

# 전도 시계열 계수를 수치해석으로 구하는 방법

변기홍<sup>†</sup>

동국대학교 공과대학 기계로봇에너지공학과

## A Procedure for Computing Conduction Time Series Factors by Numerical Method

Byun Ki-Hong<sup>†</sup>

Department of Mechanical Robotics and Energy Engineering, Dongguk Univ-Seoul, 04620

<sup>†</sup>Corresponding author: khbyun@dongguk.edu

### Abstract

The purpose of this paper is to propose the way of computing conduction time series factors (CTSF) using numerical method. After the accuracy of the numerical solution procedure being verified, the method is applied to the wall type 24 and roof type 14 of ASHARE to find the conduction time series coefficients, so called conduction time series factors. The results agree well with the values presented in the ASHRAE handbook. The method proposed can be easily applied to find unknown CTSF for more complex structures. It provides information about the temperature changes at a given location and time, thus validity of generated CTSF can be checked easily.

**Keywords:** 전도시계열 계수(Conduction Time Series Factors), 복사시계열(Radiant Time Series), 냉방부하(Cooling load), 수치해석(Numerical analysis)

 OPEN ACCESS


Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol.37, No.5, pp.77-84, October 2017  
<https://doi.org/10.7836/kjes.2017.37.5.077>

pISSN: 1598-6411

eISSN: 2508-3562

Received: 24 August 2017

Revised: 30 October 2017

Accepted: 30 October 2017

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 기호설명

- $c_i$  : 전도시계열 계수
- $F_o$  : Fourier number, 식(7)
- $h$  : 대류열전달계수 [ $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ ]
- $k$  : 열전도계수 [ $W/m\text{ }^\circ\text{C}$ ]
- $L$  : 벽 또는 지붕의 전체두께 [ $m$ ]
- $q''$  : 단위면적당 냉방부하 (열유속) [ $W/m^2$ ]
- $R$  : 열저항 [ $m^2\text{ }^\circ\text{C} / W$ ]
- $S$  : 외기 접촉면 열유속 [ $W/m^2$ ], 식(3)
- $T$  : 건구온도 ( $^\circ\text{C}$ )
- $t$  : 시간

U : 전체열전달계수 [ $W/m^2\text{°C}$ ]

x : 실내공기 접촉면으로 부터의 거리 [m]

## 그리스 문자

$\alpha$  : 열확산계수 [ $m^2/s$ ]

## 1. 서론

냉방부하를 구하기 위해 제안된 방법 중 하나는 복사시계열 방법(Radiant Time Series Method (RTS))이다<sup>1)</sup>. 복사시계열 방법(RTS)을 적용하려면, 벽체나 천장 또는 바닥에 대한 전도시계열(Conduction Time Series (CTS)) 데이터가 필요하다. 이 수열의 계수 값들을 전도시계열 계수(Conduction Time Series Factor (CTSF))라 부르기로 한다. Fisher 와 Spitler 등은 RTS 방법을 제안했으며, 라플라스 변환을 사용해서 CTSF 값을 구했다<sup>1,2)</sup>. Wang과 Chen은 CTSF를 구하는 데 사용된 다양한 방법들에 대해 문헌조사를 했으며,<sup>3)</sup> Z-transform,<sup>4)</sup> State Space method,<sup>5)</sup> Time Domain method<sup>6)</sup> 등이 사용된다고 발표했다. 또한 새로운 방법인 Frequency Domain Regression (FDR) 방법을 제안했으며, 이를 사용해서 복합체의 CTSF를 구했다. Spitler 와 Nigusse 는 Finite Volume Method를 사용해서 CTSF 를 구했다고 요약 보고했으나, 세세한 과정 및 결과를 발표하지 않았다<sup>7)</sup>. 결과가 State Space method 와 잘 일치한다고 보고했으므로<sup>7)</sup>, ASHRAE에서 발표한 결과들과 잘 일치하리라 추정된다. 그러나 요약 서술만을 비교해도, 이 논문에서 제안하려는 CTSF 계산 과정과 차이가 있다.

본 연구에서는 벽체 및 천장재에 대한 CTSF 값을 수치해석으로 구하는 방법을 제안하려 한다. 그리고 제안된 방법의 타당성, 정확성 그리고 확장성을 보이고자 한다. 제시된 방법의 정확성은 ASHRAE에서 발표한 결과들과 비교를 통해서 검증할 것이다.

## 2. 해석방법

2.1절에는 시스템 해석 모델로부터 유도된 방정식과 경계와 초기조건이 서술되어 있고, 2.2절에서는 이 방정식의 해를 구하는 수치해석 과정이, 2.3절에는 이 논문에서 사용된 CTSF를 구하는 과정이 서술되어 있다.

### 2.1 시스템 모델

벽체 또는 지붕을 해석하기 위한 시스템 및 좌표계는 Fig. 1과 같다. 두 경우 모두 무한 평판으로 가정했다. 좌표계의 원점은 항상 실내공기 접촉면이다. 일반적으로 L은 다수의 층으로 된 복합체이다. 각 위치 및 시간에서의 온도 분포를 구하기 위해, 에너지 보존식을 적용해서 얻어진 모델식은 식(1)과 같다<sup>8)</sup>.

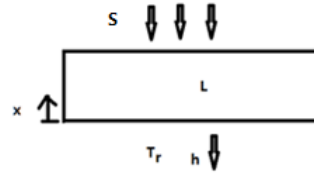


Fig. 1 Schematic diagram of a simple wall or roof with coordinate

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$T(x, 0) = T_i \quad (2)$$

$$-k \frac{\partial T(L, t)}{\partial x} = S \quad (3)$$

$$-k \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = h(T(0, t) - T_r) = q''_{room} \quad (4)$$

$$-k_1 \frac{\partial T_1}{\partial x_1} = -k_2 \frac{\partial T_2}{\partial x_2} \quad (5)$$

온도는  $T$ , 열확산계수(Thermal diffusivity)는  $\alpha$ , 열전도 계수와 대류열전달 계수는 각각  $k$ ,  $h$ 로 표시되어 있다. 식(2)는 초기 조건이고, 식(3)은 외기 접촉면에서의 경계조건이다. 외기 접촉면에 작용하는 열유속의 세기는  $S$ 이다. 식(4)는 실내공기 접촉면에서의 경계조건이며, 실내로 전달되는 단위면적당 냉방부하이다. 실내공기 접촉면 온도를 먼저 구한 다음, 이를 식(4)의 중간 항에 대입해서 냉방부하를 구한다. 복합 층인 경우, 고체와 고체 경계면에서의 열유속이 연속인 조건을 적용하면 식(5)와 같다.

## 2.2 수치해석 과정

벽체나 지붕은 일반적으로 복합체이고 경계조건이 복잡하므로, 수치해석 방법을 사용했다. 시스템 두께  $L$ 을 다수의 층으로 분할한 다음, 임플리시트 유한 차분법(Implicit Finite difference method)을 사용했다<sup>8,9)</sup>. 각 위치 및 시간에서의 온도 분포를 구하기 위해, 에너지 보존법칙을 내부노드와 경계노드에 적용했다. 내부노드에 적용한 결과는 식(6)과 같으며, 경계노드에 적용한 결과는 생략한다. 식(6)에서, 상첨자  $p$ 는 시간을, 하첨자  $n$ 은 노드 위치를 나타낸다. 노드  $n$ 을 기준으로  $n-1$ ,  $n+1$ 은 각각 이전 및 다음 위치 노드를 나타낸다. 식(6)에서  $F_0$ 는 각 노드에서의 푸리에(Fourier) 수이며, 정의는 식(7)과 같다.

$$-F_o[T_n^{p+1} + T_{n+1}^{p+1}] + (1 + 2F_o)T_n^{p+1} = T_n^p \tag{6}$$

$$Fo = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \tag{7}$$

고체와 고체가 접촉한 경계노드, 유체와 고체가 접촉한 경계노드 조건에서 사용된 대수방정식들에 대한 유도 과정은 생략한다. 식(8)은 내부 및 경계노드에서 구한 선형대수 연립방정식을 행렬로 표현한 것이다. 계수 행렬은  $\mathbf{A}$ 이고,  $\mathbf{T}$ 와  $\mathbf{b}$ 는 각각 온도와 상수 값들로 이루어진 열벡터이다.

$$\mathbf{A} \mathbf{T} = \mathbf{b} \tag{8}$$

임플리트 방법이므로, 다음 시점 ( $p+1$ )에서의 온도 벡터  $\mathbf{T}$ 는  $\mathbf{A}$ 의 역행렬  $\mathbf{A}^{-1}$ 을 사용해서 식(9)와 같이 표현할 수 있으며, 식(9)의 우변 항들은 현시점 ( $p$ )에서 결정되는 값들이다.

$$\mathbf{T} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{b} \tag{9}$$

따라서 초기치 ( $p=0$ )와 시간 간격 ( $\Delta t$ )이 주어지면, 식(9)의 우변 항들에 대한 값들이 계산되며 이는 곧 다음시점인 ( $p=1$ )에서의 온도가 된다. 식(9)의 좌변 값을 우변에 대입하는 과정을 마지막 시점까지 반복 적용해 가면, 각 시점에서의 온도가 시간과 위치의 함수로 구해진다. 이와 같이 구한 수치해석 해를 엄밀해와 비교했으며, 잘 일치하는 결과를 얻었다<sup>8)</sup>.

### 2.3 CTSF를 구하는 수치해석 과정

#### (1) CTS와 CTSF의 정의

벽체 및 지붕에 대한 CTS의 정의는 ASHRAE 핸드북에 의하면, 아래와 같다<sup>10)</sup>.

$$q_q = c_0 q_{i,q} + c_1 q_{i,q-1} + c_2 q_{i,q-2} + \dots + c_{23} q_{i,q-23} \tag{10}$$

여기서 24개의  $c_i$ 는 conduction time series factors (CTSf)이다. 해당표면에서,  $q_q$ 는 기준시점  $q$ 에서의 시간당 전체전도부하이며 총 24개 항의 합이다. 기준시점부터 1시간동안 입력부하는  $q_{i,q}$ 이고 기준시점으로부터  $n$ 시간 전부터 1시간 동안 입력부하는  $q_{i,q-n}$ 이다.

## (2) CTSF 계산 과정

CTSF는 식(10)에서  $c_i$ 이고, 백분율(%)값이며,  $i=0,23$ 이다. 2.2절에 서술된 방법으로 작성된 수치해석 코드를 검증한 다음, 식(10)에 제시된 CTS와 CTSF 정의로부터 다음과 같은 과정으로 CTSF를 구했다.

(Step 0) 단위시간 펄스란 용어를 다음과 같이 정의해서 사용 한다. 해당시간 구간에서는 균일한 입력부하  $S$  [ $W/m^2$ ]를 갖지만, 구간 밖에서는 입력부하가 0이다. 예를 들어 식(10) 좌변의 기준시점이 하첨자  $q$ 이면, 식(10) 우변의 첫 번째 항만  $q_{i,q} = 3600S$  이고 나머지 23개 항은 0이다. 만일 하첨자인  $q=0$ 이면 첫째날 0시부터 1시까지 매초당 입력부하는  $S$  (시간당 총량 3600S)이고 첫째날 1시 이후의 입력부하는 0이다.

(Step 1) 첫째날 0시부터 1시까지의 단위시간 펄스로 인해 실내로 전달된 시간당 냉방부하 24개를 계산한다.

첫째날 0시부터 1시까지, 1시간 동안 단위시간 펄스를 경계조건 (3)에 입력한다. 다음날 1시까지 수치 해석 계산을 수행한 후 실내공기 접촉면에서 실내로 전달되는 시간당 냉방부하를 식(4)에 의해 1시간마다 구한다. 시간당 냉방부하 값들을 편의상  $Gload(i)$ 로 표시하자. 시간당 냉방부하의 시작 시간은  $I$ 이며  $i=1,24$ 이다.  $Gload(i)$ 는 첫째날 0시부터 1시까지 가해진 단위시간펄스로 인해,  $i$ 시부터  $i+1$ 시까지 실내로 전달된 냉방부하이다. 따라서,  $Gload(24)$ 는 첫째날 0시부터 1시까지 가해진 단위시간펄스로 인해, 첫째날 24시(다음날 0시)부터 다음날 1시까지 실내로 전달된 냉방부하이다. 만일 주기가 24시간이면,  $Gload(24)=Gload(0)$ 이다.

(Step 2)매시간 순 냉방부하인  $\Delta G(i) = GLoad(0) - GLoad(i)$ 값을  $i=1,24$ 까지 계산한다.

$\Delta G(i)$ 는 시간  $[i, i+1]$ 사이에 가해진 단위시간펄스가 냉방부하에 미치는 순수한 영향이다. 우변 첫 번째항은 시간  $[i, i+1]$ 에 가해진 단위시간 펄스로 인해 실내로 시간  $[i, i+1]$ 동안 전달된 냉방부하이다 ( $S$ 가 일정한 경우, 이 값은  $GLoad(0)$  과 같다). 우변의 두 번째 항은 시간  $[0, 1]$  (=첫째날 0시부터 1시까지)에 가해진 단위시간 펄스로 인해 실내로 시간  $[i, i+1]$ 동안 전달된 냉방부하이다.

(Step 3) 주기가 24시간이면,  $\Delta G(0) = \Delta G(24)$ 이므로, 인덱스  $i$  값의 범위를  $i=0,23$ 으로 변경한다.

따라서  $i$ 는 1시간 간격의 시작시간을 나타내는 인덱스이다. 여기서,  $\Delta G(24) = GLoad(0) - GLoad(24)$

(Step 4)  $G = \sum_{i=0}^{23} \Delta G(i)$ 로 표시된 매시간 순 냉방부하의 1일동안 합을 구한다.

즉,  $G$ 는 첫째날 0시부터 1시까지 가해진 단위시간 펄스에 의해, 24시간 동안 실내로 전달된 총 냉방부하이다. 주기가 24시간 인 경우 이 값은 첫째날 0시부터 1시까지 가해진 단위시간 펄스의 총량인 3600S이다.

(Step 5)  $c_i = \frac{\Delta G(i)}{G} \times 100$  (%)를 계산해서 CTSF를 구한다.

한 시간 간격  $[i, i+1]$ 의 시작을 나타내는 시간 인덱스는  $i$  이다.  $c_i$ 는 첫째날 0시부터 1시까지의 단위시간 펄스로 인해 실내로  $[i, i+1]$ 시간 동안 전달된 순 냉방부하의, 첫째날 0시부터 1시까지의 단위시간 펄스의 총량인 3600S에 대한 백분율이다.  $S$ 가 일정하므로, 매시간 가해진 단위시간 펄스의 총량 또한 3600S이다.

## 2.4 CTSF 계산용 입력데이터

### (1) 단일 벽체 W24

Table 1은 ASHRAE에서 발표한 CTSF 값이 계산된 조건에 대한 요약표이며, 동일한 조건이 2.3절에 제시된 방법으로 CTSF를 계산할 때 사용되었다. ASHRAE 벽체번호 24 (Wall 24)는 0.2 m 경량 콘크리트 M08이며 단일 콘크리트로 이루어진 벽체들 중 하나이다<sup>10)</sup>. 고체 층의 총 두께는 0.2032 m이다. 전체 열전달 계수는  $U = 1.064 \text{ W/m}^2\text{°C}$  이고 열 저항은  $R = 0.94 \text{ m}^2\text{°C} / \text{W}$ 이다. 수직 벽체의 실내공기 접촉면에서의 자연대류 열전달 계수는  $h = 8.33 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , 외기 접촉면에서의 대류열전달 계수는  $h = 25 \text{ W/m}^2\text{°C}$ 가 사용되었다. ASHRAE에서 제시한 CTSF 값을 계산할 때 사용된 방의 온도는 28°C이며, 외기온도는 35°C이다.

**Table 1** Wall 24 materials<sup>10)</sup>

Category	Materials			Thermal conductivity (W/m°C)	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	U / R (W/m <sup>2</sup> °C) / (m <sup>2</sup> °C/W)
	code	name	thickness (m)			
Air (outside)	F01					25 / 0.04
Wall 24 0.2 m	M08	0.2 m Light weight concrete block(filled)	0.2032	0.26	6.368e-7	1.282/0.78
Air (room)	F02					8.33/0.12

### (2) 복합지붕 RF14

**Table 2** Roof 14 materials<sup>10)</sup>

Category	Materials			Thermal conductivity (W/m°C)	$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	U / R (W/m <sup>2</sup> °C) / (m <sup>2</sup> °C/W)
	code	name	thickness(m)			
Air (outside)	F01					25 / 0.04
Roof 14 0.2 m	F13	Outerlayer	0.0095	0.16	0.9785e-7	0.337/ 2.97
	G03	EPS board	0.0127	0.07	1.346e-7	
	I03	Glass wool	0.0762	0.03	5.766e-7	
	M11	0.1m concrete	0.1016	0.53	4.949e-7	
Air (room)	F03					6.25/0.16

ASHRAE에서 발표한 CTSF 값들은 표 2에 제시된 조건하에서 계산되었다<sup>10)</sup>. ASHRAE 복합 경량지붕 번호 14 (Roof 14) 의 고체 층은 총 4개로 이루어졌다. 복합체는 0.1 m 경량 콘크리트 M11, 0.0762 m 단열재 I03, 0.0127 m 외장재 (sheathing) G03, 그리고 0.0095 m 외층(outer layer) F13로 구성 된다<sup>10)</sup>. 고체 층의 총 두께는 0.2 m이다. 복합체의 전체 열전달 계수는  $U = 0.315 \text{ W/m}^2\text{°C}$  이고 열 저항은  $R = 3.17 \text{ m}^2\text{°C} / \text{W}$ 이다. 천장에

서의 자연대류 열전달 계수는  $h = 6.25 \text{ W/m}^2\text{°C}$  로 수직인 벽체에서 보다 작다. 외기 접촉면에서  $h = 25 \text{ W/m}^2\text{°C}$  이다. ASHRAE에서 제시한 CTSF 값을 계산할 때 사용된 방의 초기 조건은 28°C이며, 외기온도는 35°C이다.

### 3. 결과 및 고찰

복사시계열 방법으로 냉방부하를 구하기 위해 필요한 전도시계열 계수 (CTSF) 값을 수치해석으로 구하는 과정을 2.3절에 서술 했으며, 이를 적용해서 얻어진 결과가 Table 3에 제시되어 있다. S=1000의 조건에서, 1분 간격으로 25시간동안 계산해서 해를 구해나갔다. 노드수의 영향을 고체 층에 대한 분할수를 증가시켜가며 시험 했으며, 분할수의 영향을 받지 않는 값들이 표에 제시되었다. 예를 들어 RF14의 경우, 고체층에 13, 51, 99개 노드가 사용된 결과가 비교되었으며, 노드수가 증가해도 13개 노드를 사용해서 구한 CSTF값과 같았다. 노드수가 13이면 분할 수는 외층으로부터 1, 1, 4, 4개이다. 실내공기의 온도가 26°C와 35°C인 경우에도 CTSF 값은 28°C에서 구한 값과 같았다. 24시간 동안 1분 간격으로 수치 해석 해서 구한 결과들은 엄밀해와 잘 일치했다<sup>9)</sup>.

**Table 3** Comparison of the conduction time series factors (CTSF) for Wall 24 and Roof 14<sup>10)</sup>

hour	W24		R14		hour	W24		R14		hour	W24		R14	
	[10]	Current	[10]	Current		[10]	Current	[10]	Current		[10]	Current	[10]	Current
0	1	0	1	0	8	3	3	6	6	16	0	0	2	2
1	11	10	2	2	9	2	2	5	5	17	0	0	2	2
2	21	23	8	8	10	2	1	5	5	18	0	0	1	1
3	20	21	11	11	11	1	1	4	4	19	0	0	1	1
4	15	16	11	11	12	1	0	3	3	20	0	0	1	1
5	10	11	10	10	13	1	0	3	3	21	0	0	1	1
6	7	7	9	9	14	0	0	3	2	22	0	0	1	1
7	5	5	7	7	15	0	0	2	2	23	0	0	1	1

24시간을 주기로 계산한 결과가 Table 3에 제시되어 ASHRAE에서 발표한 값들과 비교되어 있다<sup>10)</sup>. 제시된 CTSF 값들의 ASHRAE 에서 발표한 값에 대한 최대 오차는 (Wall 24) 의 경우 2%이며, (Roof 14)인 경우 1% 이다. 최대오차는 1일 주기가 시작하고 끝나는 시점 근방에서 발생하고 있다. CTSF 값에서 ±1%의 오차는, 반 올림 오차와도 관련 있다. 이 논문에서 사용된 방법으로 계산한 (Roof 14)에 대한 CTSF 결과를 보면, CTSF 의 총합이 98%이고 최대오차가 0 hr와 14 hr에서만 일어나므로, 각각 1%를 더해 주면 (올림) 총합이 100%가 되며, ASHRAE에서 발표한 값과 완전하게 일치 하게 된다. ASHRAE에서 제시된 값들은 유효숫자 1자리를 사용하고 있다. 이 논문에서 제안된 방법을 사용하면 CTSF 값들을 2자리 이상의 유효숫자로 제시할 수 있다.

## 4. 결론

전도시계열 계수 CTSF 값을 수치해석 방법으로 구하는 과정을 제안했다. 이 값들은 표준 복사 시계열 방법을 사용해서 냉방부하를 구할 때 필요하다. 이 논문에서 제안된 과정을 사용해서 예제에 대한 CTSF 값을 구한 다음 결과를 ASHRAE에서 발표한 결과와 비교해서 검증했다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 제안된 방법으로, 단일 체는 물론 복합체로 구성된 벽체나 천장에 대한 CTSF 값을 구할 수 있다.
- (2) 제안된 방법으로 구한, 예제에 대한 CTSF 값들은, ASHRAE 핸드북에 발표된 값들과 잘 일치 했다.
- (3) 제안된 방법으로, 새로운 벽체나 천장에 대한 CTSF 값도 손쉽게 구할 수 있다.
- (4) 제안된 방법의 경우, CTSF 값들의 물리적 타당성을 쉽게 검증할 수 있다. 왜냐하면, 벽체나 천장의 시간 및 위치에 따른 온도 변화와 냉방부하를 먼저 계산했기 때문이다. 주기가 24시간인 CTSF 정의로부터 방법이 제안되었으므로, 벽체나 천장의 주기가 24시간이내여야 구해진 값들이 물리적으로 타당하다.
- (5) 벽체나 천장의 주기가 24시간보다 큰 경우에 대한 후속 연구가 필요하다. 기존의 CTSF 정의를 수정하거나, 이를 유지하기 위해 필요한 조건을 구해야 한다. 두 경우 모두 제안된 방법에 대한 수정이 예상된다.

## 후기

이 논문은 2017년도 동국대학교 연구년 지원에 의하여 이루어졌습니다. 이 연구와 관련된 참고문헌 조회에 대한 이메일 회신에 대해, Fisher 교수님과 Spitler 교수님께 감사드립니다.

## REFERENCES

1. Spitler, J. D. and Fisher, D. E., Development of Periodic Response Factors for Use with the Radiant Time Series Method, ASHRAE Transactions, Vol. 105, Part 2, SE-99-1-1, 1999.
2. Spitler, J. D. and Fisher, D. E., On the Relationship between the Radiant Time Series and Transfer Function Methods for Design Cooling Load Calculations, International Journal of Heating, Ventilating, Air-Conditioning and Refrigerating Research, Vol. 5, pp. 125-138, 1999.
3. Wang, S. and Chen, Y., A Simple Procedure for Calculating Thermal Response Factors and Conduction Transfer Functions of Multilayer Walls, Applied Thermal Engineering, Vol. 1, No. 22, pp. 333-338, 2002.
4. Mitalas, G. P. and Stephenson, D. G., Cooling Load Calculation by Thermal Response Factor, ASHRAE Transactions, Vol. 73, Part 2, III 2.1-2.10, 1967.
5. Ouyang, K. and Haghghat, F., A Procedure for Calculating Thermal Response Factors of Multilayer Walls-state-space Method, Building Environment, Vol. 26, No. 2, pp. 173-177, 1991.
6. Davies, M. G., Wall Transient Heat Flow using Time Domain Analysis, Building Environment, Vol. 32, No. 5, pp. 427-446, 1997.
7. Spitler, J. D. and Nigusse, B. A., Refinements and Improvements to the Radiant Time Series Method, ASHRAE Transactions, Vol. 116, Part 1, pp. 542-599, OR-10-057, 2010.
8. Byun, K. H., The Analysis of Green Roof during the Summer by Numerical Method, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 36, No. 5, pp. 51-61, 2016.
9. Incropera, F. P., Bergman, T. L., and Lavine, A. S., Foundations of Heat Transfer, John Wiley & Sons, Inc., 2013.
10. ASHRAE Fundamentals Handbook, ASHRAE, 2005 and 2013.