



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0025927  
(43) 공개일자 2021년03월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G06F 30/00 (2020.01) F24F 11/00 (2018.01)  
G01K 1/14 (2021.01) G06F 17/11 (2006.01)  
G06Q 50/10 (2012.01)  
(52) CPC특허분류  
G06F 30/20 (2020.01)  
F24F 11/0001 (2018.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0105963  
(22) 출원일자 2019년08월28일  
심사청구일자 2019년08월28일  
기술이전 희망 : 기술양도

(71) 출원인  
인천대학교 산학협력단  
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)  
(72) 발명자  
황광일  
인천광역시 연수구 송도문화로28번길 81, 105동  
3701호 (송도동, 송도더샵그린스퀘어)  
(74) 대리인  
특허법인충정

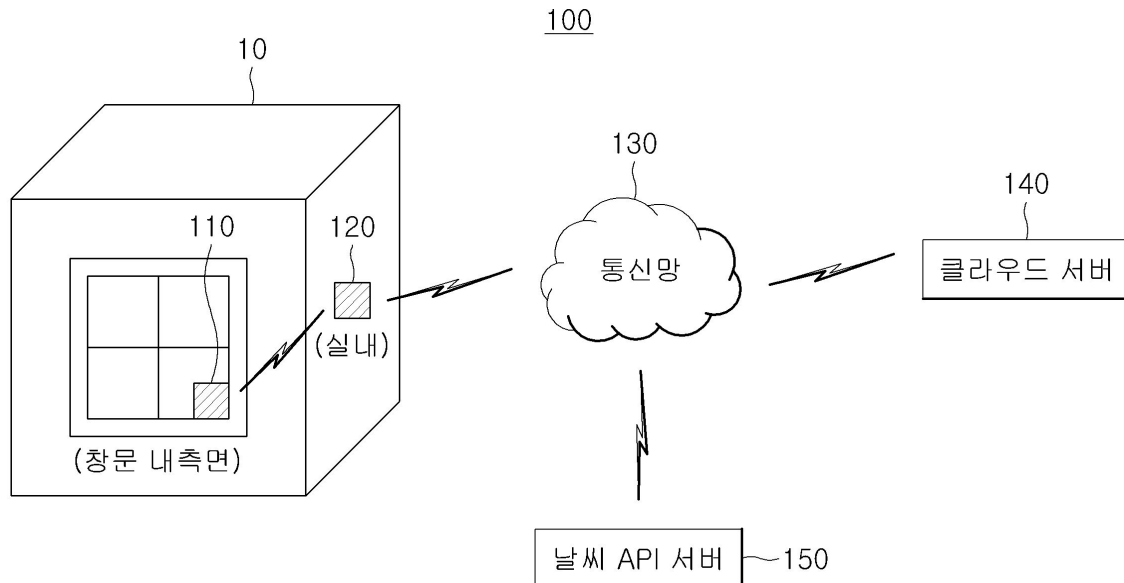
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 실내 결로 발생 시간을 예측하는 결로 예측 시스템 및 방법

(57) 요약

실내 결로 발생 시간을 예측하는 결로 예측 시스템 및 방법은 실내 온도와 실외 온도의 온도 변화에 따라 결로가 발생할 표면의 표면 온도 추정치를 예측하는 모델링을 수행하고, 상기 예측된 표면 온도 추정치와 이슬점 온도의 시간에 따른 변화를 분석하여 결로가 발생하는 결로 예측 시간을 계산하여 알려줌으로써 사전 환기 작업을 통해 결로를 사전에 예방할 수 있는 효과가 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

**G01K 1/143** (2021.01)

**G06F 17/11** (2013.01)

**G06Q 50/10** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                                               |
|-------------|-----------------------------------------------|
| 과제고유번호      | 2015RID1A1A01059317                           |
| 부처명         | 한국연구재단                                        |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                                        |
| 연구사업명       | 기본연구지원사업                                      |
| 연구과제명       | 사용자 주거 행동패턴 피드백을 고려한 실시간 결로 탐지 · 예측 시스템에 관한 연 |
| 구           |                                               |
| 기 여 율       | 1/1                                           |
| 과제수행기관명     | 인천대학교                                         |
| 연구기간        | 2015.11.01 ~ 2018.10.31                       |

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

결로가 발생하는 창문의 내측면에 부착된 제1 센서노드;

실내의 일측에 부착된 제2 센서노드; 및

상기 제1 센서노드로부터 창문 내측면의 표면 온도를 무선 통신으로 수신하고, 상기 제2 센서노드로부터 실내 온도와 습도 정보를 무선 통신으로 수신하고, 외부의 날씨 정보 서버로부터 실외 온도를 수신하고, 상기 표면 온도와 상기 습도 정보를 하기의 수학식 1과 수학식 2의 바렌부르크 공식(Barenbrug Formula)을 이용하여 이슬점 온도를 계산하며, 상기 창문 내측면의 표면 온도와 상기 계산한 이슬점 온도의 시간에 따른 변화 패턴을 모니터링하여 미래에 발생할 결로 발생의 시간을 계산하여 알리는 결로 예측부를 구비한 클라이언트 서버를 포함하는 것을 특징으로 하는 결로 예측 시스템.

[수학식 1]

$$T_d = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)}$$

[수학식 2]

$$\alpha(T, RH) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln\left(\frac{RH}{100}\right)$$

여기서, a는 17.27℃, b는 237.3℃, T는 창문 내측면의 표면 온도, 0℃ < T < 60℃, RH는 상기 제2 센서노드에서 측정된 실내 공간의 실내 습도, 1% < RH < 100%, Td는 이슬점 온도임.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 결로 예측부는 시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도( $T_{surf}^i$ )에서 두 점 ( $(i-1, T_{surf}^{i-1})$  and  $(i, T_{surf}^i)$ ) 을 이용한 제1 직선방정식(Tangent of Tsurf)을 기설정된 시간 단위마다 주기적으로 생성하고, 시간(i)에 따른 이슬점 온도( $T_{dew}^i$ )에서 두 점 ( $(i-1, T_{dew}^{i-1})$  and  $(i, T_{dew}^i)$ ) 을 이용한 제2 직선방정식(Tangent of Tdew)을 기설정된 시간 단위마다 주기적으로 생성하는 것을 특징으로 하는 결로 예측 시스템.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 결로 예측부는 상기 각각의 제1 직선방정식으로부터 얻은 제1 직선과, 상기 각각의 제2 직선방정식으로부터 얻은 제2 직선의 시간에 따른 변화 패턴을 분석하며, 상기 제1 직선과 상기 제2 직선이 만나는 교차점을 결로 발생 지점으로 판단하고, 현재 시간에서 상기 결로 발생 지점까지 소요되는 결로 예측 시간( $\tau_{pred}^i$ )을 계산하는 것을 특징으로 하는 결로 예측 시스템.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 창문 내측면의 표면 온도는 상기 제1 센서노드로부터 측정된 창문 내측면의 측정 표면 온도이고,

상기 클라이언트 서버는 시간대별 상기 실내 온도와 상기 실외 온도에 따른 상기 측정 표면 온도의 상관 관계를 기계 학습하여 상기 실내 온도와 상기 실외 온도에 대한 창문 내측면의 표면 온도를 추정하는 것을 특징으로 하는 결로 예측 시스템.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 클라이언트 서버는 하기의 수학식 3의 선형 회귀 모델을 이용하여 하기의 수학식 3의 파라미터인 선형 계수값( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ )의 최적값을 찾기 위해서 상기 실내 온도와 상기 실외 온도에 따른 상기 측정 표면 온도의 상관 관계를 기계 학습하고, 상기 기계 학습으로 얻어진 선형 계수값( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ )을 하기의 수학식 3에 대입하여 상기 창문 내측면의 표면 온도 추정치를 계산하는 기계 학습부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 결로 예측 시스템.

[수학식 3]

$$T_{surf}^i = \alpha * T_{in}^i + \beta * T_{out}^i + c$$

여기서,  $T_{surf}^i$  은 시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도 추정치,  $T_{in}^i$  은 시간(i)에 따른 실내 온도,  $T_{out}^i$  은 시간(i)에 따른 실외 온도임.

#### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 기계 학습부는 상기 제1 센서노드에서 측정된 창문 내측면의 측정 표면 온도(Tsurf-real)와 상기 계산된 창문 내측면의 표면 온도 추정치(Tsurf-pred)의 시간에 따른 변화를 시간대별, 날짜별로 그래프로 각각 생성하고, 상기 측정 표면 온도와 상기 표면 온도 추정치의 차이값이 기설정된 기준값 이하일 때, 상기 선형 계수값( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ )을 선택하는 것을 특징으로 하는 결로 예측 시스템.

#### 청구항 7

제5항에 있어서,

상기 창문 내측면의 표면 온도는 상기 계산된 창문 내측면의 표면 온도 추정치인 것을 특징으로 하는 결로 예측 시스템.

#### 청구항 8

하나 이상의 센서노드 및 클라이언트 서버로 이루어진 실내 결로 발생 시간을 예측하는 방법에 있어서,

상기 클라이언트 서버는 결로가 발생하는 창문의 내측면에 부착된 제1 센서노드로부터 창문 내측면의 표면 온도를 무선 통신으로 수신하고, 실내의 일측에 부착된 제2 센서노드로부터 실내 온도와 습도 정보를 무선 통신으로 수신하고, 외부의 날씨 정보 서버로부터 실외 온도를 수신하는 단계;

상기 클라이언트 서버는 상기 표면 온도와 상기 습도 정보를 하기의 수학식 4와 수학식 5의 바렌부르크 공식(Barenbrug Formula)을 이용하여 이슬점 온도를 계산하며, 상기 창문 내측면의 표면 온도와 상기 계산한 이슬점 온도의 시간에 따른 변화 패턴을 모니터링하여 미래에 발생할 결로 발생의 시간을 계산하여 알리는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 실내 결로 발생 시간을 예측하는 방법.

[수학식 4]

$$T_d = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)}$$

[수학식 5]

$$\alpha(T, RH) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln\left(\frac{RH}{100}\right)$$

여기서, a는 17.27℃, b는 237.3℃, T는 창문 내측면의 표면 온도, 0℃ < T < 60℃, RH는 상기 제2 센서노드에 서 측정된 실내 공간의 실내 습도, 1% < RH < 100%, Td는 이슬점 온도임.

#### 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 결로 발생 시간을 계산하여 알리는 단계는,

시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도( $T_{surf}^i$ )에서 두 점 ( $i-1, T_{surf}^{i-1}$ ) and ( $i, T_{surf}^i$ ) 을 이용한 제1 직선방정식(Tangent of Tsurf)을 기설정된 시간 단위마다 주기적으로 생성하는 단계; 및

시간(i)에 따른 이슬점 온도( $T_{dew}^i$ )에서 두 점 ( $i-1, T_{dew}^{i-1}$ ) and ( $i, T_{dew}^i$ ) 을 이용한 제2 직선방정식(Tangent of Tdew)을 기설정된 시간 단위마다 주기적으로 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 결로 예측 시스템.

#### 청구항 10

제9항에 있어서,

상기 각각의 제1 직선방정식으로부터 얻은 제1 직선과, 상기 각각의 제2 직선방정식으로부터 얻은 제2 직선의 시간에 따른 변화 패턴을 분석하는 단계; 및

상기 제1 직선과 상기 제2 직선이 만나는 교차점을 결로 발생 지점으로 판단하고, 현재 시간에서 상기 결로 발생 지점까지 소요되는 결로 예측 시간( $\tau_{pred}^i$ )을 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 결로 예측 시스템.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001]

본 발명은 결로 예측 시스템에 관한 것으로서, 특히 실내 온도와 실외 온도의 온도 변화에 따라 결로가 발생할 표면의 표면 온도를 예측하는 모델링을 수행하고, 상기 예측된 표면 온도와 이슬점 온도의 시간에 따른 변화를 분석하여 실내 결로가 발생하는 시간을 계산하여 미리 알려주는 실내 결로 발생 시간을 예측하는 결로 예측 시스템 및 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002]

결로는 공기 중의 수증기에 의해서 발생하는 일종의 습윤 상태를 말한다.

[0003]

실내 건축물에서의 결로는 지난 수십년 간 건축 분야에서 큰 문제 중 하나로 지속되었으며, 다양한 노력에 의해 결로에 의한 피해를 최소화하는데 노력했다.

[0004]

실내 건축물은 결로가 생기면, 부투습성의 재료 표면에 물방울이 맺히고, 흡수성 물질에 습기가 차서 곰팡이류, 각종 균의 번식으로 인한 손상 및 불쾌한 냄새가 발생하게 되며, 변형에 의해 건물 재료와 구조체에 해를 끼치

게 된다.

[0005] 곰팡이는 균사로 되어 있는 사상균으로 인체 흡입시 호흡기 질환을 유발시킬 수 있으며, 거주 환경이 악화되는 문제점이 발생할 수 있다.

[0006] 결로에 관한 해결 방안은 건축물의 내장재와 외장재를 결로에 강인한 재료를 고려하여 건축을 수행하는 것이다.

[0007] 그러나 실내 건축물에서의 결로는 최적의 재료 및 구조물을 이용하여 건축 설계를 수행한다 하더라도 결로가 입주 및 생활 전반에 걸쳐 실내와 실외의 온도차에 의한 실내 습도 변화에 의해 발생하기 때문에 근본적으로 결로 문제의 해결책이 되지 못하고 있다.

[0008] 결로 문제가 어려운 이유는 각 건축물마다 사용된 재료가 다르고, 구조물의 크기가 다르며, 이와 더불어 거주자의 생활 패턴이 다르기 때문에 이에 대한 포괄적인 솔루션을 찾기가 어렵다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국 등록특허번호 제10-1742059호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0010] 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 실내 온도와 실외 온도의 온도 변화에 따라 결로가 발생할 표면의 표면 온도를 예측하는 모델링을 수행하고, 상기 예측된 표면 온도와 이슬점 온도의 시간에 따른 변화를 분석하여 실내 결로가 발생하는 시간을 계산하여 미리 알려주는 실내 결로 발생 시간을 예측하는 결로 예측 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

### 과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 실내 결로 발생 시간을 예측하는 시스템은,

[0012] 결로가 발생하는 창문의 내측면에 부착된 제1 센서노드;

[0013] 실내의 일측에 부착된 제2 센서노드; 및

[0014] 상기 제1 센서노드로부터 창문 내측면의 표면 온도를 무선 통신으로 수신하고, 상기 제2 센서노드로부터 실내 온도와 습도 정보를 무선 통신으로 수신하고, 외부의 날씨 정보 서버로부터 실외 온도를 수신하고, 상기 표면 온도와 상기 습도 정보를 하기의 수학식 1과 수학식 2의 바렌부르크 공식(Barenbrug Formula)을 이용하여 이슬점 온도를 계산하며, 상기 창문 내측면의 표면 온도와 상기 계산한 이슬점 온도의 시간에 따른 변화 패턴을 모니터링하여 미래에 발생할 결로 발생의 시간을 계산하여 알리는 결로 예측부를 구비한 클라이언트 서버를 포함하는 것을 특징으로 하한다.

[0015] [수학식 1]

$$T_d = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)}$$

[0016]

[0017] [수학식 2]

$$\alpha(T, RH) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln\left(\frac{RH}{100}\right)$$

[0018]

[0019] 여기서, a는 17.27℃, b는 237.3℃, T는 창문 내측면의 표면 온도, 0℃ < T < 60℃, RH는 상기 제2 센서노드에 측정된 실내 공간의 실내 습도, 1% < RH < 100%, Td는 이슬점 온도임.

[0021] 결로 예측부는 시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도( $T_{surf}^i$ )에서 두 점  $(i-1, T_{surf}^{i-1})$  and  $(i, T_{surf}^i)$  을 이용한 제1 직선방정식(Tangent of Tsurf)을 기설정된 시간 단위마다 주기적으로 생성하고, 시간(i)에 따른 이슬점 온도( $T_{dew}^i$ )에서 두 점  $(i-1, T_{dew}^{i-1})$  and  $(i, T_{dew}^i)$  을 이용한 제2 직선방정식(Tangent of Tdew)을 기설정된 시간 단위마다 주기적으로 생성하는 것을 특징으로 한다.

[0023] 결로 예측부는 상기 각각의 제1 직선방정식으로부터 얻은 제1 직선과, 상기 각각의 제2 직선방정식으로부터 얻은 제2 직선의 시간에 따른 변화 패턴을 분석하며, 상기 제1 직선과 상기 제2 직선이 만나는 교차점을 결로 발생 지점으로 판단하고, 현재 시간에서 상기 결로 발생 지점까지 소요되는 결로 예측 시간( $\tau_{pred}^i$ )을 계산하는 것을 특징으로 한다.

[0025] 하나 이상의 센서노드 및 클라이언트 서버로 이루어진 실내 결로 발생 시간을 예측하는 방법에 있어서,

[0026] 상기 클라이언트 서버는 결로가 발생하는 창문의 내측면에 부착된 제1 센서노드로부터 창문 내측면의 표면 온도를 무선 통신으로 수신하고, 실내의 일측에 부착된 제2 센서노드로부터 실내 온도와 습도 정보를 무선 통신으로 수신하고, 외부의 날씨 정보 서버로부터 실외 온도를 수신하는 단계;

[0027] 상기 클라이언트 서버는 상기 표면 온도와 상기 습도 정보를 하기의 수학적 4와 수학적 5의 바렌부르크 공식(Barenbrug Formula)을 이용하여 이슬점 온도를 계산하며, 상기 창문 내측면의 표면 온도와 상기 계산한 이슬점 온도의 시간에 따른 변화 패턴을 모니터링하여 미래에 발생할 결로 발생의 시간을 계산하여 알리는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0028] [수학적 4]

$$T_d = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)}$$

[0029]

[0030] [수학적 5]

$$\alpha(T, RH) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln\left(\frac{RH}{100}\right)$$

[0031]

[0032] 여기서, a는 17.27℃, b는 237.3℃, T는 창문 내측면의 표면 온도, 0℃ < T < 60℃, RH는 상기 제2 센서노드에서 측정된 실내 공간의 실내 습도, 1% < RH < 100%, Td는 이슬점 온도임.

### 발명의 효과

[0033] 전술한 구성에 의하여, 본 발명은 실내 온도와 실외 온도의 온도 변화에 따라 결로가 발생할 표면의 표면 온도 추정치를 예측하는 모델링을 수행하고, 상기 예측된 표면 온도 추정치와 이슬점 온도의 시간에 따른 변화를 분석하여 결로가 발생하는 결로 예측 시간을 계산하여 알려줌으로써 사전 환기 작업을 통해 결로를 사전에 예방할 수 있는 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 실내 결로 발생을 예측하는 결로 예측 시스템의 전체 구성을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 제1 센서노드, 제2 센서노드 및 결로 예측 시스템의 내부 구성을 간략하게 나타낸 블록도이다.

도 3은 본 발명이 실시예에 따른 제1 센서노드로부터 측정된 창문 내측면의 측정 표면 온도(Tsurf-real)와 창문



내측면의 표면 온도 추정치(Tsurf-pred)를 6일 동안 비교한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 결로 예측 시간을 계산하는 알고리즘을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 실내의 결로 예측 시간을 추정하기 위한 알고리즘을 이용하여 실제 결로가 발생하는 창문 내측면의 표면 온도 추정치와 이슬점 온도의 변화와 결로 예측 시간을 나타낸 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 명세서 전체에서, 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.
- [0036] 기존 건축물의 경우 건축물의 내외장재에 관한 세부적인 사항을 고려하기 어렵고, 사용자의 생활 패턴에 따라 같은 집에서도 결로의 패턴이 달라지는 현상이 있다.
- [0037] 본 발명은 실제 거주하고 있는 집에서 결로에 영향을 미치는 환경(실내 온도, 실내 습도, 실외 온도, 창문 내측면의 표면 온도)을 무선센서노드를 통해 실시간으로 수집하고, 수집된 데이터를 기반으로 창문 내측면의 표면온도를 예측하는 표면온도 예측 모델을 생성하고, 표면온도 예측 모델과 이슬점 온도의 변화를 이용하여 창문 내측면에 결로 발생 시간을 예측하는 시스템을 제공한다.
- [0038] 어떤 공간이나 장소의 공기 중 온도가 특정 대상 물체의 온도보다 높을 때 물체의 표면에 이슬이 맺히게 되는데, 이때, 온도를 이슬점(Dew Point)이라고 하며, 이슬점 온도에서 결로 현상이 발생한다.
- [0040] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 실내 결로 발생을 예측하는 결로 예측 시스템의 전체 구성을 나타낸 도면이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 제1 센서노드, 제2 센서노드 및 결로 예측 시스템의 내부 구성을 간략하게 나타낸 블록도이다.
- [0041] 본 발명의 실시예에 따른 결로 예측 시스템(100)은 제1 센서노드(110), 제2 센서노드(120) 및 클라우드 서버(140)를 포함한다. 이외에 날씨 정보를 클라우드 서버(140)로 제공하는 날씨 API(Application Programming Interface) 서버(150)를 더 포함한다.
- [0042] 제1 센서노드(110)는 제1 센서부(111), 제1 제어부(112) 및 제1 무선통신모듈(113)을 포함하며, 창문의 외부면이 아닌 결로가 발생할 수 있는 표면인 창문의 내측면이나 벽면의 일면에 부착될 수 있다.
- [0043] 본 발명의 제1 센서노드(110)는 설명의 편의를 위하여 창문의 내측면에 설치하는 것으로 설명한다.
- [0044] 제1 센서부(111)는 가정집(10)에서 창문의 내측면의 표면온도 정보와 습도 정보를 포함한 제1 센싱 정보를 측정한다.
- [0045] 제1 제어부(112)는 센싱 제어 신호를 생성하여 제1 센서부(111)로 전송하고, 제1 센서부(111)로부터 상기 센싱 제어 신호의 응답으로 제1 센싱 정보를 수신하며, 상기 수신한 제1 센싱 정보를 제1 무선통신모듈(113)을 통해 통신망(130)을 거쳐 클라우드 서버(140)로 전송한다.
- [0046] 제2 센서노드(120)는 제2 센서부(121), 제2 제어부(122) 및 제2 무선통신모듈(123)을 포함하며, 가정집(10)의 실내의 일측에 설치될 수 있다.
- [0047] 제2 센서부(121)는 실내 온도 정보와 습도 정보를 포함한 제2 센싱 정보를 측정한다.
- [0048] 제2 제어부(122)는 센싱 제어 신호를 생성하여 제2 센서부(121)로 전송하고, 제2 센서부(121)로부터 상기 센싱 제어 신호의 응답으로 제2 센싱 정보를 수신하며, 상기 수신한 제2 센싱 정보를 제2 무선통신모듈(123)을 통해 통신망(130)을 거쳐 클라우드 서버(140)로 전송한다.
- [0049] 날씨 API 서버(150)는 각 지역의 위치별, 시간대별, 날짜별로 실외 온도 정보를 생성하여 저장하는 서버이다.
- [0050] 본 발명의 실시예에 따른 클라우드 서버(140)는 서버 제어부(141), 결로 예측부(142), 온습도 정보 데이터베이스부(143), 디스플레이부(144), 무선통신부(145), 기계 학습부(146), 메모리부(147) 및 저장부(148)를 포함한다.
- [0051] 클라우드 서버(140)는 실외에 설치되는 것으로 예시하고 있지만, 이에 한정하지 않으며, 실내 일측에도 설치될 수 있다.



- [0052] 서버 제어부(141)는 날씨 API 서버(150)부터 실외 온도 정보를 주기적으로 수신하여 온습도 정보 데이터베이스부(143)에 시간대별, 날짜별로 저장한다.
- [0053] 서버 제어부(141)는 제1 센서노드(110)로부터 창문 내측면의 표면온도 정보와 습도 정보를 포함한 제1 센싱 정보를 수신하며, 제2 센서노드(120)로부터 실내 공간의 실내 온도 정보와 습도 정보를 포함한 제2 센싱 정보를 수신하여 온습도 정보 데이터베이스부(143)에 시간대별, 날짜별로 저장한다.
- [0054] 일반적으로 건축학에서는 구조물의 재질과 두께, 열저항성 등을 기반으로 해당 구조물의 열전도율을 사전에 계산하고, 이를 기초로 최적의 구조물을 이용하여 건축물 설계와 공사를 진행한다. 하지만 생활하고 있는 집에서 결로 발생의 가장 강력한 요인이 실내와 실외의 온도 차이와 실내 습도의 상승이다. 이것은 거주하고 있는 생활 패턴에 따라 달라진다.
- [0055] 이러한 결로 현상은 단순히 구조물의 특성에 기반하여 결로를 방지하는데 큰 어려움을 가져온다. 따라서, 본 발명은 구조물의 종류에 상관없이 결로 발생이 예상되는 실내 공간에서의 실내 온도 정보와 실외 온도 정보를 이용하여 창문 내측면의 표면 온도를 추정할 수 있다.
- [0056] 표면온도 예측 모델을 구현하기 위한 기계 학습법은 선형회귀분석(Linear regression model), 랜덤포레스트(Random Forest), 딥러닝(Deep Learning) 방식을 단독 또는 하나 이상을 조합하여 적용한다. 본 발명의 기계 학습법은 선형회귀분석을 일 실시예로 적용한다.
- [0057] 선형회귀분석은 선형성이라는 기본 가정이 충족된 상태에서 독립변수와 종속변수의 관계를 설명하거나 예측하는 통계 방법으로, 회귀분석에서 독립변수에 따라 종속변수의 값이 일정한 패턴으로 변해 가는데, 이러한 변수 간의 관계를 나타내는 회귀선이 직선에 가깝게 나타나는 경우를 의미한다.
- [0058] 표면온도 예측 모델을 만들기 위해서는 온습도 정보 데이터베이스부(143)에 저장된 실내 온도, 실외 온도, 창문 내측면의 측정 표면 온도를 기계 학습의 학습 데이터 셋으로 이용할 수 있다.
- [0059] 기계 학습 과정은 과거에 저장된 많은 데이터로부터 특징 벡터를 추출하고, 추출된 특징 벡터를 토대로 학습 데이터 셋을 만들고, 학습 데이터 셋은 기계 학습 알고리즘에 기반하여 표면온도 예측 모델을 생성하게 된다. 학습 데이터는 기계 학습에서 원하는 정보를 추출하기 위해서 사용되는 데이터의 집합이다.
- [0060] 기계 학습부(146)는 선형회귀분석을 이용하여 기계 학습할 수 있다. 기계 학습 모델은 널리 알려진 딥 컨벌루션 신경 네트워크일 수 있으며, 이에 한정하지 않는다.
- [0061] 기계 학습부(146)는 창문 내측면의 표면 온도를 추정하는 기계 학습법의 선형 회귀 모델을 하기의 [수학식 1]과 같이 나타낸다.

### 수학식 1

$$T_{surf}^i = \alpha * T_{in}^i + \beta * T_{out}^i + c$$

- [0062]
- [0063] 여기서,  $T_{surf}^i$  은 시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도 추정치,  $T_{in}^i$  은 시간(i)에 따른 실내 온도,  $T_{out}^i$  은 시간(i)에 따른 실외 온도를 나타낸다.
- [0064] 기계 학습부(146)는 저장부(148)에 저장된 선형 회귀 모델을 메모리부(147)로 불러와서 실내 온도와 실외 온도를 입력 데이터로 창문 내측면의 표면 온도를 추정할 수 있다.
- [0065] 기계 학습부(146)는 각 시간대별 실내 온도와 실외 온도에 따른 창문 내측면의 측정 표면 온도의 상관 관계를 기계 학습한다.
- [0066] 다시 말해, 기계 학습부(146)는 온습도 정보 데이터베이스부(143)로부터 실내 온도, 실외 온도, 창문 내측면의 측정 표면 온도를 수신하고, 전술한 수학식 1의 파라미터인 선형 계수값( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ )의 최적값을 찾기 위해서 실내 온도와 실외 온도에 따른 창문 내측면의 측정 표면 온도를 기계 학습한다.

[0067] 기계 학습부(146)는 기계 학습으로 얻어진 선형 계수값( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ )을 수학적 식 1에 대입하여 창문 내측면의 표면 온도 추정치를 계산한다.

[0068] 표 1에 도시된 바와 같이, 기계 학습부(146)는 선형 회귀 모델을 이용하여 온습도 정보 데이터베이스부(143)에서 각각의 학습 데이터와 테스트 데이터의 루트 평균 제곱 오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 계산하고, 온습도 정보 데이터베이스부(143)로부터 수신된 데이터 셋에서 서로 다른 학습 데이터로 학습하여 얻어진 선형 계수값( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ )을 계산하여 나타낸다.

표 1

| The number of training data | Coefficients |         |      | RMSE     |      |
|-----------------------------|--------------|---------|------|----------|------|
|                             | $\alpha$     | $\beta$ | $c$  | Training | Test |
| 40% (855)                   | 0.66         | 0.20    | 3.03 | 0.94     | 1.00 |
| 60% (1283)                  | 0.71         | 0.20    | 1.81 | 0.97     | 0.98 |
| 70% (1497)                  | 0.70         | 0.20    | 1.86 | 0.97     | 0.99 |
| 90% (1925)                  | 0.69         | 0.20    | 2.14 | 0.97     | 1.00 |

[0069]

[0070] 표 1에 결과에서 볼 수 있듯이 70% 학습 데이터가 있는 선형 회귀 모델은 학습 데이터와 테스트 데이터의 모두에서 최고의 성능을 보여준다.

[0071] 표 1은 학습 데이터의 개수가 변함에 따라 선형 계수값과 성능(즉, RMSE)이 변화되는 것을 보여준다.

[0072] 기계 학습부(146)는 루트 평균 제곱 오차(RMSE)를 최소화하기 위한 최적화를 수행하고, 루트 평균 제곱 오차가 최소값이 되면 이를 창문 내측면의 표면 온도 추정치로 선택한다.

[0073] 도 3은 제1 센서노드(110)로부터 측정된 창문 내측면의 측정 표면 온도(Tsurf-real)과 창문 내측면의 표면 온도 추정치(Tsurf-pred)를 6일 동안 비교한 것이다. 비교한 결과는 온습도 정보 데이터베이스부(143)의 데이터 셋을 통해 학습된 선형 회귀 모델이 측정 표면 온도(Tsurf-real)에 근접한 표면 온도 추정치(Tsurf-pred)를 찾을 수 있음을 확인하였다.

[0074] 도 3에 도시된 바와 같이, 서버 제어부(141)는 제1 센서노드(110)에서 측정된 창문 내측면의 측정 표면 온도(Tsurf-real)와 창문 내측면의 표면 온도 추정치(Tsurf-pred)의 차이를 계산하며, 평균 오차와 최대 오차를 계산한다.

[0075] 기계 학습부(146)는 시간에 따른 창문 내측면의 측정 표면 온도와 창문 내측면의 표면 온도 추정치의 차이값을 분석하여 차이값이 기설정된 기준값 이하일 때, 선형 계수값( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ )을 선택한다.

[0076] 서버 제어부(141)는 제1 센서노드(110)에서 측정된 창문 내측면의 측정 표면 온도(Tsurf-real)와 창문 내측면의 표면 온도 추정치(Tsurf-pred)의 시간에 따른 변화를 시간대별, 날짜별로 그래프로 각각 생성하여 디스플레이부(144)에 출력하며, 상기 계산한 평균 오차와 최대 오차를 문자 형태로 디스플레이부(144)에 출력한다.

[0077] 서버 제어부(141)는 창문 내측면의 표면 온도 추정치와 실내 공간의 실내 습도를 하기의 [수학적 식 2]와 [수학적 식 3]의 바렌부르크 공식(Barenbrug Formula)을 이용하여 이슬점 온도를 계산한다. 여기서, 실내 공간의 실내 습도는 온습도 정보 데이터베이스부(143)에서 검색하여 얻을 수 있다.

## 수학식 2

$$T_d = \frac{b \cdot \alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)}$$

[0078]

## 수학식 3

$$\alpha(T, RH) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln\left(\frac{RH}{100}\right)$$

[0079]

[0080] 여기서, a는 17.27℃, b는 237.3℃이다. T는 창문 내측면의 표면 온도 추정치, 0℃ < T < 60℃, RH는 제2 센서 노드(120)에서 측정된 실내 공간의 실내 습도, 1% < RH < 100%, Td는 이슬점 온도를 나타낸다.

[0081] 기계 학습부(146)는 수학식 1의 선형 계수값( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ )을 계산하여 시간에 따른 창문 내측면의 표면 온도를 추정할 수 있다. 이후에는 창문 내측면에 설치된 제1 센서노드(110)를 제거하고, 제2 센서노드(120)만을 설치하여 주기적으로 실내 온도와 실외 온도를 이용하여 창문 내측면의 표면 온도를 추정할 수 있다.

[0082] 서버 제어부(140)는 제2 센서노드(120)로부터 실내 온도를 시간대별, 날짜별로 주기적으로 수신하고, 날씨 API 서버(150)로부터 실외 온도를 시간대별, 날짜별로 주기적으로 수신한다.

[0083] 서버 제어부(140)는 실내 온도와 실외 온도를 전술한 수학식 1에 대입하여 시간에 따른 창문 내측면의 표면 온도를 추정한다.

[0084] 결로 예측부(142)는 창문 내측면의 표면 온도 추정치와, 이슬점 온도를 이용하여 실내 결로의 발생을 추정할 수 있다. 여기서, 실내 결로는 설명의 편의를 위하여 창문 내측면의 결로 발생을 예시하고 있지만, 이에 한정하지 않으며, 실내 벽면 등 실내의 다양한 위치에 발생하는 결로를 나타낼 수 있다.

[0085] 결로 예측부(142)는 시간에 따른 창문 내측면의 표면 온도 추정치와 시간에 따른 이슬점 온도에 대한 변화하는 패턴을 모니터링하고, 상기 이슬점 온도와 상기 창문 내측면의 표면 온도 추정치의 차이를 계산하여 결로를 판단할 수 있다.

[0087] 이하에서는 실내 결로 발생 시간을 예측하는 방법을 상세하게 설명한다.

[0088] 기계 학습부(146)는 수학식 1의 선형 계수값( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ )을 계산하여 시간에 따른 창문 내측면의 표면 온도를 추정할 수 있다. 이후에는 창문 내측면에 설치된 제1 센서노드(110)를 제거하고, 제2 센서노드(120)만을 설치하여 주기적으로 실내 온도를 제2 무선통신모듈(123)을 통해 클라우드 서버(140)로 전송한다.

[0089] 본 발명은 선형 계수값을 이용하여 창문 내측면의 표면 온도를 추정하게 되면, 이후에 실내 온도와 실외 온도만을 이용하여 실내 결로를 예측할 수 있다.

[0090] 서버 제어부(140)는 제2 센서노드(120)로부터 실내 온도를 시간대별, 날짜별로 주기적으로 수신하고, 날씨 API 서버(150)로부터 실외 온도를 시간대별, 날짜별로 주기적으로 수신한다.

[0091] 서버 제어부(140)는 실내 온도와 실외 온도를 전술한 수학식 1에 대입하여 시간에 따른 창문 내측면의 표면 온도를 추정한다.

[0092] 결로 예측부(142)는 창문 내측면의 표면 온도 추정치와, 이슬점 온도를 이용하여 실내 결로의 발생을 추정할 수 있다. 여기서, 실내 결로는 설명의 편의를 위하여 창문 내측면의 결로 발생을 예시하고 있지만, 이에 한정하지 않으며, 실내 벽면 등 실내의 다양한 위치에 발생하는 결로를 나타낼 수 있다.

[0093] 결로 예측부(142)는 시간에 따른 창문 내측면의 표면 온도 추정치와 시간에 따른 이슬점 온도에 대한 변화하는 패턴을 모니터링하여 가까운 미래에 발생할 창문 내측면의 결로 발생 시간을 계산할 수 있다.

[0094] 도 4에 도시된 바와 같이, 결로 예측부(142)는 시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도 추정치( $T_{surf}^i$ )에서 두 점  $(i-1, T_{surf}^{i-1})$  and  $(i, T_{surf}^i)$  을 이용하여 제1 직선방정식(Tangent of Tsurf)을 생성한다.

[0095] 도 4에 도시된 바와 같이, 결로 예측부(142)는 시간(i)에 따른 이슬점 온도( $T_{dew}^i$ )에서 두 점  $(i-1, T_{dew}^{i-1})$  and  $(i, T_{dew}^i)$  을 이용하여 제2 직선방정식(Tangent of Tdew)을 생성한다.

[0096] 두 점을 이용한 직선방정식은 널리 알려진 수학식으로 하기의 수학식 4와 같다.

#### 수학식 4

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

[0097]

[0098] 결로 예측부(142)는 시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도 추정치의 두 점을 이용한 제1 직선방정식을 기설정된 시간 단위마다 주기적으로 생성하고, 상기 각각의 제1 직선방정식으로부터 얻은 제1 직선을 디스플레이부(144)를 통해 출력한다.

[0099] 결로 예측부(142)는 시간(i)에 따른 이슬점 온도의 두 점을 이용한 제2 직선방정식을 기설정된 시간 단위마다 주기적으로 생성하고, 상기 각각의 제2 직선방정식으로부터 얻은 제2 직선을 디스플레이부(144)를 통해 출력한다.

[0100] 결로 예측부(142)는 각각의 제1 직선방정식으로부터 얻은 제1 직선과, 각각의 제2 직선방정식으로부터 얻은 제2 직선이 만나는 교차점을 결로 발생 지점으로 판단한다.

[0101] 따라서, 결로 예측부(142)는 각각의 제1 직선방정식으로부터 얻은 제1 직선과, 각각의 제2 직선방정식으로부터 얻은 제2 직선의 시간에 따른 변화 패턴을 분석하며, 제1 직선과 제2 직선이 만나는 교차점을 결로 발생 지점으로 판단하고, 현재 시간에서 결로 발생 지점까지 소요되는 결로 예측 시간( $t_{pred}^i$ )을 계산한다.

[0102] 실내 결로는 창문 내측면의 표면 온도 추정치와 이슬점 온도가 동일한 경우 발생되므로 시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도 추정치의 곡선에 접하는 접선과, 시간(i)에 따른 이슬점 온도의 곡선에 접하는 접선이 점차 가까워질수록 결로가 발생할 가능성이 높아진다.

[0103] 결로 예측 시간을 계산하는 알고리즘을 의사 코드로 나타내면 다음과 같다.

```

Input :  $T_{in}$  ,  $T_{out}$  , RH                      Output :  $\tau_{pred}$ 

Predict_condensation_time
1   $T_{in} \leftarrow \text{Get\_Indoor\_Temp}()$ 
2   $T_{out} \leftarrow \text{Get\_Outdoor\_Temp}()$ 
3   $RH \leftarrow \text{Get\_Indoor\_RH}()$ 
4   $T_{surf}^i \leftarrow \text{Coeff1} * T_{in} + \text{Coeff2} * T_{out} + \text{Coeff0}$ 
5   $T_{dew}^i \leftarrow \text{calculate\_dewpoint}(T_{surf}^i, RH)$ 
6   $\text{Tangent}^{surf} \leftarrow \text{Find\_tangent\_of\_surface\_temperature}(T_{surf}^i, T_{surf}^{i-1})$ 
7   $\text{Tangent}^{dew} \leftarrow \text{Find\_tangent\_of\_dew\_point}(T_{dew}^i, T_{dew}^{i-1})$ 
8   $T_{surf}^{i-1} \leftarrow T_{surf}^i, T_{dew}^{i-1} \leftarrow T_{dew}^i$ 
9   $\tau_{pred} \leftarrow \text{calculate\_intersection}(\text{Tangent}^{surf}, \text{Tangent}^{dew})$ 
10 if  $|T_{dew}^i - T_{surf}^i| \leq \text{con\_bound}$ 
11     Then  $\tau_{pred} \leftarrow \tau_{current}$ 
12 else
13     If  $(\tau_{pred} < \tau_{current}) \parallel (\tau_{pred} > \tau_{max} + \tau_{current})$ 
14     Then  $\tau_{pred} \leftarrow \tau_{max} + \tau_{current}$ 
15 return  $\tau_{pred}$ 

```

[0104]

[0105] 서버 제어부(141)는 제2 센서노드(120)로부터 현재 실내 온도 및 습도 정보를 수신하여  $T_{in}$ , RH에 저장하고, 날씨 API 서버(150)로부터 실외 온도를 수신하여  $T_{out}$ 에 저장한다(1번, 2번, 3번).

[0106] 기계 학습부(146)는 선형 회귀 모델을 통해 창문 내측면의 표면 온도 추정치를 추정할 수 있다(4번).

[0107] 전술한 수학식 1에서의 선형 계수값( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c$ )을 Coeff1, Coeff2, Coeff()로 표현하고, 회귀 학습 과정에서 얻어진 최적값은 상수로 미리 지정된다.

[0108] 서버 제어부(141)는 창문 내측면의 표면 온도 추정치와 실내 공간의 실내 습도를 전술한 수학식 3과 수학식 4의 바렌부르크 공식(Barenbrug Formula)을 이용하여 이슬점 온도를 계산한다(5번).

[0109] 결로 예측부(142)는 시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도 추정치의 두 점( $T_{surf}^i, T_{surf}^{i-1}$ )을 이용하여 제1 접선 방정식( $\text{Tangent}^{surf}$ )을 계산한다(6번).

[0110] 결로 예측부(142)는 시간(i)에 따른 이슬점 온도의 두 점( $T_{dew}^i, T_{dew}^{i-1}$ )을 이용하여 제2 접선 방정식( $\text{Tangent}^{dew}$ )을 계산한다(7번).

[0111] 결로 예측부(142)는 현재의 표면 온도 추정치와 현재 이슬점 온도를 이전 데이터로 저장한다(8번).

[0112] 결로 예측부(142)는 각각의 제1 접선방정식으로부터 얻은 제1 직선과, 각각의 제2 접선방정식으로부터 얻은 제2 직선의 시간에 따른 변화 패턴을 모니터링하며, 제1 직선과 제2 직선의 만나는 교차점을 결로 발생 지점으로 판단하고, 현재 시간에서 결로 발생 지점까지 소요되는 결로 예측 시간( $\tau_{pred}^i$ )을 계산한다(9번).

[0113] 결로 예측부(142)는 시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도 추정치와 시간(i)에 따른 이슬점 온도의 차이값이 기설정된 기준값(아주 작은값, con\_bound)보다 작거나 같다면, 이미 결로가 진행되고 있음을 나타내고, 현재 시간을 결로 예측 시간으로 설정한다(10번, 11번).

[0114] 결로 예측부(142)는 시간(i)에 따른 창문 내측면의 표면 온도 추정치와 시간(i)에 따른 이슬점 온도의 차이값이 기설정된 기준값보다 크다면, 현재 시간이 결로 예측 시간보다 작거나(결로 위치가 현재 시간을 기준으로 후방

에 있는 경우), 결로 예측 시간이 먼 시간에 존재하는 경우(예를 들면, 3일, 4일 등), 기설정된 최대값(예를 들면, 10시간 등) 시간을 결로 예측 시간으로 설정한다(13번, 14번).

- [0116] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 실내의 결로 예측 시간을 추정하기 위한 알고리즘을 이용하여 실제 결로가 발생하는 창문 내측면의 표면 온도 추정치와 이슬점 온도의 변화와 결로 예측 시간을 나타낸 그래프이다.
- [0117] 결로 예측부(142)는 결로가 발생할 때까지 도 5와 같이, 다음의 5 단계로 구분된다.
- [0118] 결로가 없는 단계(Phase 0)는 결로 징후가 발견되지 않는다.
- [0119] 결로 표시 단계(Phase 1)는 결로 예측 시간이 급격한 감소로 나타난다.
- [0120] 결로 표시 단계(Phase 1)는 실시간으로 이슬점 온도와 창문 내측면의 표면 온도 추정치의 변화를 모니터링하고, 이슬점 온도가 갑자기 높아지거나 표면 온도 추정치가 낮아진다.
- [0121] 결로 가능성이 증가하는 단계(Phase 2)는 결로 표시 단계 이후로 결로 예측 시간이 지속적으로 감소하고, 결로 표시 단계의 임계값 이하로 떨어진다.
- [0122] 결로 가능성이 높은 단계(Phase 3)는 Phase 2 이하로 결로 예측 시간이 연속적으로 감소하면, 몇 시간 안에 결로 발생 가능성이 높음을 나타낸다.
- [0123] 결로 발생 단계(Phase 4)는 결로가 발생하는 경우, 결로 예측 시간이 0에 가까워지고, 현재 결로 상태인 것을 나타낸다.
- [0124] 결로 예측부(142)는 결로 예측 시간을 통해 결로 징후를 감지하고, 5 단계를 통해 결로 위험성을 디스플레이부(144)로 출력하거나, 무선 통신부(145)를 통해 외부로 전송하여 경보를 알리는 기능을 수행할 수 있다.
- [0125] 결로 예측 시스템(100)은 제1 센서노드(100)에 의해 창문 내측면의 표면 온도를 측정하거나 기계 학습을 이용하여 창문 내측면의 표면 온도를 추정하던지 창문 내측면의 표면 온도를 획득했다는 가정하에 지속적으로 변화하는 표면 온도와 전술한 수학적 2와 수학적 3을 적용한 이슬점 온도의 시간 변화에 따른 두 개의 직선 방정식의 교차점을 이용하여 향후 결로 발생에 대한 시간을 예측한다.
- [0126] 이상에서 본 발명의 실시예는 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현이 되는 것은 아니며, 본 발명의 실시예의 구성에 대응하는 기능을 실현하기 위한 프로그램, 그 프로그램이 기록된 기록 매체 등을 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 앞서 설명한 실시예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야의 전문가라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.
- [0127] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

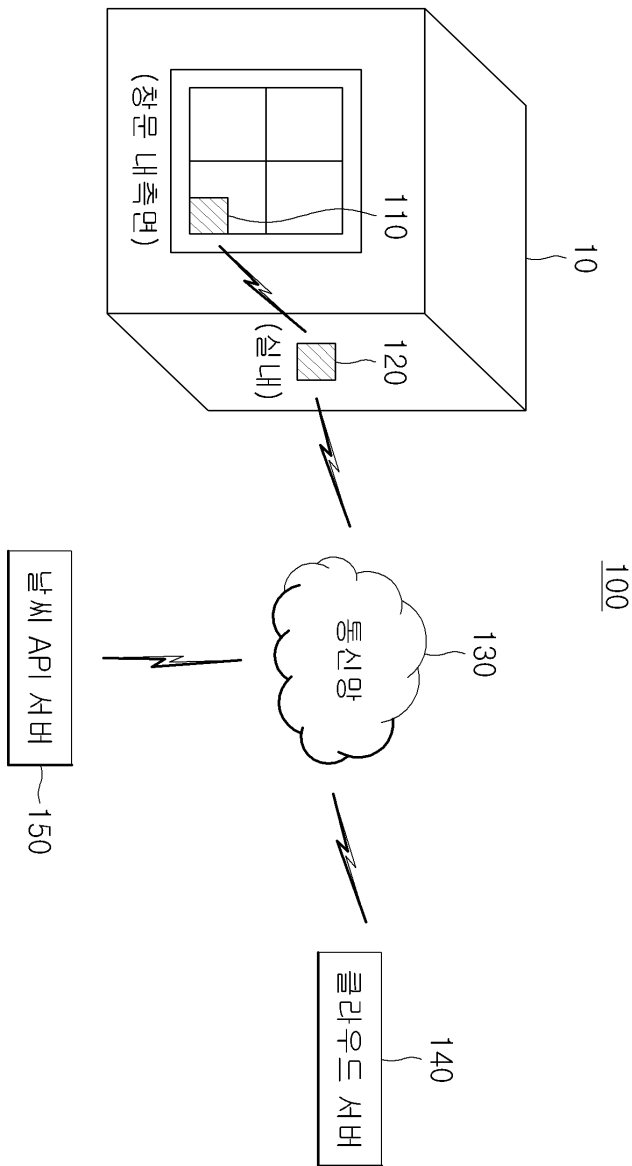
## 부호의 설명

- |        |                |                     |
|--------|----------------|---------------------|
| [0128] | 100: 결로 예측 시스템 | 110: 제1 센서노드        |
|        | 111: 제1 센서부    | 112: 제1 제어부         |
|        | 113: 제1 무선통신모듈 | 120: 제2 센서노드        |
|        | 121: 제2 센서부    | 122: 제2 제어부         |
|        | 123: 제2 무선통신모듈 | 130: 통신망            |
|        | 140: 클라우드 서버   | 141: 서버 제어부         |
|        | 142: 결로 예측부    | 143: 온습도 정보 데이터베이스부 |
|        | 144: 디스플레이부    | 145: 무선통신부          |
|        | 146: 기계 학습부    | 147: 메모리부           |
|        | 148: 저장부       | 150: 날씨 API 서버      |



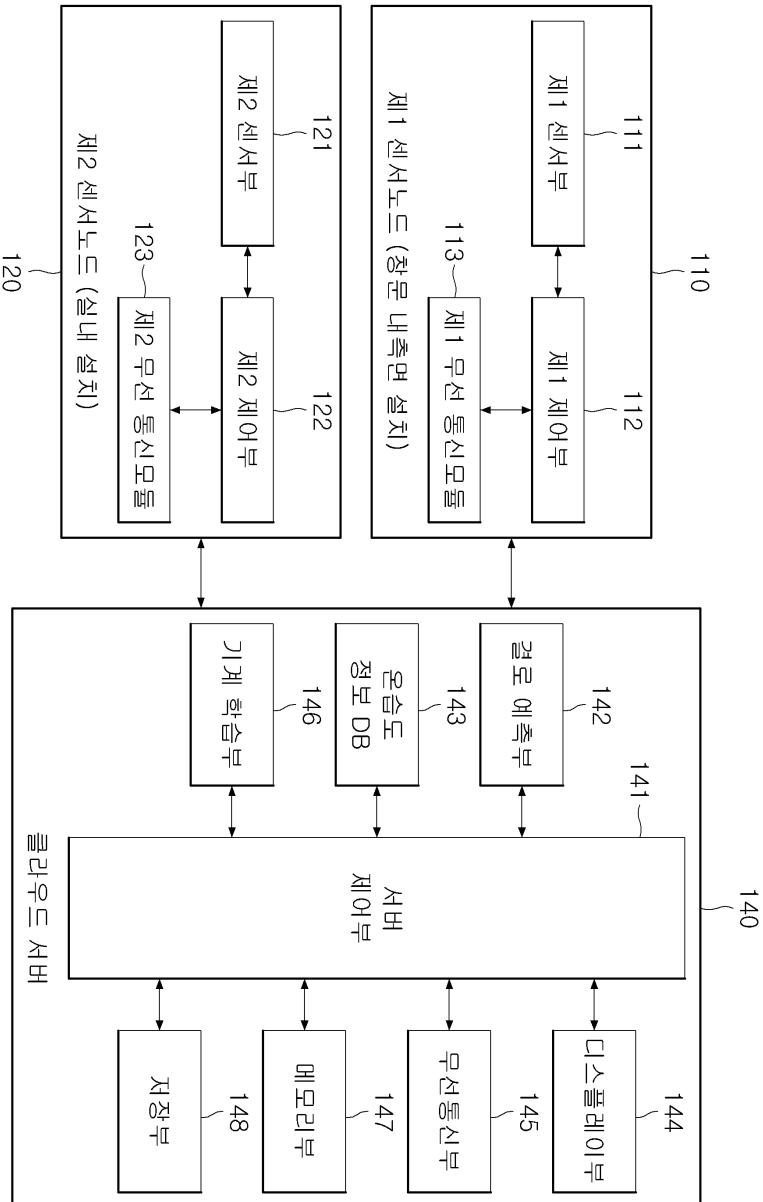
도면

도면1

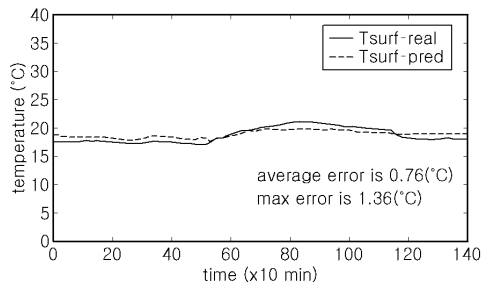




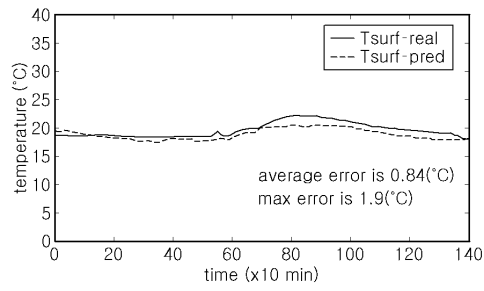
도면2



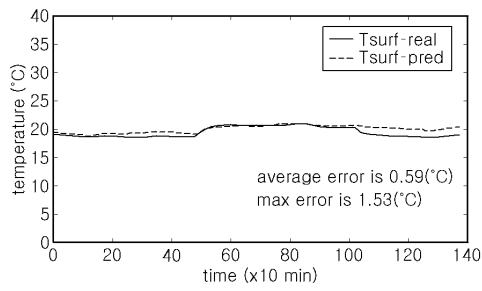
도면3



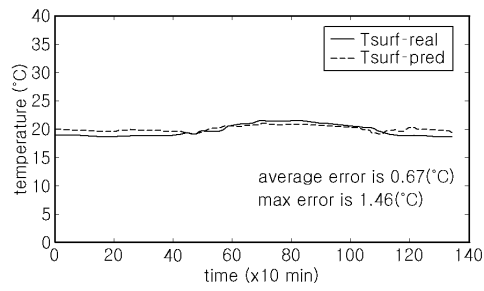
(a)Day 1



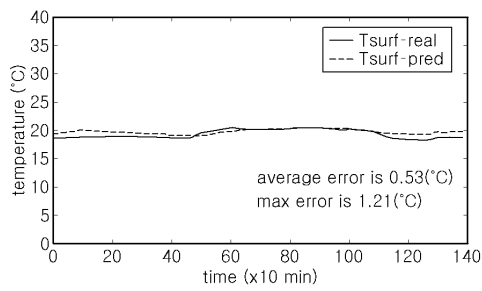
(b)Day 2



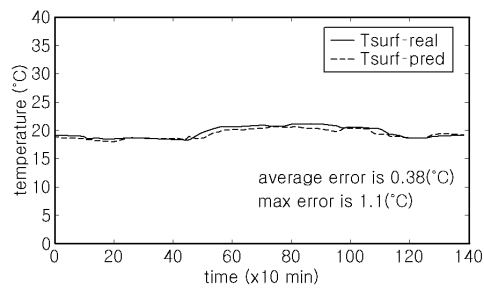
(c)Day 3



(d)Day 4

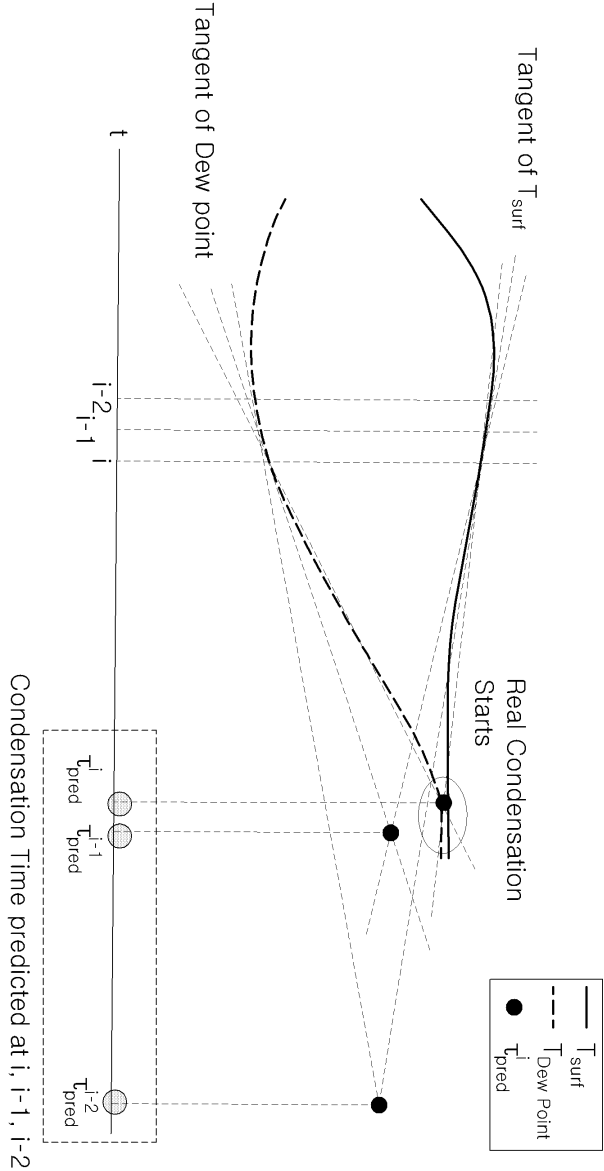


(e)Day 5



(f)Day 6

도면4



도면5

