

## 도시의 인공열 산정에 관한 연구

### Study on Estimation of Urban Anthropogenic Heat Generation

손 은 하 · 김 유 근 · 홍 정 혜

부산대학교 대기과학과

(1999년 7월 5일 접수, 1999년 11월 22일 채택)

Eun-Ha Son, Yoo-Keun Kim and Jung-Hye Hong

Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Pusan, Korea

(Received 5 July 1999; accepted 22 November 1999)

#### Abstract

The Urban thermal environment is influenced and modified in many ways. One modification is brought by the anthropogenic heat generation emitted from the combustion processes and the use of energy such as industrial, domestic and traffic procedure. The anthropogenic heat generation affect an the increase of urban temperature, the well-known urban heat islands.

The study on the urban thermal environment needs a great deal of the statistic data about the inner-structure of urban, the contribution of different constructions and the traffic amount on urban thermal environment in finite region.

In order to overtake a quantitative analysis of effect of the anthropogenic heat, a distribution map of the urban anthropogenic heat was made using the data of the energy consumption used at the several constructions and traffic amount of vehicles in Pusan Metropolitan.

Annual mean heat flux over the 4 km<sup>2</sup> urbanized area in Pusan is 41.5 W/m<sup>2</sup>, ranging from 31.4 W/m<sup>2</sup> in summertime to 59.5 W/m<sup>2</sup> in wintertime and maximum diurnal anthropogenic heat generation is corresponding to 10% of irradiance during summertime

**Key words** : anthropogenic heat generation, heat island

#### 1. 서 론

도시 열섬의 원인으로 에너지소비에 의한 인공열 발생이 주목된 것은 Eaton (1919)이 런던의 인공열을 연료소비량에 따라 산정하여 지표면 열수지에 적용한 후 연평균기온에 있어 1.4°C의 상승을 가져왔다고 보고한 이후 부터이다. 이후 도시의 인공열

에 대한 연구는 태양열과의 양적인 비교 (Kalma *et al.*, 1973)와 비도시 지역과의 비교 등으로 이루어져 왔다. 인공열 플럭스는 냉·난방, 제조, 운송, 조명 등의 목적으로 도시 내에서 사용되는 연료에 의한 배출과 인간과 동물의 신진대사에 의한 배출을 포함한다. 인간활동에 의한 인공열 플럭스는 개인에 의한 평균에너지의 사용과 도시의 인구밀도에 의존한다. 1인당 에너지의 사용은 경제의 풍요성과 겨울

철의 난방과 그 외의 여러 가지 요소에 의존한다 (Oke, 1978). 따라서 적당한 공간과 시간규모에 대한 연료사용 조사가 있다면 쉽게 조사될 수 있지만, 주어진 시간과 공간에 대해 직접적으로 연료사용을 측정할 수가 없다 (Oke, 1982). 따라서 도시지역에서 사용된 에너지와 그로 인해 대기로 방출된 열의 크기에 대한 정확한 정보는 없는 상황이고, 단지 몇몇 도시에서만 추정이 이루어지고 있다. McGoldrick (1980)은 영국, 런던에서 1971년의 에너지 이용에 대해 상세한 지도를 작성하였는데 외곽 지역에서 평균 인공열 배출은  $5 \text{ W/m}^2$  이하이며, 도시중심부에는 평균이  $100 \text{ W/m}^2$ 를 초과하는 수  $\text{km}^2$ 의 면적이 존재함을 발견하였다. 그리고 상업, 산업, 교통 등에 이용되는 에너지가 연평균  $17.4 \text{ GW/day}$ 이며, 12월에 연중 최대값인  $21.8 \text{ GW/day}$ 에 이르게 됨을 밝혔다. Klysiak (1996)은 폴란드 Lodz지역을 공업지역, 대단위 주거지역, 주거공업혼합지역, 근교주거지역의 4개 지역으로 구분하여 연료사용량에 따른 인공열을 산정하였다. 그 결과 중심지역에서 연평균  $40 \text{ W/m}^2$  (1월에  $71 \text{ W/m}^2$ , 8월에  $18 \text{ W/m}^2$ )의 값을 보여주었다.

한편, Kimura *et al.* (1991)은 동경만의 개간사업으로 인한 기후 영향을 연구하는데 있어서 일일 에너지 소비량을 산정 적용하여 대기유동장 수치실험을 수행한 결과 동경중심에서 기온이  $1.5\text{K}$  상승하였다.

본 연구에서는 건물과 도로 등 외관상으로 그 면적과 밀도가 확대되어 내부적으로 복잡해진 대도시에서 에너지소비와 열섬 (heat island) 등 도시 열적 환경에 미치는 기여도를 정량화하여 이전에 생략되거나 상수의 형태로 이용되어졌던 국지기상모델의 지표면 경계조건으로써 인공열 플럭스를 제공한다.

이를 위해 부산지역을 대상으로한 1:7,500 축척도를 이용하여 건물과 교통량의 공간적 분포를 파악하였고 건물용도별 바닥 면적당 에너지소비 원단위와 차종별 연료 소비율을 활용하여 부산 지역 인공열의 시·공간적 분포도를 작성하였다 이러한 연구는 미래 도시행정계획에 따른 개발과 재개발, 그리고 메립 등에 의한 새로운 도시 지역의 창출, 그에 따른 에너지소비량의 임의 산정과 지표면 피복 상태 변화로 인한 미래 도시의 대기환경 예측의 기초자료를 제공할 수 있을 것이다

## 2. 연구대상 지역

인공열을 산정하는데 있어서 본 연구에서는 그림 1과 같이 한국의 제 2의 도시인 부산을 연구대상 지역으로 하였다 1996년 부산은 면적  $748.92 \text{ km}^2$ , 인구 약 400만을 갖는 대도시이며 도시내 단독주택, 아파트, 연립주택, 다세대주택, 비거주용 주택 모두를 합해 약 427,000가구로 그 주택용 바닥면적은 약  $87 \text{ km}^2$ 이고 신평 잠림 공업단지, 신호공업단지, 부산과학 산업연구단지, 녹산 공업단지의 4개의 큰 공업단지가 있으며 그 점유면적은 총  $19 \text{ km}^2$ . 그 밖의 기타 학교, 병원, 사무소, 백화점, 문화시설 등이 차지하고 있다 이러한 건물에 의한 냉·난방 그리고 공업용 연료소비 뿐만 아니라 도시내의 자동차 연료소비 또한 인공열의 주요인자로 불리어지며 부산의 자동차 등록대수는 승용차 417,700여대, 승합차 47,300여대, 대형차 135,000여대이다. 이는 도로 분포현황과 교통량에 따라 건물 밀집도와 함께 부산지역의 인공열 분포구조에 영향을 끼치는 에너지 소비원이다.

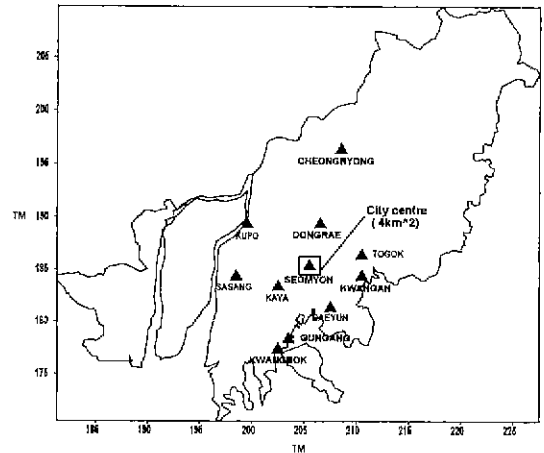


Fig. 1. Pusan area used in estimation of urban anthropogenic heat generation.

## 3. 인공열 산정이론

에너지 소비는 모두 열에너지의 단위로 환산되어

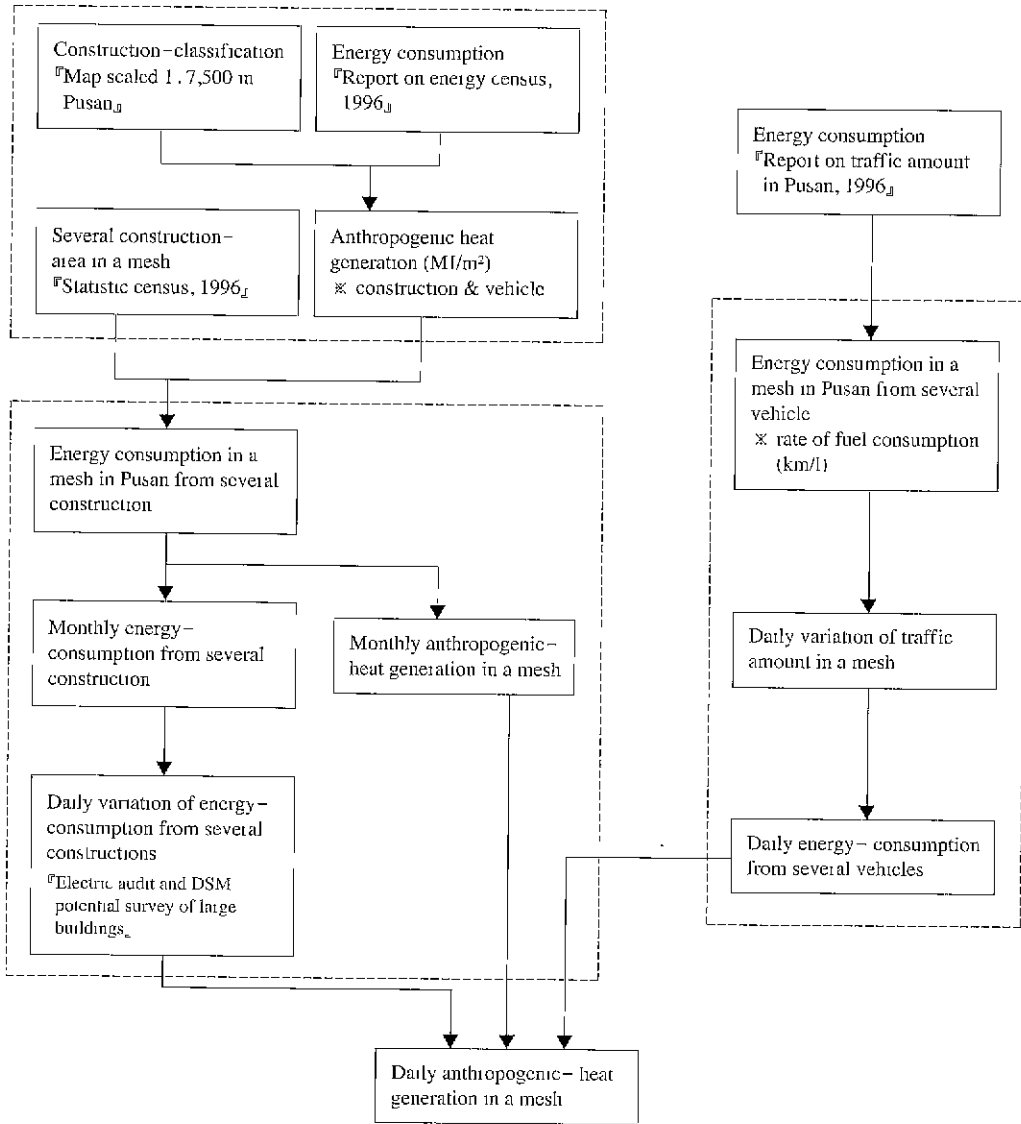


Fig. 2. Flow chart for distributional map of urban anthropogenic heat generation from constructions and vehicles in Pusan.

대기로 방출된다고 가정하여 본 연구에서는 그림 2의 흐름도와 같이 인공열 발생이 가장 크게 생각되어지는 건물과 차량으로부터의 인공열의 시·공간적 분포를 파악하였다. 행정구역을 기초로 한 가장군과 강서구를 모두 포함한 부산지역을 1km×1km의 격자로 분할한 후 격자내 점유되어진 건물과 통행하는 차량에 대한 각각의 인공열을 합하여 그 값

을 격자내 총 인공열로 하였다.

### 3.1 건물로부터의 인공열 산정

현대의 도시는 건물과 도로 등 외관상으로 그 면적과 밀도가 확대되어 내부적으로 복잡해지고 있다. 이러한 활발한 도시화의 과정은 에너지 소비를 가져오고 그 분포는 도시 내 건물 밀도에 따라 분

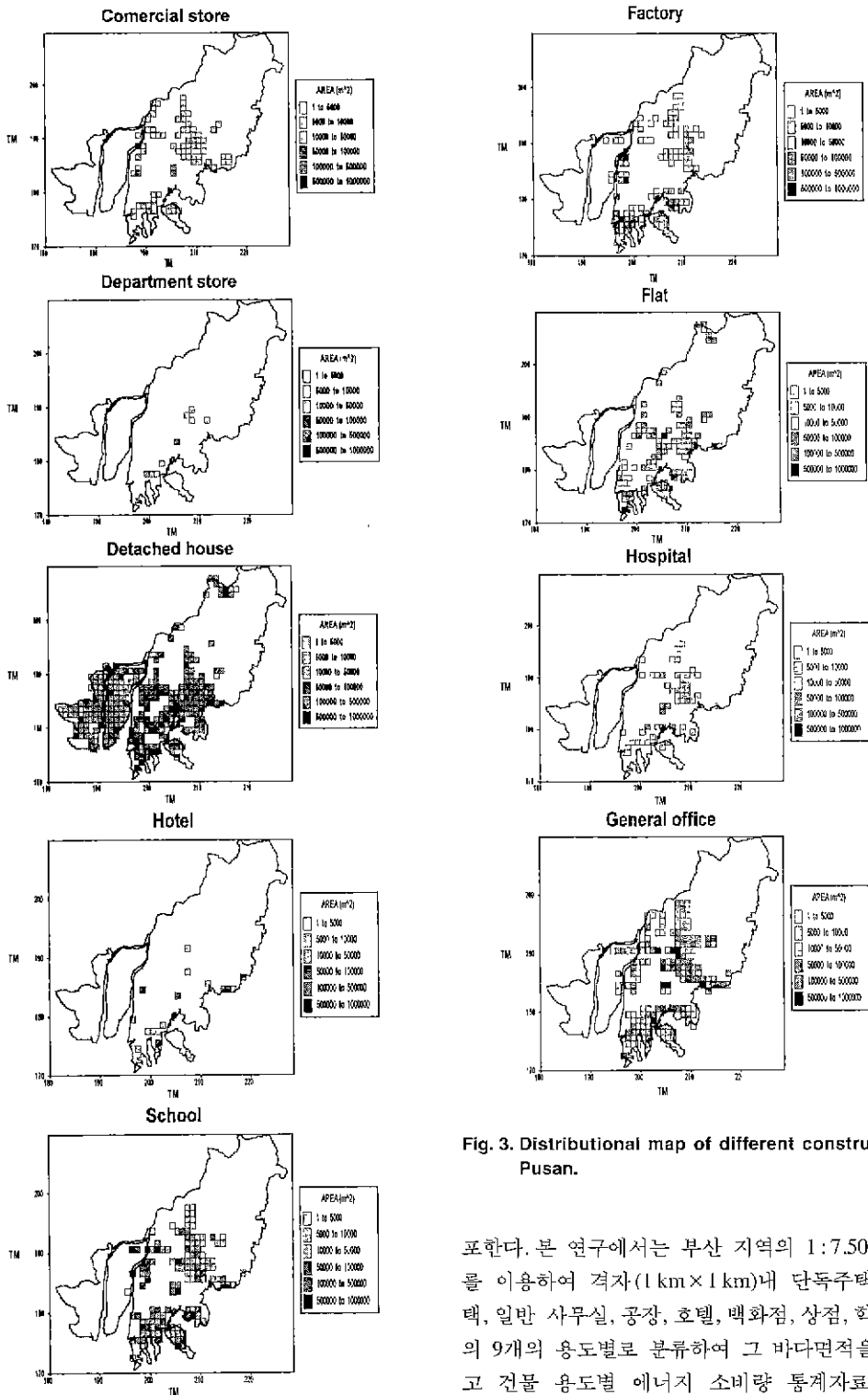


Fig. 3. Distributional map of different constructions in Pusan.

포한다. 본 연구에서는 부산 지역의 1:7,500 축척도를 이용하여 격자(1 km×1 km)내 단독주택, 연립주택, 일반 사무실, 공장, 호텔, 백화점, 상점, 학교, 병원의 9개의 용도별로 분류하여 그 바다면적을 산정하고 건물 용도별 에너지 소비량 통계자료(통신부,

Table 1. Monthly anthropogenic heat generation from different constructions (Report on energy census, 1996).

Month	Anthropogenic heat generation (MJ/m <sup>2</sup> )								
	Hospital	Hotel	Office	Department store	Commercial store	School	Factory <sup>†</sup>	Detached house <sup>*</sup>	Flat
1	187	239	97	122	111	54	49	69	122
2	168	207	90	109	93	44	45	59	105
3	140	178	74	99	77	36	38	53	95
4	107	148	53	89	51	21	27	41	73
5	78	138	43	95	53	14	22	26	47
6	70	139	46	106	63	13	24	16	28
7	89	164	59	127	76	12	30	12	21
8	105	175	67	131	82	12	34	10	18
9	80	136	50	101	64	12	25	18	33
10	73	134	43	94	53	15	22	30	53
11	120	164	63	90	86	35	32	48	84
12	169	228	92	114	104	55	47	66	116
Sum	1387	2051	777	1278	912	322	394	448	793

<sup>†</sup> 김중민 (1996)

1996)를 이용하여 에너지소비분포도의 기초자료를 그림 3과 같이 구축하였다.

건물 용도별 바닥면적당의 에너지 소비 원단위는 표 1과 같이 설정하여 격자내 건물 용도별 바닥면적과 곱해서 월별 인공열을 산정하였으며 같은 방법으로 연간, 계절별, 일별, 주·야간별 인공열을 추정하며 식은 아래와 같다(김중민, 1996).

3.1.1 연간 인공열

$$D = F/M, \quad HB_Y = D \times Z_Y \tag{1}$$

3.1.2 계절별 인공열

$$W_{12} = ((\sum_{m=1}^3 Z_m + Z_{12}) / \sum_{m=1}^{12} Z_m) \tag{2}$$

$$M_{11} = ((\sum_{m=4}^5 Z_m + \sum_{m=10}^{11} Z_m) / \sum_{m=1}^{12} Z_m) \tag{3}$$

$$S_{11} = ((\sum_{m=6}^9 Z_m) / \sum_{m=1}^{12} Z_m) \tag{4}$$

$$HB_{11} = W_{11} \times HB_Y \tag{5}$$

$$HB_m = M_{11} \times HB_Y \tag{6}$$

$$HB_s = S_{11} \times HB_Y \tag{7}$$

3.1.3 월별 인공열

$$Z_{mr} = (Z_m / \sum_{m=1}^{12} Z_m) \tag{8}$$

$$HB_{mr} = Z_{mr} \times HB_Y \tag{9}$$

3.1.4 시간별 인공열

$$Z_{dt} = (Z_t / \sum_{t=1}^{24} Z_t) \tag{10}$$

$$HB_d = Z_{dt} \times (HB_m / 30) \tag{11}$$

3.1.5 주·야간 인공열

$$D_j = (\sum_{j=7}^{19} HB_{dj} / \sum_{j=1}^{24} HB_{dj}) \tag{12}$$

$$N_j = ((\sum_{j=1}^8 HB_{dj} + \sum_{j=18}^{24} HB_{dj}) / \sum_{j=1}^{24} HB_{dj}) \tag{13}$$

$$HB_{night} = N_j \times (HB_m / 30) \tag{14}$$

$$HB_{day} = D_j \times (HB_m / 30) \tag{15}$$

여기서, D는 건물 용도별 바닥면적비, F는 전 건축물의 바닥면적의 용도별 합계, M은 1 격자의 면적, HB<sub>Y</sub>는 연간 건물의 용도별 인공열 (MJ/m<sup>2</sup>/year), Z<sub>Y</sub>는 연간 건물의 용도별 에너지소비 원단위 (MJ/m<sup>2</sup>/year), W<sub>11</sub>는 동기 변동계수, Z<sub>m</sub>는 월 에너지소비 원단위 (MJ/m<sup>2</sup>/month), M<sub>11</sub>는 중간기 변동계수, S<sub>11</sub>는 하기 변동계수, HB<sub>11</sub>는 동기 인공열, HB<sub>m</sub>는 하기 인공열, 그리고 Z<sub>mr</sub>는 월별 변동계수, Z<sub>dt</sub>는 시간별 변동계수, D<sub>j</sub>는 주간률, W<sub>j</sub>는 야간률, HB<sub>night</sub>는 야간 인공열, HB<sub>day</sub>는 주간 인공열 그리고 j는 용도별 분류번호

호이다.

### 3.2 차량으로부터의 인공열 산정

차량 통행의 증대로 건물에서 사용되어지는 에너지 소비 못지 않게 차량에너지 소비량이 크며 인공열원으로써 비중이 크다. 건축물로부터의 인공열 추정 기본단위와 마찬가지로 자동차로부터의 인공열 추정의 기본단위를 1km×1km의 격자로 두었으며 격자내 차종별 교통량을 산정 하였다. 표 2는 부산지역을 대상으로 차종별 차량교통량 분포를 보여준다. 그러나 부산지역에 대한 차량별 교통량 조사는 84개소의 차량교통량 조사지점에 의해 13시간의 차량 통행량 자료로 구성되어 있기 때문에 부산 시내 전체의 교통량분포와 그에 따른 차량으로

부터의 인공열을 파악하기엔 부족하므로, 격자내 차량 통행량의 결측시 1차 도시권과 2차 도시권의 교통량 감지기 자료를 이용하여 도로 길이에 따른 교통량비를 이용하여 결측되어진 격자에 대한 교통량을 간접 산정하였다. 또한 도로 길이는 1:25,000 축척도를 바탕으로 2차선 이상의 도로에 대하여 그림 4와 같이 조사되어졌다.

본 연구에서는 격자내 버스, 승용차, 승합차, 대형차로 구분되어진 교통량과 도로길이를 조사하였고 표 3(김종민 1996)과 같이 차량별 주행거리 당 연료소비량을 이용하여 아래의 추정식과 같이 각 차량의 격자별 에너지소비량을 산정하여 차량별 교통량에 곱한 값을 차량으로부터의 인공열로 정의하였다.

$$HC_y = \sum_k (T_{y,k} \times (R_i / N_k) G) / M \quad (16)$$

여기서,  $HC_y$ 는 연간 차량으로 부터의 인공열,  $T_{y,k}$ 는 연간 교통량(대수/년),  $R_i$ 는 도로총연장거리(km),  $N_k$ 는 차종별 연료사용비(km/l),  $G$ 는 가솔린 1l 발열량(8400 Kcal/l) 그리고  $M$ 은 격자의 면적( $m^2$ )이다.

### 4. 부산 지역 인공열 발생의 시·공간적 분포 특성

#### 4.1 연평균 인공열의 공간적 분포

부산 지역의 연평균 인공열 발생량은 그림 5와 같으며 도시화가 활발하게 이루어진 도시 중심 지역에 대한 인공열 값은 높은 값으로 산정되었는데 부산 진구 일부 지역인 서면을 중심으로 하여 4km<sup>2</sup>의 면적에 대해 연평균 41.5 W/m<sup>2</sup>로 매우 큰 값을 보였다.

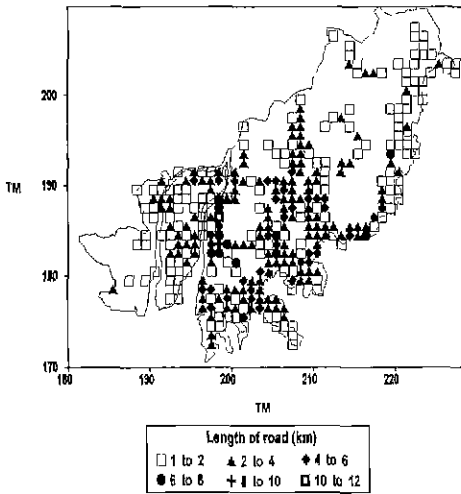


Fig. 4. Length of road in Pusan.

Table 2. Daily traffic amount from several vehicles in Pusan (부산광역시, 1996).

(unit. 대)

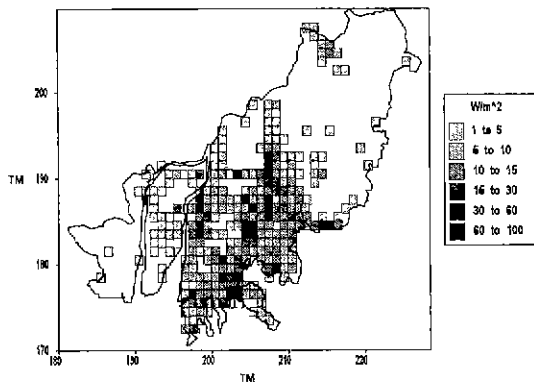
Classification	Total		1st Centre		2nd Centre		Stagnant point		
	Number	Ratio	Number	Ratio	Number	Ratio	Number	Ratio	
Total	4,629,449	100.0	468,659	100.0	736,264	100.0	3,452,904	100.0	
Bus	249,217	5.38	25,481	5.44	38,912	5.29	196,889	5.70	
Small-sized car	Concept car	2,296,460	49.60	236,466	50.46	372,281	50.56	1,681,628	48.70
	Business car	762,107	16.46	86,935	18.55	129,394	17.54	615,225	17.82
Passenger car	417,206	9.01	38,886	8.30	62,597	8.50	316,220	9.16	
Truck	652,993	14.11	54,632	11.66	101,584	13.80	486,664	14.09	
Dump truck	198,835	4.30	18,122	3.87	26,900	3.65	128,529	3.72	
Container	52,681	1.14	8,137	1.74	7,596	1.03	27,529	0.80	

**Table 3. The rate of fuel consumption from vehicles.**  
(km/l)

	Small-sized car	Middle-sized car	Large-sized car	Bus
Rate of fuel consumption (km/l)	9.0	12.0	3.0	6.0

**Table 4. Annual anthropogenic heat generation from vehicle and construction over whole area and urbanized area of Pusan.**

Estimated region	Anthropogenic heat generation (W/m <sup>2</sup> )	
	Vehicle	Construction
Whole area	1.17	3.59
Urbanized area	4.58	36.9

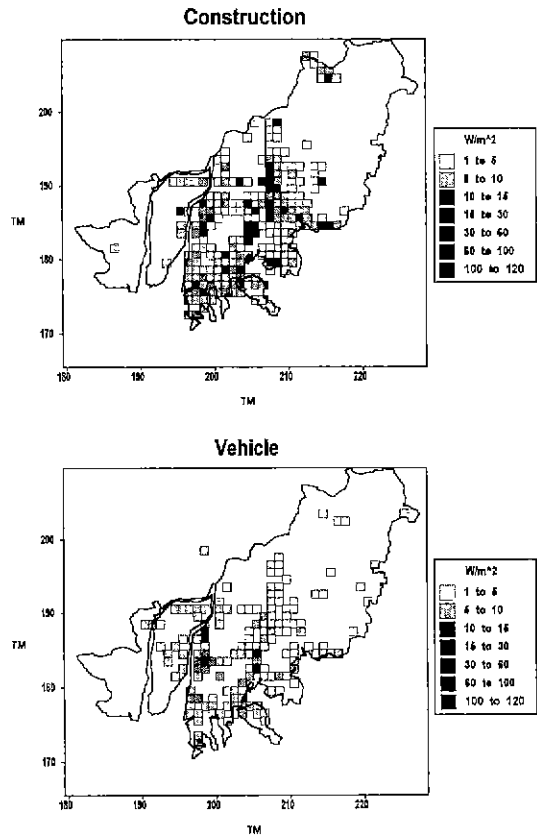


**Fig. 5. Distributional map of annual average anthropogenic heat generation in Pusan (1996).**

부산 지역의 차량과 건물로부터의 연평균 인공열은 표 4와 같이 연평균 1.17 W/m<sup>2</sup>, 3.59 W/m<sup>2</sup>로써 차량과 건물의 총 인공열 발생에 대한 기여도는 약 1:3이다.

또한 도시 중심역에서의 차량과 건물에 의해 방출되는 인공열은 4.58 W/m<sup>2</sup>, 36.9 W/m<sup>2</sup>로 도시외곽 지역보다 높은 값이 산정되어졌다.

그림 6은 부산 지역의 건물과 차량으로부터의 연평균 인공열 분포도이다. 건물로부터의 연평균 인공열의 분포는 건물 밀집 밀도에 따라 서면, 사상, 광복동을 중심으로 많은 양이 배출되고 있으며 차량으로부터의 인공열 분포는 도로의 분포에 따라 큰 차이를 보이지 않으나 서면 지역을 중심으로 큰 값



**Fig. 6. Distributional map of annual average anthropogenic heat generation from construction and vehicle in Pusan.**

**Table 5. Anthropogenic heat generation over whole area and urbanized area of Pusan (1996).**

Estimated region		Whole area	Urbanized area
Anthropogenic heat generation (W/m <sup>2</sup> )	Spring & Autumn	3.91	33.6
	Summer	3.08	31.4
	Winter	7.43	59.5

을 보이며 교통량과 도로 길이에 비례하여 발생되고 있다.

**4.2 계절별 인공열의 공간적 분포**

계절별 인공열의 시간적 분포는 표 5와 같이 겨울에 7.43 W/m<sup>2</sup>, 봄과 가을에 3.91 W/m<sup>2</sup> 그리고 여

름에 3.08 W/m<sup>2</sup>으로 겨울에 가장 높은 값을 보였다. 이는 건물의 난방에 의한 에너지 소비가 다른 계절보다 겨울이 크기 때문이다. 도시 중심 지역인 서면을 중심으로 4 km<sup>2</sup>의 면적에 대해 계절별 인공열은 겨울에 가장 큰 59.5 W/m<sup>2</sup>, 봄과 가을에 33.6

W/m<sup>2</sup>, 그리고 여름에 가장 낮은 31.4 W/m<sup>2</sup>로 산정되었다.

그림 7은 계절별 평균 인공열 분포도이다. 부산 지역은 에너지소비가 가장 적은 여름에 가장 낮은 인공열 발생을 보이고 또한 그 분포 범위가 다른 계절에 비해 크지 않다.

봄과 가을에 여름보다 높은 인공열 발생량을 가지면서 점차 그 분포 범위가 확대 되어가고 건물과 다 밀집밀도에 비례하여 서면을 중심으로 30 W/m<sup>2</sup> 이상의 높은 값을 보이고 있다. 겨울에는 난방에 의한 에너지 소비의 증가로 인하여 다른 계절보다 더 넓은 범위에까지 인공열이 발생하고 있으며 서면 지역에서는 50 W/m<sup>2</sup> 이상의 인공열 방출이 이루어지고 있다. 현재 난방으로 인한 겨울의 인공열 발생이 크게 산정되어진 결과와 아울러 여름에 냉방으로 인한 에너지소비가 증대되고 있는 실정이다.

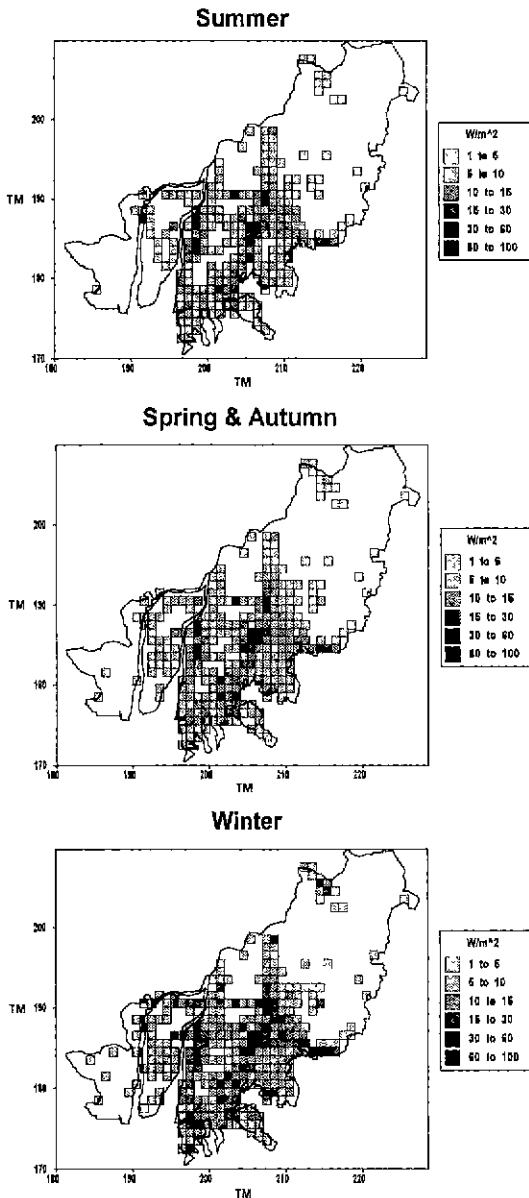


Fig. 7. Distributional map of seasonal anthropogenic heat generation in Pusan.

#### 4.3 시간별 인공열의 공간적 분포

부산 도심지역 서면에 대해 계절별 일일 인공열 발생량의 변화를 그림 8에 나타내었다.

계절별 일일 인공열의 발생량 변동은 지역의 특성에 따라 그 변동값의 변화 유형과 그 발생량이 다르다. 도시 중심 지역인 서면은 주로 사무실과 상가가 밀집되어있는 동시에 부산 지역 중 가장 높은 주택 밀집도를 보이므로 겨울동안 주간과 야간 모두 약 80 W/m<sup>2</sup>의 높은 값을 유지하고 있으며 다른 계절에서도 낮동안 30 W/m<sup>2</sup> 이상을 나타냈다. 한편, 여름과 겨울의 부산지역의 일최대일사량은 여름에 581 W/m<sup>2</sup>, 겨울에 383 W/m<sup>2</sup>의 관측값을 보이므로 서면지역의 인공열은 여름철에 일사량의 10% 이하의 양이지만 겨울철에는 20% 이상의 양이다.

겨울철에 인공열의 영향은 도시 열적 환경에 대

Table 6. Anthropogenic heat generation over whole area and urbanized area of Pusan during day and night (1996).

Estimated region		Anthropogenic heat generation (W/m <sup>2</sup> )	
		Day	Night
Whole area		4.93	4.28
Urbanized area	Spring & Autumn	39.12	26.98
	Summer	36.68	25.16
	Winter	68.58	48.77



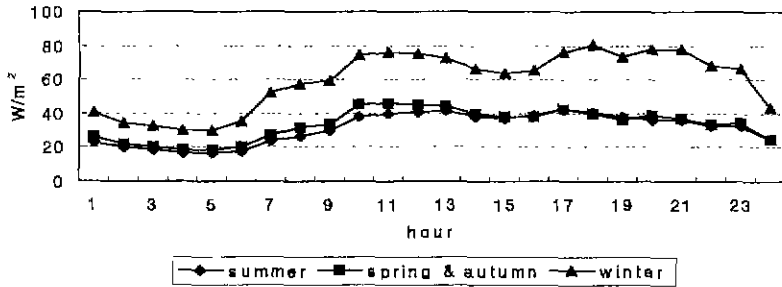


Fig. 8. Diurnal anthropogenic heat generation in Seomyun.

해 더 클 것으로 생각되며 비록 그 양은 적지만 여름철 인공열 발생은 도시 내부의 기온을 상승시키고 또한 이로 인한 2차 적인 에너지 소비의 증대를 가져오는 악순환을 반복한다.

주간과 야간으로 나누어 시간별 인공열 발생량을 살펴보면 표 6과 같이 부산 전체지역에 대한 주간과 야간의 인공열 발생량은 각각 연평균 4.93 W/m<sup>2</sup>, 4.28 W/m<sup>2</sup>로 나타났으며 도심 중심지역에서는 주간과 야간에 대해서 봄과 가을에 각각 39.12 W/m<sup>2</sup>, 26.98 W/m<sup>2</sup> 여름에 36.68 W/m<sup>2</sup>, 25.16 W/m<sup>2</sup> 겨울에 68.58 W/m<sup>2</sup>, 48.77 W/m<sup>2</sup>로 나타났다.

주간과 야간에 발생하는 인공열은 각각 59%와 41%를 차지하고 있으며 이는 특히 일사가 없는 야간에는 인위적인 도시 내부의 열원 역할을 하게 되므로 여름철 그 양이 클 경우 도시 내부에 열저장 효과를 가져와 열대야현상을 유발시키는 원인이 되기도 한다.

그림 9는 연평균 시간별 인공열 분포도이다. 부산 전체 지역에 걸쳐 1100LST와 1400LST에는 건물과 다 밀집 정도에 비례하여 인공열이 배출되고 있으며, 서면, 사상, 동래, 광복동을 중심으로 인공열이 높게 분포하고 기장군과 강서구 등의 건물 밀집 정도가 낮은 지역은 그 값이 매우 낮았다. 특히 부산의 중심지역인 서면은 24시간 40 W/m<sup>2</sup> 이상의 높은 값을 보였다

4. 4 세계 타도시와의 비교

표 7은 세계의 몇몇 도시에서의 인공열 플럭스(Klysiak, 1996)와 부산을 대상으로한 인공열 플럭스의 산정 결과들이다. 부산 서면 지역의 연평균 인공열 플럭스는 다른 중위도 도시에서 조사되어진 값

Table 7. Selected values of anthropogenic heat flux in some towns in the world.

City	Area (km <sup>2</sup> )	Heat flux (W/m <sup>2</sup> )		
		Summer	Winter	Annual
Montreal	78	57	153	100
Manhattan (New York)	59	40	198	125
Cincinnati	200	-	-	26
Average U.S. City	-	-	-	20~100
Heating	-	-	25.7	-
Transport	-	20.8	20.8	-
Industrial	-	29.1	29.1	-
Electricity	-	25.1	16.7	-
Total	-	75.0	92.3	-
Sheffield	-	-	-	19
London	-	-	-	-
Suburbs	-	-	-	5~20
City centre (7 km <sup>2</sup> )	-	-	-	>50
West Berlin 234	-	-	-	21
Budapest 113	32	52	43	-
Tokyo 1 582	-	-	43	-
Pusan	-	-	-	-
City centre	4	31.4	59.56	41.5

과 유사하다. 부산 지역 중 서면 지역 4km<sup>2</sup>의 좁은 면적에 대한 연평균 인공열 발생량이 41.5 W/m<sup>2</sup>의 값을 보이나 이는 세계 타도시와 비교할 때 그 면적이 매우 좁아 양적인 비교는 할 수 없으나 도시화에 비례하여 발생된다.

서면 부근의 4km<sup>2</sup>의 좁은 면적에 대해서만 비교한 것은 부산시 전체면적에 대해서 비교할 경우 인공열이 낮아 상대적 비교가 어렵기 때문이다

부산시 전체 평균이 낮은 이유는 산지가 많아서 부산전체 면적에 대한 인간 생활 유용 육지 면적이 30% 정도 밖에 되지 않아, 산지를 포함한 전체면적에 대한 건물의 밀도가 비교 도시보다 낮기 때문이다.

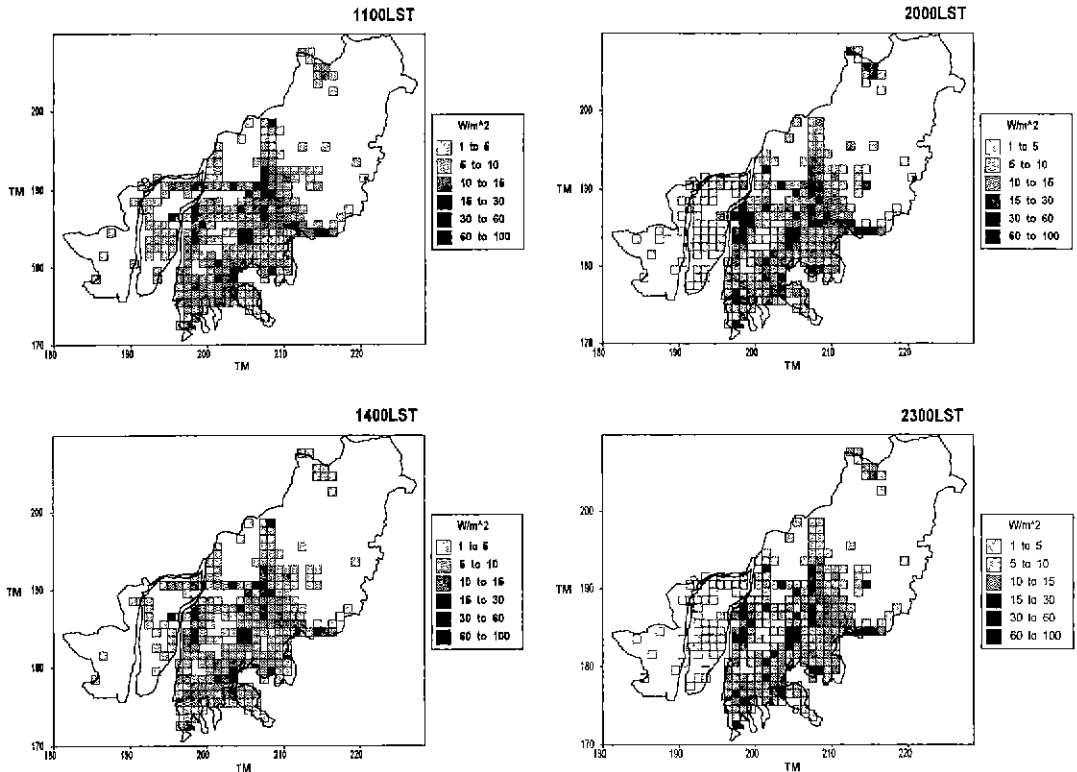


Fig. 9. Distributional map of total annual-average anthropogenic heat generation.

따라서 부산은 산과 산사이의 골에서 시가지나 주거지가 국소적으로 형성되어 있어 전체 면적에 대한 평균은 의미가 없고 지역적인 인공배열량의 분포를 고려하여 비교하는 것이 타당하다고 사료된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 부산지역의 에너지 소비구조에 따라 인공열의 시·공간적 분포에 미치는 영향이 클 것으로 생각되어지는 건물과 차량의 시·공간적 분포를 분석하여 부산지역의 인공열 분포도를 작성하였다. 그 결과

1) 계절별 평균 인공열은 겨울철에 가장 큰 값으로 7.43 W/m<sup>2</sup>로 나타났으며, 봄과 가을 그리고 여름철 순으로 각각 3.91 W/m<sup>2</sup>, 3.08 W/m<sup>2</sup>의 값을 가졌다. 특히 건물 과다밀집지역인 서면부근에서는 겨울에 59.5 W/m<sup>2</sup>, 봄과 가을에 33.6 W/m<sup>2</sup>, 여름에 31.4

W/m<sup>2</sup>의 값으로 연평균 41.5 W/m<sup>2</sup>였다. 겨울철 높은 인공열 발생은 겨울철 열섬과 밀접한 관계를 가지며 남포동, 사상, 동래를 중심으로 한 건물이 밀집한 큰 지역에서 높은 값을 보였으며 기장군과 강서구는 상대적으로 낮은 편이었다.

2) 인공열의 시간별 분포에 있어 부산 전 지역에서는 주택 밀집정도에 다소 차이를 보이나 인간의 활동이 빈번한 출·퇴근 시간에 가장 큰 인공열 방출량을 가졌다 그러나 도시 중심 지역인 서면지역과 중앙동 지역은 사무실과 상가가 밀집되어진 지역적 특성에 의해 낮 동안 높은 인공열을 나타냈다.

3) 부산의 변화가인 서면 지역에서는 야간에 연평균 48.77 W/m<sup>2</sup>의 인공열이 발생 되는데 그 양은 부산 지역 일사량의 10% 이상에 해당할 때도 있다.

이는 도시화에 따른 인위적인 열원인 인공열의 역할이 도시가 광역화되면서 도시 열적 환경에 중요한 인자인 것을 보여준다. 본 연구가 도시 열적환

경에 대한 이해와 쾌적한 도시 대기환경 조성의 기초자료로 중요하게 활용되었으면 한다.

그리고 보다 정확한 인공열산정을 위해서는 최근 도시 지표면 피복 정보를 세밀하게 제공하는 GIS (Geographic Information Systems) 자료의 이용이 필요하겠다.

## 사 사

이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었습니다(과제번호 1998-015-D00292). 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

통산부 (1996) 에너지 총조사보고서  
 부산광역시 (1996) 차량교통량조사결과보고서  
 김종민 (1996) 동경도구부의 인공열 MAP 작성에 관한 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 16, 2, 351-

354.  
 Eaton, G.S. (1919) *Monthly Weather Review*, 47, 801.  
 Kalma, J.D., A.R. Aston, and R.J. Millington (1973) Energy Use of the Sydney area, In the city as a life system (H.A. Mix, ed), *Proc. Ecol. Soc. Australia*, 7, 125-142.  
 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. *Atmospheric Environment*, 25B, 155-164.  
 Klyzik, K. (1996) Spatial and seasonal distribution of anthropogenic heat emissions in Lodz, Poland, *Atmospheric Environment*, 30, 3397-3404.  
 McGoldrick, B. (1980) Artificial heat release from Greater London, *Geophysics Division Energy Workshop Rept. No. 20*, Dept.  
 Oke, T.R. (1978) *Boundary Layer Climates*, Methuen, London, 241-251  
 Oke, T.R. (1982) The energetic basis of the urban heat island, *Quart. J. R. Met. Society*, 108, 1-24.