

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2023-0108103
(43) 공개일자 2023년07월18일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/20 (2020.01) G01J 5/00 (2022.01)
G01J 5/03 (2022.01) G01J 5/48 (2006.01)
G06F 111/10 (2020.01) G06F 119/08 (2020.01)
- (52) CPC특허분류
G06F 30/20 (2020.01)
G01J 5/03 (2022.01)
- (21) 출원번호 10-2022-0003480
(22) 출원일자 2022년01월10일
심사청구일자 2022년01월10일
- (71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
- (72) 발명자
김의중
인천광역시 동구 송현로 39, 202동 1502호(송현동, 솔빛마을 주공2차아파트)
- 최재술
경기도 화성시 동탄반석로 232, 136동 2401호(석우동, 동탄에당마을 신일유토빌)
- (74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 10 항

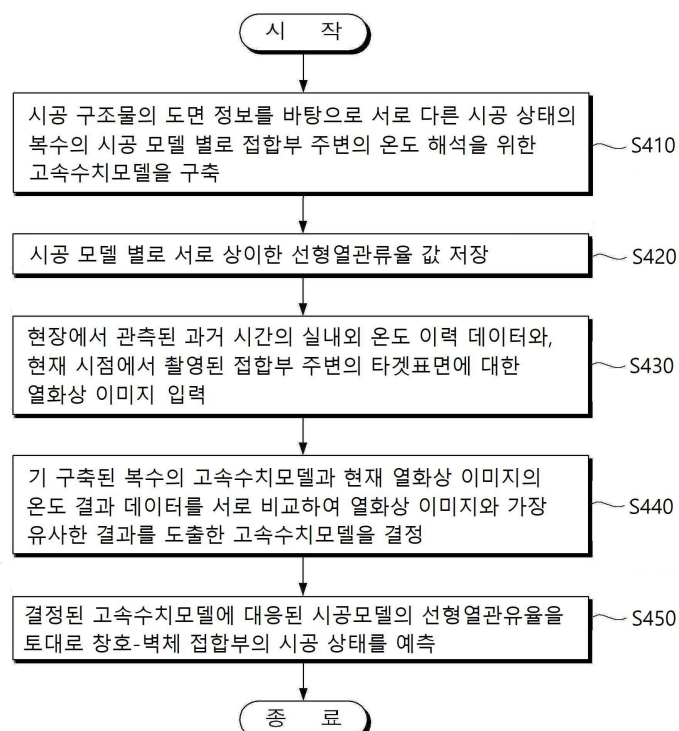
(54) 발명의 명칭 열화상과 고속수치모형을 이용한 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 열화상과 고속수치모형을 이용한 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치 및 그 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 시공 구조물의 도면 정보를 바탕으로 서로 다른 시공 상태의 복수의 시공 모델 별로 접합부 주변의 온도 해석을 위한 고속수치모형을 구축

(뒷면에 계속)

대표도 - 도4



각 저장한 데이터 구축부와, 현장에 기 관측된 시공 구조물의 과거 설정 시간 동안의 실내외 온도 이력 데이터와 현재 시점에서 시공 구조물의 창호-벽체 접합부 주변의 타겟표면을 촬영하여 얻은 열화상 이미지를 각각 입력받는 데이터 입력부와, 실내외 온도 이력 데이터를 복수의 고속수치모델에 개별 대입하여 도출한 타겟표면의 온도 데이터와, 열화상 이미지로부터 산출된 타겟표면의 온도 데이터를 비교하여 열화상 이미지와 가장 유사한 결과를 도출한 고속수치모델을 결정하는 제어부, 및 결정된 고속수치모델에 대응된 해당 시공모델의 선형열관류율을 바탕으로 창호-벽체 접합부의 시공 상태를 예측하는 예측부를 포함한다.

본 발명에 따르면, 현장에서 획득한 창호-벽체 접합부 주변의 열화상 이미지의 결과 데이터와 시공 상태 별로 사전 구축한 복수의 고속수치모델의 시뮬레이션 결과 데이터를 서로 비교하여 창호-벽체 간 접합부의 시공 수준이나 상태를 빠르고 정확하게 판별해낼 수 있다.

(52) CPC특허분류

G01J 5/48 (2022.01)
G01J 2005/0077 (2013.01)
G06F 2111/10 (2020.01)
G06F 2119/08 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615012087
과제번호	152248
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술혁신연구(R&D)
연구과제명	리덕션 수치모델을 이용한 열화상 디지털 트윈 기반의 창호시공부위 하자 평가
기 여 율	1/1
과제수행기관명	인하대학교산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

시공 구조물의 도면정보를 바탕으로 창호-벽체 접합부의 서로 다른 시공 상태를 가정하여 구현한 복수의 시공모델 별로 실내외 온도 이력의 입력에 대응하여 접합부 주변의 타겟표면의 온도를 추정하기 위한 복수의 고속수치모델을 구축하고, 상기 복수의 시공모델 별로 접합부의 선형열관류율을 각각 저장한 데이터 구축부;

현장에서 기 관측된 상기 시공 구조물의 과거 설정 시간 동안의 실내외 온도 이력 데이터와, 현재 시점에서 상기 시공 구조물의 창호-벽체 접합부 주변의 타겟표면을 촬영하여 획득한 열화상 이미지를 각각 입력받는 데이터 입력부;

상기 실내외 온도 이력 데이터를 상기 복수의 고속수치모델에 개별 대입하여 도출한 상기 타겟표면의 온도 데이터와, 상기 열화상 이미지로부터 산출된 상기 타겟표면의 온도 데이터를 서로 비교하여 열화상 이미지와 가장 유사한 결과를 도출한 고속수치모델을 결정하는 제어부; 및

상기 결정된 고속수치모델에 대응되는 해당 시공모델의 상기 선형열관류율을 바탕으로 상기 창호-벽체 접합부의 시공 상태를 예측하는 예측부를 포함하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제어부는,

상기 고속수치모델로부터 도출된 상기 타겟표면의 각 구역 별 평균온도에 해당하는 제1 온도 결과 벡터와, 상기 열화상 이미지로부터 산출된 상기 타겟표면의 각 구역 별 평균온도 값에 해당하는 제2 온도 결과 벡터를 서로 비교하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 제어부는,

상기 제1 온도 결과 벡터 및 제2 온도 결과 벡터의 각 원소 간 오차를 평균한 값이 가장 최소인 하나의 고속수치 모델을 결정하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 시공모델은,

상기 창호-벽체 접합부에 관한 정상 시공 상태에 대응된 정상 시공모델과 각기 다른 종류의 결함 시공 상태에 대응된 복수의 결함 시공모델을 포함하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 예측부는,

상기 결정된 해당 시공모델에 대응된 선형열관류율(B)이 상기 창호-벽체 접합부의 정상 시공 상태에 대응된 정상 시공모델에 대응된 선형열관류율(A)을 초과한 비율을 아래 수학적식으로 연산하여, 정상 시공일 때의 100% 성능 대비 상기 창호-벽체 접합부의 성능 저하 정도를 예측하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치.

$$\text{성능 저하 정도}(\%) = [(B-A)/A] \times 100$$

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 창호-벽체 접합부가 실내외 벽면 중 실외 벽면과 인접하게 위치한 경우 상기 타겟 영역은 상기 벽체의 상 표면 부위가 되고, 실내 벽면과 인접하게 위치한 경우 상기 타겟 영역은 상기 벽체의 실내 벽면 부위가 되는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치.

청구항 7

시공 수준 확인 장치를 이용한 시공 수준 확인 방법에 있어서,

시공 구조물의 도면정보를 바탕으로 창호-벽체 접합부의 서로 다른 시공 상태를 가정하여 구현한 복수의 시공모델 별로 실내외 온도 이력의 입력에 대응하여 접합부 주변의 타겟표면의 온도를 추정하기 위한 복수의 고속수치모델을 구축하고, 상기 복수의 시공모델 별로 접합부의 선형열관류율을 각각 저장하는 단계;

현장에서 기 관측된 상기 시공 구조물의 과거 설정 시간 동안의 실내외 온도 이력 데이터와, 현재 시점에서 상기 시공 구조물의 창호-벽체 접합부 주변의 타겟표면을 촬영하여 획득한 열화상 이미지를 각각 입력받는 단계;

상기 실내외 온도 이력 데이터를 상기 복수의 고속수치모델에 개별 대입하여 도출한 상기 타겟표면의 온도 데이터와, 상기 열화상 이미지로부터 산출된 상기 타겟표면의 온도 데이터를 서로 비교하여 열화상 이미지와 가장 유사한 결과를 도출한 고속수치모델을 결정하는 단계; 및

상기 결정된 고속수치모델에 대응되는 해당 시공모델의 상기 선형열관류율을 바탕으로 상기 창호-벽체 접합부의 시공 수준을 예측하는 단계를 포함하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 결정하는 단계는,

상기 고속수치모델로부터 도출된 상기 타겟표면의 각 구역 별 평균온도에 해당하는 제1 온도 결과 벡터와, 상기 열화상 이미지로부터 산출된 상기 타겟표면의 각 구역 별 평균온도 값에 해당하는 제2 온도 결과 벡터를 서로 비교하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 방법.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 결정하는 단계는,

상기 제1 온도 결과 벡터 및 제2 온도 결과 벡터의 각 원소 간 오차를 평균한 값이 가장 최소인 하나의 고속수치모델을 결정하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 방법.

청구항 10

청구항 6에 있어서,

상기 시공 수준을 예측하는 단계는,

상기 결정된 해당 시공모델에 대응된 선형열관류율(B)이 상기 창호-벽체 접합부의 정상 시공 상태에 대응된 정상 시공모델에 대응된 선형열관류율(A)을 초과한 비율을 아래 수학적식으로 연산하여, 정상 시공일 때의 100% 성능 대비 상기 창호-벽체 접합부의 성능 저하 정도를 예측하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 방법.

성능 저하 정도(%) = $[(B-A)/A] \times 100$

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 열화상과 고속수치모델을 이용한 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치 및 그 방법에 관한

[0001]

것으로서, 보다 상세하게는 열화상 이미지와 고속수치모델을 활용하여 창호와 벽체 간 접합부의 시공 상태를 예측할 수 있는 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 시공 기술의 고도화는 고기밀·고단열의 주거공간을 제공함으로써 건물에서 사용되는 에너지를 줄이는데 기여하고 있다. 하지만 건물에너지 감소화 추세에서 열교에 따른 열손실은 건물에서 발생하는 열손실에서 차지하는 비중이 상대적으로 증가한다.
- [0003] 건물에서 열교(thermal bridge) 현상은 단열 성능이 취약한 구조부위에서 열손실이 발생하는 것을 의미한다. 일반적으로 서로 다른 이질의 재료가 접합하는 경우 열교 발생에 취약하며 건물의 경우 벽체와 벽체가 접합하는 코너부위, 벽체와 슬라브 접합부위, 벽체와 창호의 접합부위가 대표적인 부위이다.
- [0004] 도 1은 건물에서 결로 발생이 예상되는 열교 취약부위의 탐지 결과를 나타낸 도면이다. 건물에서 열교 발생이 중요한 이유는 에너지 측면 이외에도 재실자의 쾌적과도 밀접한 관련이 있다. 열교는 건물의 표면결로 관련 하자를 발생시키는 주 원인이다. 결로 관련 하자 분쟁은 소송 건으로 이어지는 경우가 빈번하나 결로가 발생하는 특정 환경 조건이나 현장 시공 수준을 직접적으로 확인하는데 어려움이 있고 비 전문가가 이를 증명하기에는 무리가 있다.
- [0005] 결로 하자 분쟁을 줄이기 위해 방수, 단열재 보강 등 관리적 측면에서의 역할 증대를 통해 개선을 도모하는 계획을 발표 등의 노력이 있었으나, 하자 발생 시 결로 원인인 열교를 현장에서 정량적으로 평가하는 방법은 현재까지 존재하지 않는다.
- [0006] 특히 창호 관련 하자의 경우, 명시된 하자 판정 기준에서는 열화상 촬영을 통해 명확히 단열 시공의 문제를 확인할 수 있거나 혹은 육안으로 단열재료의 누락이나 탈락을 확인할 수 있는 경우를 하자로 인정한다고 명시하고 있다.
- [0007] 위와 같은 판정 기준에는 두 가지 모호한 내용을 포함하고 있다.
- [0008] 첫째는, 건물 열화상 진단 분야에서 정의하는 열화상 측정 기법의 분류를 통해 확인이 가능하다는 점인데, 해당 분야에서는 열화상 촬영 기술을 큰 범주에서 정성적(Qualified) 정량적(Quantitative) 기법으로 구분한다.
- [0009] 일반적으로 단순히 건축 구조물의 표면온도를 촬영하여 온도 분포 패턴을 확인하는 방법은 정성적 기법으로 분류된다. 정성적 기법은 완성된 구조물을 파괴하지 않고 문제 발생 부위를 확인하는 목적으로 사용될 수 있으나 구조물이 위치한 주변 환경과 열화상에 영향을 미치는 인자를 고려할 수 있는 전문가가 아닌 비 전문가가 촬영할 경우 결과의 신뢰성이 매우 떨어진다. 따라서 촬영자의 경험적 요소에 의존도가 높다.
- [0010] 아래의 표 1은 열화상 촬영에 영향을 주는 변수 및 인자를 나타낸다.

표 1

영향인자	특징
- 대상 물체의 방사율 - 카메라와 피사체 사이의 거리 - 피사체 크기 - 상대습도 - 주변온도, 대기온도 - 광학계 온도, 투과율	카메라 내부 감지기 데이터로부터 생성되는 IR 영상에 영향을 주는 변수들로 소프트웨어를 통해 일부 수정 가능
- 온도스팬(span) 및 레벨(level) - 컬러 팔레트	데이터를 이용하여 열 영상을 구성하는 방법에 영향을 주는 변수들
- 방사율의 파장, 각도, 온도 특성 - 카메라와 피사체 사이의 매질 특성 - 필터 - 풍속, 주광 - 물체의 시상수, 그림자 등	정량적 분석과 IR 열 영상의 분석 시 큰 영향을 줄 수 있는 변수들

- [0012] 뿐만 아니라 건물과 열을 축적하는 구조물의 경우 실내, 실외 온도 이력이 열화상 촬영 시점에 중요한 영향을 줄 수 있다. 즉, 단순 측정의 경우 여름철과 같이 실내와 실외의 온도차가 적은 환경에서 실제 시공적 하자가

있음에도 이를 확인할 수 없는 경우가 발생한다.

- [0013] 둘째는, 육안으로 창-벽체 접합부의 단열 부재의 결함을 확인하기 어렵다는 점이다. 주로 접합 부위는 실내 재실자가 바라볼 때, 마감재료(벽지 및 모르타르)로 걸면 마감이 되어 구조물을 일부 해체하여 결함을 직접적으로 확인하여야 하는 부담이 따른다.
- [0014] 열교를 분석하는 방법은 대표적으로 시뮬레이션 분석과 열화상 분석이 있다. 우선, 시뮬레이션 분석 기법의 경우 도면 정보를 기반으로 이상적인 시공 상황을 가정한다. 이 경우, 실제 관측한 현상과 다를 경우 구조물을 구성하는 열 물성치를 일부 조정하여 실제 현상을 묘사할 수 있는지 평가한다. 다만, 일부 조정이 필요한 경우 매 수정마다 새로 시뮬레이션 계산을 수행해야한다. 일반적으로 열교 분석을 위해 진행되는 시뮬레이션은 고 성능의 해석도구를 요구하며, 1회 시뮬레이션 자체 소요되는 시간이 매우 길다. 즉, 시뮬레이션을 통해 실제 현상과 동일한 변화를 현장 즉각적으로 묘사하는 데에는 적합하지 않다.
- [0015] 앞서 설명한 바와 같이 정성적 기법은 특정 환경적 제약이 있다. 따라서 실내 외 온도차가 적게 나타나는 환경적 제약을 극복하기 위해 정량적 기법이 활용된다. 정량적 기법은 정확한 온도 측정과, 나아가 이를 활용하여 다양한 물리적 정보를 알아내는 것을 목적으로 한다. 따라서, 정성적 기법의 경우 측정값의 정확성을 높이기 위해 추가적인 장치를 활용하는 경우가 많다.
- [0016] 정량적 기법은 피사체에 열적 자극(Stimulation)을 가하는 방법을 활용하며 Active approach 라고 불린다. 정량적 기법에서 피사체에 자극을 가하는 방식에 따라 Pulsed Thermography(PT), Lock-in Thermography(LT)로 구분할 수 있다.
- [0017] 도 2는 피사체에 열적 자극을 가하는 정량적 열화상 기법을 설명한 도면이다.
- [0018] PT는 주로 구조물에 일정한 양의 열을 공급한 후 열화상을 촬영한다. 이 경우 구조물을 구성하는 다양한 부재의 열전과 특성이 다름을 극대화하여 결함의 발생을 환경적 제약에서 벗어나 뚜렷이 확인하는 것이 가능하다. PT는 동일한 부재의 불균일성(inhomogeneties)을 방지하기 때문에 현상과 같은 동적환경(transient)에서 분석이 간편하다는 장점이 있지만, 열화상 카메라 외의 추가적인 고가의 장비가 요구되며 열교 분석을 위해 현장마다 설치를 진행해야 한다는 제한점이 있다.
- [0019] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국등록특허 제10-2201365호(2010.01.05 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0020] 본 발명은 창호-벽체 접합부 주변의 열화상 이미지의 결과 데이터와 시공 상태 별 사전 구축한 복수의 고속수치모델의 결과 데이터를 서로 비교하여 창호-벽체 접합부의 시공 수준을 빠르고 정확하게 진단할 수 있는 열화상과 고속수치모델을 이용한 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치 및 그 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0021] 본 발명은, 시공 구조물의 도면정보를 바탕으로 창호-벽체 접합부의 서로 다른 시공 상태를 가정하여 구현한 복수의 시공모델 별로 실내외 온도 이력의 입력에 대응하여 접합부 주변의 타겟표면의 온도를 추정하기 위한 복수의 고속수치모델을 구축하고, 상기 복수의 시공모델 별로 접합부의 선형열관류율을 각각 저장한 데이터 구축부와, 현장에서 기 관측된 상기 시공 구조물의 과거 설정 시간 동안의 실내외 온도 이력 데이터와, 현재 시점에서 상기 시공 구조물의 창호-벽체 접합부 주변의 타겟표면을 촬영하여 획득한 열화상 이미지를 각각 입력받는 데이터 입력부와, 상기 실내외 온도 이력 데이터를 상기 복수의 고속수치모델에 개별 대입하여 도출한 상기 타겟표면의 온도 데이터와, 상기 열화상 이미지로부터 산출된 상기 타겟표면의 온도 데이터를 서로 비교하여 열화상 이미지와 가장 유사한 결과를 도출한 고속수치모델을 결정하는 제어부, 및 상기 결정된 고속수치모델에 대응되는 해당 시공모델의 상기 선형열관류율을 바탕으로 상기 창호-벽체 접합부의 시공 상태를 예측하는 예측부를 포함하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치를 제공한다.
- [0022] 또한, 상기 제어부는, 상기 고속수치모델로부터 도출된 상기 타겟표면의 각 구역 별 평균온도에 해당하는 제1 온도 결과 벡터와, 상기 열화상 이미지로부터 산출된 상기 타겟표면의 각 구역 별 평균온도 값에 해당하는 제2 온도 결과 벡터를 서로 비교할 수 있다.
- [0023] 또한, 상기 제어부는, 상기 제1 온도 결과 벡터 및 제2 온도 결과 벡터의 각 원소 간 오차를 평균한 값이 가장

최소인 하나의 고속수치 모델을 결정할 수 있다.

[0024] 또한, 상기 복수의 시공모델은, 상기 창호-벽체 접합부에 관한 정상 시공 상태에 대응된 정상 시공모델과 각각 다른 종류의 결함 시공 상태에 대응된 복수의 결함 시공모델을 포함할 수 있다.

[0025] 또한, 상기 예측부는, 상기 결정된 해당 시공모델에 대응된 선형열관류율(B)이 상기 창호-벽체 접합부의 정상 시공 상태에 대응된 정상 시공모델에 대응된 선형열관류율(A)을 초과한 비율을 아래 수학적식으로 연산하여, 정상 시공일 때의 100% 성능 대비 상기 창호-벽체 접합부의 성능 저하 정도를 예측할 수 있다.

[0026] 성능 저하 정도(%) = $[(B-A)/A] \times 100$

[0027] 또한, 상기 창호-벽체 접합부가 실내의 벽면 중 실외 벽면과 인접하게 위치한 경우 상기 타겟 영역은 상기 벽체의 상표면 부위가 되고, 실내 벽면과 인접하게 위치한 경우 상기 타겟 영역은 상기 벽체의 실내 벽면 부위가 될 수 있다.

[0028] 그리고, 본 발명은 시공 수준 확인 장치를 이용한 시공 수준 확인 방법에 있어서, 시공 구조물의 도면정보를 바탕으로 창호-벽체 접합부의 서로 다른 시공 상태를 가정하여 구현한 복수의 시공모델 별로 실내의 온도 이력의 입력에 대응하여 접합부 주변의 타겟표면의 온도를 추정하기 위한 복수의 고속수치모델을 구축하고, 상기 복수의 시공모델 별로 접합부의 선형열관류율을 각각 저장하는 단계와, 현장에서 기 관측된 상기 시공 구조물의 과거 설정 시간 동안의 실내의 온도 이력 데이터와, 현재 시점에서 상기 시공 구조물의 창호-벽체 접합부 주변의 타겟표면을 촬영하여 획득한 열화상 이미지를 각각 입력받는 단계와, 상기 실내의 온도 이력 데이터를 상기 복수의 고속수치모델에 개별 대입하여 도출한 상기 타겟표면의 온도 데이터와, 상기 열화상 이미지로부터 산출된 상기 타겟표면의 온도 데이터를 서로 비교하여 열화상 이미지와 가장 유사한 결과를 도출한 고속수치모델을 결정하는 단계, 및 상기 결정된 고속수치모델에 대응되는 해당 시공모델의 상기 선형열관류율을 바탕으로 상기 창호-벽체 접합부의 시공 수준을 예측하는 단계를 포함하는 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0029] 본 발명에 따르면, 현장에서 획득한 창호-벽체 접합부 주변의 열화상 이미지의 결과 데이터와 시공 상태 별로 사전 구축한 복수의 고속수치모델의 시뮬레이션 결과 데이터를 서로 비교하여 창호-벽체 간 접합부의 시공 수준이나 상태를 빠르고 정확하게 판별해낼 수 있다. 아울러, 고속수치모델을 낮은 차원수로 구현하여 고속으로 높은 정확도의 결과 값을 도출해낼 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 건물 내 결로 발생이 예상되는 열교 취약부위의 탐지 결과를 나타낸 도면이다.

도 2는 피사체에 열적 자극을 가하는 정량적 열화상 기법을 설명한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치의 구성을 나타낸 도면이다.

도 4는 도 3을 이용한 시공 상태 예측 방법을 설명하는 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에서 벽체에 대한 창호의 접합 위치에 따른 타겟 표면의 설정 예시를 설명한 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에서 창호-벽체 접합부를 상세히 도시한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따라 현장 평가전에 복수의 시공 모델 별로 선형열관류율과 고속수치모델을 사전 준비한 모습을 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 기법의 전체 프로세스를 설명한 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 열화상 이미지의 예시를 보여주는 도면이다.

도 10은 도 9를 통해 환측된 이미지의 각 픽셀 별 온도 값을 표현한 도면이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따라 열화상 이미지 결과와 고속수치모델 결과를 비교하는 모습을 예시적으로 설명한 도면이다.

도 12는 본 발명의 실시예에서 리덕션 모델을 통한 차원수 축소 개념을 설명한 도면이다.

도 13은 본 발명의 실시예에 따른 고속수치모델을 적용한 경우의 정확도를 기존 방법과 비교한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시 예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시 예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0032] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0033] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치의 구성을 나타낸 도면이고, 도 4는 도 3을 이용한 시공 상태 예측 방법을 설명하는 도면이다.
- [0034] 도 3 및 도 4에 나타낸 것과 같이, 본 발명의 실시예에 따른 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치(100)는 데이터 구축부(110), 데이터 입력부(120), 제어부(130), 예측부(140)를 포함한다. 각 부(110,120,140)의 동작과 각 부 간의 데이터 흐름은 제어부(130)에 의해 제어될 수 있다.
- [0035] 먼저, 데이터 구축부(110)는 시공 구조물의 도면정보를 바탕으로 창호-벽체 접합부의 서로 다른 시공 상태를 가정하여 구현한 복수의 시공모델 별로 실내의 온도 이력의 입력에 대응하여 접합부 주변의 타겟표면의 온도를 추정하기 위한 복수의 고속수치모델을 구축한다(S410).
- [0036] 또한, 데이터 구축부(110)는 서로 다른 복수의 시공모델 별로 접합부의 서로 다른 선형열관류율을 각각 저장한다(S420). 선형열관류율은 열손실을 평가할 수 있는 지표로서 접합부의 형상, 사이즈, 물성(열전도율) 등에 의해 결정되며, 상용 시뮬레이션 또는 기 공지된 계산 프로그램에 의해 도출 가능하다.
- [0037] 이처럼 데이터 구축부(110)는 창호와 벽체 간의 접합부(예: 단열재 충전 부의)의 서로 상이한 시공 상태 별로 모델링되는 복수의 시공 모델을 기반으로 접합부 주변 표면의 온도 해석을 위한 고속수치모델을 선제적으로 마련해 둔다.
- [0038] 아울러, 데이터 구축부(110)는 각각의 시공 모델에서의 접합부의 서로 다른 선형열관류율을 저장해 둔다. 각 모델 별로 접합부는 서로 다른 시공 상태를 가지므로 그에 대한 선형열관류율도 달라지게 된다.
- [0039] 여기서 서로 상이한 시공 상태의 예로는 단열재가 일부 탈락한 상태, 단열재가 창호와 벽체 사이 공간에 들성들 성하게 채워진 상태, 단열재가 완전 탈락 또는 누락된 상태 등을 포함할 수 있다. 여기서 물론 단열재가 채워진 모양, 패턴, 채워진 위치 등에 따라 다양한 시공 상태 시나리오가 존재할 수 있다.
- [0040] 본 발명의 실시예에서 고속수치모델은 해당 시공모델에서 창호-벽체 접합부 주변의 미리 설정된 타겟표면의 온도를 추정하기 위한 시뮬레이션 도구에 해당한다. 여기서, 타겟표면은 창호의 설치 위치에 따라 달라질 수 있다.
- [0041] 도 5는 본 발명의 실시예에서 벽체에 대한 창호의 접합 위치에 따른 타겟 표면의 설정 예시를 설명한 도면이고, 도 6은 본 발명의 실시예에서 창호-벽체 접합부를 상세히 도시한 도면이다.
- [0042] 도 5의 좌측 도면과 같이, 현장에 시공된 창호-벽체 접합부(1)가 실내의 벽면 중 실외 벽면과 인접하게 위치한 경우에, 타겟 영역(T)은 벽체의 상부 표면 부위로 설정된다. 또한 우측 도면과 같이, 창호-벽체 접합부(1)가 실내의 벽면 중 실내 벽면과 인접하게 위치한 경우, 타겟 영역(T)은 벽체의 실내 벽면 부위로 설정된다.
- [0043] 도 6은 접합부를 보다 상세히 보여준다. 일반적으로 창호와 벽체 사이에는 5~10mm 틈을 두어 시공하며, 틈에는 단열재료인 우레탄 폼을 쏘아 틈을 매워 단열 성능을 확보한다. 도 6은 우레탄 폼을 결함 없이 채워 정상 시공한 경우이다.
- [0044] 이와 같이, 데이터 구축부(110)는 검사대상이 되는 시공 구조물에 대한 서로 다른 시공 시나리오 모델 별로 고속수치모델을 개별 구축하며, 각 시공 모델 별로 선형열관류율 값을 저장해둔다.
- [0045] 도 7은 본 발명의 실시예에 따라 현장 평가전에 복수의 시공 모델 별로 선형열관류율과 고속수치모델을 사전 준비한 모습을 나타낸 도면이다.

- [0046] 도 7에서 모델 1은 검사 대상이 되는 시공 구조물의 실제 도면을 기반으로 정상 시공상태를 가정하여 만든 모델이고, 모델 2,3 등은 하자 시공상태를 가정하여 만든 모델이다. 모델 2의 경우 단열재가 탈락한 사례이고, 모델 3은 단열재가 들어가지 않은 사례를 가정한 모델이다.
- [0047] 이와 같이, 본 발명의 실시예에서 사용되는 복수의 시공모델은, 창호-벽체 접합부에 관한 정상 시공 상태에 대응된 1건의 정상 시공모델과, 각기 다른 종류의 결함 시공 상태에 대응된 여러 건의 결함 시공모델을 포함할 수 있다.
- [0048] 이러한 도 7에서 접합부가 정상 시공된 상태일 때의 선형열관류율은 $0.623 \text{ W/m} \cdot \text{k}$ 이고, 접합부가 하자 시공 상태일 때의 선형열관류율은 그보다 높은 값을 가짐을 알 수 있다.
- [0049] 여기서, 본 발명의 실시예는 위와 같이 다양한 사례 별 구축된 고속수치모델에서의 온도해석 결과값을 실제 현장에서 획득되는 열화상 이미지의 온도 결과 값을 비교하는 것을 통해 현장과 가장 유사한 하나의 고속수치모델을 탐색하며, 그에 대응된 모델의 선형열관류율을 정상 상태일 때의 선형열관류율과 비교하여 시공 수준을 평가할 수 있다. 이에 대해서는 도 8에서 상세히 설명할 것이다.
- [0050] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 기법의 전체 프로세스를 설명한 도면이다.
- [0051] 이러한 도 8은 본 발명의 실시예에서 제안하는 기술 프로세스로, 열교 발생이 의심되는 창-벽체 접합부 주변 벽체 표면을 대상으로 실측 온도 값과 시뮬레이션 온도 값을 일치시키는 과정에 대한 것이다.
- [0052] 시뮬레이션 모델은 도면 기반으로 이상적인 시공을 가정한 모델 1건, 그 외 접합부의 모형 또는 열전도율에 따라 선형열관류율이 상이한 모델 여러 건을 포함하며, 현장 방문 시점 이전에 고속 계산 수치모델로 구현되어 있으며, 현장 방문시에는 미리 측정된 실내외 온도 이력을 이미 구현한 고속수치모델에 입력한다. 예를 들면 과거 3일 동안에 해당 구조물의 실내 공간에서 센서 등으로 관측한 온도와 실외에서 측정된 온도 이력을 확보하여 이를 고속수치모델에 입력한다. 실외 온도의 경우 기상 서버 등의 각종 정보 서버로부터 해당 지역의 날씨 정보를 이용해도 된다.
- [0053] 그리고 고속수치모델에 실내외 온도 이력을 입력하여 도출된 결과와 열화상 촬영된 결과를 비교하여 가장 오차가 적은 모델을 찾아냄으로써, 대상 창-벽체의 시공 수준이 정상시공 대비 얼마나 저하되었는지 확인 가능하다. 이와 같이, 현장 방문 시점 이전의 상황에서는 각각의 수치모델과 수치모델별 선형열관류율을 사전에 준비하고 현장 방문 시에는 열화상 촬영을 진행하여 시공 수준을 유추한다. 그 과정을 보다 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0054] 앞서와 같이, 현장 방문 전에 각종 데이터 및 자료가 구축된 이후에는, 현장 방문을 통하여, 현장의 시설 구조물을 기준으로 내부(실내측) 및 외부(실외측) 환경에서 동시 관측된 현재로부터 설정 시간 이전의 과거 구간의 실내외 온도 이력 데이터와, 현재 시점에서 열화상 카메라를 통해 시설 구조물의 창-벽체 접합부 주변 타겟부위를 촬영한 열화상 이미지를 수집하게 된다. 이러한 데이터는 예측 장치(100)의 입력 데이터로 활용된다.
- [0055] 즉, 데이터 입력부(120)는 현장에서 관측된 시공 구조물의 과거 설정 시간 동안의 실내외 온도 이력 데이터를 입력받고, 현재 시점에서 시공 구조물의 창호-벽체 접합부 주변의 타겟표면을 촬영하여 획득한 열화상 이미지를 입력받는다(S430).
- [0056] 여기서 데이터 입력부(120)는 관련 데이터를 네트워크(유선, 무선 혹은 유무선 조합 네트워크) 연결된 사용자 단말, 온도 센서, 정보 서버, 열화상 카메라 중 적어도 하나로부터 입력받을 수 있다. 물론 온도 이력 데이터 및 열화상 이미지 데이터가 미리 사용자 단말에 저장된 경우에는 사용자 단말로부터 한번에 데이터 획득이 가능하다.
- [0057] 데이터 입력부(120)는 현재 시점 이전에 해당한 과거 시간 동안(예: 3일 간)의 설정 시간 간격으로 관측한 실내외 온도 이력 데이터를 입력받는다. 예를 들어, 데이터 입력부(120)는 실내 온도 센서, 실외 온도 센서, 기상 서버, 정보 서버 중 적어도 하나로부터 실내외 온도 이력을 입력받는다. 실내외 온도 이력 데이터 중에서 실내 온도 데이터 이력은 실내측의 온도 센서에 의해 수집될 수 있고, 실외 온도 데이터 이력은 실외측의 온도 센서 혹은 기상 서버 등으로부터 수집될 수 있다.
- [0058] 온도 센서는 사용자 단말 또는 본 발명에 따른 시공 상태 예측 장치(100)와 연동하여 동작할 수도 있다. 사용자 단말은 센서로부터 수집한 실내외 온도 데이터를 네트워크를 통하여 시공 상태 예측 장치(100)로 전송할 수 있다. 아울러, 스마트 앱을 통하여 시공 상태 예측 장치(100)와 실시간 연동하여 동작할 수도 있으며 예측 결과를

스마트 앱을 통하여 제공할 수도 있다.

- [0059] 데이터 입력부(120)는 이와 같이 현재로부터 과거 수일 간에 관측된 실내외 온도 이력 데이터를 입력받으며, 현재 시점에서 관측된 열화상 이미지도 입력받는다. 이때, 열화상 이미지는 앞서 도 5에서 정의한 바와 같이 시공 구조물의 창호-벽체 접합부 주변의 미리 설정된 타겟 표면부위를 촬영한 이미지에 해당한다.
- [0060] 열화상 촬영은 촬영자가 표 1과 같은 영향인자에 대해 충분이 고려할 수 있어야 한다. 특히, 방사율(emissivity)과 반사온도(reflected temperature)는 구조체가 지니는 열적 특성과 주변 요소들에 의해 민감하게 반응하는 요소이다. 따라서 방사율과 반사온도는 열화상 카메라로 피사체 촬영 전 입력 값을 조정하거나 열화상 촬영 후 보정작업을 진행해야 한다.
- [0061] 방사율과 반사온도를 보정 또는 조정하는 방법에는 다양한 방식이 있으나 현장 측정의 경우 ASTM E1933과 ASTM E1862가 대표적인 방법으로 통용된다. ASTM E1933은 피사체를 구성하는 물질의 방사율을 확인하기 어려운 경우 사용하는 방법으로 검은색 절연테이프를 피사체에 부착하여 방사율을 조정하는 방식이다. 열화상 카메라의 초기 방사율을 검은색 절연테이프의 방사율과 동일한 0.95로 맞춘 후 방사율을 조절하여 피사체와 검은색 절연테이프의 온도가 일치하는 방사율을 찾는 방식이다. ASTM E1862는 주변 물체로부터 피사체에 유입되는 반사온도를 확인하는 방식으로 난반사의 원리를 이용한 방법이다. 상기 기준에서 제안하는 방법의 순서는 다음과 같다.
- [0062] 먼저, 열화상 카메라의 방사율을 1.0으로 설정하고 피사체와 일정거리를 두어 위치시킨다. 이후, 알루미늄 포일을 구겼다 펴 피사체에 부착한다. 다음, 열화상 카메라를 알루미늄 포일과 평행하게 놓은 뒤 열화상 촬영을 3회 이상 반복한다. 이후, 3회 이상 반복하였을 때 알루미늄 포일 내 온도 영역을 평균하여 반사온도를 산출한다.
- [0063] 창-벽체 접합부의 열교를 확인하기 위해 열화상으로 촬영을 진행하는 부위는 앞서 도 5와 같이, 창-벽체 결합 방법에 따라 구분된다. 도 5의 좌측은 창이 실외측 벽체 표면 가까이에 위치한 경우이고, 우측은 실내측 벽체 표면 가까이 위치한 경우이다. 두 케이스 모두 공통되는 사항은 창과 벽체 사이에 충전되는 단열재료(우레탄 폼)에 근접한 부위라는 점이다.
- [0064] 데이터 입력부(120)는 실내외 온도 이력 데이터 및 열화상 이미지를 제어부(130)로 전달한다. 제어부(130)는 각종 데이터 처리, 연산, 분석 등을 수행한다. 또한 제어부(130)는 데이터 구축부(110)에서 구축된 복수의 고속수치모델의 동작을 제어할 수 있고, 그에 대한 입출력 데이터를 제어 및 확인할 수 있다. 아울러 제어부(130)는 열화상 이미지의 결과를 분석할 수 있다.
- [0065] 구체적으로, 제어부(130)는 실내외 온도 이력 데이터를 복수의 고속수치모델에 개별 대입하여 도출되는 타겟표면의 온도 데이터와, 열화상 이미지로부터 산출된 타겟표면의 온도 데이터를 서로 비교하여, 열화상 이미지와 가장 유사한 결과를 도출한 고속수치모델을 결정한다(S440).
- [0066] 또한, S440 단계에서 제어부(130)는 실내외 온도 이력 데이터를 복수의 고속수치모델에 입력하여 각 고속수치모델 별로 출력되는 타겟표면의 온도 데이터를 획득한다. 이때, 고속수치모델의 경우 실내외 온도 이력 데이터 입력에 대응하여, 타겟표면을 구성하는 각 구간(영역) 별로 구간의 평균온도를 예상하여 출력 값으로 제공한다.
- [0067] 여기서, 제어부(130)는 입력된 열화상 이미지의 각 화소 별 온도 값을 분석하여 타겟표면을 구성하는 각 구간(영역) 별로 구간의 평균온도를 환산할 수 있다.
- [0068] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 열화상 이미지의 예시를 보여주는 도면이고, 도 10은 도 9를 통해 환측된 이미지의 각 픽셀 별 온도 값을 표현한 도면이다.
- [0069] 열화상 카메라는 측정 영향인자가 많아 촬영 후 영향인자 보정을 위해 소프트웨어를 제공한다. 도 9 및 도 10은 대표적인 열화상 업체인 FLIR 사의 소프트웨어를 통해 열화상 이미지를 수치로 나타내는 과정을 나타낸 것으로, 촬영완료한 열화상 이미지의 경우 ".csv" 형태의 엑셀 파일로 내보내기(export)기능이 제공된다.
- [0070] 열화상 카메라는 제품의 해상도(resolution)는 픽셀(pixel) 단위로 구성되며 각각의 픽셀이 내포하는 온도 데이터를 색상으로 대체함으로써 온도를 시각화한다. 도 10은 단위 픽셀이 포함하는 표면온도에 대한 것으로 열화상 이미지(464*348pixel)를 구성하는 픽셀들의 표면온도를 수치화한 것을 보여준다.
- [0071] 도 11은 본 발명의 실시예에 따라 열화상 이미지 결과와 고속수치모델 결과를 비교하는 모습을 예시적으로 설명한 도면이다.
- [0072] 도 11의 좌측의 그림 1개는 열화상 이미지를 구획한 그림을 나타내고 우측 그림 3개는 서로 다른 고속수치모델 별로 각 구획 영역 별 결과를 도출한 개념을 예시적으로 보여준다. 이러한 예시는 타겟표면을 7개 구간(영역)으

로 구획하여 분석하는 것을 가정한 것이다.

- [0073] 먼저, 도 11의 우측 그림들과 같이 각각의 고속수치모델은 타겟 표면을 구성한 7개 영역구간 별로 평균온도 값을 출력하며, 이러한 7개의 온도 값을 원소로 하는 온도 결과 벡터를 출력 벡터로 제공한다. 이를 통해 제어부(130)는 각각의 고속수치모델 별로 온도 결과 벡터를 획득한다. 이 경우 고속수치모델은 타겟표면의 각 구간 별로 해당 구간 상에 존재한 표면 그리드들에서 나타나는 표면온도 값에 대한 평균 값을 추정하여 출력 벡터로 도출하도록 미리 프로그래밍될 수 있다.
- [0074] 아울러, 도 11의 좌측 그림과 같이, 제어부(130)는 열화상 이미지의 각 픽셀의 온도 값으로부터 타겟 표면의 각 영역별 온도 데이터를 산출한다. 구체적으로, 제어부(130)는 타겟 표면의 구획된 7개 영역 각각 별로, 영역 내 존재한 픽셀들의 온도 값을 평균하게 되면 각 영역 별 평균온도를 산출할 수 있으며, 이에 따라 7개의 온도 값을 원소로 하는 온도 결과 벡터를 출력 벡터로 획득한다.
- [0075] 이와 같이 제어부(130)는 입력되는 열화상 이미지로부터 타겟 부위를 7분할하고 각 영역 별로 평균온도 값을 산출할 수 있다. 이때, 타겟 부위는 사용자로부터 설정받을 수도 있지만 사전에 좌표나 영역이 세팅될 수도 있고 이미지로부터 자동 인식될 수도 있다.
- [0076] 열화상 카메라는 앞서 설명한 바와 같이 픽셀 단위의 온도 값을 시각화 하는 장비이며 영역을 구획하여 접합부와 인접한 벽체 표면온도 값을 평균적으로 제시하는데 어려움이 없다. 또한 고속계산 수치모델은 도 11과 같이 열화상 촬영을 진행한 부위에 대해 50mm 간격으로 해당 영역의 온도를 평균하여 결과 값으로 제시할 수 있다. 즉, 7개의 표면에 대해 열화상과 비교를 진행할 경우 7개의 표면온도를 결과로 제시할 수 있다. 이와 같이 열화상 이미지는 수치모델과 동일한 간격으로 조절하여 픽셀을 구획하고 각 구획의 평균온도가 가장 유사한 수치모델을 찾아 창-벽체 접합부의 단열성능을 확인하도록 한다.
- [0077] 여기서, 제어부(130)는 고속수치모델로부터 도출된 타겟표면의 각 구역 별 평균온도에 해당하는 제1 온도 결과 벡터와, 열화상 이미지로부터 산출된 타겟표면의 각 구역 별 평균온도 값에 해당하는 제2 온도 결과 벡터를 서로 비교하여, 오차가 가장 낮은 고속수치모델을 탐색한다.
- [0078] 구체적으로, 제어부(130)는 제1 온도 결과 벡터 및 제2 온도 결과 벡터의 각 원소 간 오차를 평균한 값이 가장 최소인 하나의 고속수치 모델을 결정한다. 만일, 타겟표면을 분할한 구역이 총 7개인 경우, 7개 영역 각각 별로 평균온도 값 간의 오차를 구한 다음, 그 오차를 평균한 값이 가장 낮은 모델을 최적 모델로 도출한다.
- [0079] 앞서 설명한 도 8의 경우 현재의 열화상 이미지의 결과와 복수의 고속수치모델 간의 결과를 비교한 결과, 가장 오차가 최소인 모델 2를 최적 모델로 도출한 결과를 예시하고 있다.
- [0080] 그런 다음, 예측부(140)는 결정된 고속수치모델에 대응되는 해당 시공모델의 상기 선형열관류율을 바탕으로 창호-벽체 접합부의 시공 상태를 예측한다(S450).
- [0081] 여기서, 예측부(140)는 상기 결정된 해당 시공모델에 대응된 선형열관류율(B)이 상기 창호-벽체 접합부의 정상 시공 상태에 대응된 정상 시공모델에 대응된 선형열관류율(A)을 초과한 비율을 아래 수학적 식 1로 연산하여, 정상 시공일 때의 100% 성능 대비 현재 검사 대상이 되는 창호-벽체 접합부의 성능 저하 정도를 예측한다.

수학적 식 1

[0082] 성능 저하 정도(%) = $[(B-A)/A] \times 100$

[0083] 도 8의 경우, 정상 시공모델(모델 1)에 대응된 선형열관류율(A)은 0.623 W/m·k이고, 현재 현장과 가장 유사한 것으로 파악된 시공모델(모델 2)에 대응된 선형열관류율(B)은 0.686 W/m·k이므로, 이를 수학적 식 1에 대입하면, 성능 저하 정도는 10%로 도출된다.

[0084] 따라서, 현재의 검사대상이 되는 시공 구조물에 대한 창호-벽체 접합부의 성능을 분석한 결과, 정상 시공 상태 대비 10%의 성능 저하가 있는 것으로 예상 및 진단될 수 있다. 이러한 성능 저하가 클수록 결로 발생율이 높아진다. 따라서 본 발명의 기법을 통하여 예상된 성능 저하 정도는 해당 구조물에 대한 접합부의 하자 시공을 판가름하는 지표로 활용될 수 있으며, 성능 저하 정도가 기 설정된 임계값(예: 30%) 이상이면 접합부가 하자 시공된 것으로 최종 판정할 수 있다.

- [0085] 다음은 본 발명의 실시예에 적용된 고속수치모델에 관하여 상세히 설명한다.
- [0086] 본 발명의 기술은 시뮬레이션과 열화상 기법을 사용하여 시공 현장의 열교 가능성을 판단하기 위한 것으로, 이를 가능하기 위해서는 다음과 같은 조건들이 전제될 필요가 있다. 첫째로 제한된 경계 조건(실내와 실외 간 온도가 일정하게 유지되는 조건)과 동적인 경계조건(실내와 실외 간 온도의 변화 폭이 큰 조건) 모두에서 신뢰할 수 있는 열화상 결과를 제시하여야 한다. 둘째로 도 8에 개시된 모델 1과 같이 이상적으로 시공되어 접합부에 결함이 발생하지 않았을 경우의 결과를 제시할 수 있어야 한다. 셋째로 실제 열화상 결과를 빠르게 묘사하는 디지털-트윈 기술을 적용하여 현장 즉각적 분석에 적합한 고속의 수치 모델이 필요하다.
- [0087] 고속 계산이 가능한 수치모델이 필요한 이유는 현장 즉각적인 분석을 가능케 하기 위함이다. 앞서 설명한 바와 같이 기존의 시뮬레이션 프로그램은 높은 수준의 정확성을 나타내는 장점이 있으나 높은 수준의 computational resource가 요구되며 계산에 수행되는 시간이 매우 길다는 단점이 있다. 이러한 점은 현장 즉각적인 분석 측면의 접근과 상충된다.
- [0088] 본 발명의 실시예에서 제안하는 수치 모델은 3차원 구조체의 열적 특성을 행렬 형태의 상태공간방정식으로 정의하고, 도 5와 같이 특정 영역의 온도 결과만을 빠르게 도출할 수 있도록 한다.
- [0089] 구현한 수치 모델은 Moore's Method를 기반으로 한다. 상기 방법은 상태공간방정식의 상태변수(state variables)의 제어가능성(controllability)과 관측가능성(observability)에 대한 균형접근(balanced approach)을 통해 사용자가 목적으로 하는 결과를 정확하고 빠르게 묘사하는데 용이하다. 쉽게 설명하자면, 유한요소법 기반의 시뮬레이션 프로그램과 상태공간방정식으로 구성된 모델은 전체 구조체를 구성하는 노드 또는 행렬에 대해 모든 계산을 수행하기 때문에 계산시간이 길다. 하지만 균형접근의 경우 도 5와 같이 목적으로 하는 표면에 영향을 주지 않는 변수들을 제거하여 새로이 정의하여 계산하기 때문에 수행해야하는 계산의 숫자가 기하급수적으로 줄어든다.
- [0090] 즉, 본 발명에서는 Moore's method를 기반으로 만들어진 높은 정확도와 빠른 속도를 갖는 수치모델을 통해 현장 즉각적으로 창-벽체 접합부의 단열 시공 성능을 파악하고자 한다. 상용 시뮬레이션 프로그램의 경우 시뮬레이션 대상 모델에 대해 격자(mesh)를 구성하고 이를 행렬 형태로 나타내어 계산을 수행한다. 이 경우 격자를 구성하는 모든 노드가 계산에 사용됨으로 계산 시간이 매우 길다. 반면 고속 계산 수치모델은 구조체 전체에서 특정 부위에 대한 결과를 확인할 경우에 효과적이다.
- [0091] 고속 계산 수치모델은 특정영역의 표면온도 결과를 도출하는데 영향도가 낮은(Observability와 Controllability가 낮은) 값을 제거하고 새로운 차원(basis)에서 새로이 수식을 정의함으로써 앞서 설명한 접합부 주변 벽체 표면에 대한 결과를 정확하고 빠르게 도출할 수 있다
- [0092] 도 12는 본 발명의 실시예에서 리덕션 모델을 통한 차원수 축소 개념을 설명한 도면이다.
- [0093] 도 12에 나타난 것과 같이 본 발명의 실시예의 경우 상태공간모델을 구성하는 각각의 행렬의 차수를 줄인 모델을 구현하는 방법론을 사용한다. Balanced truncation method은 입력 변수의 Controllability와 출력 값의 Observability의 균형 조정 접근에 기초한 방법론이다. 3차원 창호 벽체에 대한 상태공간모델은 결과값(표면온도) 도출을 위해 3,000개 이상의 방정식이 필요한 반면, 리덕션 모델의 경우 10~30개 수준의 방정식으로 목적으로 하는 결과값을 빠르고 정확하게 도출할 수 있는 장점이 있다. 이와 같이, 공간모델의 차원수 축소를 통하여 연산 복잡도를 저감시키고 신속한 결과 예측이 가능하게 한다.
- [0094] 상태공간방정식으로 구성된 모델에 본 발명의 실시예를 위한 Moore's Method를 적용하여 새로운 차원에서 행렬을 정의하는 과정은 다음과 같다.
- [0095] 우선, 상태공간방정식은 수학식 2 및 수학식 3과 같이 정의할 수 있다.

수학식 2

$$\dot{\mathbf{CT}}(t) = \mathbf{AT}(t) + \mathbf{BU}(t)$$

[0096]

수학식 3

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{J}\mathbf{T}(t) + \mathbf{D}\mathbf{U}(t)$$

[0097]

[0098] 수학식 2는 상태-공간 방정식(State Space)을 정의한 행렬식이다. 상태-공간방정식을 구성하는 C, A, B는 3차원 구조체를 구성하는 노드가 포함하는 초기 데이터에 대한 행렬을 나타낸다. t는 시간을 나타낸다.

[0099] 여기서 'C'는 'Capacitance Matrix'로 3차원 구조체를 구성하는 노드가 포함하는 밀도(density)와 비열(specific heat)을 포함하는 행렬이다. 'A'는 'Conductance Matrix'로 상태 벡터 T(t)로 표현되는 노드 간 관계를 나타내는 행렬이다. 'B'는 'Solicitation Matrix'로 3차원 구조체(시스템)와 경계조건(Boundary condition) 사이의 물리적 관계에 의하여 정의되는 행렬이다. 여기서 경계조건이라 함은 실내외에서 구조물로 들어오는 자극(external load)에 대한 것으로 대류열전달계수, 일사 등을 의미한다.

[0100] 수학식 3의 Y는 수학식 1을 통해 사용자가 목표로 하는 값을 출력하는 출력벡터로 본 발명에서는 창호-벽체 접합부 주변부 표면들의 각 영역 별 평균온도를 의미한다. 예를 들면, 출력 벡터 Y는 7타겟표면의 7개 영역 각각의 평균온도를 포함하는 벡터로 7개의 원소로 이루어진다. T(t)는 상태벡터로 각각의 노드의 온도 값으로 구성되며, U(t)는 입력 벡터로 측정된 실내외 온도 데이터로 구성된다.

[0101] 이러한 수학식 3은 수학식 2에서 결과값(창-벽체 접합부 주변부 표면들의 영역별 평균온도)을 도출하기 위해 구성된 식이다. 여기서, 행렬 J는 열화상 이미지를 구획하였듯 해당하는 영역에 포함되는 노드들을 구분하여 행렬화 한 것으로 '출력행렬'(output matrix)이고, D는 feedforward 또는 feedthrough matrix로 알려져 있다. 다만, 본 모델에서는 영행렬이므로 D는 표현되지 않는다.

[0102] 수학식 2와 3을 이용할 경우에 연산의 복잡도가 높아지므로 본 발명의 경우 이를 변형한 수학식 7을 활용한다. 그 전개과정은 다음과 같다.

[0103] 수학식 4는 위의 수학식 2와 3의 상태공간 방정식에서 제어할 수 없거나 관측할 수 없는 변수를 정의하여 새로운 차원에서 행렬을 정의하는 식으로, controllable Gramian matrix Wc와 observability Gramian matrix Wo를 정의하고 있다.

수학식 4

$$\mathbf{W}_c = \int_0^\infty e^{\mathbf{A}t} \mathbf{B} \mathbf{B}^T e^{\mathbf{A}^T t} dt, \mathbf{W}_o = \int_0^\infty e^{\mathbf{A}^T t} \mathbf{C}^T \mathbf{C} e^{\mathbf{A}t} dt$$

[0104]

[0105] 이 두 가지 행렬 Wc와 Wo를 사용함으로써, 수학식 2와 3은 새로운 차원(basis)인 X로 controllability와 observability를 고려하여 변환될 수 있다.

[0106] 상태변수 T는 선형변환을 통해 수학식 5와 같이 표현할 수 있으며 여기서 M은 balanced Gramian matrices의 eigen value을 나타내며 수학식 6으로 표현될 수 있다.

수학식 5

$$\mathbf{T} = \mathbf{M}\mathbf{X}$$

[0107]

수학식 6

$$\mathbf{M}^{-1} \mathbf{W}_c \mathbf{M}^{-T} = \mathbf{M}^T \mathbf{W}_o \mathbf{M}$$

[0108]

[0109] M matrix로 basis change를 하였을 때 수학식 2와 3은 다음의 수학식 7과 같이 정리될 수 있다.

수학식 7

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = \underbrace{M^{-1}C^{-1}AM}_{\Omega} X(t) + \underbrace{M^{-1}C^{-1}B}_{\Pi} U(t) \\ Y(t) = \underbrace{JM}_{H} X(t) + DU(t) \end{cases}$$

[0110]

[0111]

이러한 수학식 7은 본 발명에 적용된 수치해석모델에 관한 것으로, 수학식 3으로 표현되는 결과들을 빠르게 계산하기 위해 고안된 본 발명의 수치해석적 방법이 적용된 최종식을 나타낸다.

[0112]

수학식 7의 첫번째 행은 $X(t)$ 의 추정값을 얻는 과정이고, 두번째 행은 첫번째 행에서 얻은 $X(t)$ 추정값을 자신의 $x(t)$ 항에 대입하여 온도 결과 벡터인 $Y(t)$ 를 추정하는 과정을 나타낸다. 첫번째 행에서는 현장에서 관측된 실내의 온도 이력 데이터 $U(t)$ 가 입력 변수로 사용된 것을 알 수 있다.

[0113]

요약하면 수학식 4는 수학식 2와 3에서 제어불가 변수와 관측불가 변수를 제거하여 새로운 차원(basis) X 에서 식을 정의하기 위해 필요한 행렬로 W_c 는 'Controllable Gramian matrix' W_o 는 'Observability Gramian matrix'를 의미한다. 또한, 수학식 5, 6, 7에서 M 은 W_c 와 W_o 의 eigen vector이며 'State-transforming matrix'이다. 수학식 6에서 T 는 M 과 새로운 차원 X 의 곱으로 구성된 '선형변환(linear transformation)'을 의미한다. 이와 같이, 수학식 7은 새로운 차원 X 에 대해 정의된 행렬식이며 수학식 2에서와 동일하게 $U(t)$ 는 시간에 따른 실내의 온도에 대한 입력 벡터이다.

[0114]

도 13은 본 발명의 실시예에 따른 고속수치모델을 적용한 경우의 정확도를 기존 방법과 비교한 도면이다.

[0115]

도 13은 종래의 상태공간모델을 이용한 타겟 표면의 온도 추정값과, 종래보다 차원수를 줄인 본 발명에 의한 리덕션 모델의 차수별 타겟 표면의 온도 추정값을 나타낸다. 리덕션 모델은 시뮬레이션 상의 16,899개의 노드로 구성된 모델과 1% 미만의 차이가 나타남을 확인하였다. 여기서, 리덕션모델의 차수 m 을 1이나 2로 조정된 경우에는 종래 모델과 오차가 크게 발생하였으나, 차수가 10인 수준에서는 종래와 유사한 결과 즉, 높은 정확성을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0116]

본 발명에 따르면, 현장에서 획득한 창호-벽체 접합부 주변의 열화상 이미지의 결과 데이터와 시공 상태 별로 사전 구축한 복수의 고속수치모델의 시뮬레이션 결과 데이터를 서로 비교하여 창호-벽체 간 접합부의 시공 수준이나 상태를 빠르고 정확하게 판별해낼 수 있다. 아울러, 낮은 차원수의 고속수치모델을 사용하여 고속으로 높은 정확도의 결과 값을 도출해낼 수 있다.

[0117]

본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0118]

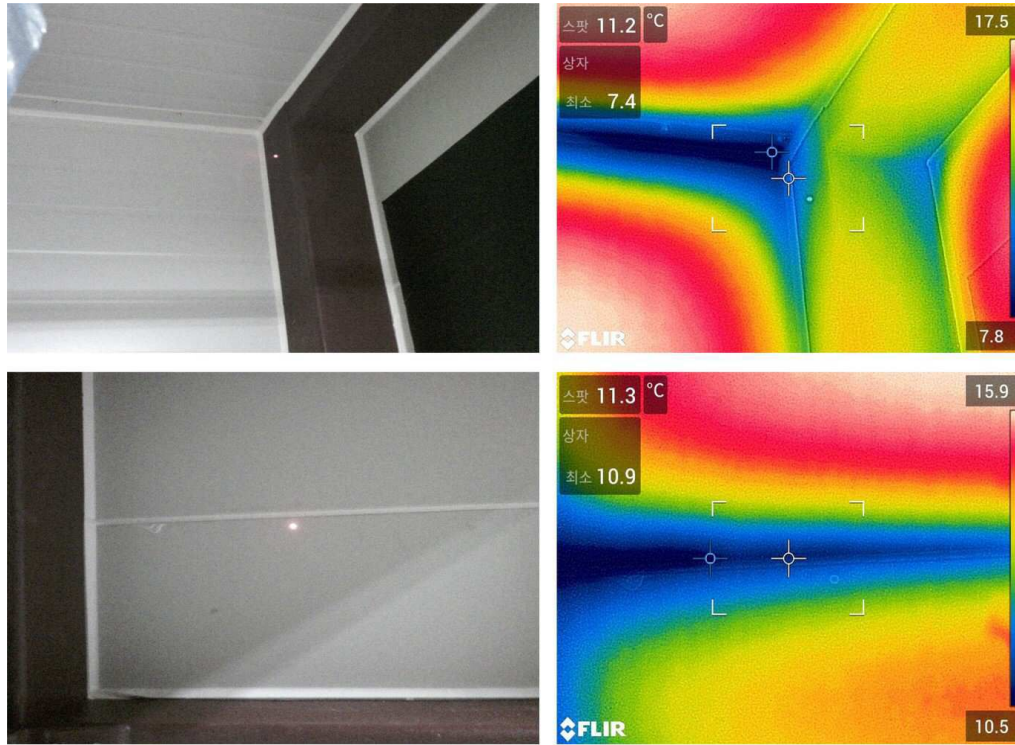
100: 창호-벽체 접합부 시공 상태 예측 장치

110: 데이터 구축부 120: 데이터 입력부

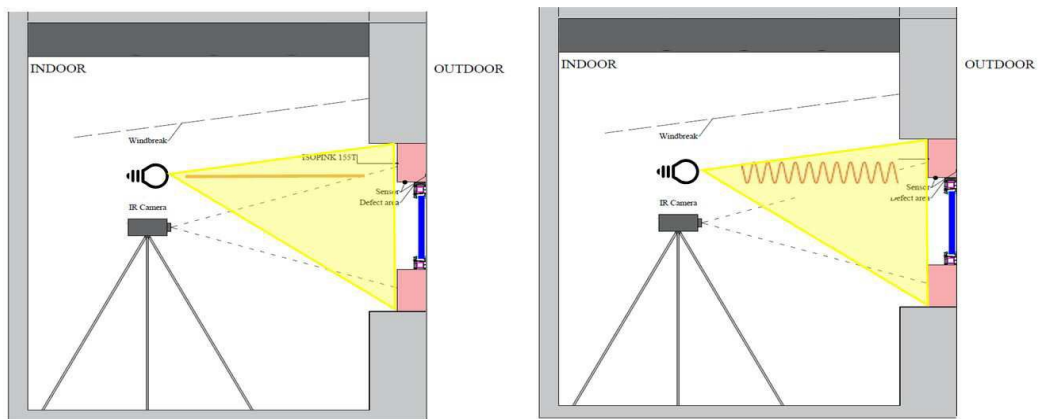
130: 제어부 140: 예측부

도면

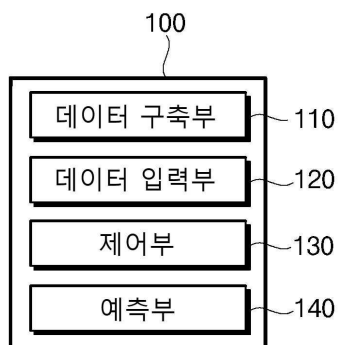
도면1



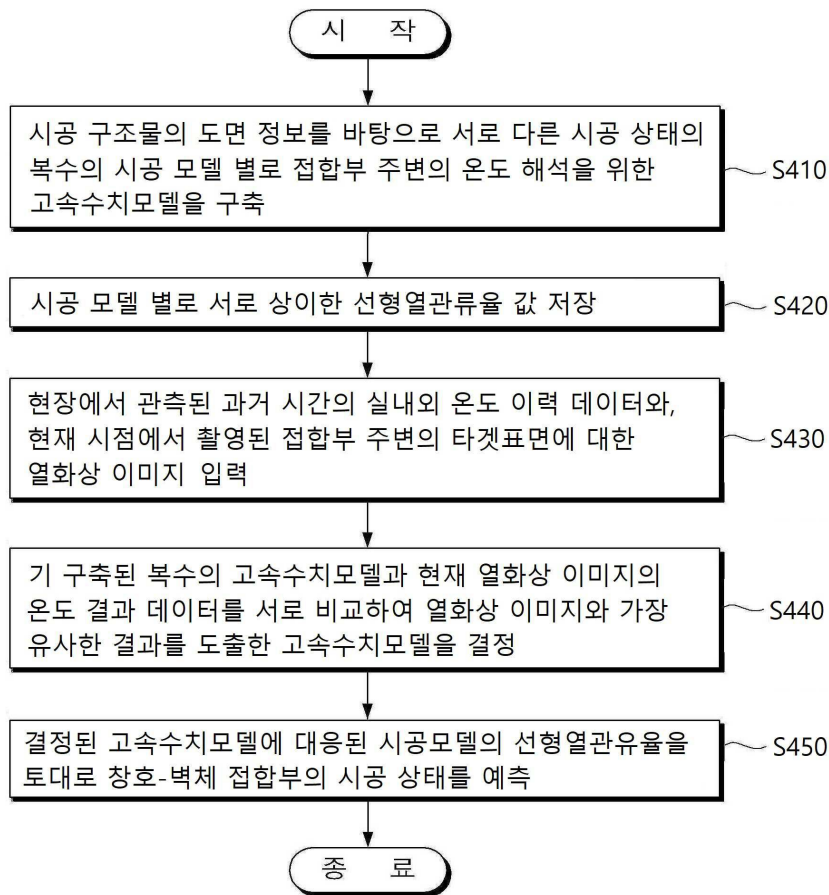
도면2



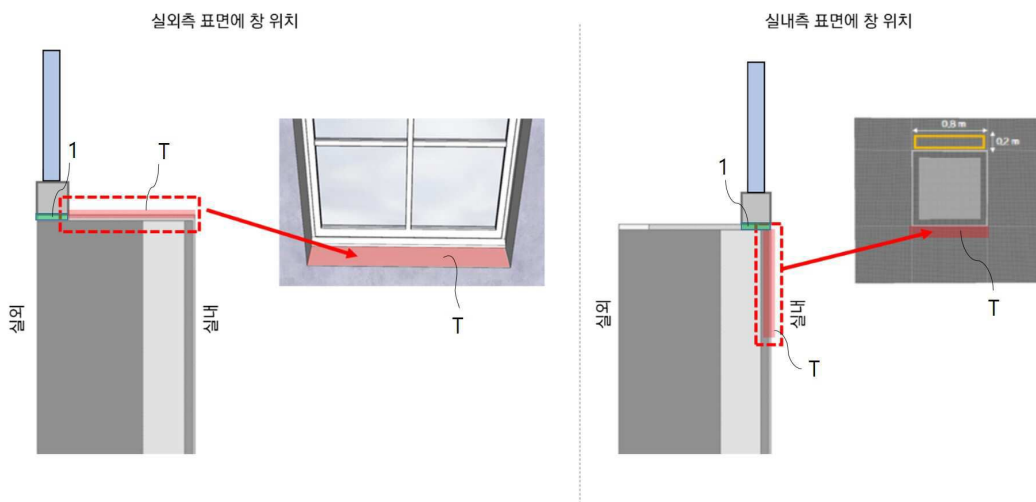
도면3



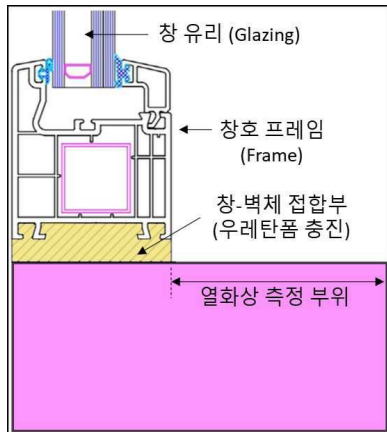
도면4



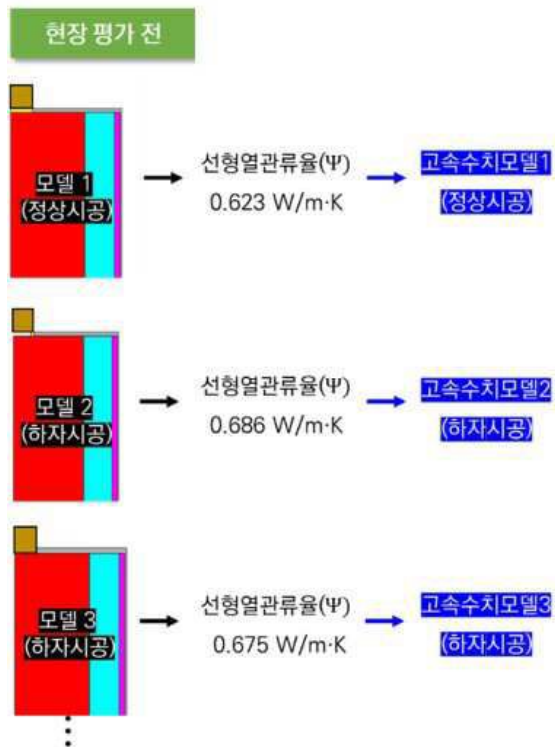
도면5



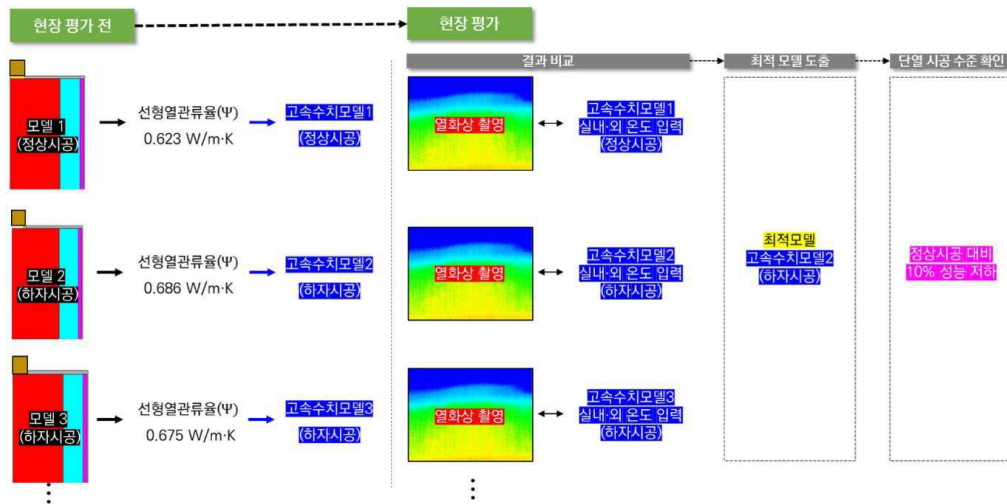
도면6



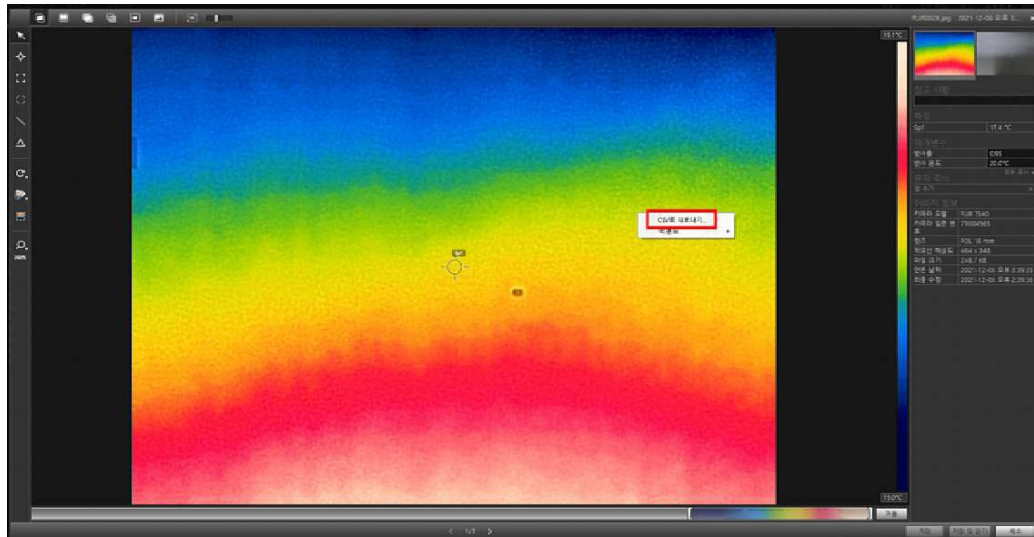
도면7



도면8



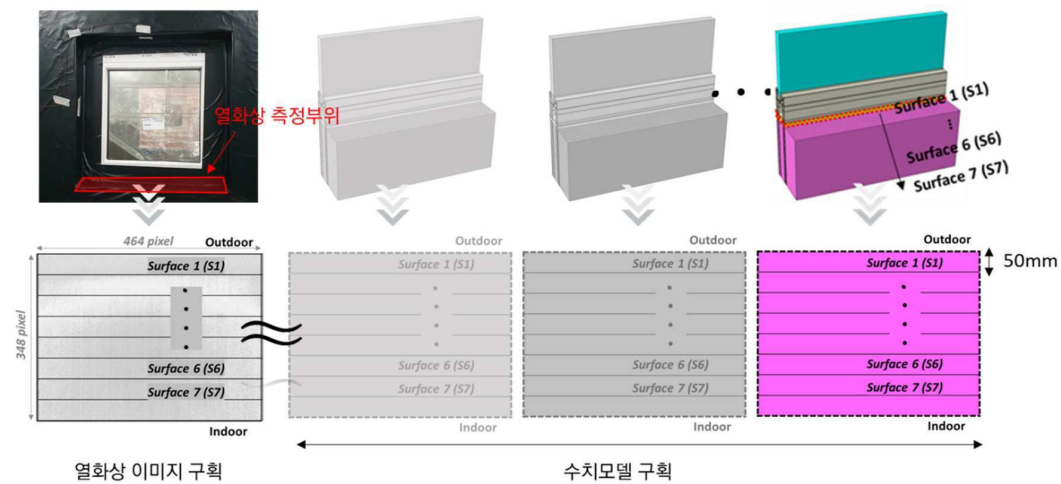
도면9



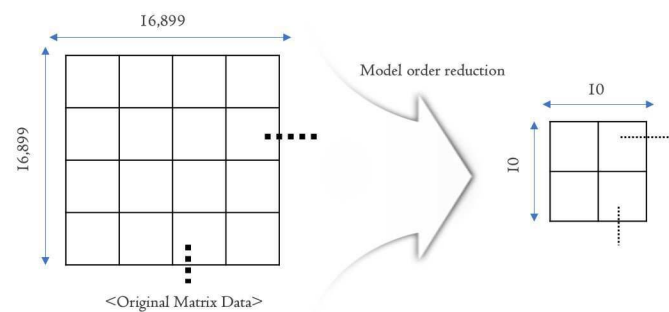
도면10

픽셀	1	2	3	4	5	6	7	8
1	15.844	15.838	15.833	15.827	15.827	15.827	15.833	15.838
2	15.862	15.856	15.85	15.85	15.844	15.85	15.844	15.856
3	15.885	15.874	15.868	15.868	15.862	15.862	15.868	15.874
4	15.903	15.897	15.891	15.885	15.88	15.885	15.891	15.891
5	15.921	15.915	15.915	15.909	15.909	15.903	15.903	15.909
6	15.944	15.938	15.938	15.932	15.927	15.927	15.927	15.927
7	15.962	15.956	15.956	15.95	15.95	15.944	15.944	15.95
8	15.974	15.974	15.968	15.968	15.968	15.968	15.968	15.968
9	15.991	15.985	15.979	15.979	15.979	15.979	15.985	15.985
10	15.997	15.997	15.991	15.991	15.997	15.997	15.997	16.003
11	16.003	16.003	16.003	16.003	16.003	16.009	16.015	16.015
12	16.015	16.015	16.015	16.015	16.021	16.026	16.021	16.026
13	16.026	16.026	16.026	16.026	16.032	16.032	16.032	16.032
14	16.038	16.038	16.038	16.038	16.038	16.044	16.038	16.044
15	16.044	16.05	16.05	16.05	16.056	16.056	16.056	16.056
16	16.056	16.062	16.062	16.062	16.062	16.062	16.062	16.062
17	16.073	16.073	16.073	16.067	16.073	16.067	16.073	16.073
18	16.079	16.079	16.079	16.079	16.073	16.079	16.079	16.079
19	16.091	16.091	16.085	16.085	16.079	16.085	16.079	16.085
20	16.103	16.103	16.097	16.091	16.085	16.079	16.085	16.085
21	16.114	16.109	16.103	16.097	16.091	16.085	16.085	16.091

도면11



도면12



도면13

