



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0008642  
(43) 공개일자 2022년01월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G06F 30/20 (2020.01) G01M 3/00 (2006.01)  
G06F 113/08 (2020.01) G06F 113/14 (2020.01)  
G06F 119/08 (2020.01)  
(52) CPC특허분류  
G06F 30/20 (2020.01)  
G01M 3/00 (2019.01)  
(21) 출원번호 10-2020-0087032  
(22) 출원일자 2020년07월14일  
심사청구일자 2020년07월14일

(71) 출원인  
연세대학교 산학협력단  
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)  
(72) 발명자  
이준상  
인천광역시 연수구 송도과학로27번길 30(송도동, 송도해모로월드뷰)  
조재용  
서울특별시 마포구 독막로18길 5, 101동 801호(상수동, 상수두산위브아파트)  
(74) 대리인  
특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **매설 배관의 누수 예측 방법 및 그를 위한 장치**

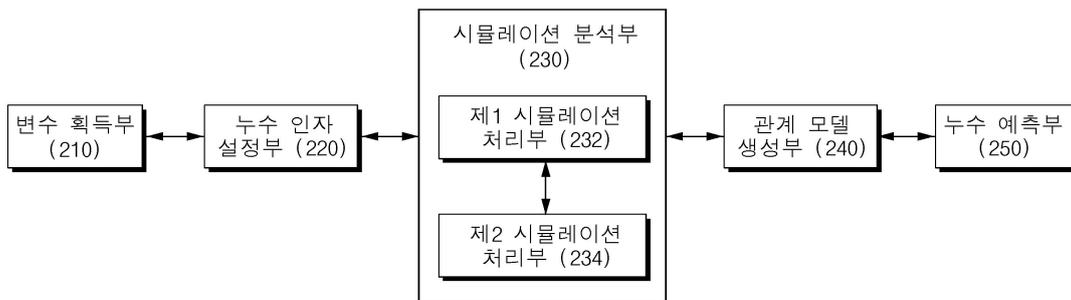
(57) 요약

매설 배관의 누수 예측 방법 및 그를 위한 장치를 개시한다.

본 발명의 실시예에 따른 누수 예측 방법은, 매설 배관과 관련된 변수 정보를 획득하는 변수 획득 단계; 상기 매설 배관의 누수와 관련된 누수 인자를 설정하는 누수 인자 설정 단계; 상기 변수 정보를 입력으로 시뮬레이션을 처리하여 상기 누수 인자를 계산하는 시뮬레이션 처리 단계; 상기 변수 정보와 상기 누수 인자 간의 관계 모델을 생성하는 관계 모델 생성 단계; 및 상기 관계 모델을 기반으로 신규 변수 정보에 대한 신규 누수 인자를 산출하고, 상기 누수 인자를 기반으로 누수 발생 가능성을 예측하는 누수 예측 단계를 포함할 수 있다.

대표도

200



(52) CPC특허분류

G06F 2113/08 (2020.01)

G06F 2113/14 (2020.01)

G06F 2119/08 (2020.01)

(72) 발명자

**류수지**

서울특별시 중구 다산로 142-9(신당동)

---

**이문걸**

서울특별시 서대문구 신촌로 109, 906호(창천동,  
신촌르메이에르타운5)

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

매설 배관의 누수를 예측하는 방법에 있어서,  
 상기 매설 배관과 관련된 변수 정보를 획득하는 변수 획득 단계;  
 상기 매설 배관의 누수와 관련된 누수 인자를 설정하는 누수 인자 설정 단계;  
 상기 변수 정보를 입력으로 시뮬레이션을 처리하여 상기 누수 인자를 계산하는 시뮬레이션 처리 단계;  
 상기 변수 정보와 상기 누수 인자 간의 관계 모델을 생성하는 관계 모델 생성 단계; 및  
 상기 관계 모델을 기반으로 신규 변수 정보에 대한 신규 누수 인자를 산출하고, 상기 누수 인자를 기반으로 누수 발생 가능성을 예측하는 누수 예측 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
 상기 변수 획득 단계는,  
 상기 매설 배관에 대한 형상 정보, 온도 정보 및 유체 정보 중 적어도 하나의 정보를 포함하는 상기 변수 정보를 획득하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 방법.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,  
 상기 누수 인자 설정 단계는,  
 상기 변수 정보를 이용하여 도출 가능한 상기 누수 인자를 설정하며, 상기 누수 인자는 열 전달 수치값 및 교번 응력값을 포함하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 방법.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,  
 상기 시뮬레이션 처리 단계는,  
 상기 변수 정보를 이용하여 상기 매설 배관의 온도 분포를 분석하고, 상기 온도 분포의 분석결과를 기반으로 상기 열 전달 수치값을 산출하는 제1 시뮬레이션 처리 단계; 및  
 상기 온도 분포의 분석결과와 상기 매설 배관의 파이프에 가해지는 압력 정보를 이용하여 상기 교번 응력값을 산출하는 제2 시뮬레이션 처리 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 방법.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,  
 상기 관계 모델 생성 단계는,  
 상기 변수 정보에 포함된 상기 형상 정보, 상기 온도 정보 및 상기 유체 정보 각각에 대한 변수값을 조정하고, 조정된 상기 변수 정보에 대한 상기 누수 인자의 변화값을 기반으로 상기 관계 모델을 생성하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 방법.

**청구항 6**

제5항에 있어서,

상기 누수 예측 단계는,

기 매설된 매설 배관에 대한 신규 변수 정보가 입력된 경우, 상기 관계 모델을 이용하여 상기 누수 인자를 산출하고, 상기 누수 인자를 기준 임계값과 비교하여 상기 기 매설된 매설 배관 중 누수 발생 가능성이 존재하는 위치를 탐색하여 제공하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 방법.

**청구항 7**

제5항에 있어서,

상기 누수 예측 단계는,

매설 예정인 매설 배관에 대한 신규 변수 정보가 입력된 경우, 상기 관계 모델을 이용하여 상기 누수 인자를 산출하고, 상기 누수 인자를 기준 임계값과 비교하여 상기 매설 예정인 매설 배관에 대한 누수 발생 가능성이 최소화되는 최적 변수 정보를 선정하여 제공하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 방법.

**청구항 8**

매설 배관에 대한 누수를 예측하는 장치로서,

적어도 하나 이상의 프로세서; 및

상기 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리를 포함하며, 상기 프로그램들은 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 하나 이상의 프로세서들에서,

상기 매설 배관과 관련된 변수 정보를 획득하는 변수 획득 단계;

상기 매설 배관의 누수와 관련된 누수 인자를 설정하는 누수 인자 설정 단계;

상기 변수 정보를 입력으로 시뮬레이션을 처리하여 상기 누수 인자를 계산하는 시뮬레이션 처리 단계;

상기 변수 정보와 상기 누수 인자 간의 관계 모델을 생성하는 관계 모델 생성 단계; 및

상기 관계 모델을 기반으로 신규 변수 정보에 대한 신규 누수 인자를 산출하고, 상기 누수 인자를 기반으로 누수 발생 가능성을 예측하는 누수 예측 단계

를 포함하는 동작들을 수행하게 하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 장치.

**청구항 9**

제8항에 있어서,

상기 변수 획득 단계는,

상기 매설 배관에 대한 형상 정보, 온도 정보 및 유체 정보 중 적어도 하나의 정보를 포함하는 상기 변수 정보를 획득하고,

상기 누수 인자 설정 단계는, 상기 변수 정보를 이용하여 도출 가능한 상기 누수 인자를 설정하며, 상기 누수 인자는 열 전달 수치값 및 교번 응력값을 포함하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 장치.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 시뮬레이션 처리 단계는,

상기 변수 정보를 이용하여 상기 매설 배관의 온도 분포를 분석하고, 상기 온도 분포의 분석결과를 기반으로 상기 열 전달 수치값을 산출하는 제1 시뮬레이션 처리 단계; 및

상기 온도 분포의 분석결과와 상기 매설 배관의 파이프에 가해지는 압력 정보를 이용하여 상기 교번 응력값을 산출하는 제2 시뮬레이션 처리 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 장치.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 관계 모델 생성 단계는,

상기 변수 정보에 포함된 상기 형상 정보, 상기 온도 정보 및 상기 유체 정보 각각에 대한 변수값을 조정하고, 조정된 상기 변수 정보에 대한 상기 누수 인자의 변화값을 기반으로 상기 관계 모델을 생성하고,

상기 누수 예측 단계는, 매설 배관에 대한 신규 변수 정보가 입력된 경우, 상기 관계 모델을 이용하여 상기 누수 인자를 산출하고, 상기 누수 인자를 기준 임계값과 비교하여 누수 발생 가능성이 존재하는 매설 배관의 위치를 탐색하거나 누수 발생 가능성이 최소화되는 최적 변수 정보를 선정하여 제공하는 것을 특징으로 하는 누수 예측 장치.

**청구항 12**

컴퓨터에 제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 따른 누수 예측 방법을 실행시키기 위하여 기록매체에 저장된 컴퓨터프로그램.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 매설 배관에 대한 누수를 예측하는 방법 및 그를 위한 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 발명의 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] 지하에는 다양한 종류 및 형태의 배관이 매설되어 있고, 이러한 배관을 통해 다양한 종류의 유체가 이동하게 된다. 이러한, 매설 배관은 지반의 환경 또는 시간 경과로 인한 노후로 인해 누수가 발생할 수 있다.

[0004] 도 1은 종래의 매설 배관 누수 모니터링 시스템을 나타낸 예시도이다. 도 1은 매설 배관 구조물(110)의 건전성에 대하여 실시간으로 모니터링 하는 것으로,

[0005] 매설 배관 구조물(110)의 상단에 설치하며 감시장치(140)에서 보낸 신호를 센서로 전달하는 스마트 시트(120)와 매설 배관 구조물(110)의 상단에 일정 거리를 두고 서치되어 중장비에 의한 배관 파손을 예방하는 스마트예방시트(130) 등을 설치하고, 매설 배관 구조물(110)에 누수 감지 센서를 부착하여 누수가 발생했을 시, 실시간으로 누수 정보를 직접 감지하여 신호를 보내고, 그 신호를 바탕으로 위치를 파악해서 인력 및 공사의 낭비를 최소화할 수 있다. 다시 말해, 종래의 매설 배관 누수 모니터링 시스템은 실시간으로 사용되고 있는 매설 배관 구조물(110)들에 대해 건전성을 감시하고, 그 정보를 축적하고 분석함으로써 노동력 및 정비 시간을 감소시킨다.

[0006] 이러한, 종래의 매설 배관 누수 모니터링 시스템은 이미 누수가 진행된 다음에 누수 정보를 확인하여 복구하기 위한 방법이며, 매설 배관의 누수를 미리 예측하기 위한 방법이 필요하다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명은 매설 배관에 대한 변수 정보를 입력 받고, 변수 정보를 기반으로 시뮬레이션을 통해 누수 인자를 도출하는 관계 모델을 생성하여 매설 배관에 대한 누수 발생 가능성을 예측하는 동작을 수행하는 매설 배관의 누수 예측 방법 및 그를 위한 장치를 제공하는 데 주된 목적이 있다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 본 발명의 일 측면에 의하면, 상기 목적을 달성하기 위한 누수 예측 방법은, 매설 배관과 관련된 변수 정보를

획득하는 변수 획득 단계; 상기 매설 배관의 누수와 관련된 누수 인자를 설정하는 누수 인자 설정 단계; 상기 변수 정보를 입력으로 시뮬레이션을 처리하여 상기 누수 인자를 계산하는 시뮬레이션 처리 단계; 상기 변수 정보와 상기 누수 인자 간의 관계 모델을 생성하는 관계 모델 생성 단계; 및 상기 관계 모델을 기반으로 신규 변수 정보에 대한 신규 누수 인자를 산출하고, 상기 누수 인자를 기반으로 누수 발생 가능성을 예측하는 누수 예측 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 또한, 본 발명의 다른 측면에 의하면, 상기 목적을 달성하기 위한 누수 예측 장치는, 적어도 하나 이상의 프로세서; 및 상기 프로세서에 의해 실행되는 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리를 포함하며, 상기 프로그램들은 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 하나 이상의 프로세서들에서, 상기 매설 배관과 관련된 변수 정보를 획득하는 변수 획득 단계; 상기 매설 배관의 누수와 관련된 누수 인자를 설정하는 누수 인자 설정 단계; 상기 변수 정보를 입력으로 시뮬레이션을 처리하여 상기 누수 인자를 계산하는 시뮬레이션 처리 단계; 상기 변수 정보와 상기 누수 인자 간의 관계 모델을 생성하는 관계 모델 생성 단계; 및 상기 관계 모델을 기반으로 신규 변수 정보에 대한 신규 누수 인자를 산출하고, 상기 누수 인자를 기반으로 누수 발생 가능성을 예측하는 누수 예측 단계를 포함하는 동작들을 수행할 수 있다.

### 발명의 효과

[0010] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명은 기 설치되거나, 설치 예정인 매설 배관의 누수를 예측할 수 있는 효과가 있다.

[0011] 또한, 본 발명은 매설 배관의 누수 발생이 진행되기 전에 누수 발생 가능성을 예측할 수 있어, 누수 복구 비용을 최소화할 수 있는 효과가 있다.

[0012] 또한, 본 발명은 지반 환경을 고려하여 누수 발생이 최소화될 수 있도록 배관 설계 정보(배관 형상 등)를 제공할 수 있는 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 종래의 매설 배관 누수 모니터링 시스템을 나타낸 예시도이다.  
 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 누수 예측 장치를 개략적으로 나타낸 블록 구성도이다.  
 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 누수 예측 방법을 설명하기 위한 순서도이다.  
 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 변수 정보 및 누수 인자를 설정하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.  
 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 매설 배관의 누수 예측 동작을 설명하기 위한 도면이다.  
 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 관계 모델을 생성하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.  
 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 누수 예측 동작을 수행하는 컴퓨팅 기기를 개략적으로 나타낸 블록 구성도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다. 또한, 이하에서 본 발명의 바람직한 실시예를 설명할 것이나, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정하거나 제한되지 않고 당업자에 의해 변형되어 다양하게 실시될 수 있음은 물론이다. 이하에서는 도면들을 참조하여 본 발명에서 제안하는 매설 배관의 누수 예측 방법 및 그를 위한 장치에 대해 자세하게 설명하기로 한다.

[0015] 본 발명에서 누수 예측을 수행하는 대상인 매설 배관은 지하 수로인 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 유체를 이동시킬 수 있는 다양한 종류 및 형태의 파이프라인일 수 있다.

[0016] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 누수 예측 장치를 개략적으로 나타낸 블록 구성도이다.

[0017] 본 실시예에 따른 누수 예측 장치(200)는 변수 획득부(210), 누수 인자 설정부(220), 시뮬레이션 분석부(230), 관계 모델 생성부(240) 및 누수 예측부(250)를 포함한다. 도 2의 누수 예측 장치(200)는 일 실시예에 따른 것으로서, 도 2에 도시된 모든 블록이 필수 구성요소는 아니며, 다른 실시예에서 누수 예측 장치(200)에 포함된 일

부 블록이 추가, 변경 또는 삭제될 수 있다.

- [0018] 변수 획득부(210)는 매설 배관과 관련된 변수 정보를 획득한다.
- [0019] 변수 획득부(210)는 외부 장치로부터 변수 정보를 수신하여 획득하거나, 누수 예측 장치(200) 내부에 기 저장된 변수 정보를 불러와 획득할 수 있다. 여기서, 외부 장치는 매설 배관과 관련된 별도의 서버이거나, 매설 배관과 관련된 데이터를 저장하는 데이터베이스일 수 있다.
- [0020] 변수 획득부(210)는 매설 배관에 대한 형상 정보, 온도 정보, 유체 정보, 지반 정보 등과 같은 정보를 포함하는 변수 정보를 획득한다. 여기서, 변수 정보는 배관과 배관이 매설된 지반에 대한 정보이며, 형상 정보는 매설 배관에 대한 직경, 경로 정보, 압력 정보 등을 포함하고, 온도 정보는 유체 온도, 토양 온도 등을 포함한다. 또한, 유체 정보는 매설 배관을 흐르는 유체의 특성, 유입 속도 등을 포함하고, 지반 정보는 매설 배관 주변의 지반과 관련된 매설 깊이, 매설 배관 주변 온도 등을 포함한다.
- [0021] 누수 인자 설정부(220)는 매설 배관의 누수와 관련된 누수 인자를 설정한다.
- [0022] 누수 인자 설정부(220)는 변수 정보를 이용하여 도출 가능한 누수 인자를 시뮬레이션 및 관계 모델의 결과값으로 설정한다. 여기서, 누수 인자는 열 전달 수치값(Heat removal rate) 및 교번 응력값(Alternating stress)을 포함하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 열 전달 수치값은 매설 배관 주변의 토양 온도와 매설 배관 내부의 유체의 영향으로 인한 열 전달이 발생하는 현상을 수치화한 누수 인자를 의미하고, 교번 응력값은 매설 배관 주변 환경의 영향으로 인해 시간에 따른 반복적인 응력의 변화로 인해 발생된 교번 응력 현상을 수치화한 누수 인자를 의미한다.
- [0023] 시뮬레이션 분석부(230)는 변수 정보를 입력으로 시뮬레이션을 처리하여 누수 인자를 계산한다. 본 실시예에 따른 시뮬레이션 분석부(230)는 제1 시뮬레이션 처리부(232) 및 제2 시뮬레이션 처리부(234)를 포함한다. 여기서, 제1 시뮬레이션 처리부(232)는 유체 기반의 시뮬레이션을 처리하고, 제2 시뮬레이션 처리부(234)는 고체 기반의 시뮬레이션을 처리할 수 있다.
- [0024] 제1 시뮬레이션 처리부(232)는 변수 정보를 이용하여 매설 배관의 온도 분포를 분석하고, 온도 분포의 분석결과를 기반으로 열 전달 수치값을 산출한다. 구체적으로, 제1 시뮬레이션 처리부(232)는 매설 배관에 대한 형상 정보, 온도 정보, 유체 정보, 지반 정보 등을 기반으로 유체 시뮬레이션을 수행하며, 매설 배관 주변의 지반 온도 및 유체 온도를 바탕으로 매설 배관의 온도 분포를 분석할 수 있으며, 온도 분포의 분석 결과를 통해 열 전달 수치값을 제1 시뮬레이션의 결과값으로 도출할 수 있다.
- [0025] 제2 시뮬레이션 처리부(234)는 제1 시뮬레이션 처리부(232)에서 분석된 온도 분포의 분석결과와 매설 배관의 파이프에 가해지는 압력 정보를 이용하여 교번 응력값을 산출한다. 구체적으로, 제2 시뮬레이션 처리부(234)는 유체 기반 시뮬레이션을 통한 온도 분포를 바탕으로 고체 기반 시뮬레이션 분석하며, 시간에 따른 매설 배관의 온도 분포를 바탕으로 고체 기반 시뮬레이션을 수행한다. 제2 시뮬레이션 처리부(234)는 매설 배관에 가해지는 온도 및 지반 하중에 의한 교번 응력값을 제2 시뮬레이션의 결과값으로 도출한다. 여기서, 제2 시뮬레이션 처리부(234)는 도출된 교번 응력값의 최대값을 이용하여 매설 배관의 누수 발생 가능성이 높은 위치를 확인할 수 있다.
- [0026] 제1 시뮬레이션 처리부(232) 및 제2 시뮬레이션 처리부(234) 각각은 변수값이 랜덤 또는 일정하게 조정된 변수 정보를 입력 받고, 입력 받은 변수 정보 각각에 대응하는 열 전달 수치값 및 교번 응력값을 도출하여 관계 모델을 생성하기 위한 백업 데이터를 생성할 수 있다.
- [0027] 관계 모델 생성부(240)는 변수 정보와 누수 인자 간의 관계 모델을 생성하는 동작을 수행한다.
- [0028] 관계 모델 생성부(240)는 변수 정보에 대한 변수값을 조정하고, 조정된 변수 정보에 대한 누수 인자의 변화값을 기반으로 관계 모델을 생성한다. 구체적으로, 관계 모델 생성부(240)는 변수 정보에 포함된 형상 정보, 온도 정보, 유체 정보, 지반 정보 등 각각 대한 변수값을 조정하고, 조정된 변수 정보에 대한 열 전달 수치값 및 교번 응력값 각각의 변화값을 기반으로 관계식을 도출하여 관계 모델을 생성한다.
- [0029] 관계 모델 생성부(240)는 제1 시뮬레이션 처리부(232) 및 제2 시뮬레이션 처리부(234)를 통해 도출된 열 전달 수치값 및 교번 응력값을 포함하는 백업 데이터를 이용하여 관계 모델을 생성할 수도 있다.
- [0030] 관계 모델 생성부(240)에서 생성된 관계 모델은 반응 표면 모델을 기반으로 생성될 수 있다. 여기서, 반응 표면 모델은 실험 계획법 중의 하나로써 최적화를 위한 변수의 수준을 찾는 데 유용한 방법이며, 중요 인자 간의 반응

의 곡면성을 모형화할 수 있게 해주는 제곱 항의 추가를 통해 관계식을 도출한다.

- [0031] 관계 모델 생성부(240)에서 생성된 관계 모델은 신규 변수 정보 입력 시, 시뮬레이션을 다시 수행하지 않고 신규 변수 정보에 대응하는 열 전달 수치값 및 교번 응력값을 도출할 수 있다.
- [0032] 관계 모델 생성부(240)은 열 전달 수치값 및 교번 응력값 각각을 누수 발생을 예측하기 위한 결과값으로 출력하는 것으로 기재하고 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0033] 관계 모델 생성부(240)은 누수 인자에 대한 우선순위를 설정하고, 우선순위에 따라 가중치를 부여하여 결과값을 출력할 수도 있다. 예를 들어, 교번 응력 관련 누수 인자가 1 순위이고, 열 전달 관련 누수 인자가 2 순위일 경우, 관계 모델 생성부(240)에서 생성된 관계 모델은 변수 정보를 기반으로 산출된 교번 응력값에 제1 가중치를 부여하고, 변수 정보를 기반으로 산출된 열 전달 수치값에 제2 가중치를 부여하고, 가중치가 부여된 교번 응력값 및 열 전달 수치값을 합산하여 최종 누수 예상 수치를 결과값으로 출력할 수도 있다. 여기서, 가중치의 부여는 산출 값(교번 응력값, 열 전달 수치값 등)에 배수 처리 또는 합산 처리를 수행하는 것을 의미한다. 또한, 제1 가중치는 제2 가중치보다 큰 값을 가지는 것이 바람직하며, 제1 가중치는 제2 가중치의 배수일 수 있다.
- [0034] 누수 예측부(250)는 관계 모델을 기반으로 신규 변수 정보에 대한 신규 누수 인자를 산출하고, 누수 인자를 기반으로 누수 발생 가능성을 예측하는 동작을 수행한다.
- [0035] 누수 예측부(250)는 기 매설된 매설 배관에 대한 신규 변수 정보가 입력된 경우, 관계 모델을 이용하여 열 전달 수치값 및 교번 응력값을 포함하는 누수 인자를 산출한다. 이후, 누수 예측부(250)는 누수 인자를 기 설정된 기준 임계값과 비교하여 기 매설된 매설 배관 중 누수 발생 가능성이 존재하는 위치를 탐색하여 제공한다.
- [0036] 한편, 누수 예측부(250)는 매설 예정인 매설 배관에 대한 신규 변수 정보가 입력된 경우, 관계 모델을 이용하여 열 전달 수치값 및 교번 응력값을 포함하는 누수 인자를 산출한다. 이후, 누수 예측부(250)는 누수 인자를 기 설정된 기준 임계값과 비교하여 매설 예정인 매설 배관에 대한 누수 발생 가능성이 최소화되는 최적 변수 정보를 선정하여 제공할 수 있다.
- [0037] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 누수 예측 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- [0038] 누수 예측 장치(200)는 매설 배관과 관련된 변수 정보를 획득한다(S310). 누수 예측 장치(200)는 매설 배관에 대한 형상 정보, 온도 정보, 유체 정보, 지반 정보 등과 같은 정보를 포함하는 변수 정보를 획득한다.
- [0039] 누수 예측 장치(200)는 매설 배관의 누수에 영향을 미칠 수 있는 누수 인자를 설정한다(S320). 누수 예측 장치(200)는 변수 정보를 이용하여 도출 가능한 누수 인자를 시뮬레이션 및 관계 모델의 결과값으로 설정한다. 여기서, 누수 인자는 열 전달 수치값(Heat removal rate) 및 교번 응력값(Alternating stress)을 포함한다.
- [0040] 누수 예측 장치(200)는 유체 기반의 시뮬레이션 처리를 통해 열 전달 수치값을 도출한다(S330). 구체적으로, 누수 예측 장치(200)는 변수 정보를 이용하여 매설 배관의 온도 분포를 분석하고, 온도 분포의 분석결과를 기반으로 열 전달 수치값을 산출한다.
- [0041] 누수 예측 장치(200)는 고체 기반의 시뮬레이션 처리를 통해 교번 응력값을 도출한다(S340). 구체적으로, 누수 예측 장치(200)는 분석된 온도 분포의 분석결과와 매설 배관의 파이프에 가해지는 압력 정보를 이용하여 교번 응력값을 산출한다.
- [0042] 누수 예측 장치(200)는 변수 정보와 누수 인자 간의 관계 모델을 생성한다(S350). 구체적으로, 누수 예측 장치(200)는 변수 정보에 포함된 형상 정보, 온도 정보, 유체 정보, 지반 정보 등 각각 대한 변수값을 조정하고, 조정된 변수 정보에 대한 열 전달 수치값 및 교번 응력값 각각의 변화값을 기반으로 관계식을 도출하여 관계 모델을 생성한다.
- [0043] 누수 예측 장치(200)는 관계 모델을 기반으로 신규 변수 정보에 대한 신규 누수 인자를 산출하고, 누수 인자를 기반으로 누수 발생 가능성을 예측한다(S360).
- [0044] 누수 예측 장치(200)는 기 매설된 매설 배관에 대한 신규 변수 정보가 입력된 경우, 관계 모델을 이용하여 열 전달 수치값 및 교번 응력값을 포함하는 누수 인자를 산출하고, 누수 인자를 기 설정된 기준 임계값과 비교하여 기 매설된 매설 배관 중 누수 발생 가능성이 존재하는 위치를 탐색하여 제공한다.
- [0045] 한편, 누수 예측 장치(200)는 매설 예정인 매설 배관에 대한 신규 변수 정보가 입력된 경우, 관계 모델을 이용하여 열 전달 수치값 및 교번 응력값을 포함하는 누수 인자를 산출하고, 누수 인자를 기 설정된 기준 임계값과

비교하여 매설 예정인 매설 배관에 대한 누수 발생 가능성이 최소화되는 최적 변수 정보를 선정하여 제공한다.

- [0046] 도 3에서는 각 단계를 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 다시 말해, 도 3에 기재된 단계를 변경하여 실행하거나 하나 이상의 단계를 병렬적으로 실행하는 것으로 적용 가능할 것이므로, 도 3은 시계열적인 순서로 한정되는 것은 아니다.
- [0047] 도 3에 기재된 본 실시예에 따른 누수 예측 방법은 애플리케이션(또는 프로그램)으로 구현되고 단말장치(또는 컴퓨터)로 읽을 수 있는 기록매체에 기록될 수 있다. 본 실시예에 따른 누수 예측 방법을 구현하기 위한 애플리케이션(또는 프로그램)이 기록되고 단말장치(또는 컴퓨터)가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨팅 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치 또는 매체를 포함한다.
- [0048] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 변수 정보 및 누수 인자를 설정하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- [0049] 누수 예측 장치(200)는 외부 장치로부터 변수 정보를 수신하여 획득하거나, 누수 예측 장치(200) 내부에 기 저장된 변수 정보를 불러와 획득할 수 있다. 여기서, 외부 장치는 매설 배관과 관련된 별도의 서버이거나, 매설 배관과 관련된 데이터를 저장하는 데이터베이스일 수 있다.
- [0050] 누수 예측 장치(200)는 매설 배관에 대한 형상 정보, 온도 정보, 유체 정보, 지반 정보 등과 같은 정보를 포함하는 변수 정보를 획득한다. 여기서, 변수 정보는 배관과 배관이 매설된 지반에 대한 정보이며, 형상 정보는 매설 배관에 대한 직경, 경로 정보, 압력 정보 등을 포함하고, 온도 정보는 유체 온도, 토양 온도 등을 포함한다. 또한, 유체 정보는 매설 배관을 흐르는 유체의 특성, 유입 속도 등을 포함하고, 지반 정보는 매설 배관 주변의 지반과 관련된 매설 깊이, 매설 배관 주변 온도 등을 포함한다.
- [0051] 누수 예측 장치(200)는 변수 정보를 이용하여 도출 가능한 누수 인자를 시뮬레이션 및 관계 모델의 결과값으로 설정한다. 여기서, 누수 인자는 열 전달 수치값(Heat removal rate) 및 교번 응력값(Alternating stress)을 포함할 수 있다.
- [0052] 누수 예측 장치(200)는 매설 배관 주변의 토양 온도와 매설 배관 내부의 유체의 영향으로 인한 열 전달이 발생하는 현상에 대한 열 전달 수치값과 매설 배관 주변 환경의 영향으로 인해 시간에 따른 반복적인 응력의 변화로 인해 발생된 교번 응력 현상에 대한 교번 응력값을 시뮬레이션 및 관계 모델의 결과값으로 설정한다.
- [0053] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 매설 배관의 누수 예측 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- [0054] 누수 예측 장치(200)는 변수 정보를 입력으로 시뮬레이션을 처리하여 누수 인자를 도출한다.
- [0055] 누수 예측 장치(200)는 변수 정보를 이용하여 매설 배관의 온도 분포를 분석하고, 온도 분포의 분석결과를 기반으로 열 전달 수치값을 산출한다. 누수 예측 장치(200)는 매설 배관에 대한 형상 정보, 온도 정보, 유체 정보, 지반 정보 등을 기반으로 유체 시뮬레이션을 수행한다. 누수 예측 장치(200)는 매설 배관 주변의 지반 온도 및 유체 온도를 바탕으로 매설 배관의 온도 분포를 분석할 수 있으며, 온도 분포의 분석 결과를 통해 열 전달 수치값을 유체 시뮬레이션의 결과값으로 도출할 수 있다.
- [0056] 누수 예측 장치(200)는 분석된 온도 분포의 분석결과와 매설 배관의 파이프에 가해지는 압력 정보를 이용하여 교번 응력값을 산출한다.
- [0057] 누수 예측 장치(200)는 유체 기반 시뮬레이션을 통한 온도 분포를 바탕으로 고체 기반 시뮬레이션 분석하며, 시간에 따른 매설 배관의 온도 분포를 바탕으로 고체 기반 시뮬레이션을 수행한다. 누수 예측 장치(200)는 매설 배관에 가해지는 온도 및 지반 하중에 의한 교번 응력값을 고체 시뮬레이션의 결과값으로 도출한다. 여기서, 누수 예측 장치(200)는 도출된 교번 응력값의 최대값을 이용하여 매설 배관의 누수 발생 가능성이 높은 위치를 확인할 수 있다.
- [0058] 누수 예측 장치(200)는 변수 정보에 포함된 형상 정보, 온도 정보, 유체 정보, 지반 정보 등 각각 대한 변수값을 조정하고, 조정된 변수 정보에 대한 열 전달 수치값 및 교번 응력값 각각의 변화값을 기반으로 관계식을 도출하여 관계 모델을 생성한다.
- [0059] 누수 예측 장치(200)에서 생성된 관계 모델은 신규 변수 정보 입력 시, 시뮬레이션을 다시 수행하지 않고 신규 변수 정보에 대응하는 열 전달 수치값 및 교번 응력값을 도출할 수 있다.
- [0060] 누수 예측 장치(200)는 관계 모델을 기반으로 신규 변수 정보에 대한 신규 누수 인자를 산출하고, 누수 인자를 기반으로 누수 발생 가능성을 예측한다.

- [0061] 누수 예측 장치(200)는 새로운 변수값(변수 정보) 입력 시 최적 형상 설계 기준을 제공할 수 있다. 누수 예측 장치(200)는 매설 배관에 대한 형상 정보, 온도 정보, 유체 정보, 지반 정보 등이 주어졌을 시, 형상에 따른 열 전달 수치값과 교번 응력값의 변화를 확인할 수 있고, 이에 따른 최적 형상값을 도출할 수 있다.
- [0062] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 관계 모델을 생성하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- [0063] 누수 예측 장치(200)의 관계 모델 생성부(240)는 변수 정보와 누수 인자 간의 관계 모델을 생성하는 동작을 수행한다.
- [0064] 도 6을 참조하면, 관계 모델 생성부(240)는 입력값(610)에 대해 모델 범위(620)를 설정하고, 모델 범위(620)에 대한 트레이닝 특징값(630)을 도출하여 관계 모델(640)을 생성한다.
- [0065] 입력값(610)은  $f_1$  내지  $f_n$ 으로 정의된 변수 정보일 수 있으며, 변수값이 조정된  $n$ ( $n$ 은 1 이상의 자연수) 개의 값 일 수 있다.
- [0066] 모델 범위(620)는 입력값(610)에 대한 최대값 및 최소값을 통해 설정된 범위를 의미한다.
- [0067] 트레이닝 특징값(630)은 관계 모델을 학습을 위한 특징값을 의미하며, 모델 범위(620)의 최대값 및 최소값 사이에서 선정된 특징값을 의미한다. 트레이닝 특징값(630)은 최대값 및 최소값 사이의 평균값일 수 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 각각의 입력값(610)에 대한 조건정보가 있는 경우 평균값에서 조건정보에 해당하는 가중치가 적용된 값일 수 있다.
- [0068] 관계 모델(640)은 트레이닝 특징값(630)을 기반으로 생성된 모델( $\hat{y}_i$ )을 의미하며, 반응 표면 모델(Response Surface Model)을 기반으로 생성될 수 있다. 여기서, 반응 표면 모델은 실험 계획법 중의 하나로써 최적화를 위한 변수의 수준을 찾는 데 유용한 방법이며, 중요 인자 간의 반응의 곡면성을 모형화할 수 있게 해주는 제공 항의 추가를 통해 관계식을 도출한다. 관계 모델(640)에 대한 관계식은 [수학식 1]과 같이 정의될 수 있다.

**수학식 1**

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

- [0069] ( $\hat{y}_i$ : 관계 모델에 대한 관계식,  $\beta_0$ : 0차항 계수(상수),  $\beta_i$ : 1차항 계수,  $\beta_{ii}$ : 2차항 계수,  $\beta_{ij}$ : 교차항 계수,  $x_i$ :  $i$ 번째 변수값,  $x_j$ :  $j$ 번째 변수값,  $\varepsilon$ : 오차값)
- [0070] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 누수 예측 동작을 수행하는 컴퓨팅 기기를 개략적으로 나타낸 블록 구성도이다.
- [0071] 본 실시예에 따른 누수 예측 동작을 수행하는 컴퓨팅 기기(700)는 입력부(110), 출력부(120), 프로세서(130), 메모리(140) 및 데이터 베이스(150)를 포함한다. 도 1의 컴퓨팅 기기(700)는 일 실시예에 따른 것으로서, 도 1에 도시된 모든 블록이 필수 구성요소는 아니며, 다른 실시예에서 컴퓨팅 기기(700)에 포함된 일부 블록이 추가, 변경 또는 삭제될 수 있다. 한편, 컴퓨팅 기기(700)는 컴퓨팅 디바이스로 구현될 수 있고, 컴퓨팅 기기(700)에 포함된 각 구성요소들은 각각 별도의 소프트웨어 장치로 구현되거나, 소프트웨어가 결합된 별도의 하드웨어 장치로 구현될 수 있다.
- [0072] 컴퓨팅 기기(700)는 매설 배관에 대한 변수 정보를 입력 받고, 변수 정보를 기반으로 시뮬레이션을 통해 누수 인자를 도출하는 관계 모델을 생성하여 매설 배관에 대한 누수 발생 가능성을 예측하는 동작을 수행한다. 본 실시예에 따른 컴퓨팅 기기(700)는 누수 예측 장치(200)와 동일한 장치로 구현될 수 있으며, 필요에 따라 누수 예측 장치(200)는 프로세서(130)와 동일한 모듈로 구현될 수도 있다.
- [0073] 입력부(110)는 컴퓨팅 기기(700)의 누수 예측 동작을 수행하기 위한 신호 또는 데이터를 입력하거나 획득하는 수단을 의미한다. 입력부(110)는 프로세서(130)와 연동하여 다양한 형태의 신호 또는 데이터를 입력하거나, 외부 장치와 연동하여 직접 데이터를 획득하여 프로세서(130)로 전달할 수도 있다. 여기서, 입력부(110)는 사용자

의 조작 또는 입력에 따른 신호 또는 매설 배관과 관련된 다양한 정보를 수신하는 통신부 등으로 구현될 수 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0075] 출력부(120)는 프로세서(130)와 연동하여 누설 예측 결과와 관련된 다양한 정보를 표시할 수 있다. 출력부(120)는 컴퓨팅 기기(700)에 구비된 디스플레이(미도시)를 통해 다양한 정보를 표시하는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0076] 프로세서(130)는 메모리(140)에 포함된 적어도 하나의 명령어 또는 프로그램을 실행시키는 기능을 수행한다.
- [0077] 본 실시예에 따른 프로세서(130)는 입력부(110) 또는 데이터 베이스(150)로부터 획득한 매설 배관에 대한 변수 정보를 기반으로 시뮬레이션을 통해 누수 인자를 도출하는 관계 모델을 생성하여 매설 배관에 대한 누수 발생 가능성을 예측하는 동작을 수행한다.
- [0078] 메모리(140)는 프로세서(130)에 의해 실행 가능한 적어도 하나의 명령어 또는 프로그램을 포함한다. 메모리(140)는 변수 획득 동작, 누수 인자 설정 동작, 시뮬레이션 처리 동작, 관계 모델 생성 동작, 누수 예측 동작 등을 위한 명령어 또는 프로그램을 포함할 수 있다.
- [0079] 데이터 베이스(150)는 데이터베이스 관리 프로그램(DBMS)을 이용하여 컴퓨터 시스템의 저장공간(하드디스크 또는 메모리)에 구현된 일반적인 데이터구조를 의미하는 것으로, 데이터의 검색(추출), 삭제, 편집, 추가 등을 자유롭게 행할 수 있는 데이터 저장형태를 뜻하는 것으로, 오라클(Oracle), 인포믹스(Infomix), 사이베이스(Sybase), DB2와 같은 관계형 데이터베이스 관리 시스템(RDBMS)이나, 젠스톤(Gemston), 오리온(Orion), O2 등과 같은 객체 지향 데이터베이스 관리 시스템(OODBMS) 및 엑셀론(Excelon), 타미노(Tamino), 세카이주(Sekaiju) 등의 XML 전용 데이터베이스(XML Native Database)를 이용하여 본 발명의 일 실시예의 목적에 맞게 구현될 수 있고, 자신의 기능을 달성하기 위하여 적당한 필드(Field) 또는 엘리먼트들을 가지고 있다.
- [0080] 본 실시예에 따른 데이터베이스(400)는 매설 배관의 누수 예측과 관련된 데이터를 저장하고, 프로세서(130) 또는 메모리(140)로 누수 예측 동작과 관련된 데이터를 제공할 수 있다.
- [0081] 데이터베이스(400)에 저장된 데이터는 변수 획득 동작, 누수 인자 설정 동작, 시뮬레이션 처리 동작, 관계 모델 생성 동작, 누수 예측 동작 등과 관련된 데이터일 수 있다. 데이터베이스(140)는 컴퓨팅 기기(700) 내에 구현되는 것으로 기재하고 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 별도의 데이터 저장장치로 구현될 수도 있다.
- [0082] 이상의 설명은 본 발명의 실시예의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명의 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명의 실시예들은 본 발명의 실시예의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

**부호의 설명**

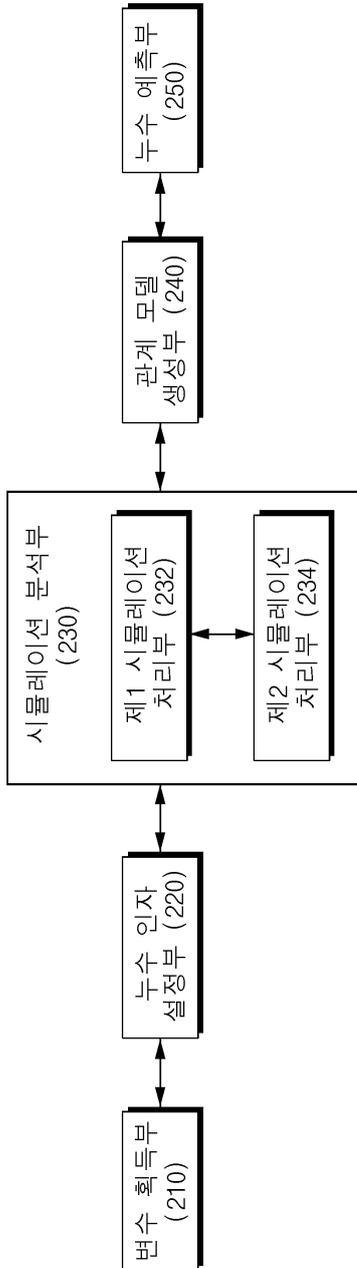
- [0083] 200: 누수 예측 장치    210: 변수 획득부
- 220: 누수 인자 설정부    230: 시뮬레이션 분석부
- 240: 관계 모델 생성부    250: 누수 예측부

도면  
도면1

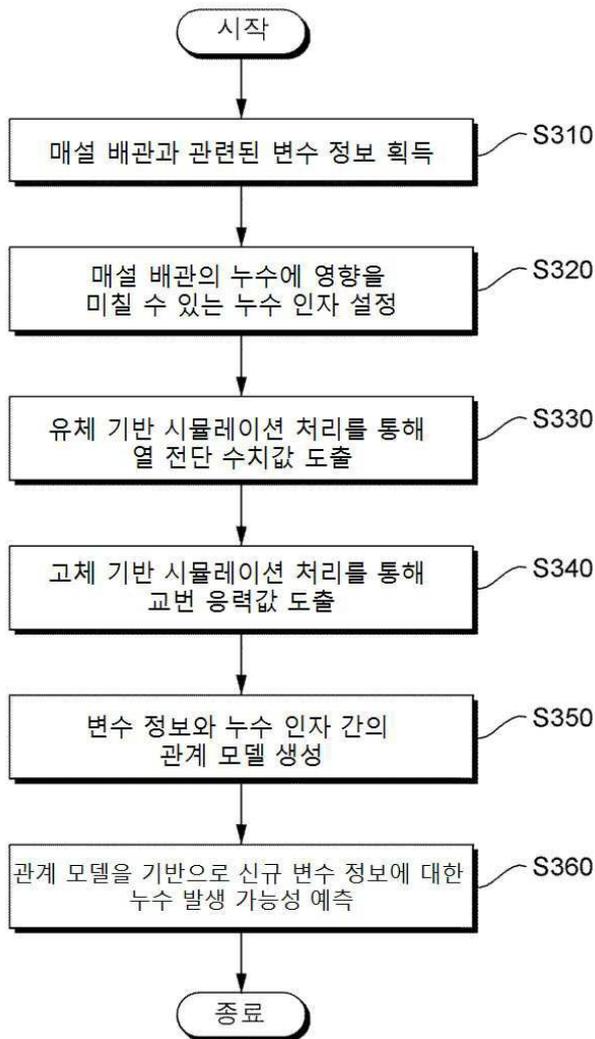


도면2

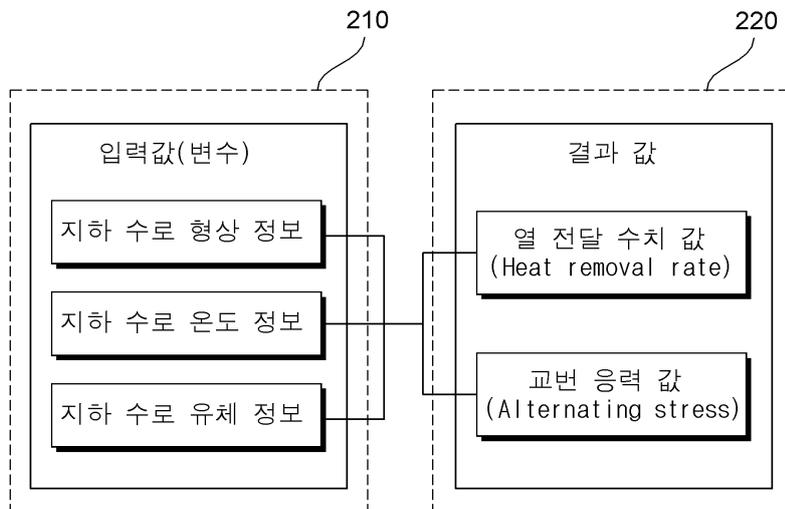
200



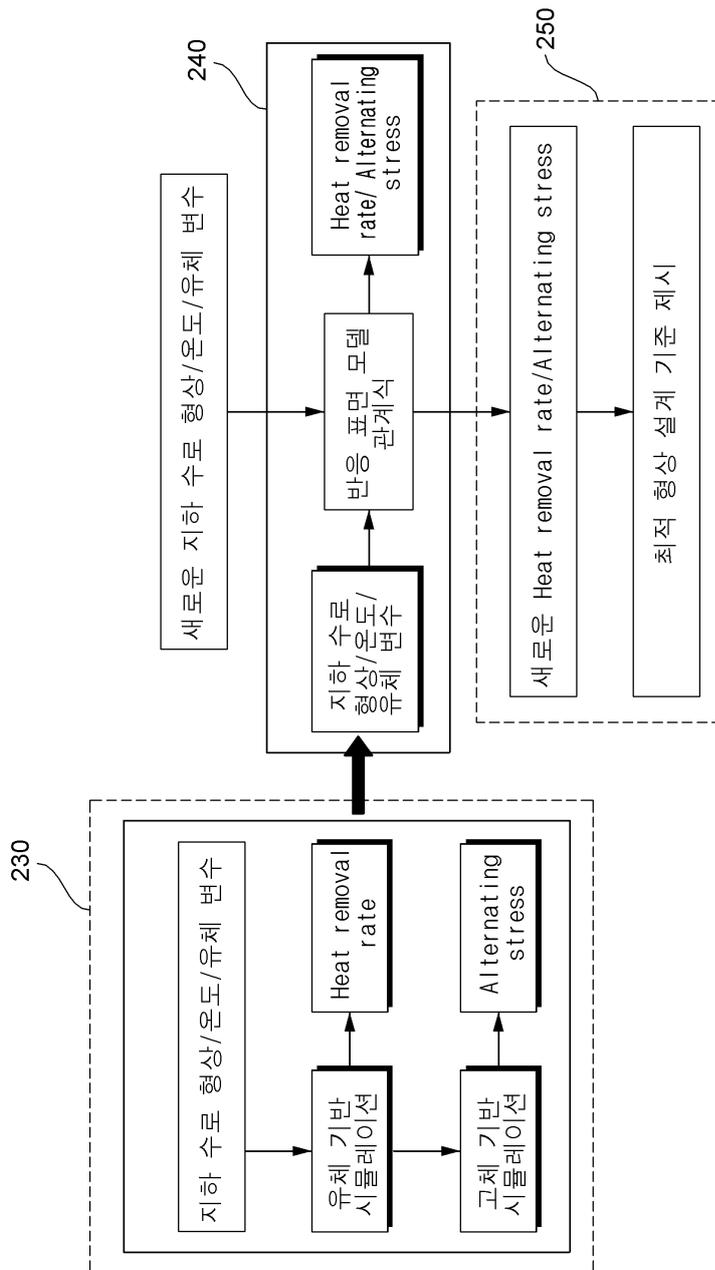
도면3



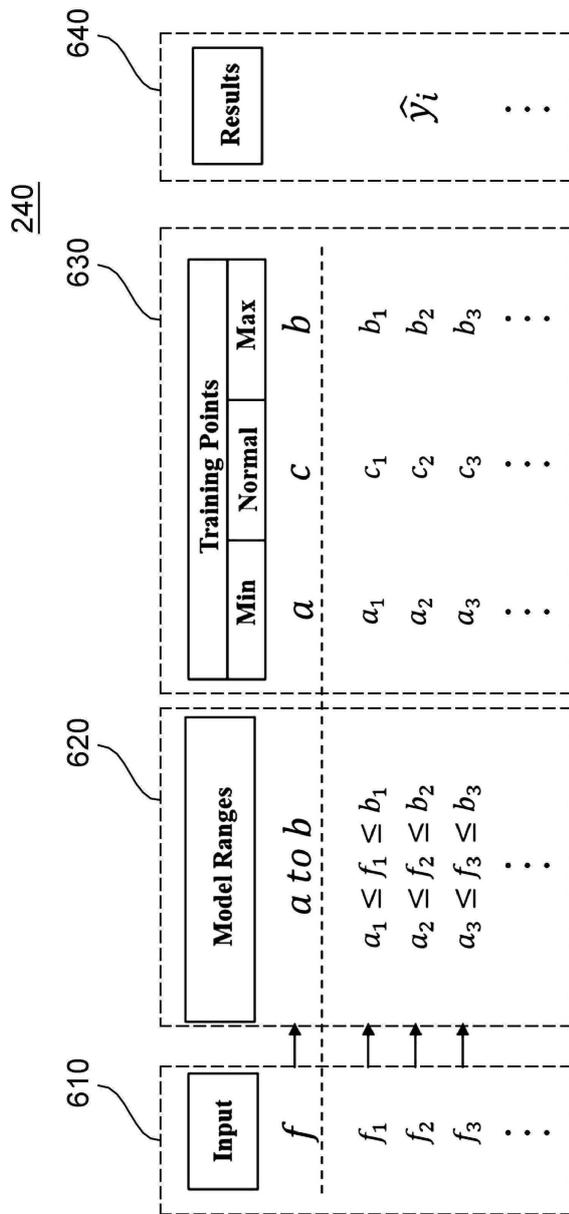
도면4



도면5



도면6



도면7

