



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년02월24일  
(11) 등록번호 10-2771768  
(24) 등록일자 2025년02월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01N 25/18 (2006.01) G01J 5/00 (2022.01)  
G01J 5/48 (2006.01) G06F 30/20 (2020.01)  
(52) CPC특허분류  
G01N 25/18 (2013.01)  
G01J 5/0003 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2024-0085602  
(22) 출원일자 2024년06월28일  
심사청구일자 2024년06월28일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020240028629 A  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
인하대학교 산학협력단  
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)  
주식회사 이지솔루션즈  
서울특별시 강서구 공항대로 220, 501호(마곡동, 우성에스비타워2)  
(72) 발명자  
김의중  
인천광역시 연수구 송도문화로28번길 28(송도동, 송도글로벌캠퍼스푸르지오) 105동 2303호  
김선인  
인천광역시 연수구 랜드마크로 19(송도동, 송도 SK VIEW) 110동 3502호  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인태동

전체 청구항 수 : 총 9 항

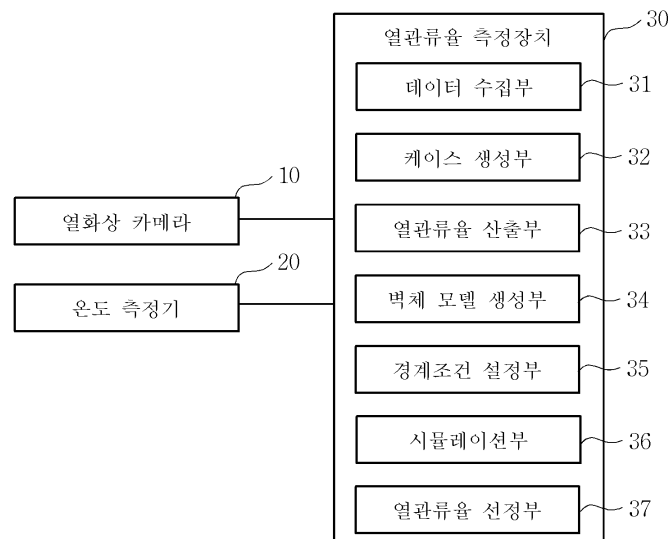
심사관 : 한별

(54) 발명의 명칭 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 시스템 및 측정 방법

(57) 요약

본 발명의 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 시스템이 개시된다. 개시된 측정 시스템은, 대상 벽체에 대한 열화상 영상을 촬영하는 열화상 카메라; 상기 열화상 카메라에 의해 획득된 열화상 영상을 기반으로 대상 벽체의 열관류율을 측정하는 열관류율 측정장치;를 포함하며, 상기 열관류율 측정 (뒷면에 계속)

대표도 - 도1



장치는, 상기 열화상 영상을 통한 대상 벽체의 표면온도, 벽체 표면 방사율, 벽체 반사 겉보기 온도와 실내 온도, 실외 온도를 포함하는 실측 데이터를 수집하는 데이터 수집부; 실측 데이터를 기반으로 최적의 벽체 열관류율 선정에 위한 복수의 후보 케이스를 생성하는 케이스 생성부; 상기 복수의 후보 케이스 각각에 대한 케이스별 열관류율을 산출하는 열관류율 산출부; 설계도면을 바탕으로 벽체 모델을 모델링하고, 모델링된 벽체 모델이 상기 케이스별 열관류율에 일치하도록 상기 복수의 후보 케이스에 대응되는 복수의 벽체 모델을 생성하는 벽체 모델 생성부; 상기 복수의 벽체 모델을 전열해석 시뮬레이션하여 상기 복수의 벽체 모델 각각에 대한 표면온도 또는 열류량을 도출하는 시뮬레이션부; 상기 복수의 후보 케이스와 복수의 벽체 모델에 대해 각각의 표면 온도 또는 열류량을 비교하여 상기 복수의 후보 케이스 중 상대 오차가 가장 적은 후보 케이스를 최적 후보 케이스를 선별하고, 선별된 최적 후보 케이스의 열관류율을 측정 열관류율을 선정하는 열관류율 선정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

*G01J 5/48* (2022.01)

*G06F 30/20* (2020.01)

*G01J 2005/0074* (2013.01)

(72) 발명자

**김창민**

서울특별시 노원구 동일로228길 23, 1403동 613호

**장향인**

인천광역시 계양구 형제봉길 100 계양센트레빌1단지 111동 1201호

(56) 선행기술조사문헌

KR1020230093780 A

KR1020120100490 A

JP2020008534 A

KR1020200040479 A

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

대상 벽체에 대한 열화상 영상을 촬영하는 열화상 카메라;

상기 열화상 카메라에 의해 획득된 열화상 영상을 기반으로 대상 벽체의 열관류율을 측정하는 열관류율 측정장치;를 포함하며,

상기 열관류율 측정장치는

상기 열화상 영상을 통한 대상 벽체의 표면온도, 벽체 표면 방사율, 벽체 반사 겉보기 온도와 실내 온도, 실외 온도를 포함하는 실측 데이터를 수집하는 데이터 수집부;

실측 데이터를 기반으로 최적의 벽체 열관류율 선정을 위한 복수의 후보 케이스를 생성하는 케이스 생성부;

상기 복수의 후보 케이스 각각에 대한 케이스별 열관류율을 산출하는 열관류율 산출부;

설계도면을 바탕으로 벽체 모델을 모델링하고, 모델링된 벽체 모델이 상기 케이스별 열관류율에 일치하도록 상기 복수의 후보 케이스에 대응되는 복수의 벽체 모델을 생성하는 벽체 모델 생성부;

상기 복수의 벽체 모델을 전열해석 시뮬레이션하여 상기 복수의 벽체 모델 각각에 대한 표면온도 또는 열류량을 도출하는 시뮬레이션부;

상기 복수의 후보 케이스와 복수의 벽체 모델에 대해 각각의 표면 온도 또는 열류량을 비교하여 상기 복수의 후보 케이스 중 상대 오차가 가장 적은 후보 케이스를 최적 후보 케이스를 선별하고, 선별된 최적 후보 케이스의 열관류율을 측정 열관류율을 선정하는 열관류율 선정부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 시스템.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 열관류율 산출부는, 상기 후보 케이스 각각에 대해 수식(1)에 의해 케이스별 열관류율 산출하도록 구성되며,

$$U = \frac{\epsilon \sigma (T_{ref,i}^4 - T_{s,i}^4) + h_{c,i} (T_i - T_{s,i})}{(T_i - T_o)} \quad \dots \text{수식(1)}$$

$T_i$  는 실내온도,  $T_o$  는 실외온도,  $T_{ref,i}$  는 반사 겉보기 온도,  $T_{s,i}$  는 열화상 카메라로 측정한 벽체 실내 표면온도,  $\epsilon$  는 대상 벽체 표면의 방사율,  $\sigma$  는 슈테판-볼츠만 상수( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )인 것을 특징으로 하는 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 시스템.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 벽체 모델 생성부는, 벽체 모델 생성시 케이스 열관류율에 일치하도록 모델링된 벽체 모델의 벽체 구성 자재 중 단열재의 열전도율을 변경하여 케이스별 열관류율과 일치하는 벽체모델을 생성하는 것을 특징으로 하는 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 시스템.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 열관류율 선정부는, 상기 후보 케이스와 벽체 모델의 표면 온도 또는 열류량의 상대 오차를 수식(2)에 의해 산출하도록 구성되며,

$$\frac{X_o - X}{X} \times 100 [\%]$$

.....수식(2)

여기서, X는 시뮬레이션 결과로 획득한 표면 온도 또는 열류량,  $X_o$ 는 열화상법으로 측정된 표면온도 또는 열류량 인 것을 특징으로 하는 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 시스템.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 후보 케이스는 상기 열화상 카메라를 이용해 측정된 실측 데이터를 갖는 실측 케이스와, 이 실측 케이스의 벽체 표면 방사율, 반사 겉보기 온도, 실내온도, 실외온도 중 적어도 하나 이상을 소정 상하 범위 간격을 두고 달리하여 구성되는 복수의 범위 변환 케이스를 포함하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 시스템.

#### 청구항 6

- a) 열화상 카메라로 대상 벽체의 열화상 영상을 촬영하고, 이 열화상 영상을 기반으로 대상 벽체의 표면온도, 벽체 표면 방사율, 벽체 반사 겉보기 온도를 포함하는 실측 데이터를 수집하는 단계;
- b) 상기 실측 데이터를 포함하는 실측 케이스와, 상기 실측 데이터를 바탕으로 실측 데이터의 벽체 표면 방사율, 반사 겉보기 온도, 실내온도, 실외온도 중 적어도 하나 이상을 상하 소정 범위씩 달리하여 구성한 복수의 범위 변환 케이스를 포함하여 최적의 벽체 열관류율 선정을 위한 복수의 후보 케이스를 생성하는 단계;
- c) 상기 복수의 후보 케이스에 대한 각각의 케이스별 열관류율을 산출하는 단계;
- d) 설계도면을 바탕으로 벽체 모델을 모델링하고, 모델링된 벽체 모델이 상기 케이스별 열관류율에 일치하도록 상기 복수의 후보 케이스에 대응되는 복수의 벽체 모델을 생성하는 단계;
- e) 상기 복수의 벽체 모델을 전열해석 시뮬레이션하여 상기 복수의 벽체 모델 각각에 대한 표면온도 또는 열류량을 도출하는 단계;
- f) 상기 복수의 후보 케이스와 복수의 벽체 모델에 대해 각각의 표면 온도 또는 열류량을 비교하여 상기 복수의 후보 케이스 중 상대 오차가 가장 적은 후보 케이스를 최적 후보 케이스를 선별하고, 선별된 최적 후보 케이스의 열관류율을 측정 열관류율을 선정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법.

#### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 c) 단계는, 상기 후보 케이스 각각에 대해 수식(1)에 의해 케이스별 열관류율 산출하도록 구성되며,

$$U = \frac{\varepsilon \sigma (T_{ref,i}^4 - T_{s,i}^4) + h_{c,i} (T_i - T_{s,i})}{(T_i - T_o)} \quad \dots \text{수식(1)}$$

$T_i$  는 실내온도,  $T_o$ 는 실외온도,  $T_{ref,i}$ 는 반사 겉보기 온도,  $T_{s,i}$ 는 열화상 카메라로 측정한 벽체 실내 표면온도,  $\varepsilon$  는 대상 벽체 표면의 방사율,  $\sigma$ 는 슈테판-볼츠만 상수( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )인 것을 특징으로 하는 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법.

## 청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 d) 단계에서, 벽체 모델 생성시 케이스 열관류율에 일치하도록 모델링된 벽체 모델의 벽체 구성 자재 중 단열재의 열전도율을 변경하여 케이스별 열관류율과 일치하는 벽체모델을 생성하는 것을 특징으로 하는 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법.

## 청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 f) 단계에서, 상기 후보 케이스와 벽체 모델에 대한 표면온도를 비교하기 위한 상대 오차는 수식(2)에 의해 산출하도록 구성되며,

$$\frac{X_o - X}{X} \times 100 [\%] \quad \dots \dots \text{수식(2)}$$

여기서,  $X$ 는 시뮬레이션 결과로 획득한 표면 온도 또는 열류량,  $X_o$ 는 열화상법으로 측정한 표면온도 또는 열류량인 것을 특징으로 하는 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 시스템 및 측정 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 산업 발전에 따른 급격한 도시화의 촉진으로 대도시를 중심으로 아파트와 같은 대단위 집단 주거 단지가 건설되고, 전체적인 생활 수준의 향상으로 쾌적한 생활 환경에 대한 욕구가 증대되고 있다.

[0003] 이러한 쾌적한 거주환경 추구하고 더불어 에너지의 효율성의 측면에서 건축물의 단열성능에 대한 평가의 중요성 역시 대두되고 있다. 특히, 건물의 노화가 진행될 수록 적절한 수준의 단열이 이루어지지 않아, 난방비가 과도하게 발생하는 문제가 있었다.

[0004] 열관류율은 건축물의 단열 성능을 평가하는 지표로서, 벽체를 중심으로 고온측에서 저온측으로 전해지는 열량을 의미하며, 낮을수록 벽체의 단열성능이 좋음을 나타낸다.

[0005] 열관류율의 계산은 ISO 6946에 따라 설계 도면상 벽체 구성 자재의 열전도율과 두께를 활용한다.

[0006] 그러나 기존 건물 대부분은 도면이 유실되어 기존 건물에 적용하기는 부적합한 방법이다. 또한, 도면이 존재하

여 열관류율을 계산하더라도 시공 품질, 경시변화 등이 반영되지 않은 이상적인 값이라 실제 벽체의 열관류율로 신뢰하기는 어렵다.

[0007] 이에, 현장 열관류율 측정 방법이 제안되고 있으며 대표적으로 열화상법이 있다. 이 열화상법은 적외선 열화상 카메라로 대상 벽체의 표면온도를 측정하여 열관류율을 계산하는 방법이다.

[0008] 아울러, 다양한 표준과 연구들에서 벽체의 표면온도로 열관류율을 계산하는 방법을 제안하였으나, 기존 문헌에 따르면 측정된 값의 불확실성으로 인하여 1.5%에서 40%까지의 넓은 편차 범위를 보이면서 측정 결과에 대한 신뢰성을 높게 평가하기 어려운 아쉬움이 있었다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 공개특허 10-2016-0067570호  
(특허문헌 0002) 공개특허 10-2020-0101727호  
(특허문헌 0003) 등록특허 10-1711242호  
(특허문헌 0004) 등록특허 10-2334361호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0010] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래의 문제점을 해결하고자 창안된 것으로서, 열화상법으로 벽체 열관류율을 현장 측정 시, 시뮬레이션과 연계를 통해 불확실성을 감소시켜 최적화된 정확도 높은 열관류율을 제시하고 열관류율 측정 결과에 대한 신뢰도를 확보할 수 있도록 한 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 시스템 및 측정 방법을 제공하는데 목적이 있다.

[0011] 다만, 본 발명의 목적은 이에만 제한되는 것은 아니며, 명시적으로 언급하지 않더라도 과제의 해결수단이나 실시 형태로부터 파악될 수 있는 목적이나 효과도 이에 포함됨은 물론이다.

### 과제의 해결 수단

[0012] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 시스템은, 대상 벽체에 대한 열화상 영상을 촬영하는 열화상 카메라; 상기 열화상 카메라에 의해 획득된 열화상 영상을 기반으로 대상 벽체의 열관류율을 측정하는 열관류율 측정장치;를 포함하며, 상기 열관류율 측정장치는, 상기 열화상 영상을 통한 대상 벽체의 표면온도, 벽체 표면 방사율, 벽체 반사 겉보기 온도와 실내 온도, 실외 온도를 포함하는 실측 데이터를 수집하는 데이터 수집부; 실측 데이터를 기반으로 최적의 벽체 열관류율 선정을 위한 복수의 후보 케이스를 생성하는 케이스 생성부; 상기 복수의 후보 케이스 각각에 대한 케이스별 열관류율을 산출하는 열관류율 산출부; 설계도면을 바탕으로 벽체 모델을 모델링하고, 모델링된 벽체 모델이 상기 케이스별 열관류율에 일치하도록 상기 복수의 후보 케이스에 대응되는 복수의 벽체 모델을 생성하는 벽체 모델 생성부; 상기 복수의 벽체 모델을 전열해석 시뮬레이션하여 상기 복수의 벽체 모델 각각에 대한 표면온도 또는 열류량을 도출하는 시뮬레이션부; 상기 복수의 후보 케이스와 복수의 벽체 모델에 대해 각각의 표면 온도 또는 열류량을 비교하여 상기 복수의 후보 케이스 중 상대 오차가 가장 적은 후보 케이스를 최적 후보 케이스를 선별하고, 선별된 최적 후보 케이스의 열관류율을 측정 열관류율을 선정하는 열관류율 선정부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 상기 열관류율 산출부는, 상기 후보 케이스 각각에 대해 수식(1)에 의해 케이스별 열관류율 산출하도록 구성되며,

$$U = \frac{\varepsilon \sigma (T_{ref,i}^4 - T_{s,i}^4) + h_{c,i} (T_i - T_{s,i})}{(T_i - T_o)} \quad \dots \text{수식(1)}$$

[0014]

[0015]

$T_i$  는 실내온도,  $T_o$ 는 실외온도,  $T_{ref,i}$ 는 반사 겉보기 온도,  $T_{s,i}$ 는 열화상 카메라로 측정된 벽체 실내 표면온도,  $\varepsilon$ 는 대상 벽체 표면의 방사율,  $\sigma$ 는 슈테판-볼츠만 상수( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )인 것으로 구성될 수 있다.

[0016]

상기 벽체 모델 생성부는, 벽체 모델 생성시 케이스 열관류율에 일치하도록 모델링된 벽체 모델의 벽체 구성 자재 중 단열재의 열전도율을 변경하여 케이스별 열관류율과 일치하는 벽체모델을 생성하도록 구성될 수 있다.

[0017]

상기 열관류율 선정부는, 상기 후보 케이스와 벽체 모델의 표면 온도 또는 열류량의 상대 오차를 수식(2)에 의해 산출하도록 구성되며,

$$\frac{X_o - X}{X} \times 100 [\%]$$

[0018]

.....수식(2)

[0019]

여기서,  $X$ 는 시뮬레이션 결과로 획득한 표면 온도 또는 열류량,  $X_o$ 는 열화상법으로 측정된 표면온도 또는 열류량인 것으로 구성될 수 있다.

[0020]

상기 복수의 후보 케이스는 상기 열화상 카메라를 이용해 측정된 실측 데이터를 갖는 실측 케이스와, 이 실측 케이스의 벽체 표면 방사율, 반사 겉보기 온도, 실내온도, 실외온도 중 적어도 하나 이상을 소정 상하 범위 간격을 두고 달리하여 구성되는 복수의 범위 변환 케이스를 포함하도록 구성될 수 있다.

[0021]

또한, 본 발명의 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법은, a) 열화상 카메라로 대상 벽체의 열화상 영상을 촬영하고, 이 열화상 영상을 기반으로 대상 벽체의 표면온도, 벽체 표면 방사율, 벽체 반사 겉보기 온도를 포함하는 실측 데이터를 수집하는 단계; b) 상기 실측 데이터를 포함하는 실측 케이스와, 상기 실측 데이터를 바탕으로 실측 케이스의 벽체 표면 방사율, 반사 겉보기 온도, 실내온도, 실외온도 중 적어도 하나 이상을 상하 소정 범위씩 달리하여 구성한 복수의 범위 변환 케이스를 포함하여 최적의 벽체 열관류율 선정을 위한 복수의 후보 케이스를 생성하는 단계; c) 상기 복수의 후보 케이스에 대한 각각의 케이스별 열관류율을 산출하는 단계; d) 설계도면을 바탕으로 벽체 모델을 모델링하고, 모델링된 벽체 모델이 상기 케이스별 열관류율에 일치하도록 상기 복수의 후보 케이스에 대응되는 복수의 벽체 모델을 생성하는 단계; e) 상기 복수의 벽체 모델을 전열해석 시뮬레이션하여 상기 복수의 벽체 모델 각각에 대한 표면온도 또는 열류량을 도출하는 단계; f) 상기 복수의 후보 케이스와 복수의 벽체 모델에 대해 각각의 표면 온도 또는 열류량을 비교하여 상기 복수의 후보 케이스 중 상대 오차가 가장 적은 후보 케이스를 최적 후보 케이스를 선별하고, 선별된 최적 후보 케이스의 열관류율을 측정 열관류율을 선정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0022]

상기 c) 단계는, 상기 후보 케이스 각각에 대해 수식(1)에 의해 케이스별 열관류율 산출하도록 구성되며,

$$U = \frac{\varepsilon \sigma (T_{ref,i}^4 - T_{s,i}^4) + h_{c,i} (T_i - T_{s,i})}{(T_i - T_o)} \quad \dots \text{수식(1)}$$

[0023]

[0024]

$T_i$  는 실내온도,  $T_o$ 는 실외온도,  $T_{ref,i}$ 는 반사 겉보기 온도,  $T_{s,i}$ 는 열화상 카메라로 측정된 벽체 실내 표면온도,  $\varepsilon$ 는 대상 벽체 표면의 방사율,  $\sigma$ 는 슈테판-볼츠만 상수( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )인 것으로 구성될 수 있다.

[0025]

상기 d) 단계에서, 벽체 모델 생성시 케이스 열관류율에 일치하도록 모델링된 벽체 모델의 벽체 구성 자재 중 단열재의 열전도율을 변경하여 케이스별 열관류율과 일치하는 벽체모델을 생성하도록 구성될 수 있다.

[0026]

상기 f) 단계에서, 상기 후보 케이스와 벽체 모델에 대한 표면온도를 비교하기 위한 상대 오차는 수식(2)에 의해 산출하도록 구성되며,

$$\frac{X_o - X}{X} \times 100 [\%]$$

[0027] .....수식(2)

[0028] 여기서, X는 시뮬레이션 결과로 획득한 표면 온도 또는 열류량, X<sub>0</sub>는 열화상법으로 측정된 표면온도 또는 열류량 인 것으로 구성될 수 있다.

### 발명의 효과

[0029] 상기한 바에 따르면, 본 발명은 열화상법 적용 과정에서 발생하는 불확실성을 최소화함으로써 재연성이 확보되어, 열화상법을 활용한 열관류율 측정 결과의 신뢰도를 확보할 수 있는 효과가 있다.

[0030] 또한, 본 발명은 열화상법으로 측정된 열관류율의 성능 검증이 가능하여 열화상법 기반의 새로운 열관류율 측정 방법이 제안될 경우, 본 발명을 통해 측정된 열관류율을 검증할 수 있는 효과가 있다.

[0031] 또한, 열화상 측정 시점에 따라 열관류율 측정 결과가 달라질 수 있으며, 기존 열화상법을 활용하여도 다수의 측정을 거쳐 가장 낮은 오차의 열관류율 값의 선정이 가능해짐으로써 실제 벽체의 열관류율에 가까운 열관류율의 제시가 가능해지는 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법을 나타낸 블록도이고,

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법을 나타낸 블록도이고,

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법에서 벽체 모델링 예시를 나타낸 도면이고,

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법에서 현장 측정과 시뮬레이션 간의 비교를 설명하기 위한 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명한다. 우선 각 도면의 구성요소들에 참조 부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

[0034] 또한, 본 발명의 구성 요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 어떤 구성 요소가 다른 구성요소에 "연결", "결합" 또는 "접속"된다고 기재된 경우, 그 구성 요소는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되거나 또는 접속될 수 있지만, 각 구성 요소 사이에 또 다른 구성 요소가 "연결", "결합" 또는 "접속"될 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[0035] 이하, 도면을 참조하여, 본 발명의 일 실시 예에 따른 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 장치 및 열관류율 측정 방법을 설명한다.

[0036] 본 발명에서는 현장에서 열화상법으로 측정된 열관류율의 불확실성을 감소시키기 위해 시뮬레이션을 활용한다.

[0037] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시 예에 따른 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 장치는, 열화상 카메라(10), 열관류율 측정장치(30)를 포함하도록 구성된다.

[0038] 열화상 카메라(10)는 현장에서 열관류율을 측정할 대상 벽체를 촬영하여 열화상 영상을 획득하도록 구성된다. 이때, 열화상 카메라(10)는 대상 벽체 뿐 아니라, 대상 벽체의 주변도 함께 촬영하도록 구성될 수 있다.

[0039] 열관류율 측정장치(30)는 서버 형태로 구성될 수 있으며, 열관류율 측정장치(30)의 각 구성들은, 소프트웨어 또

는 하드웨어, 소프트웨어와 하드웨어의 통합된 형태로 구성될 수 있다.

- [0040] 열관류율 측정장치(30)는 데이터 수집부(31), 케이스 생성부(32), 열관류율 산출부(32), 벽체 모델 생성부(34), 경제조건 설정부(35), 시뮬레이션부(36), 열관류율 선정부(37)를 포함하도록 구성된다.
- [0041] 데이터 수집부(31)는 열화상 카메라(10)를 통해 획득된 대상 벽체에 대한 열화상 영상을 기반으로 대상 벽체의 표면 온도를 측정하여 수집하도록 구성된다.
- [0042] 데이터 수집부(31)는 열화상 카메라(10)를 이용해 획득된 열화상 영상을 통해 대상 벽체 표면의 방사율 및 반사 계보기 온도를 측정하여 수집하도록 구성된다.
- [0043] 이때, 일예로, 열화상 카메라(10)를 이용한 벽체 표면의 방사율의 측정은 방사율을 미리 알고 있는 물체(보통 검은색 절연 테이프를 활용)를 대상벽체에 부착한 후 열화상 카메라(10)로 검은색 절연 테이프의 온도를 측정한 후 이를 활용하여 방사율을 측정할 수 있다.
- [0044] 또한, 일예로, 열화상 카메라(10)를 이용한 벽체의 반사 계보기 온도의 측정은 대상 벽체에 구긴 은박지를 부착하고, 대상 벽체에 부착된 은박지 영역을 열화상 카메라(10)로 촬영하여 획득된 열화상 영상을 통해 반사 계보기 온도를 측정할 수 있다.
- [0045] 또한, 데이터 수집부(31)는 현장의 대상 벽체를 기준으로 대상 벽체 안 쪽의 건물 실내 온도(이하 '실내 온도'라 함)와 대상 벽체 바깥 쪽의 건물 실외 온도(이하 '실외 온도'라 함)를 수집할 수 있다.
- [0046] 이때, 실내 온도와 실외 온도는 별도로 온도센서를 갖는 온도측정기(20)를 대상 벽체에 대해 안쪽 공간과 바깥 공간에 구성하여 온도측정기(20)로부터 측정되는 온도정보를 통해 실내온도와 실외온도를 수집할 수 있다. 온도 측정기(20)는 실내온도 측정센서와 실외온도 측정센서를 포함할 수 있다.
- [0047] 이처럼, 본 발명에서 데이터 수집부(30)는 열화상 카메라(10)를 이용해 대상 벽체의 표면 온도, 대상 벽체 표면의 방사율, 반사 계보기 온도를 수집하고, 별도의 온도측정기(20)를 통해 열화상 측정시점의 실내온도 및 실외 온도를 수집할 수 있다.
- [0048] 케이스 생성부(32)는 열화상 카메라(10)와 온도측정기(20)를 이용해 데이터 수집부(30)에서 수집한 대상 벽체에 대한 실측 데이터(대상 벽체의 표면 온도, 대상 벽체 표면의 방사율, 반사 계보기 온도, 실내 온도, 실외 온도)를 기반으로 최적의 벽체 열관류율 선정을 위한 복수의 후보 케이스를 생성하도록 구성된다.
- [0049] 케이스 생성부(32)는 열화상 카메라(10)를 이용해 측정된 실측 데이터를 갖는 실측 케이스와, 이 실측 케이스에 대해 대상 벽체 표면의 방사율과 반사 계보기 온도를 각각 소정 상하 범위 간격을 두고 달리하여 구성되는 복수의 범위 변환 케이스를 포함하는 복수의 후보 케이스를 생성하도록 구성된다.
- [0050] 즉, 복수의 후보 케이스는 1개의 실측 케이스와, 이 1개의 실측 케이스를 기준으로 대상 벽체 표면의 방사율과 반사 계보기 온도를 각각 소정 상하 범위 간격을 두고 달리하여 구성한 복수의 범위 변환 케이스를 포함하도록 구성된다.
- [0051] 일예로, 아래의 표 1과 같이, 반사 계보기 온도와 방사율에 대한 정중앙 값을 실측 케이스(케이스 13)로 하고, 실측 반사 계보기 온도 20℃를 기준으로 상하로 0.5℃도씩 상하 증감시킨 범위간격과, 실측 방사율 0.90을 기준으로 상하로 0.01씩 상하로 증감시킨 범위간격으로 복수의 범위 변환 케이스(케이스 1 ~ 케이스12, 케이스14 ~ 케이스 25)로 하여 실측 케이스와 범위 변환 케이스를 포함하여 후보 케이스를 생성하도록 구성된다.

**표 1**

[0052] 불확실성 내포 인자의 케이스 생성 예시

| 구분  |      | 반사 계보기 온도 (℃) |       |       |       |       |
|-----|------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|     |      | 19.0          | 19.5  | 20.0  | 20.5  | 21.0  |
| 방사율 | 0.92 | 케이스01         | 케이스02 | 케이스03 | 케이스04 | 케이스05 |
|     |      | 케이스06         | 케이스07 | 케이스08 | 케이스09 | 케이스10 |
|     | 0.91 |               |       |       |       |       |
|     | 0.90 | 케이스11         | 케이스12 | 케이스13 | 케이스14 | 케이스15 |
|     | 0.89 | 케이스16         | 케이스17 | 케이스18 | 케이스19 | 케이스20 |
|     | 0.88 | 케이스21         | 케이스22 | 케이스23 | 케이스24 | 케이스25 |

[0053] 현장에서의 열화상법에 의한 열관류율의 측정에서 불확실성을 내포하는 값에는 방사율과 반사 겉보기 온도가 있으며, 정확한 열관류율을 계산하기 위해서는 이러한 불확실성을 내포하는 값을 최적화하는 과정이 필요하고 이에, 측정한 방사율과 반사 겉보기 온도를 기준으로 일정 상하 범위 간격을 두고 복수의 후보 케이스를 생성하는 것이다.

[0054] 케이스 13 즉 실측 케이스는 대상 벽체의 표면 온도, 대상 벽체 표면의 방사율, 반사 겉보기 온도, 실내 온도, 실외 온도로 구성되고, 나머지 케이스 1 ~ 케이스12, 케이스14 ~ 케이스 25 즉 범위 변환 케이스들 각각은 실측 케이스에서 벽체 표면 방사율, 반사 겉보기 온도만 달리하고, 대상 벽체의 표면 온도, 실내 온도, 실외 온도는 모두 동일하도록 구성된다.

[0055] 표 1은 후보 케이스 생성에 대한 하나의 예시에 불과하며, 불확실성을 내포하는 인자의 수는 현장 측정 상황 또는 사용하는 수식에 따라 늘어날 수 있으며, 최대, 최소, 간격 또한 현장 특성에 따라 바꿀 수 있다.

[0056] 열관류율 산출부(32)는 각각의 후보 케이스들에 대한 케이스별 열관류율을 산출하도록 구성된다.

[0057] 본 발명에서 열관류율 산출부(32)는 아래의 수식(1)을 통해 케이스별 열관류율(U)을 계산한다. 여기서  $T_i$  는 실내온도(열화상 측정시점의 실내온도),  $T_o$ 는 실외온도(열화상 측정시점의 실외온도),  $T_{ref,i}$ 는 반사 겉보기 온도,  $T_{s,i}$ 는 열화상 카메라로 측정한 벽체 실내 표면온도,  $\varepsilon$ 는 대상 벽체 표면의 방사율,  $\sigma$ 는 슈테판-볼츠만 상수 ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )를 의미한다.

$$U = \frac{\varepsilon \sigma (T_{ref,i}^4 - T_{s,i}^4) + h_{c,i} (T_i - T_{s,i})}{(T_i - T_o)} \quad \dots \text{수식(1)}$$

[0058] ....수식(1)

[0059] 한편, 상기에서는 열화상법에 의한 열관류율의 측정에서 불확실성을 내포하는 인자로서 방사율과 반사 겉보기 온도를 제시하여, 방사율과 반사 겉보기 온도를 소정 상하 범위씩 변경하여 복수의 범위 변환 케이스를 생성하고, 생성된 후보케이스(실측 케이스와 범위 변환 케이스 포함)에 대한 케이스별 열관류율을 산출하는 것으로 설명하였으나, 이에 한정되는 것은 아니며 불확실성을 포함하는 인자에는 방사율과 반사 겉보기 온도 뿐 아니라, 실내온도와 실외온도도 포함될 수 있으며, 이 경우, 방사율과 반사 겉보기 온도와 동일한 방식으로 실내온도, 실외온도도 소정 범위씩 상하범위를 달리하여 복수의 범위 변환 케이스를 생성를 생성하고, 후보 케이스(실측 케이스와 범위 변환 케이스 포함)에 대한 케이스별 열관류율을 산출 할 수도 있다. 즉, 방사율, 반사 겉보기 온도, 실내온도, 실외온도 각각을 소정범위씩 상하범위를 달리하여 복수의 범위 변환 케이스를 생성하여 후보 케이스(실측 케이스와 범위 변환 케이스 포함)에 대한 케이스별 열관류율을 산출할 수도 있고, 방사율, 반사 겉보기 온도, 실내온도, 실외온도 중 하나 이상에 대해 소정범위씩 상하범위를 달리하여 복수의 범위 변환 케이스를 생성하여 케이스별 열관류율을 산출할 수도 있다.

[0060] 벽체 모델 생성부(34)는 해당 대상 벽체의 건물에 대한 설계도면을 이용해 벽체 모델을 모델링하고, 모델링된 벽체모델의 열관류율이 케이스별 열관류율에 일치하도록 하여 각각 서로 다른 열관류율을 갖는 복수의 벽체 모델을 생성하도록 구성된다.

[0061] 예를 들어, 표 1과 같은 25개의 케이스에 대한 케이스별 열관류율과 일치하는 25개의 벽체 모델을 생성할 수 있다. 25개의 벽체 모델 생성시, 25개의 케이스별 열관류율에 일치하도록 모델링된 벽체모델의 벽체 구성 자재 중 단열재의 열전도율을 변경하여 25개의 케이스별 열관류율과 일치되는 25개의 벽체모델을 생성하도록 구성된다.

[0062] 열관류율 = 열전도율 / 벽체 자재의 두께로 정의될 수 있으며, 보통 벽체는 다수의 자재로 구성되어 있기 때문에, 벽체 열관류율은 각 자재의 열전도율/두께를 합산하여 계산된다. 본 발명에서는 모델링된 벽체 모델을 벽체 구성 자재 중 단열재에 대해서만 열전도율을 변경하여 25개 케이스별 열관류율에 일치되는 25개의 벽체를 생성하도록 구성된다.

[0063] 본 발명에서는 케이스1과 열관류율이 일치하는 제1벽체 모델, 케이스2와 열관류율이 일치하는 제2벽체 모델, 케이스3과 열관류율이 일치하는 제3벽체 모델 등 각각의 케이스와 열관류율이 일치하는 복수의 벽체 모델이 생성되는 것이며, 예를 들어, 25개의 케이스 각각에 열관류율이 동일한 25개의 벽체 모델이 생성되는 것이다.

[0064] 경계조건 설정부(35)는 시뮬레이션부(36)에서 시뮬레이션의 입력인자인 실내 온도, 실외온도를 설정하도록 구성

되며, 시물레이션의 입력입자로서의 실내온도, 실외온도는 데이터 수집부(31)에 수집된 실측 실내온도, 실측 실외온도 데이터로 설정될 수 있다. 이 경우, 데이터 수집부(31)에는 열화상 측정시점을 기준으로 적어도 3일 이전 시간 동안의 실내온도와 실외온도가 온도측정기를 통해 수집되도록 구성될 수 있다.

[0065] 시물레이션부(36)는 3차원 전열해석 시물레이션의 수행이 가능하도록 구성되며, 3차원 전열해석 시물레이션을 통해 벽체 모델 생성부(34)에서 생성된 25개 벽체 모델에 대한 각 벽체 모델의 표면온도와 열류량 데이터를 결과값으로 제공하도록 구성된다. 시물레이션부(36)는 입력인자로서 벽체 모델, 실내온도, 실외온도를 입력받아 3차원 전열해석 시물레이션을 수행하여 벽체 모델에 대한 벽체의 표면온도와 열류량 데이터를 도출하여 획득하도록 구성된다.

[0066] 모델링된 25개의 벽체모델, 실내온도 및 실외온도를 입력하여 3차원 전열해석 시물레이션을 수행하면 25개의 벽체모델 각각에 대한 벽체의 표면온도와 열류량 값이 결과값으로 도출되어 제공된다.

[0067] 여기서 3차원 전열해석 시물레이션에 입력되는 실내온도 및 실외 온도는 열화상 측정시점을 기준으로 적어도 3일 이상의 이전 시간 동안 측정된 실내온도 데이터와 실외온도 데이터이다. 예를 들어, 열화상 측정시점을 기준으로 적어도 3일 이전 부터 열화상 측정 시점까지 온도측정기로 실내온도와 실외온도를 실시간으로 측정기록하여 열화상 측정 시점 이전의 적어도 3일 이상동안의 실내온도와 실외온도를 3차원 전열해석 시물레이션에 입력하도록 구성될 수 있다.

[0068] 열관류율 선정부(37)는 아래의 수식(2)를 통해 후보 케이스와 벽체 모델의 표면 온도 또는 열류량의 상대 오차를 산출할 수 있으며, 여기서, X는 시물레이션 결과로 획득한 표면 온도 또는 열류량,  $X_0$ 는 열화상법으로 측정한 표면온도 또는 열류량을 의미한다.

$$\frac{X_0 - X}{X} \times 100 [\%]$$

[0069] .....수식(2)

[0070] 상대오차가 낮을수록 열화상법으로 측정한 열관류율이 신뢰할 수 있음을 의미한다. 도 4는 현장측정에 의한 후보 케이스와 시물레이션에 의한 벽체 모델 간의 비교도를 나타낸다.

[0071] 구체적으로, 열관류율 선정부(37)는 복수의 후보케이스 각각의 표면온도( $T_{s,i}$ )와 시물레이션을 통해 획득된 복수의 벽체 모델의 표면온도에 대한 오차율을 비교하여 오차가 가장 낮은 후보 케이스를 선별하고, 선별된 최소 오차의 후보 케이스에 대한 열관류율을 최종적으로 최적의 열관류율로 선정하도록 구성된다.

[0072] 즉, 복수의 후보케이스와 복수의 벽체 모델에서 서로 열관류율이 일치하는 후보케이스와 벽체 모델의 표면온도에 대한 오차율을 비교하는 방식으로 각각의 후보 케이스별로 벽체 모델과의 오차율을 비교하여, 오차율이 가장 적은 최소 오차의 케이스를 선별하고, 이 최소 오차의 케이스에 대한 열관류율을 최종적으로 최적의 측정 열관류율로 선정하는 것이다.

[0073] 좀더 예를 들어 구체적으로 설명하면, 25개의 케이스 각각에 대한 표면온도( $T_{s,i}$ )는 25개가 모두 동일하고, 방사율, 반사 겉보기 온도를 변화함으로써 25개의 후보 케이스에 대한 각각의 열관류율은 서로 다르다. 또한, 시물레이션으로 획득된 25개의 벽체모델 각각에 대한 표면온도는 서로 다르므로, 열관류율이 상호 동일한 케이스와 벽체모델의 표면온도 차이(오차)를 비교하여 최소 오차의 후보 케이스를 선별하고, 이 최소 오차의 후보 케이스의 열관류율을 측정 열관류율로 선정한다.

[0074] 한편, 상기에서 열관류율 선정부(37)는 후보 케이스와 벽체 모델의 표면온도에 대한 오차율을 비교하는 방식으로 측정 열관류율을 선정하는 것으로 설명하였으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 열관류율 선정부(37)는 후보 케이스와 벽체 모델의 열류량에 대한 오차율을 비교하는 방식으로 측정 열관류율을 선정하도록 구성될 수 있다.

[0075] 이때, 벽체 모델의 열류량은 시물레이션부(36)에서 3차원 전열해석 시물레이션 수행을 통해 획득되는 것이며, 후보 케이스의 열류량은 열화상 카메라(10)로 획득한 대상 벽체의 표면온도로 산출될 수 있다.

[0076] 예를 들어, 후보케이스에 대한 열류량 산출은 ISO 9869-2 제시하는 열류량  $Q = h(T_{ni} - T_{s,i})$ 의 열류량 산출식에 따라 산출할 수 있으며, 여기서  $T_{ni}$ 는 실내 환경 온도(℃)로, 환경 온도 센서로 측정 가능,  $T_{s,i}$ 는 열화상 카메라로 측정한 대상 벽체의 표면온도(℃),  $h$ 는 총합열전달계수(W/m<sup>2</sup>K),  $h$ 는 열전달계수센서로 측정하거나, 강제 대

류가 없는 경우 ISO 9869-2:2018에 제시된 값을 활용할 수 있다.

- [0077] 즉, 본 발명은 측정 열관류율을 선정시, 후보케이스와 벽체 모델의 열류량에 대한 오차율을 비교하는 방식을 적용할 경우, 열관류율 선정부(37)는 후보 케이스에 대한 열류량을 산출하고, 이 산출된 후보 케이스의 열류량과 시뮬레이션부(36)에서 제공되는 벽체 모델의 열류량을 비교하여 열류량의 오차가 가장 적은 최소 오차의 케이스를 선별하고, 선별된 케이스의 열관류율을 최종 측정 열관류율로 선정하도록 구성될 수 있다.
- [0078] 예를 들어, 각각의 후보케이스의 대상 벽체 표면 온도, 실내온도는 동일하므로 산출된 25개의 후보 케이스에 대한 각각의 열류량은 동일할 것이며, 시뮬레이션으로 획득된 25개 벽체모델 각각에 대한 열류량을 다르므로, 열관류율이 상호 동일한 후보 케이스와 벽체모델의 표면온도 차이(오차)를 비교하여 최소 오차의 후보 케이스를 선별하고, 이 최소 오차인 후보 케이스의 열관류율을 최종적으로 최적의 측정 열관류율로 선정하는 것이다.
- [0079] 이하, 도 1 및 도 2를 참조하여, 본 발명의 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법에 대해 설명한다.
- [0080] 본 발명의 열화상법의 불확실성을 고려한 시뮬레이션 연계를 통한 벽체 열관류율 측정 방법은, 열화상 카메라로 대상 벽체에 대한 데이터를 수집하는 단계(S100), 최적의 벽체 열관류율 선정을 위한 복수의 후보케이스를 생성하는 단계(S200), 케이스별 열관류율을 산출하는 단계(S300), 벽체 모델링 및 케이스별 열관류율에 대응하는 복수의 벽체 모델을 생성하는 단계(S400), 복수의 벽체 모델에 대한 시뮬레이션을 수행하는 단계(S500), 현장 측정 데이터와 시뮬레이션 데이터를 비교분석하여 최적의 측정 열관류율을 선정하는 단계(S600)를 포함하도록 구성된다.
- [0081] 열화상 카메라로 대상 벽체에 대한 데이터를 수집하는 단계(S100)는, 현장에서 열화상 카메라를 이용하여 대상 벽체의 표면 온도, 대상 벽체 표면의 방사율, 반사 겉보기를 측정하고, 온도측정기로 실내온도 및 실외온도를 측정하여 대상 벽체의 표면 온도, 대상 벽체 표면의 방사율, 반사 겉보기, 온도, 실내 온도, 실외 온도를 포함하는 실측 데이터를 수집하도록 구성된다. 여기서, 실내 온도, 실외 온도는 온도측정기를 이용하여 수집될 수도 있다.
- [0082] 최적의 벽체 열관류율 선정을 위한 복수의 후보케이스를 생성하는 단계(S200)는, 열화상 카메라를 이용해 측정된 현장 실측 데이터를 갖는 실측 케이스와, 이 실측 케이스의 벽체 표면 방사율과 반사 겉보기 온도를 각각 소정 상하 범위 간격으로 달리하여 구성되는 복수의 범위 변환 케이스를 포함하여 복수의 후보 케이스를 생성하도록 구성된다.
- [0083] 케이스별 열관류율을 산출하는 단계(S300)는 복수의 후보케이스에 포함된 벽체의 표면 온도, 대상 벽체 표면의 방사율, 반사 겉보기 온도, 실내 온도, 실외 온도 데이터를 바탕으로 각각의 후보 케이스에 대한 케이스별 열관류율을 산출하도록 구성된다. 케이스별 열관류율의 산출은 상기 식(1)에 의해 산출될 수 있다.
- [0084] 벽체 모델링 및 케이스별 열관류율에 대응하는 복수의 벽체 모델을 생성하는 단계(S400)는, 대상벽체의 설계도면을 기반으로 벽체 모델링을 수행하고, 모델링된 기본 벽체 모델이 케이스별 열관류율에 일치하도록 각각의 서로 다른 열관류율을 갖는 복수의 벽체 모델을 생성하도록 구성된다.
- [0085] 열화상법으로 측정하고 이에 기반하여 산출한 후보 케이스의 열관류율과 ( $U_d$ )과 모델링 된 벽체 모델의 열관류율 ( $U_{sim}$ )이 일치하도록 모델링 된 벽체 단열재의 열전도율 ( $\lambda$ )을 변경한다. 표 1과 같이 케이스를 25개 생성했다면, 서로 다른 열관류율을 가지는 25개의 벽체 모델을 생성하도록 구성된다.
- [0086] [그림 2]는 본 발명에서 제시하는 벽체 모델링 방법의 예시를 나타낸다.
- [0087] 한편, 본 발명은 시뮬레이션에 입력할 입력인자로 경계조건 데이터를 설정하는 단계를 포함할 수 있다. 시뮬레이션에 입력할 입력인자로서 실내온도, 실외온도, 풍속 등이 필요하며 열화상법으로 벽체의 표면온도를 측정하는 시점 이전에 적어도 3일 이상 기록한 실내온도와 실외온도를 포함하는 경계조건 데이터를 설정할 수 있다.
- [0088] 복수의 벽체 모델에 대한 시뮬레이션을 수행하는 단계(S500)는 벽체모델, 열화상 측정 시점 이전에 3일 이상 측정한 실내온도, 실외온도를 입력하여 3차원 전열해석 시뮬레이션을 수행하여 벽체 모델의 표면온도와 열류량을 결과값으로 도출하도록 구성된다.
- [0089] 예를 들어, 후보 케이스에 대한 케이스별 열관류율에 대응하여 서로 다른 열관류율을 가지는 25개의 벽체 모델을 생성할 경우, 25개 벽체 모델 각각에 대한 3차원 전열해석 시뮬레이션을 통해 각 벽체 모델의 표면 온도와 열류량을 도출하도록 구성된다.

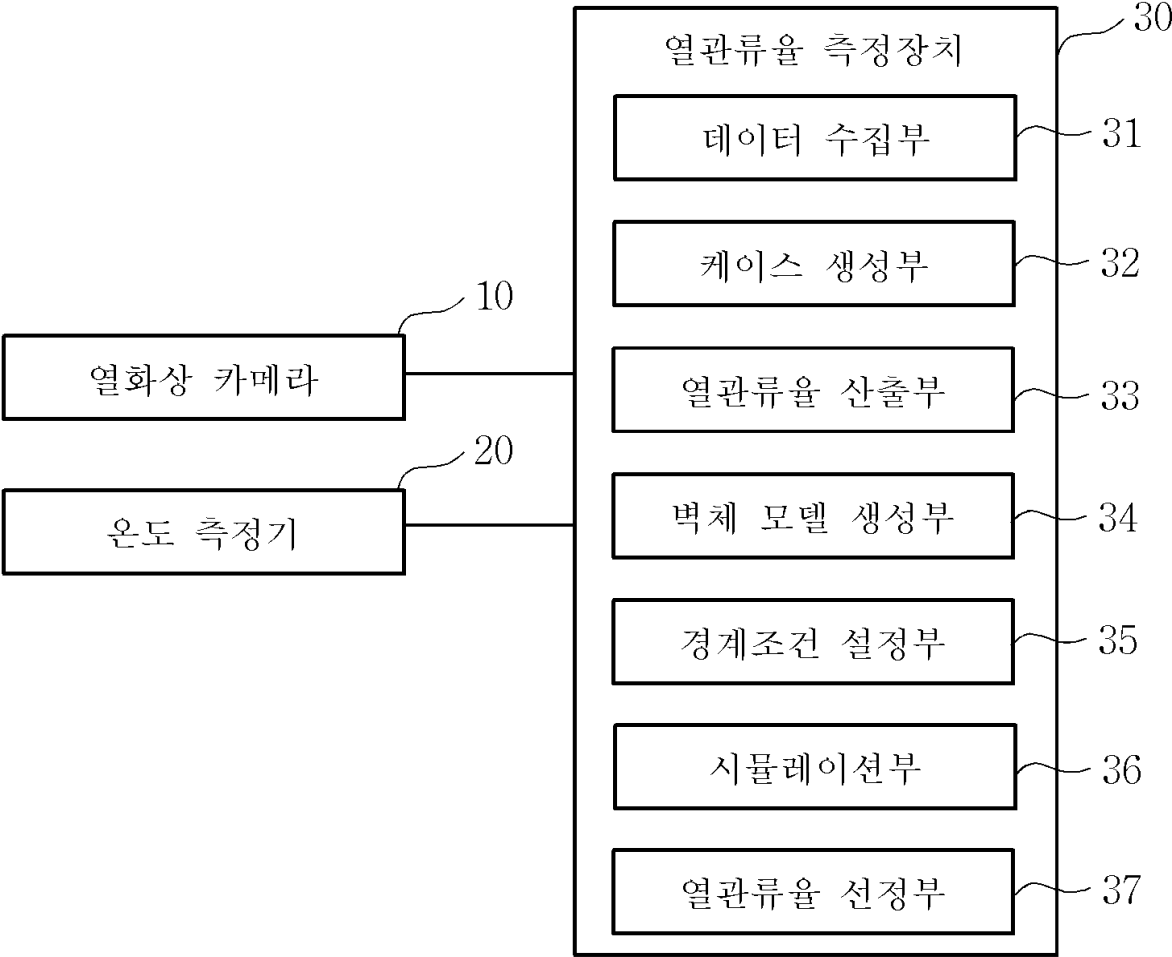
- [0090] 현장 측정 데이터와 시뮬레이션 데이터를 비교분석하여 최적의 측정 열관류율을 선정하는 단계(S600)는 상기 수식(2)를 통해 후보 케이스와 벽체 모델의 표면 온도 또는 열류량의 상대 오차를 산출할 수 있으며, 여기서,  $X$ 는 시뮬레이션 결과로 획득한 표면 온도 또는 열류량,  $X_0$ 는 열화상법으로 측정한 표면온도 또는 열류량을 의미한다.
- [0091] 이렇게 시뮬레이션에 의해 획득된 각 벽체 모델의 표면온도 또는 열류량을 기반으로 후보 케이스의 표면온도 또는 열류량과 비교하여 상대 오차를 산출하고, 복수의 후보 케이스 중 상대 오차가 가장 작은 후보 케이스를 최적 후보 케이스를 선별하며, 선별된 최적 후보 케이스의 열관류율을 최종적으로 측정 열관류율로 선정하도록 구성된다.
- [0092] 예를 들어, 25개의 후보 케이스와 25개의 벽체 모델에서 열관류율이 동일한 후보케이스와 벽체모델을 1:1로 대응시키고, 1:1로 대응되는 후보 케이스와 벽체 모델에 대한 온도 또는 열류량의 상대 오차를 비교하여, 복수의 후보 케이스 중 최소 상대 오차를 갖는 후보 케이스를 최적 후보 케이스로 선별하고, 선별된 최적 후보 케이스의 열관류율을 최종 측정 열관류율로 선정할 수 있다.
- [0093] 이상에서 기재된 "포함하다", "구성하다" 또는 "가지다" 등의 용어는, 특별히 반대되는 기재가 없는 한, 해당 구성 요소가 내재될 수 있음을 의미하는 것이므로, 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 하며, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함한 모든 용어들은, 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다.
- [0094] 또한, 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

### 부호의 설명

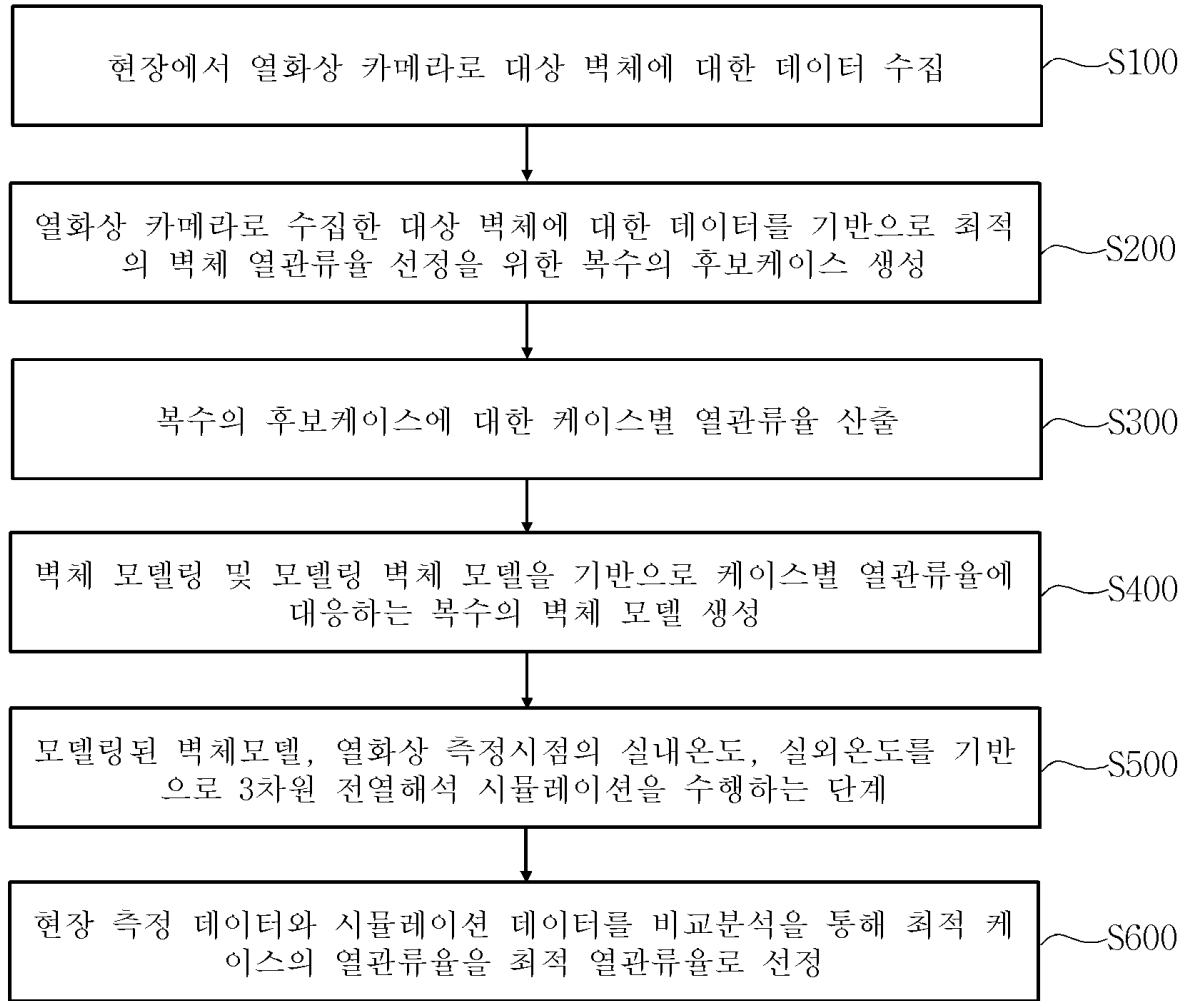
- [0095] 10...열화상 카메라  
20...온도 측정기  
30...열관류율 측정장치  
31...데이터 수집부  
32...케이스 생성부  
33...열관류율 산출부  
34...벽체 모델 생성부  
35...경계조건 설정부  
36...시뮬레이션부  
37...열관류율 선정부

도면

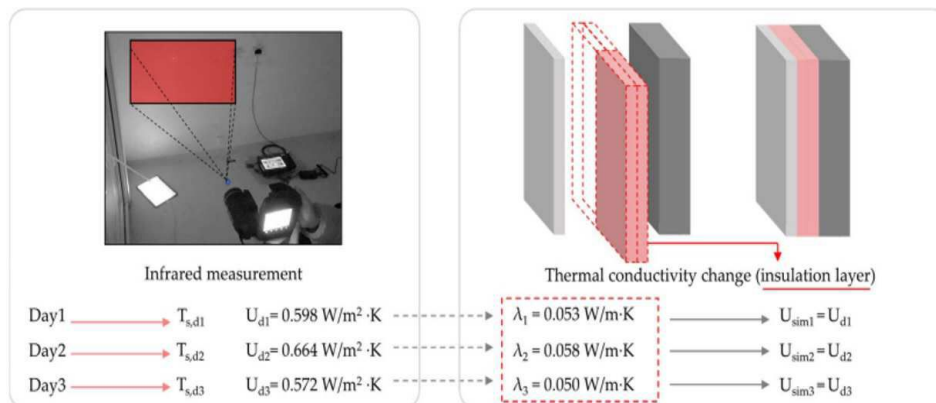
도면1



도면2



도면3



도면4

