

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 22, No. 4, 2002

도시의 방사전열에 관한 기초 연구

A Basic Study on Urban Radiation Heat Transfer

김종민*

C.M. Kim*

Key words : 방사전열특성(Radiation Heat Transfer Property), 방사흡수(emission Absorption),
천공일사흡수(Sky Radiation Absorption), 직달일사흡수(Solar Radiation Absorption)

Abstract

This research makes that quantitative radiation property of an actual town ward is obtained in quest of the parameter with regard to a radiation heat transfer property and set up several town ward models that reproduced a solid form of a city along the attribute of the city. A regular trend possibility that is able to evaluate a radiation characteristics of a town ward quantitatively from a town ward guideline and confirmation that is produced about each parameter as a result of a numerical value simulation it obtained. This research shot a coefficient of Gebhart's emission absorption · sky radiation absorption rate direct solar radiation absorption rate the parameter with regard to a radiation heat transfer characteristics of a town ward in each town ward model and a volume rate of a town ward advances case study under regular such condition and shot the absorption rate, direct and others days and calculated an absorption rate and checked about the relation between a town ward and each radiation heat transfer property of a city.

* 동명정보대학교 건축학부 교수

* School of Architecture , Professor, Tongmyoung
University of Information Technology

1. 서론

도시특유의 기후(Heat Island 등, 이하 도시기후로 칭함)는 여름철 도시 열환경을 악화시킬 뿐만 아니라 냉방에너지 소비를 증가시켜서 국가 전체적으로 매우 심각한 문제이며 지구 전체적으로도 온난화 및 각종 환경문제를 유발하는 중요한 원인으로 지적되고 있다. 그러나 Heat Island의 주요 생성 원인으로 여겨지는 인과관계가 최근 들어서 각종 연구결과로 정량적으로 해명되기 시작 하였으나 신뢰성과 정확성을 가진 공인된 예측 모델이 확립 된 것은 아니다. 도시기후 형성 원인 규명에 관한 연구에서는 건축물에서 방산되는 열 등이 도시의 기후에 미치는 영향에 관한 1차원 열수지 모델이 개발된 사례도 있으나 그 내용을 고찰하여 보면 도시Canion의 방사전열모델 연구, 건축물 표면 및 지표면에서 방산되는 열류에 관한 연구, 인간 활동에 의해서 대기로 방출되는 인공 배열에 관한 연구 등을 단순히 시간적으로 해석한 사례가 대부분이다. 이는 복잡한 도시의 지표면 형상을 단순화 하여 대표적인 건물이 일정 간격으로 정렬되어 있는 가상의 도시공간을 창출하여 계산한 이상적인 모델에 불과하기 때문에 현실적이고 실용적인 계산모델이라고 할 수는 없다. 또한 실제의 도시는 그 구성자체가 워낙 복잡하고 다양하기 때문에 도시를 구성하고 있는 건물군을 실제의 형상과 외표면 재질 및 구성요소 등의 구체적인 데이터를 도입하여 수치시뮬레이션을 한다는 것은 방대한 계산량과 시간 및 현존하는 어떠한 컴퓨터로도 수치계산이 불가능한 일이다. 이러한 배경 때문에 어떠한 형태로든지 파라미터를 단순화 할 필요가 있으나 기상학 분야에서 관측·연구되어진 파라미터리제이션(Parameterization)에서는 건축물이 도시기후에 미치는 다양한 영향을 무시한 극단적으로 단순한 모델이다. 이렇게 때문에 건축물에 관한 어떠한 요소가 어느 정도의 영향을 미치고 어떠한 식으로 제어를 해야 하는지

등은 명확하게 분석되지 못하였다. 따라서 현재로서는 Heat Island현상을 완화시키는 방법으로 단순한 옥상녹화 및 녹지공간의 확대 등 미온적으로 대책 수립하는 단계이다.

본 연구에서는 도시 전열 중 기본적으로 태양에서 방출되어서 지표면에 도달하고 다시 반사되어 도시공간의 열환경에 가장 큰 영향을 미치는 방사전열에 비중을 두고 연구를 진행한다.

이상가구 모델을 설정하고 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 방사전열에 관한 Case Study를 진행하고 고찰한 후, 실제가구를 대상으로 방사전열에 관한 수치계산을 행한 후, 그 결과를 고찰하여 지표면 건축물의 속성변화에 따른 방사전열의 경향을 파악함을 목적으로 연구를 진행한다.

2. 계산방법

이상가구 모델지역의 방사환경을 시뮬레이션 하기 위해서 우선적으로 고려되어야 하는 것은 인접한 건물의 각 벽체에 대한 정확한 형태계수의 산출이다. 이를 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 형태계수를 구한다.

형태계수의 계산법에는 다음과 같은 2가지 방법이 대표적으로 사용되고 있다.

【이중선적분법】 형태계수를 이중선적분에 의하여 구하는 방법으로 신뢰성은 높지만 컴퓨터의 메모리를 대량으로 소모하기 때문에 분할 Patch수를 증가시켜 정밀하게 계산할 수 없다.

【Hemicube법】 Patch 중심에 1/2로 절단된 입방체(Hemicube)를 설치하여, Hemicube의 표면을 Patch로 분할하여 형태계수를 구하고 싶은 대상의 Patch를 Hemicube상에 투영시켜 형태계수를 구하는 방법이다. 이중선적분법과 비교하여 보면 Patch의 수를 증대시킬수 있고 Hemicube표면의 Patch분할수에 의한 정밀계산도 가능하지만 Patch간의 거리가 근접할수록 계

산오차가 생기는 단점이 있다.

본 연구에서는 상기와 같은 2가지 방법을 고려하여 Patch간의 거리가 근접한 경우에는 이중선적분법을 사용하고 Patch의 거리가 일정거리 이상으로 떨어진 경우에는 Hemicube법을 병행하는 방법으로 계산을 한다. 본 계산에서 Patch의 이격거리는 형태계수가 0.01을 기준으로 이중선적분법과 Hemicube법을 병행하는 것으로 계산한다. 그 이유는 이상가구 모델에서 계산의 정확성과 계산시간 단축을 위하여 1차적으로 Patch의 거리를 계산하고 형태계수의 수렴여부를 판정하여 각각의 계산방법을 선택하는 식으로 진행하기 때문이다.

본 연구에서 Patch는 완전 확산면으로 가정하여 계산을 한다. 이는 완전 확산면이 아닌 경우에는 각 Patch의 반사특성과 표면재질의 특성을 전부 고려하여 계산을 하여야 하고 또한 계산시간 및 실제적인 데이터가 존재하지 않기에 계산자체가 불가능하여 지기 때문이다.

Radiosity법은 완전확산면으로 둘러싸인 폐공간의 평위시 방사 밸런스식을 기초로 하고 있다. Patch N의 경우 Radiosity법에 의한 Radiosity Energy의 취득량을 구할 경우는 결국 N×N의 행렬이 되지만 이 경우의 해법은 Gauss해법과 Progressive Radiosity법이 존재한다.

【Gauss해법】 대각선상에 우위의 해를 구할 경우 이용되는 해법이다. N×N 행렬의 해를 구할 경우는 N×N 행렬을 메모리에 저장시켜야 하는 단점이 있고 계산속도가 느리다.

【Progressive Radiosity법】 주위에서 특정 Patch i의 영향을 고려하는 것이 아니라 Patch i에서 주위로의 영향을 고려하는 기존의 방법(주위의 Patch에 Radiosity Energy를 분배시켜서 진행한다)과는 다른 관점에서 개발된 방법이다. 이 방법에서는 메모리에 보존하는 것이 N개의 행렬이기 때문에 메모리를 대폭적으로 절약 할 수 있다. 또한 각 Patch가 가지고 있는 Radiosity

Energy를 크기 순으로 나열하여 분배시키면서 계산을 진행하기 때문에 계산의 수렴이 고속으로 진행되는 이점이 있다.

본 연구에서의 Patch수는 최대 5000 정도이기 때문에 Gauss해법으로는 계산이 불가능 하고 Progressive Radiosity법을 사용하여 계산을 한다.

【Gebhart's 방사흡수계수】

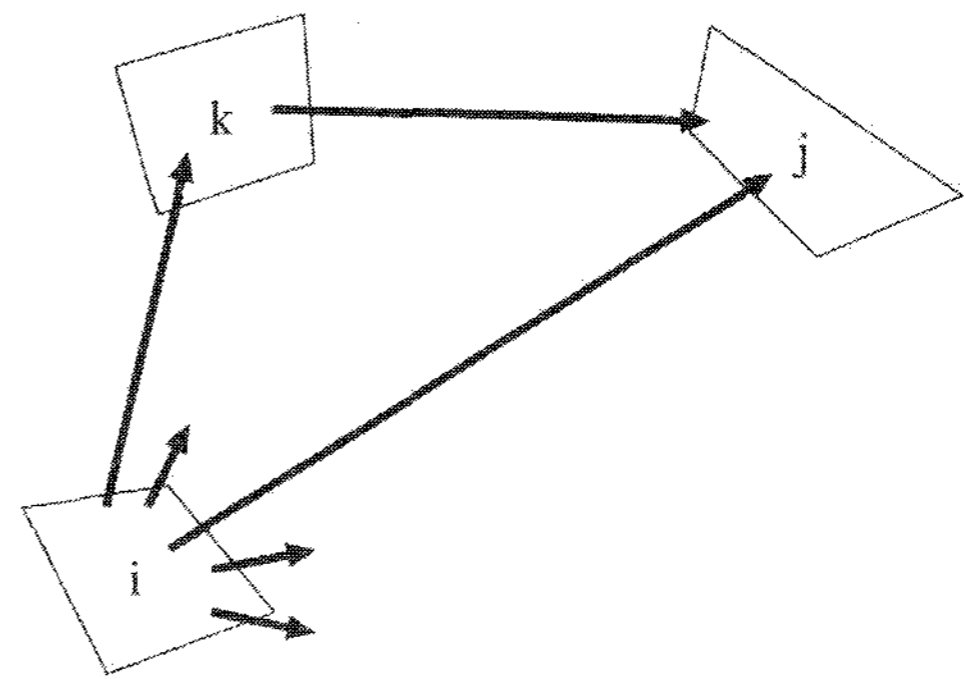


Fig. 1. patch에 의한 형태계수 계산

면i에서 j로의 Gebhart's 방사흡수계수(g_{ij})는 면i에서 방출되는 전체 방사량 중 면j로 흡수되는 방사량의 비율을 의미하고 다음의 식으로 정의된다.

$$g_{ij} = \epsilon_j F_{ij} + \sum_k (1 - \epsilon_k) F_{ik} g_{kj} \quad (1)$$

$(j=1, m, j=1, m)$

여기서,

F_{ij} : 면i에서 면j로의 형태계수

ϵ_i : 면i의 방사율

이다. 식 (1)은 m원 1차 연립방정식으로 되어 있다. 형태계수에서는 총합측과 상반측으로 나누어지는 다음의 식이 존재한다.

$$\text{총합} \sum_{j=1}^m F_{ij} = 1 \quad (2)$$

$$\text{상반 } A_i F_{ij} = A_j F_{ji} \quad (3)$$

여기서 A_i = 면 i 의 면적이다. 식(2)와 (3)에 의하여 방사흡수계수에서도 다음과 같은 총합칙과 상반칙이 성립한다.

$$\text{총합 } \sum_{j=1}^m g_{ij} = 1 \quad (4)$$

$$\text{상반 } A_i \epsilon_i g_{ij} = A_j \epsilon_j g_{ji} \quad (5)$$

본 연구에서는 가구의 지표면·건물표면을 10m×10m정도의 Patch로 분할하여 각 Patch간의 방사흡수계수를 구하고, Patch속성간의 특성을 합산하여 방사흡수계수의 총합을 산출하였다. 총합의 예를 밑에 표시한다(식6 참조). 간단히 설명하자면 Patch의 수가 5개인 patch의 속성을 I, II의 2종류로 가정하면 계산의 결과 5×5의 방사흡수계수의 행렬이 출력되어진다. Patch중 1, 2, 4이 속성 I이고, 3, 5가 속성 II라고 가정하면 식(6)과 같은 행 방향으로 합산 할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} & g_{15} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} & g_{25} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} & g_{35} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} & g_{45} \\ g_{51} & g_{52} & g_{53} & g_{54} & g_{55} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} g_{11} + g_{12} + g_{14} & g_{13} + g_{15} \\ g_{21} + g_{22} + g_{24} & g_{23} + g_{25} \\ g_{31} + g_{32} + g_{34} & g_{33} + g_{35} \\ g_{41} + g_{42} + g_{44} & g_{43} + g_{45} \\ g_{51} + g_{52} + g_{54} & g_{53} + g_{55} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g_{1I} & g_{2I} \\ g_{2I} & g_{2II} \\ g_{3I} & g_{3II} \\ g_{4I} & g_{4II} \\ g_{5I} & g_{5II} \end{pmatrix} \quad (6)$$

또한 식(6)을 Patch 속성별로 분류하고 Patch간 면적의 차를 고려하기 위하여 식(7)과 같이 면적가중 평균화 한다. 본 연구에서는 Patch의 종류를 지표면과 건물표면의 2종류 (장파흡수율은 0.9로 하고 g_{gs} , g_{gb} , g_{bg} , g_{bb} 의 4종

류의 방사흡수계수를 구하였다. 여기서 g 는 지표면, b 는 건물표면을 의미한다.

$$\begin{pmatrix} g_{1I} & g_{2I} \\ g_{2I} & g_{2II} \\ g_{3I} & g_{3II} \\ g_{4I} & g_{4II} \\ g_{5I} & g_{5II} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{A_1 g_{1I} + A_2 g_{2I} + A_4 g_{4I}}{A_1 + A_2 + A_4} & \frac{A_3 g_{3I} + A_5 g_{5I}}{A_3 + A_5} \\ \frac{A_1 g_{1II} + A_2 g_{2II} + A_4 g_{4II}}{A_1 + A_2 + A_4} & \frac{A_3 g_{3II} + A_5 g_{5II}}{A_3 + A_5} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$Q = g_{bg} A_b \epsilon_b \sigma_b T_b^4 - g_{gb} A_g \epsilon_g \sigma_g T_g^4 = 0.9 \times g_{bg} A_b \sigma_b (T_b^4 - T_g^4) \quad (8)$$

식 (8)은 지표면에서 건물표면에 방사되는 정미장파장 방사 전열량을 구한 식이다. 여기서 T_g , T_b 는 각각 지표면과 건물표면의 온도를 의미하고, 장파장 방사율은 0.9로 설정하였다. Q 의 지표면에서 건물표면으로 방사되는 정미 장파장 방사 전열량이다.

【천공일사 흡수율】

계산 모델의 천공일사 에너지는 최종적으로 지표면, 건물표면이 취득하는 일사에너지의 비율을 각각 가구의 지표면 천공일사흡수율, 건물표면의 천공일사흡수율로 한다. 계산법은 형태계수를 구한 다음에 각 Patch의 형태계수에 의한 천공율을 산정하고, 천공의 휘도분포를 균일화 하여 각 Patch의 천공일사 초기치를 대입하여 Progressive Radiosity법을 이용한 Patch분할을 하고, 최종 취득에너지로 하였다.

【직달일사 흡수율】

Patch가 보유한 일사에너지의 초기치 계산은 해당 patch이외는 천공일사의 비율로 가정하여서 가구의 지표면 직달일사 흡수율, 건물표면의 직달일사 흡수율을 구하였다. 일사 에너지의 초기치는 태양고도·태양방위각을 24 Case로 변화시켜서 계산하였다.

3. 계산모델의 설정과 조건

3.1 이상가구 모델의 개요

이상가구 모델은 그림 2와 같이 300m×300m의 지역으로 입방체의 건물을 배치한 모델이다. 그림 2의 왼쪽은 계산대상영역과 주변 영역(계산 영역) 간에 이루어지는 방사영향을 고려하기 위하여 여분의 폭을 설정하였다. 주변과의 폭(w)는 방사흡수계수의 오차가 1.0% 이하가 되는 100m로 하였다.

3.2 계산 케이스 설정 및 태양위치 조건

방사 전열특성에 관한 기존의 연구를 보면 모델 지역의 표면적과 강한 상관관계가 있다는 지적이 있었다. 따라서 모델지역의 표면적을 결정하는 요인으로 건폐율, 용적율(높이), 건물인동간격을 모델지역 지표로 지정하고 계산을 한다(표 1 참조). 표면적이 동일한 경우라도 건물의 인동간격에 따라서 차이가 있으므로 그림 2의 오른쪽 그림과 같이 모델지역 가로폭 비율을 정의하였다. 모델 지역의 신뢰도와 현실성을 높이기 위하여 건물

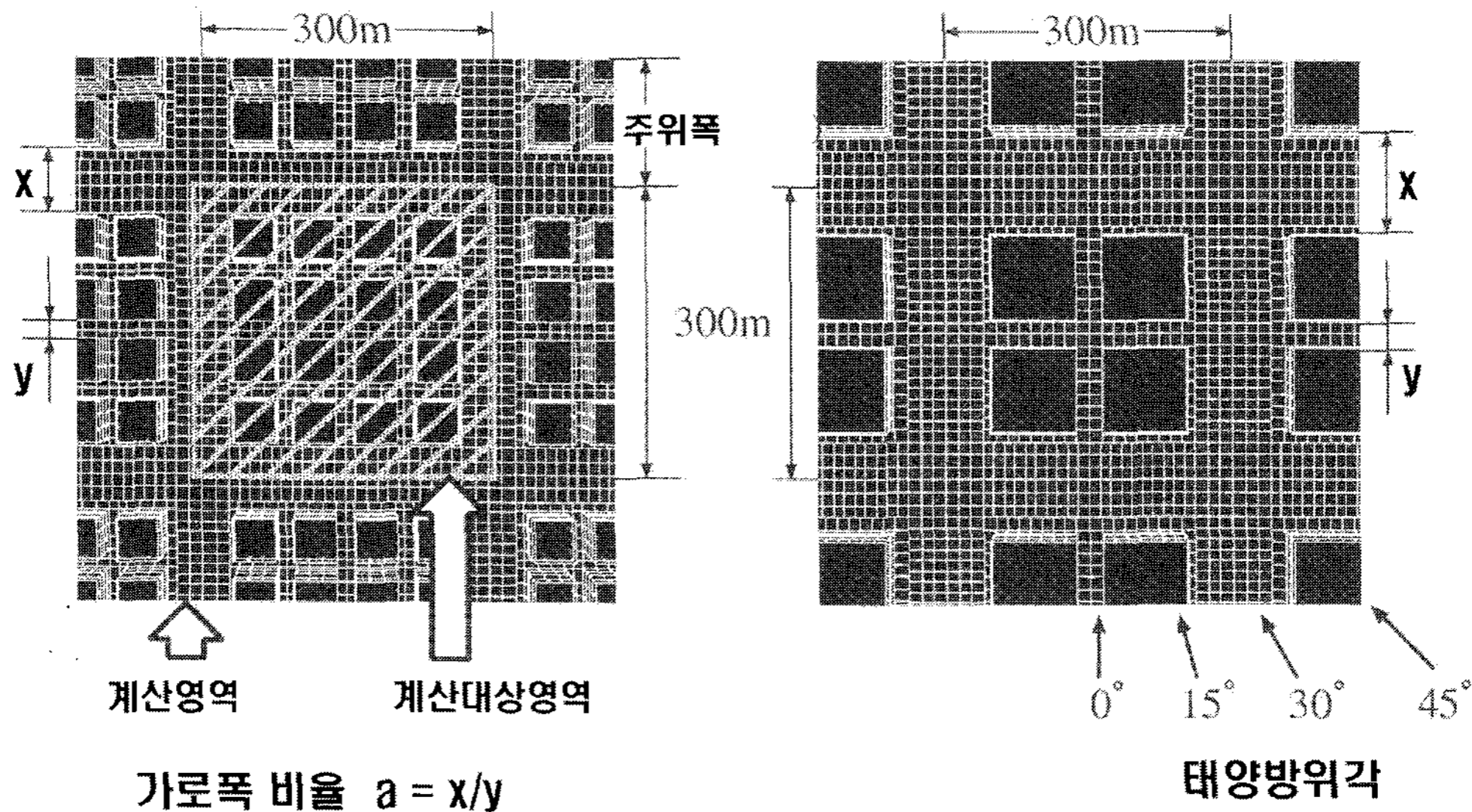


그림 2. 이상가구 모델

표 1. 모델지역의 조건

변 수	표본수	설 정 값
A: 건폐율	5	0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45
B: 용적율	4	40, 50, 60, 70
C: 가로폭비율	3	1, 2, 3
D: 건물동수	3	2×2, 3×3, 4×4
E: 건물높이 표준편차	4	0, 2.45, 4.90, 7.35

높이의 표준편차를 인자로 채용하여 계산결과의 신뢰성을 확보하였다.

직달일사 계산은 각 모델지역별로 표 2와 같이 태양고도 및 태양방위각을 변화시켜서 계산을 하였다.

표 2. 태양위치에 관한 조건

조 건	표본수	설 정 값
F: 태양고도(°)	6	20, 30, 40, 50, 60, 70
G: 태양방위각(°)	4	0, 15, 30, 45

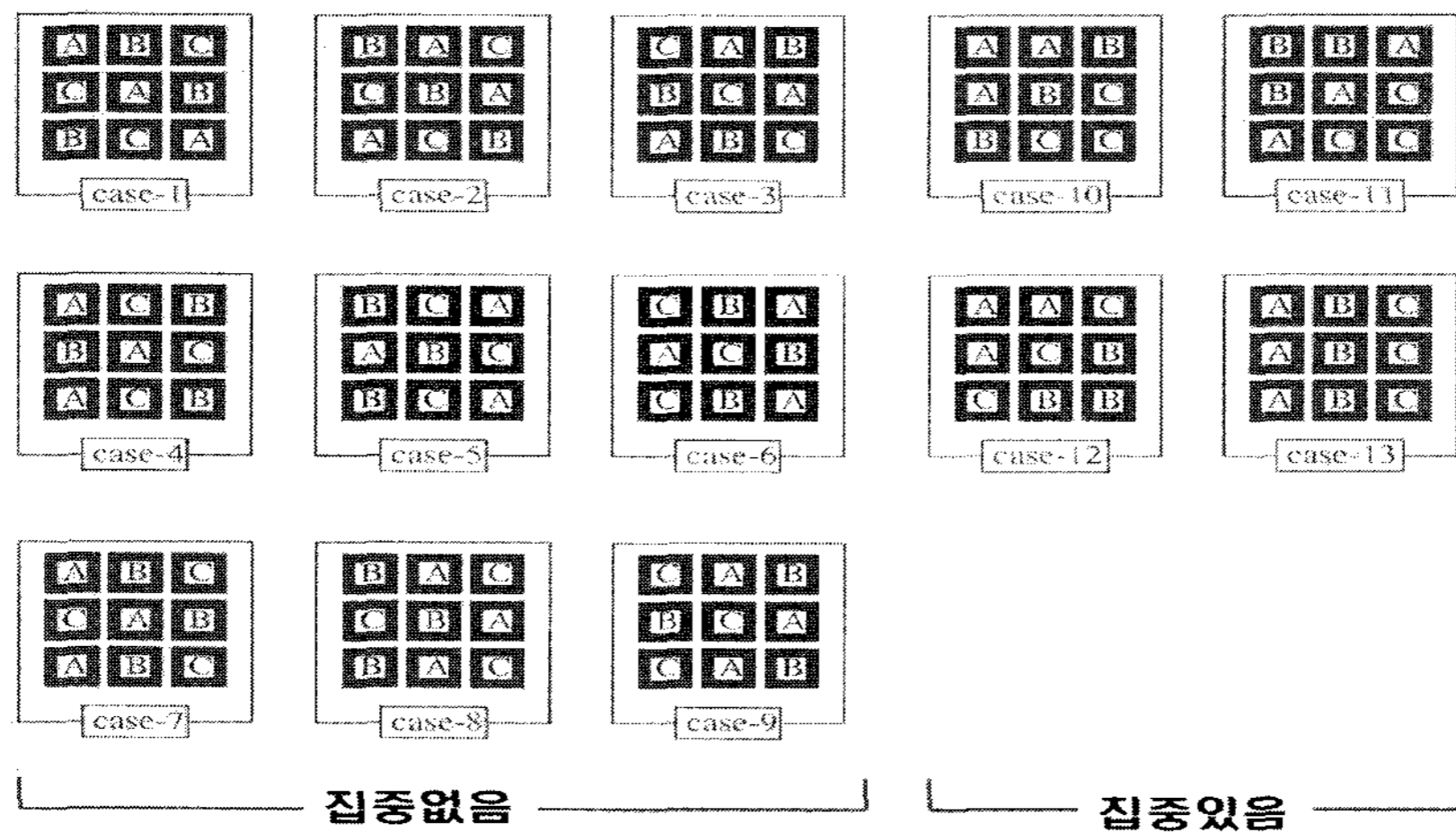
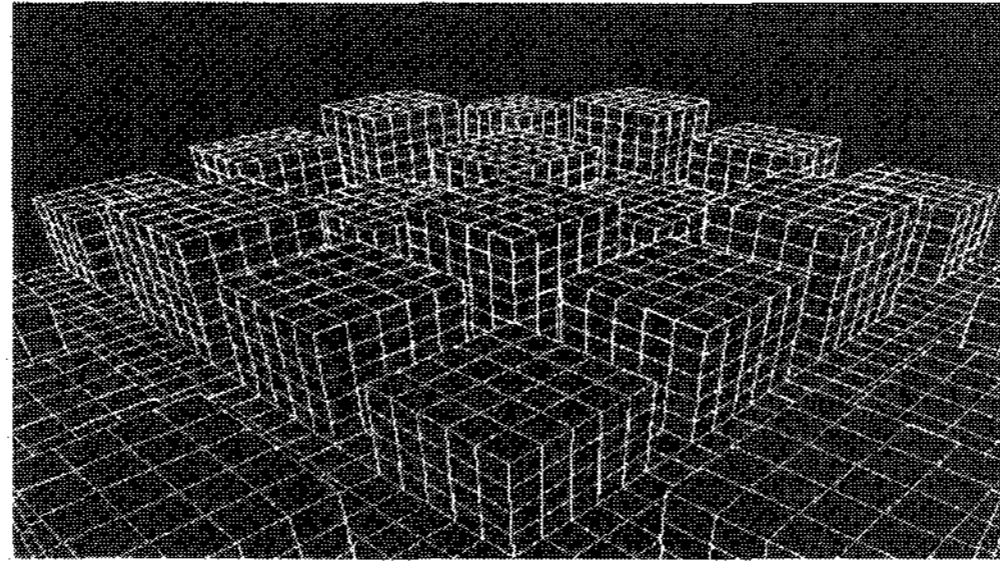


그림 3. 이상가구 모델의 배치도

Table 3. 건물의 높이조건

	H1	H2
평균높이	30	30
높이 표준편차	4.9	9.8
A:건폐율	24	18
B:용적율	30	30
C:가로폭비율	36	42

3.3 건물높이 변화

본 연구에서는 본격적인 시뮬레이션을 하기 전에 건물의 배치에 의한 오차가 발생하여 결과에 영향을 미칠지에 대한 검토를 하였다. 건물동수 3x3즉 9개동의 모델대상 지역을 대칭성을 고려하여 배치하고 또한 표 3과 같은 설정조건을 마련한

다음에 건물높이에 의한 편중분포를 검토하기 위하여 그림 3과 같이 극단적으로 편중되지 않은 모델 9경우와 약간 편중적으로 배치한 모델 4 경우 등 합계 13경우를 설정하였다. 계산모델 지역의 건폐율은 40%로 하였고, 가로폭 비율을 2가지로 변화하여 총 26종류의 Case Study를 이원배치로 하여 실험계획법에 의한 분산분석을 그림 3과 같이 하였다.

분산분석 결과를 고찰하여 보면 방사흡수계수와 천공일사계수는 건물의 배치에 의한 영향보다는 건물높이의 변화(건폐율)에 의한 영향이 큰 경향을 나타내었다. 직달일사 흡수율의 경우는 건물의 배치나 높이변화 보다는 태양방위각에 따라서

영향력의 변화를 나타내고 있고 태양방위각이 30%이상인 경우는 방사전열의 영향은 무시할 수 없을 정도였다.

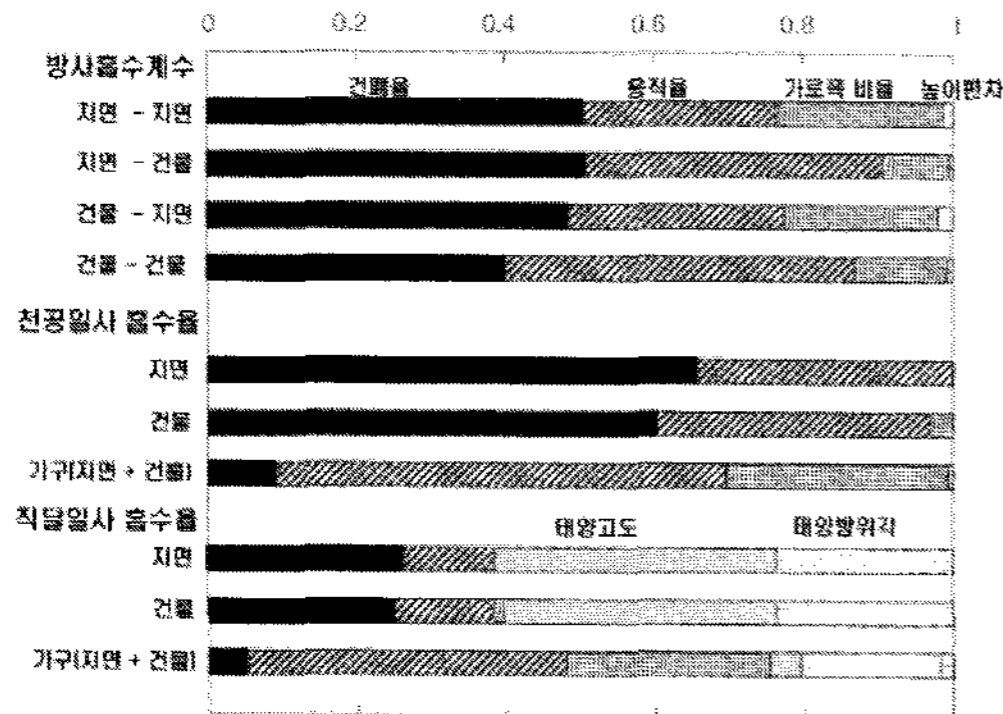


그림 4. 이상가구 모델의 분산분석 결과

4. 실제가구 모델의 계산 및 결과

3장까지의 시뮬레이션에서 파악한 방사전열 특성을 실제가구에서도 행하여 결과를 서로 비교·검토하여 본 연구에서 구축한 전산프로그램의 확장성 및 범용성을 검증하기 위하여 일본의 대표적인 중심상업지구인 마루노우찌(Marunouchi)지역을 대상으로 계산을 행한다. 동경도청의 GIS데이터로부터 그림 5와 같이 계산 대상지역을 3차원화하고 이상가구 모델과 같은 설정조건으로 방사전열계산을 하였다.

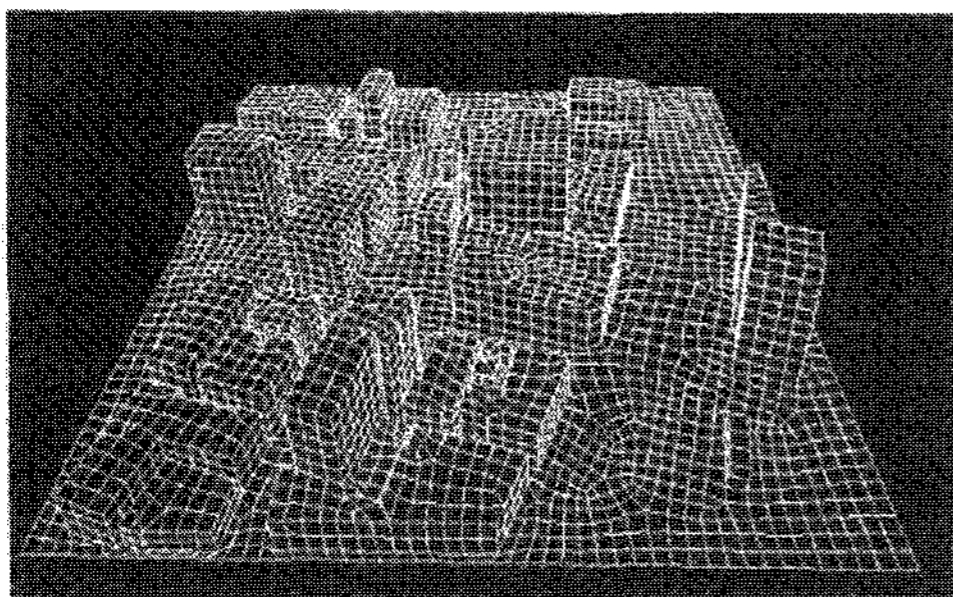


그림 5. 마루노우찌(Marunouchi)의 patch분할

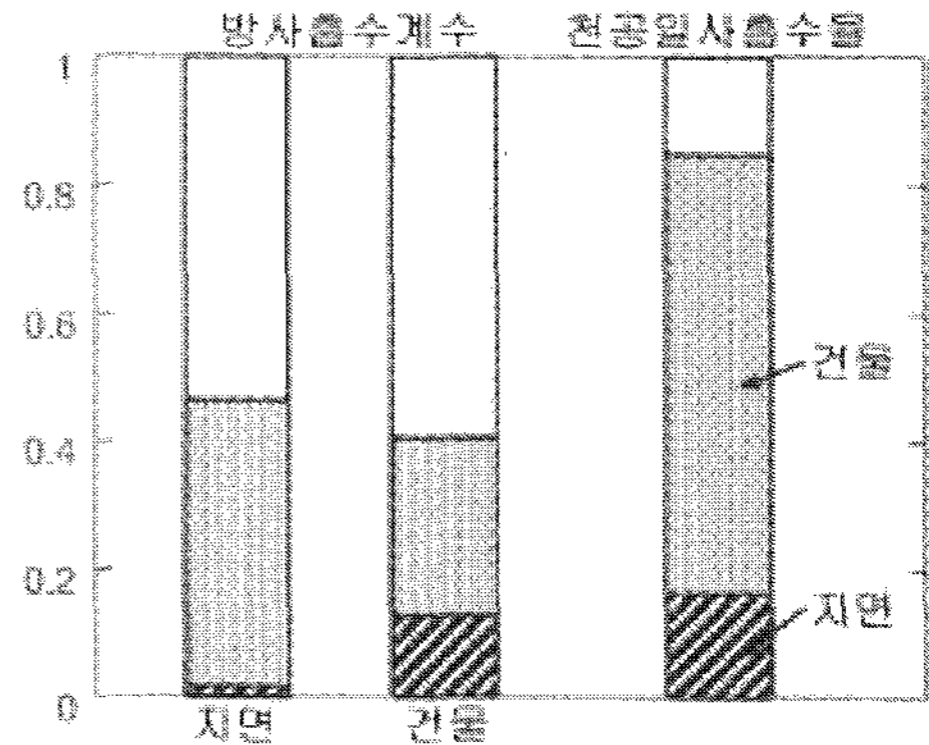


그림 6. 마루노우찌(Marunouchi)시뮬레이션 결과

계산결과를 고찰하여 보면 그림 6과 같이 방사흡수계수보다 태양고도의 영향을 강하게 받는 천공일사가 건물에 의한 영향이 크다. 이는 건축물의 외피가 지면 및 지붕면 보다 천공일사 흡수가 더 많음을 나타내고 있으며, 따라서 방사전열도 지면과 지붕면에 의한 영향보다는 건물의 외피를 구성하는 방위별 외피면적의 대소에 따라서 차이가 나타남을 알 수 있었다.

5. 결론

건물의 배치에 의한 방사전열 특성치의 영향은 무시할 수 없을 정도로 파악되었고 그림 4의 케이스 중 가장 평균적인 결과를 나타낸 케이스3의 배치에 대하여 A:건폐율, B:용적율(높이), C:가로폭 비율, E:건물높이의 표준편차를 인자로 설정하여 시뮬레이션을 행하였다(직달일사 흡수율에 관해서는 F:태양고도, G:태양방위각을 인자로 추출하였다). 시뮬레이션의 결과를 중회귀 분석하여 얻어진 표준회귀계수의 제곱값(=기여율)을 구하고 각 인자의 영향력을 조사하였다.

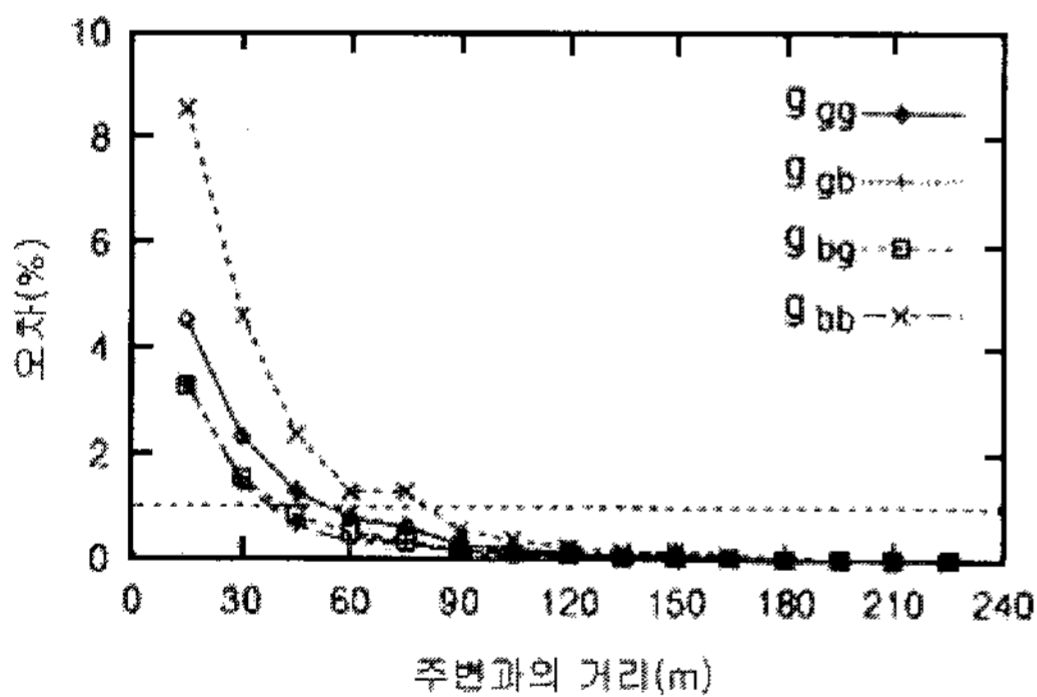
방사흡수계수와 같이 Patch간의 기하학적 형상에만 의존하는 방사전열은 건물의 배치 상태보다는 건물높이의 변화가 영향이 있음을 알 수 있

다. 한편 천공일사흡수율, 직달일사흡수율과 같은 방향성을 가진 방사전열특성은 건물의 배치에 의한 영향이 확인되었지만 상기의 두 항목도 이상가 구 모델 전체의 흡수율을 고찰하면 배치의 영향보 다는 건물 높이의 변화에 따른 영향이 더 큼을 알 수 있다.

본 연구에서는 도시의 방사전열을 이상가 구 모 델과 실제가 구 모델을 대상으로 계산을 행하였고, 각각 방사전열의 특징을 나타내는 인자에 대하여 분석을 행하였다.

차후의 과제로서는 건축물의 외피 중 개구부와 외피 구성요소에 대한 정밀 데이터를 입수하고 대 입하여 보다 정밀한 시뮬레이션을 행하고, 개구부 의 면적과 외피구성에 따른 방사전열 특성을 파악 하는 것이다.

【참조】



본 연구에서 계산영역과 실제 계산대상영역과 의 가로폭을 100m로 산정한 이유는 다음과 같 다. 상기의 그림과 같이 계산영역과 실제계산대상 영역과의 오차가 1%미만이 되는 지점이 약 100m정도 떨어진 곳이기 때문에 본 연구에서도 이와 같이 주변의 가로폭과 방사흡수계수의 오차 를 고려하여 설정하였다. 여기서 G는 Gebhart's 의 방사흡수 계수를 의미하고, Ggg는 지면과 지 면, Ggb는 지면과 건물, Gbg는 건물과 지면, Gbb는 건물과 건물의 방사흡수를 의미한다.

참고문헌

1. George N. Walton(1986) "Algorithms for Calculation Radiation View Factors Between Plane Convex Polygons With Obstructions", National Bureau of Standards.
2. F. Kimura (Aug, 1989) "Heat Flux on Mixture of Different Land-use Surface", J. Meteor. SOC. PP.401-409, Japan.
3. Nakamura, Matsuo, Sakamoto, Tuchiya, Tachibana (1989) "Radiosity and Realistic Images Synthesis Objects", Ohm Press, Japan.
4. SIGGRAPH(1993), "Radiosity and Realistic Images Synthesis", Academic Press.
5. L. O. Myrup(1969), "A numerical model on the urban heat island, Journal of applied meteorology", Vol. 8, pp. 908-918.
6. T. R. Oke(1987), Boundary layer climates, University press, Cambridge, 2nd edition.
7. Nibert Lechner(2001), "Heating Cooling Lighting Design Methods for Architects", John wiley & Sons, INC. 2nd Edition.
8. Altair Computing INC(1997)., HyperMesh Reference Manual Version 2.1,
9. Bernard Kwok(May, 1992), "Analysis of Radiosity Techniques in Computer Graphics". Master's Thesis, York University.
10. Gary Thomas Shea(Oct, 1983), "Radiosity Rendering with Specular Shading". Master's Thesis, University of Colorado.
11. George N. Walton(Nov, 1986), "Algorithms for Calculating Radiation View Factors Between Plane Convex Polygons with Obstructions".
12. Josie Wernecke & Jed Hartman(Oct 1997), VRML 2.0 Handbook, Silicon Graphics, INC.
13. J.P. Holman(1976), Heat Transfer, McG

- raw Hill Book Co.
14. Kimura K. et. al(1972), "A Field Experiment Study on the Convenience Heat Transfer Coefficient on Exterior Surface of a Building", ASHRAE Transactions, Vol.78, part 1, PP. 15.
 15. 松尾・西岡・永田(Aug, 1995), "都市キャノピーにおける建築からの放散熱とその影響", 日本建築學會大會學術講演會概集
 16. 松尾陽(1984), 空調負荷計算におけるふく射熱の取扱い, 空氣調和・衛生工學, Vol. 59, No. 4, pp. 5-11.
 17. 日本建築設備士協會(1986), HASP/ACLD/8501解説.
 18. 東京都 都市計劃局(1995), 東京都 都市計劃 地圖情報システム.
 19. 淺野淳一(May, 1994), "熱畫像を用いた建物全表面からの放熱量の解析", 修士論文, 東京工業大學大學院綜合理工學研究科環境物理工學專攻.
 20. 飯野秋成(May, 1995), "リモートセンシングと地理情報による都市の全表面の熱収支解析", 博士論文, 東京工業大學大學院綜合理工學研究科環境物理工學專攻.