

대류 · 복사 연성시물레이션을 통한 옥외 온열환경 평가 기법

류 민 경, 임 중 연, 황 효 근, 송 두 삼^{*†}

성균관대학교 대학원, 성균관대학교 건축공학과

Study on assessment of outdoor thermal environment with coupled simulation of convection and radiation

Minkyung RYU , Jong-Yeon Lim, Hyo-Keun Hwang, Doo-Sam Song^{*†}

Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

ABSTRACT: Deterioration of the outdoor thermal environment in urban areas such as heat island has become worse due to urbanization and overpopulation, etc. In this study, a new method which is coupled simulation of convection and radiation to evaluate outdoor thermal environment in urban area will be proposed. Because the solar radiation affects on outdoor thermal environment massively, therefore the radiation calculation is very important in outdoor thermal environment prediction. The coupled simulation proposed in this study can assess the outdoor thermal environment with accurate.

Key words: Outdoor environment(옥외환경), Solar radiation(태양복사), CFD(전산유체해석)

기 호 설 명

<p>Bij : Gebhart의 흡수 계수[-]</p> <p>Ci : 건물 및 지중예의 전도 열량[W]</p> <p>C : 0.09[-]</p> <p>C1 : 1.44[-]</p> <p>C2 : 1.92[-]</p> <p>C3 : 1.44[-]</p> <p>D : 수증기에 관한 확산 계수[m²/s]</p> <p>EDi : 면 요소 i에서의 직달일사량[W/m²]</p> <p>Esi : 면 요소 i의 천공일사에너지[W/m²]</p> <p>e : 태양 방향의 단위벡터</p> <p>ei : 각 면요소 j의 장파복사흡수율[-]</p> <p>Fij : 교체면 상호 형태계수[-]</p> <p>Fis : 면요소 I에서 천공에 대한 형태계수[-]</p>	<p><f> : 변수 f의 시간 평균 또는 조화 평균</p> <p>f' : f의 변동 성분</p> <p>gi : 중력가속도 (g1=g2=0.0,g3=-9.8)[m/s²]</p> <p>Hi : 대류열전달량 [W]</p> <p>IN : 법선면 직달일사량[W/m²]</p> <p>ISH : 쾌청시의 수평면 천공 일사량[W/m²]</p> <p>LEi : 식물의 증발산에 의한 잠열방산량[W]</p> <p>Ni : 태양에 도달한 입자수</p> <p>Nij : 면요소 j에 도달한 복사다발</p> <p>n : 면요소에서 나온 법선 벡터</p> <p>p : 압력[Pa]</p> <p>Ri : 전체 장파복사 취득에너지[W]</p> <p>SAij : 면요소j에 흡수되는 일사단파량[W/m²]</p> <p>SDi : 면요소 i에 직접 흡수되는 일사량 [W/m²]</p> <p>Si : 면요소 i에 대한 일사 취득 에너지[W]</p> <p>SRi : 면요소 i에 대해 반사되는 일사량[W]</p> <p>Ti : 표면온도[K]</p> <p>ui : 풍속의 순간속도[m/s]</p>
---	---

[†] Corresponding author

Tel. : +82-31-290-7551; fax :+82-31-290-7570

E-mail address : dssong@skku.edu

- vt : 난류 확산 계수 [m^2/s]
- qW : 절대 습도 [kg/kg]
- xi : 공간 좌표($i=1$ (주류 방향), 2(주류 직교 방향), 3(연직 방향))
- at : 난류 온도 확산 계수 [m^2/s]
- β_i : 면요소 I에 직접 전달되는 일사비율[-]
- $\sigma\theta$: 0.9[-]
- θ_0 : 기준 온도 [$^{\circ}C$]
- θ^* : 법선벡터에 대한 태양광의 입사각[rad]

그리스 문자

- a : 단과복사흡수율[-]
- a : 분자 온도 확산 계수 [m^2/s]
- β : 공기의 체적 팽창율 [$1/^{\circ}C$]
- θ : 온도 [$^{\circ}C$]
- ρ : 공기 밀도[kg/m^3]

1. 서론

1.1 외부온열환경 해석의 필요성

삶의 질에 대한 관심이 늘어남에 따라 실내뿐만 아니라 외부환경의 온열환경에 대한 관심 또한 늘어나고 있다. 하지만, 급격한 도시화/산업화, 도시로의 인구집중에 따른 건물의 고층/고밀도화는 도심지 내의 녹지 및 수면의 감소를 야기하였으며 이에 수반하는 기반시설 및 건물 등의 건설로 인하여 도심지내에서 생성된 열의 방출이 온전하게 이루어지지 않아 도시 열섬 현상 등이 출현하는 등 도시공간의 미기후는 점차 악화되고 있다. 따라서 대도시를 중심으로 미기후완화에 대한 관심이 증가하고 있으며 외부 열환경에 대한 연구 또한 증가하고 있다.

옥외 온열환경은 그 구성요소가 다양하고 인자들 사이의 상관관계가 매우 복잡하며 그 안에서 이루어지는 인간의 활동 또한 다양하기 때문에 옥외공간에서의 물리적 특성을 계산하고 예측하는 것은 실내 환경에 비해 매우 복잡하며 어려운 작업이다. 하지만, 이러한 옥외공간의 물리적 환경을 정확히 예측/평가하는 작업은 옥외 온열환경을 개선하고 거주자의 쾌적성을 보장하는데 있어서 매우 중요한 과정이라고 할 수 있다.

1.2 기존 국내외 연구동향

국내에서도 옥외 온열환경을 완화시키기 위해 도시 공간 내 녹지나 수공간의 배치 및 바람 길의 확보 등 여러 가지 환경 친화적인 건축수법이 시도되고 있으며 이에 관한 연구도 활발해지고 있다. 그러나 이들 연구는 대부분 단일 수목⁽¹⁾이나 일사차폐물에 의한 냉각효과의 분석⁽²⁾, 토지이용상태에 따른 기온의 변화⁽³⁾ 등 개별적인 물리적 현상을 실측을 통해 규명하는 것에 주안을 두고 있으며, 시뮬레이션 틀을 통해 공동주택단지 내 온열환경을 종합적으로 평가/예측하는 연구는 아직 미미하다.

해외의 경우, Kazuya et al⁽⁴⁾은 시가지를 대상으로 공기의 흐름과 복사해석을 연성한 새로운 CFD해석을 통해 도심지의 온열환경을 예측하였으며, Mochida et al⁽⁵⁾은 CFD를 통해 보행자레벨의 풍환경을 예측하여 최적의 수목배치를 제안하는 기법을 작성하였다. Chen et al⁽⁶⁾은 대류복사 연성시뮬레이션과 GA(Genetic Algorithm)기법을 활용하여 옥외공간의 최적설계방안에 대한 연구를 진행하는 등 많은 관련 연구가 진행된 바 있다.

1.3 연구의 목적 및 내용

CFD를 활용한 온열환경의 해석기법은 주로 실내 환경을 대상으로 많은 연구가 이루어지고 있으나, 옥외공간의 경우 실내와는 다르게 복사환경이 매우 지배적이기 때문에, 대류해석이 주가 되는 CFD 해석기법 만으로 옥외공간의 물리적 특성을 평가/예측하는 것은 한계가 있다. 따라서 해외에서는 복사와 대류계산을 연성하여 옥외공간의 온열환경 특성을 규명하는 CFD 해석기법에 관한 연구가 꾸준히 진행되어왔으나, 국내의 경우 아직 초보적인 단계라고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 대류, 복사 연성시뮬레이션에 기초한 도심지 내 옥외공간의 온열환경 해석 기법을 개발하는 것을 목적으로 하고 있으며, 본 논문에서는 시뮬레이션의 구성과 개요에 대해 설명하고, case study를 통해 대류, 복사연성 해석의 필요성에 대해 입증하고자 한다.

2. 대류·복사, 습기 연성 시뮬레이션

2.1 연성 시뮬레이션의 필요성

온열환경 평가에 관한 기존의 많은 연구는 대부분 실내환경을 대상으로 하고 있다. 하지만 복사의 영향이 거의 일정한 실내 환경과는 달리, 옥외공간에서는 태양복사의 영향이 온열환경을 형성하는데 지배적이기 때문에, 이러한 복사의 영향을 정확히 묘사하는 것이 옥외 온열환경의 예측/평가에 있어서 매우 중요하다. 즉, 옥외 공간에서 태양복사에 의한 영향을 정확하게 산정할 수 있다는 것은 시뮬레이션 해석결과의 신뢰도를 결정짓는 핵심적인 내용이라 할 수 있다.

특히, 도심지에서 하절기 옥외온열환경이 악화되고 있는 것은 도시화에 따른 지표면의 변화의 영향이 크기 때문에, 복사해석을 통해 이러한 도시 내 건물, 도로 등에서 일어나는 복사장을 정확히 계산할 수 있다면, 시뮬레이션을 통한 외부 온열환경에 대한 정량적 평가가 가능할 것으로 판단된다.

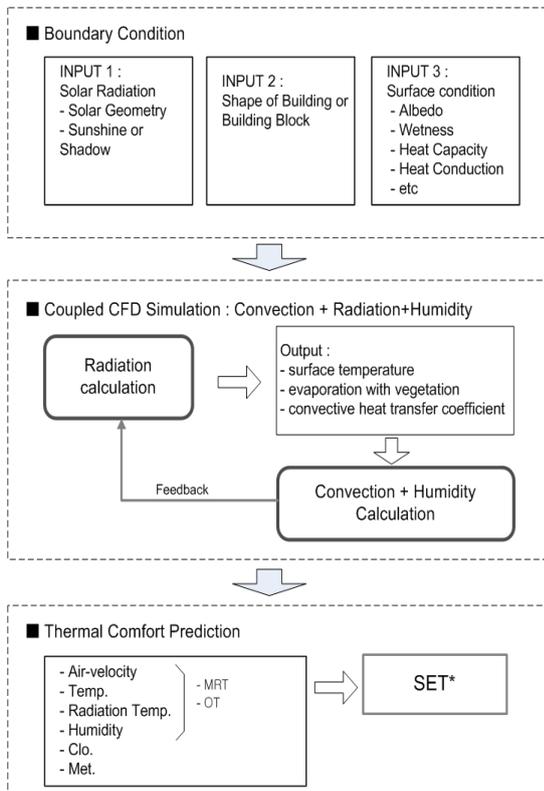


Fig. 1 Outline of Coupled Simulation

2.2 대류·복사, 습기 연성 시뮬레이션의 개요

Fig. 1에 외부 온열환경 해석을 위한 대류·복사, 습기 연성 시뮬레이션의 개요를 보이고 있다. 위 그림에서와 같이 먼저 외부환경의 복사장 계산을 위한 경계조건을 설정하고, 복사계산을 실시한다. 복사계산 결과인 지표면 및 벽표면온도를 새로운 경계조건으로 하여 CFD를 통해 대류, 습기계산을 실시한다. CFD계산 결과를 바탕으로 복사계산을 다시 실시한다. 이러한 일련의 과정을 통해 보다 정확한 풍속, 온도, 복사온도, 습도 등의 외부환경에 대한 물리적 환경요소의 분포를 계산한다. 이 결과를 바탕으로 착의량(Clo.), 활동량(Met.) 등의 조건을 통해 외부환경에서의 온열감 지표(SET*)를 산출한다.

2.3 대류·복사, 습기 연성 시뮬레이션의 구성

2.3.1 복사전열 해석

1) 지표면/건물표면의 열, 습기 이동

지표면 및 건물 외표면의 표면온도는 대류, 복사, 습기 연성시뮬레이션을 통해 외부 온열환경을 평가하는데 중요한 물리량이다. 따라서 Fig. 2의 지표면이나 건물 외표면의 열, 습기 이동 해석은 외부 온열환경 해석에 있어서 매우 중요한 부분이라고 할 수 있다.

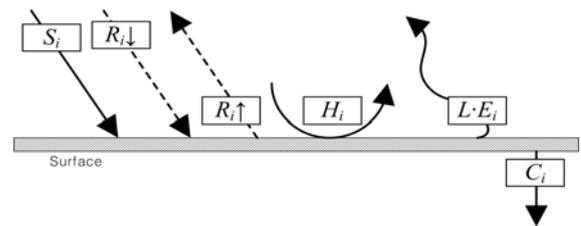


Fig. 2 The heat balance of surface

대류, 복사, 습기 연성 시뮬레이션의 복사계산은 해석영역의 각 해석격자에 대해 식(1)로 정의되는 열수지식을 통해 표면온도 T_i 를 정의하는 과정으로 본 절에서는 식 (1)의 각 항의 산출과정을 설명하고자 한다.

$$S_i + R_i + H_i + C_i + L \cdot E_i = 0 \quad (1)$$

S_i : 면요소 i 에 대한 일사 취득 에너지[W]

R_i : 전체 장파복사 취득에너지[W]

- Hi : 대류열전달량 [W]
- Ci : 건물 및 지중에 대한 전열량 [W/m²]
- ISH : 쾌청시의 수평면 천공 일사량[W/m²]
- LEi : 식물의 증발산에 의한 잠열방산량[W]

2) 형태계수의 산출

복사해석을 위해서는 각각의 고체 표면간의 열 이동을 정확하게 예측해야 하는데 이를 위해서는 각 고체면간의 형태계수의 도출이 중요하다. 본 해석수법에서는 Monte Carle method를 이용한 형태계수 산출법을 이용했다.

Monte Carle method를 통해 공간 내를 구성하는 각 면요소 i로부터 복사다발을 방출해 면요소 j에 도달한 복사다발을 N_{ij}라 정의하면, 식(2)은 형태계수 F_{ij}를 나타낸다.

$$F_{ij} = N_{ij} / N_{total} \quad (2)$$

3) 천공을 바라보는 형태 계수 Fis의 계산

Fig. 3과 같이 천공을 바라보는 형태 계수 Fis를 산출하기 위해 건물, 지표면, 천공을 포함한 격자모델을 생각해보자. 건물 벽면 및 지표면을 구성하는 면요소상의 각 점에 있어서 밖으로 향한 법선 벡터를 n, 태양 방향의 단위벡터를 e라고 하면, 이 점이 태양광을 받을 수 있는 조건은 다음의 식과 같다.

$$e \cdot n = \cos \theta^* > 0 \quad (3)$$

θ*는 해당 면요소의 밖으로 향한 법선벡터에 대한 태양광의 입사각을 의미한다. 식(3)의 조건을 만족하는 경우에 해당면은 태양을 향해 입자를 방출하는 면인 것이다. 마찬가지로, 방출된 입자의 궤적을 추적해 인접건물에 도달했을 경우에는, 입자의 방출점은 그림자로 덮이게 된다. 이러한 과정을 면 요소 i로부터 함께 N_t회 반복한다면, 주위에 건물에 의해 차단되지 않고 태양에 도달한 입자수 N_i를 산출할 수 있다. N_i가 구해지게 되면 면 요소 i에 직접 전달되는 일사의 비율 β_i는 식 (4)와 같다.

$$\beta_i = N_i / N_t \quad (4)$$

면요소 i로부터 Lambert cosine law⁽⁷⁾에 근거해 복사다발을 방출하여, 건물에 차단되지 않고 천공에 도달한 비율을 구하면 면요소 i로부터 천공을 바라보는 형태계수 Fis를 구할 수 있다.

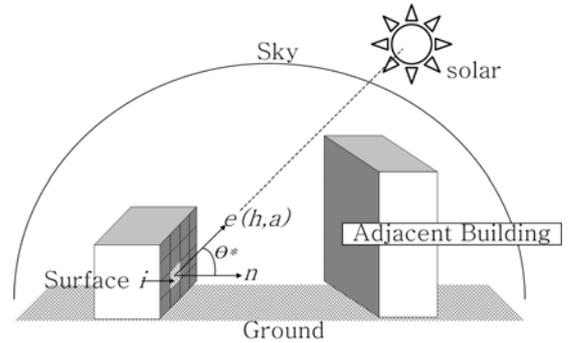


Fig. 3 Model for the view factor calculation

4) 직달일사량, 천공(확산)일사량의 계산

면 요소 i에서의 직달일사량 ED_i와 천공일사 에너지E_{si}는 각각 다음의 식(5), (6)와 같이 구한다.

$$E_{Di} = A_i \beta_i I_N \cos \theta^* \quad (5)$$

$$E_{si} = A_i F_{is} I_{SH} \quad (6)$$

5) 일사에 의한 전체에너지의 계산

면요소 i에 흡수되는 일사에 의한 전체 에너지 S_i, 면요소 i의 단파복사흡수율을 α로 하면, 직접 흡수되는 일사량 SD_i 및 반사되는 일사량 SR_i는 각각 다음의 식(7), (8)과 같다.

$$S_{Di} = \alpha_i (E_{Di} + E_{Si}) \quad (7)$$

$$S_{Ri} = (1 - \alpha_i) (E_{Di} + E_{Si}) \quad (8)$$

면요소 i에서 반사된 에너지 SR_i는 각 면에서 반사되면서 천공을 포함한 어느 면요소에 의해 흡수되는데. 이때 천공 방향으로 반사된 태양광은 우주 공간에 방출되는 것으로 간주한다. 이와 같이 하여 면요소 j에 흡수되는 일사단파에너지 SA_{ij}는 Gebhart의 흡수 계수⁽⁸⁾ B_{ij}를 이용해 다음 식(9)과 같이 계산 할 수 있다.

$$S_{Aij} = B_{ij} S_{Ri} \quad (9)$$

6) 장파복사량의 계산

면 요소 i에 실질적으로 유입하는 장파복사 에너지 Ri는 건물이나 지면 등의 고체면으로부터 발생하는 것과 천공으로 부터의 대기복사로 나눌 수 있다. 고체면에 대해서는 고체면 상호의 형태 계수 F_{ij}를, 천공에 대해서는 면 요소 i로부터 천공을 바라보는 형태계수 Fis를 이용하고, 각 면요

소 j의 장파복사흡수율 ϵ_j 를 이용하여, 면요소 i와 천공을 포함한 각 면 요소 j와의 사이의 Gebhart의 흡수 계수 B_{ij} 를 산출한다. 이상의 수치들을 활용하여 면요소 i에 흡수되는 대기복사를 포함한 전체 장파복사에너지 R_i 는 식(10)으로 계산할 수 있다.

$$R_i = \sum_{j=1}^n B_{ji} (\epsilon_j A_j \sigma T_j^4) - \epsilon_i A_i \sigma T_i^4 \quad (10)$$

7) 복사에너지 이외의 항 $H_i, C_i, L \cdot E_i$

$$H_i = A_i \alpha_c (T_{ai} - T_i) \quad (11)$$

$$C_i = -A_i \lambda (T_i - T_{bi}) / \Delta z \quad (12)$$

$$L \cdot E_i = L \cdot A_i \alpha_w \beta_i (f_a - f_s) \quad (13)$$

2.3.2 대류계산

본 연구에서는 standard k- ϵ 모델을 사용하여 대류계산을 실시하였다. 여기에서는 난류를 해석하는 기본이 되는 기초방정식과 본 계산에서 사용하고 있는 난류모델은 Table 1과 같다.

Table 1 Standard k- ϵ model

① Continuity equation
$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0$
② Reynolds equation
$\frac{D \langle u_i \rangle}{D_t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i}$
$+ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} - \langle u_i' u_j' \rangle \right]$
$- g_\beta (\langle \theta \rangle - \theta_0)$
③ Transport equation (temperature)
$\frac{D \langle \theta \rangle}{D_t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\alpha \frac{\partial \langle \theta \rangle}{\partial x_i} - \langle u_i' \theta' \rangle \right]$
④ Transport equation (absolute humidity)
$\frac{D \langle q_w \rangle}{D_t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[D \frac{\partial \langle q_w \rangle}{\partial x_i} - \langle u_i' q_w' \rangle \right]$
⑤ Transport equation (k)
$\frac{Dk}{Dt} = P_k + G_k + D_k - \epsilon$
⑥ Transport equation (ϵ)
$\frac{D\epsilon}{Dt} = D_\epsilon + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} P_k + C_{\epsilon 3} G_k - C_{\epsilon 2} \epsilon)$
⑦ standard k- ϵ model
$-\langle u_i' \theta' \rangle = \alpha_t \frac{\partial \langle \theta \rangle}{\partial x_i} \quad (\alpha_t = \frac{\nu_t}{\sigma_\theta})$
$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$

3. 대류·복사 연성시뮬레이션 기법을 활용한 외부 온열환경 해석

본 장에서는 대류, 복사 연성 시뮬레이션 기법을 활용한 외부 온열환경 해석 예를 보여주고 있다. 검토 케이스는 외부 온열환경 해석에 있어, 본 연구에서 제시한 대류·복사 연성시뮬레이션 결과와 종래의 대류계산 결과와의 차이점에 대해 주로 검토한다.

3.1 해석개요

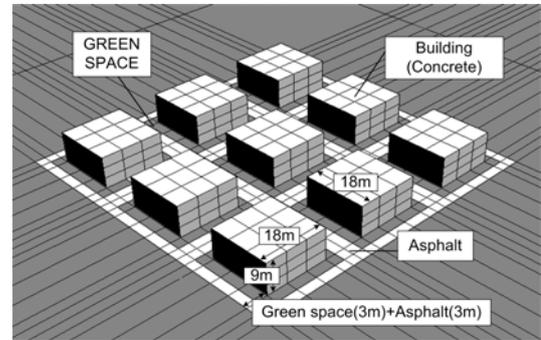


Fig. 4 Simulation Domain (Mesh Generation for Radiation Calculation)

해석 대상 공간은 Fig. 4과 같이 비교적 간단한 옥외공간을 설정하였다. 해석 대상 공간은 18m×18m×9m의 콘크리트 건물 9개동과 건물을 둘러싸고 3m의 폭으로 녹지, 그리고 그 바깥쪽의 3m 아스팔트도로로 구성되어 있다. Table 2에 각 시뮬레이션의 경계조건을 정리하였다. Case1은 대류해석만을 실시한 경우이고, Case2는 대류복사 연성시뮬레이션을 실시한 경우이다.

시뮬레이션을 위한 경계조건은 실측결과를 활용하였다. 실측 내용(측정은 서울시 구로구에 위치한 실지에서 적외선 열화상 카메라를 활용하여 2007년 8월에 실시)은 Table 3과 같다.

Case 2의 경계조건 값은 기존 문헌⁽⁹⁾을 참고하여 입력하였으며, 또한 일사량은 Case1의 실측치와 동일하다. 해석영역으로의 유입풍⁽¹⁰⁾은 도시지역의 풍속프로파일을 적용하였으며, 기준풍속은 10m 높이에서 3m/s로 설정하였다.

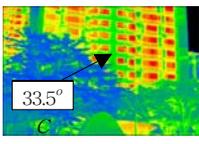
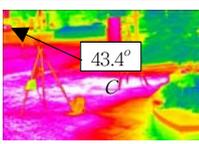
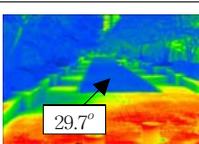
CFD계산은 정상상태, 비압축성 유동으로 가정하였다. 압력보정을 위한 알고리즘은 SIMPLE

을 사용하였으며, 난류모델은 standard k-ε 모델을 사용하였다.

Table 2 Boundary condition of cases

	Case 1	Case 2	
	only CFD	CFD coupled with radiation calculation	
	surface temp. [°C]	albedo[-]	solar radiation [W/m ²]
Building (concrete)	33.5	0.25	750
Street (asphalt)	43.4	0.10	
Green space	29.7	0.35	

Table 3 Measured temperature

	Picture	Thermal view
Building		
Street		
Green space		

3.2. 해석결과

Fig. 5의 (a)는 대류계산을 위한 지표면 및 건물 벽표면의 경계조건이며, (b)는 대류·연성시뮬레이션을 위한 경계조건으로 복사계산을 통해 산출된 지표면, 건물 벽표면 온도분포이다.

복사계산을 실행한 Case 2에서는 각 격자의 면요소에서 알베도/형태계수/흡수계수 등의 설정치에 따라 장/단파복사량 등이 계산되어 일사의 의한 영향이 표면온도에 반영된 것이다. 이와 같이 종래의 CFD를 통한 온도장 해석을 위한 경계조건 설정방법(Fig. 5의 (a))와 대류·복사 연성시뮬레이션을 위한 CFD 경계조건(Fig. 5의 (b))

에서 차이가 발생함을 알 수 있다. 즉 일사의 영향이 지배적인 외부환경에서의 온도장을 정확히 해석하기 위해서는 반드시 복사계산을 통한 지표면 온도분포를 산출하여 그것을 경계조건으로 하는 CFD해석이 이루어져야만 실제 외부 온도장을 정확히 모사할 수 있을 것으로 판단된다.

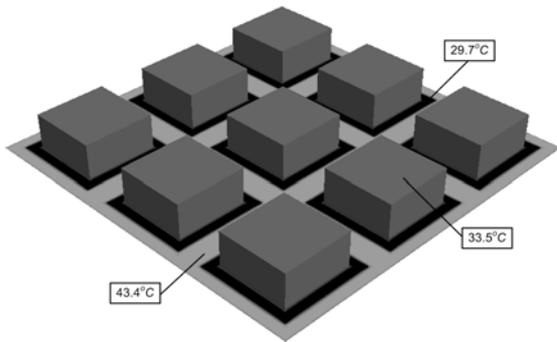
Fig. 5의 (c)와 (d)는 각각 대류계산, 대류·복사 연성 계산을 통해 지상 1.5m 높이에서의 기온 분포를 계산한 결과이다. 경계조건(표면온도)의 차이와 더불어 Case1의 경우 음영에 의한 온도차이가 반영되지 않으며, 단순히 유입풍에 따른 온도분포가 나타나고 있다. 하지만, 대류, 복사연성 해석 결과의 경우 건물에 의해 생기는 음영과, 유입풍에 따른 온도분포가 모두 반영된 결과라고 할 수 있다. 이러한 해석결과의 차이는 외부온열 환경 평가에 대류·복사 연성시뮬레이션의 중요성을 잘 나타내는 결과이다.

3.2. 해석결과

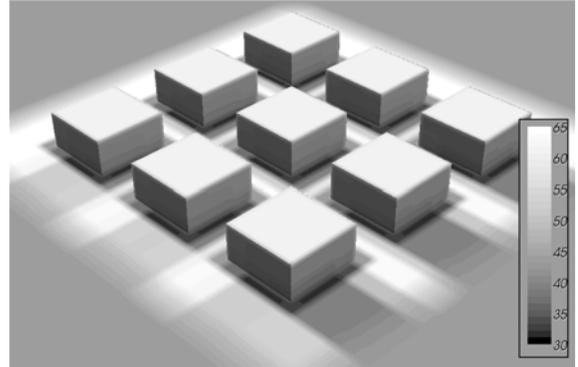
Fig. 5의 (a)는 대류계산을 위한 지표면 및 건물 벽표면의 경계조건이며, (b)는 대류·연성시뮬레이션을 위한 경계조건으로 복사계산을 통해 산출된 지표면, 건물 벽표면 온도분포이다.

복사계산을 실행한 Case 2에서는 각 격자의 면요소에서 알베도/형태계수/흡수계수 등의 설정치에 따라 장/단파복사량 등이 계산되어 일사의 의한 영향이 표면온도에 반영된 것이다. 이와 같이 종래의 CFD를 통한 온도장 해석을 위한 경계조건 설정방법(Fig. 5의 (a))와 대류·복사 연성시뮬레이션을 위한 CFD 경계조건(Fig. 5의 (b))에서 차이가 발생함을 알 수 있다. 즉 일사의 영향이 지배적인 외부환경에서의 온도장을 정확히 해석하기 위해서는 반드시 복사계산을 통한 지표면 온도분포를 산출하여 그것을 경계조건으로 하는 CFD해석이 이루어져야만 실제 외부 온도장을 정확히 모사할 수 있을 것으로 판단된다.

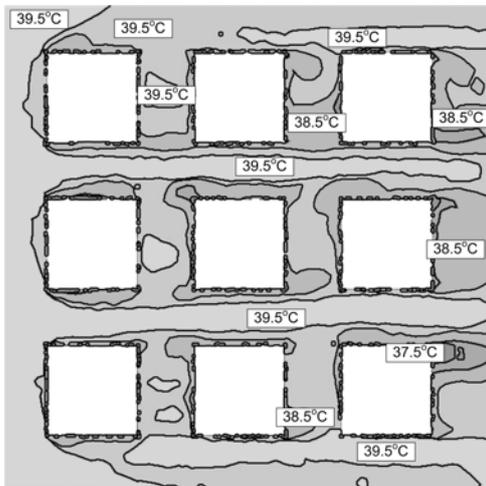
Fig. 5의 (c)와 (d)는 각각 대류계산, 대류·복사 연성 계산을 통해 지상 1.5m 높이에서의 기온 분포를 계산한 결과이다. 경계조건(표면온도)의 차이와 더불어 Case1의 경우 음영에 의한 온도차이가 반영되지 않으며, 단순히 유입풍에 따른 온도분포가 나타나고 있다. 하지만, 대류, 복사연성 해석 결과의 경우 건물에 의해 생기는 음영과,



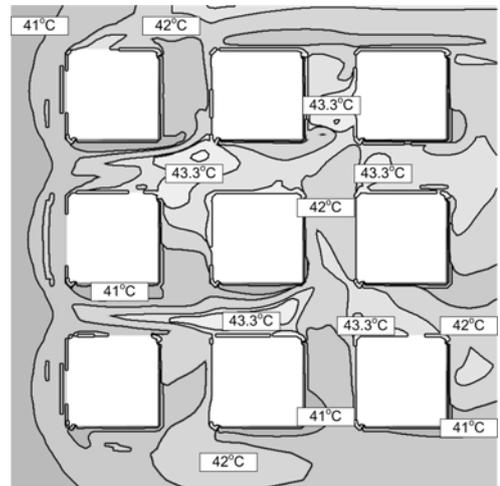
(a) case 1-Surface Temperature



(b) case 2 - Surface Temperature



(c) case 1 -Temperature(1.5m height)



(d) case 2 -Temperature(1.5m height)

Fig. 5 Simulation Result

유입풍에 따른 온도분포가 모두 반영된 결과라고 할 수 있다. 이러한 해석결과의 차이는 외부온열환경 평가에 대류·복사 연성시물레이션의 중요성을 잘 나타내는 결과이다.

4. 결론

옥외공간은 실내와는 달리 복사환경이 온열환경에 미치는 영향이 크기 때문에, 대류해석이 추가되는 종래의 CFD 계산을 옥외공간에 적용할 경우 온열환경에 대한 정밀한 예측/평가에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 태양복사의 영향이 강한 옥외공간에서의 복사환경이 예측 가능한 틀을 작성하여, 이를 기존의 CFD를 기초로 한 대류시물레이션과 연성한 옥외온열환경 평가수법을 개발하였다.

본 논문에서는 대류·복사 연성시물레이션에

개요를 설명하고, Case Study를 통해 종래의 대류계산을 통한 온도장 해석과 본 논문에서 제시하고 있는 대류·복사 연성시물레이션을 통해 해석된 온도장 결과를 통해 시물레이션을 통해 외부 온열환경을 실제와 근접하게 예측하기 위해서는 복사계산이 매우 중요함을 확인할 수 있었다.

추후에는 본 연구를 통해 개발된 대류·복사 연성시물레이션 틀을 실측치와의 비교검증을 통해 시물레이션의 정밀도를 향상시키고자 한다.

후 기

본 연구는 성균관대학교를 통한 교육과학기술부/한국과학재단 세계적 연구중심대학 연구과제(R33-10027) 지원으로 수행되었다.

참고문헌

1. 최동호 외, 2006, 하절기 단일 수목의 열 환경 관측을 통한 서열완화 효과 해석, 한국태양에너지학회 논문집, 26권 4호.
2. 최동호 외, 2007, 하절기 복사환경 관측을 통한 수목과 일사차폐 막 구조물의 자연냉각효과, 한국태양에너지학회 논문집, 27권 4호.
3. 홍원화 외, 2007, 토지이용상태에 따른 도시기온 특성과 열 환경 시뮬레이션, 대한건축학회 논문집, 23권 9호.
4. Kazuya et al, 2004, Measurement of thermal environment in Kyoto city and its prediction by CFD simulation, Energy and Buildings, Vol. 36, No. 8, pp. 771-779.
5. Mochida et al, Optimization of Tree Canopy Model for CFD Prediction of Wind Environment at Pedestrian Level, Journal of Wind Engineering, Vol. 108, pp. 561-564.
6. Hong et al, Study on optimum design method for pleasant outdoor thermal environment using genetic algorithms (GA) and coupled simulation of convection, radiation and conduction, Building and environment, Vol. 43, No. 1, pp. 18-30.
7. Rayner, J, 2000, Dynamic climatology : basis in mathematics and physics. Wiley-Blackwell.
8. Yogesh Jaluria, 2002, Computational Heat Transfer (Series in Computational and Physical Processes in Mechanics and Thermal Sciences), 2nd Ed, Taylor & Francis, p. 364.
9. 김수봉 외, 2006, 친환경적 도시계획 : 도시열섬연구, 문운당
10. 風工學研究所編著, 2006, ビル風の基礎知識, 鹿島出版會