원금으로 수행되었습니다. 재정지원을 해 주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

### 참고 문헌

- 1) Howard, L., 1833, Climate of London deduced from meteorological observation, 3rd ed., in 3 vols, Harvey & Darton, London.
- 2) 이현영, 1989, 도시기후학, 대광출판사, 301pp.
- 3) Ichinose, T. and K. Shimodozono, 1997, Upgrade of surface boundary condition for numerical simulation of urban climate based on very precise geographic information, J. of Meteor. Soc. Japan, 75(1), 25-35.
- 4) Kawamura, T., 1986, Urban atmospheric environment, Atmospheric environment series 3, Tokyo University Press, 185pp.(in Japanese)
- 5) 김상진, 1999, 數值氣候モデルによる都市氣候の解析と改善の開發, 博士學位論文, 東京大學, 東京.
- 6) 홍정혜, 2000, 도시의 열적 특성과 인공구조물에 의한 바람장 수치모의, 박사학위논문, 부산대학, 부산.
- 7) Ichinose, T., K. Shimodozono, and K. Hanaki, 1999, Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, Atmos. Environ., 33, 3897-3909.
- 8) Hiramatsu, N., K. Hanaki, and T. Matsuo, 1992, Comparison of energy consumption among seven major cities in Japan, Environmental Systems Research, 20, 252-261.
- 9) Yamashita, S., 1995, ヒートアイランドとアメニチイ - 展望と問題点 -, Study group for climate impact and application newsletter, 11, 66-73.
- 10) Oke, T. R., 1978, Boundary Layer Climates, Methun & Co. Ltd., 372pp.
- 11) McGoldrick, B., 1980, Artificial heat release from Greater London, 1971, Physics Division Energy Workshop Rept., 20, 32pp.
- 12) Klysik, K., 1996, Spatial and seasonal distribution of anthropogenic heat emissions in Lodz, Poland, Atmos. Environ., 30, 3397-

- 3404.
- 13) Ichinose, T., 1997, エネルギー消費と都市氣候の關わり, 日本エネルギー學會誌, 76, 767-774.
  - 14) 통산부, 1996, 에너지 총 조사보고서, 1120pp.
  - 15) 산업자원부, 1998, 자동차의 에너지소비효율·등급표시에 관한 규정.
  - 16) 김종민, 松尾 陽, 坂本 雄二, 1996, 동경도구부의 인공열 MAP 작성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 16(2), 351-354.
  - 17) 대구광역시, 1999, 1998년 대구광역시 통계연보.
  - 18) Kimura, F. and S. Takahashi, 1991, The effects of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo metropolitan area : A numerical experiment, Atmos. Environ., 25B, 155-164.
  - 19) 増原孝明, 1990, 東京都における自動車排ガス大氣汚染に影響を及ぼす都市效果, 天氣, 37, 119-127.
  - 20) Harada, A., 1985, 大氣の汚染と氣候の變化 - 人間社會と氣候の關係, 東京堂出版, 223pp.
  - 21) Saito, T., 1996, Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island, Atmos. Environ., 30, 3431-3442.