

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2023-0036855
(43) 공개일자 2023년03월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/06 (2012.01) G06F 30/20 (2020.01)
G06Q 50/10 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/06 (2013.01)
G01M 3/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0119862
(22) 출원일자 2021년09월08일
심사청구일자 2021년09월08일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
강두선
경기도 용인시 수지구 죽전로 267, 805동 1401호 (죽전동, 내대지마을건영캐스빌)
최정욱
경기도 용인시 기흥구 서천서로 27, 113동 304호 (서천동, 센트럴파크원)
정기문
경기도 수원시 영통구 청명로21번길 8, 301호 (영통동)
(74) 대리인
리앤목특허법인

전체 청구항 수 : 총 12 항

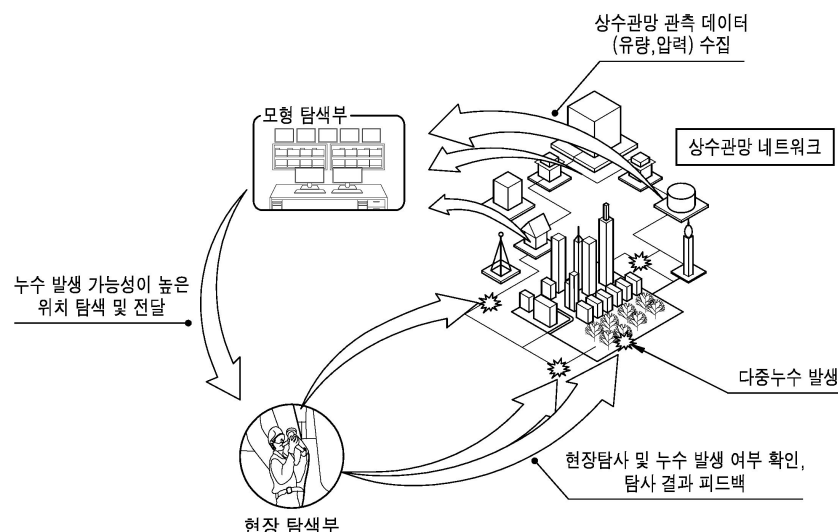
(54) 발명의 명칭 다중 지점 누수 탐지 방법 및 그 시스템

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법은, 모형 탐색부가 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수를 1개부터 증가시키면서, 누수탐지 최적화 결정변수를 이용하여 각 누수 개수에 따른 최적화 모형 목적 함수(RMSE, Root Mean Square Error) 값을 체크하는 단계; 및 상기 모형 탐색부가 상기 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수가 N개가 되었을 때, RMSE(N-1) 값이 RMSE(N) 값보다 작다면, 누수 개수가 N-1개일때의 누수 관로 정보를 현장 탐색부에 전달하는 단계를 포함한다.

또한 상기 현장 탐색부가 누수 개수가 N-1개일때의 상기 누수 예상 관로 정보를 바탕으로 현장 탐사를 수행하고, 해당 관로의 누수 발생 여부를 확인 하는 단계; 및 상기 현장 탐색부가 현장 탐사 결과 누수가 발생되거나 발생되지 않은 관로 정보를 상기 모형 탐색부에 송신하는 단계를 더 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G06F 30/20 (2020.01)

G06Q 50/10 (2015.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711128594
과제번호	2017M3C1A6075016
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	STEAM연구(R&D)
연구과제명	웹기반 상수관망시스템 시뮬레이션 프로그램 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경희대학교(국제캠퍼스)
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

모형 탐색부가 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수를 1개부터 증가시키면서, 누수탐지 최적화 결정변수를 이용하여 각 누수 개수에 따른 최적화 모형 목적 함수(RMSE, Root Mean Square Error) 값을 체크하는 단계; 및

상기 모형 탐색부가 상기 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수가 N개가 되었을 때, $RMSE(N-1)$ 값이 $RMSE(N)$ 값보다 작다면, 누수 개수가 N-1개일때의 누수 관로 정보를 현장 탐색부에 전달하는 단계를 포함하는 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 현장 탐색부가 누수 개수가 N-1개일때의 누수 예상 관로 정보를 바탕으로 현장 탐사를 수행하고, 해당 관로의 누수 발생 여부를 확인 하는 단계; 및

상기 현장 탐색부가 현장 탐사 결과 누수가 발생되거나 발생되지 않은 관로 정보를 상기 모형 탐색부에 송신하는 단계를 더 포함하는 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 누수가 발생된 관로 정보를 상기 모형 탐색부에 송신하는 단계 후, 상기 모형 탐색부는, 상기 정보에 누수가 발생된 관로 정보가 포함될 경우,

상기 누수가 발생된 관로 정보를 반영하여,

상기 모형 탐색부가 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수를 1개부터 증가시키면서, 누수탐지 최적화 결정변수를 이용하여 각 누수 개수에 따른 최적화 모형 목적 함수(RMSE, Root Mean Square Error) 값을 체크하는 단계를 재수행하는 단계; 및

상기 단계 탐색 재수행 결과 나온 누수 관로 정보를 상기 현장 탐색부에 전달하는 단계를 더 포함하는 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 4

제2 항에 있어서,

상기 누수가 발생된 관로 정보를 상기 모형 탐색부에 송신하는 단계 후, 상기 모형 탐색부는, 상기 정보에 누수가 발생되지 않은 관로 정보가 포함될 경우, 상기 누수가 발생되지 않은 관로를 탐색 범위에서 제외하고,

상기 모형 탐색부가 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수를 1개부터 증가시키면서, 누수탐지 최적화 결정변수를 이용하여 각 누수 개수에 따른 최적화 모형 목적 함수(RMSE, Root Mean Square Error) 값을 체크하는 단계를 재수행하는 단계; 및

상기 단계 탐색 재수행 결과 나온 누수 관로 정보를 상기 현장 탐색부에 전달하는 단계를 더 포함하는 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 5

제2 항에 있어서,

상기 현장 탐색부가 단계 탐색 결과에 해당하는 관로의 누수 발생 여부를 확인하는 단계; 및

상기 현장 탐색부가 현장 탐사 결과 누수가 발생되거나 발생되지 않은 관로 정보를 상기 모형 탐색부에 송신하

는 단계를 반복 수행하는 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 6

제2 항에 있어서,

상기 현장 탐색부가 누수 관로를 복구하는 단계; 및

상기 누수 관로가 복구된 후 상수관망 네트워크 수리해석 압력 값과, 다중 누수 발생 전의 상수관망 네트워크 관측 데이터 압력 값이 기 설정된 오차범위 내로 들어올 경우, 모든 다중 누수 지점이 특정되었다고 판단하고 다중 누수 탐지를 종료하는 단계를 더 포함하는 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 누수탐지 최적화 결정변수를 이용하여 각 누수 개수에 따른 최적화 모형 목적 함수 값을 체크하는 단계 전,

다중 누수 발생 전에 관측된 압력, 유량 등의 수리 관측 데이터를 수집하는 단계; 및

수집한 상기 수리 관측 데이터를 기반으로 상기 상수관망 네트워크를 캘리브레이션(Calibration)하는 단계를 더 포함하는 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 상수관망 네트워크를 캘리브레이션하는 단계는,

목적함수 RMSE 식의 $P_{obs,s}^t$ 에 다중 누수 발생 전에 관측된 압력값을 입력하여 도출되는 최적화 목적 함수를 이용하는 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 9

제1 항에 있어서,

다중 지점 누수 탐지 시, 최적화 목적함수 RMSE 식의 $P_{obs,s}^t$ 값은 다중 누수 발생 후에 관측된 압력값을 입력하여 활용하는 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 10

제1 항에 있어서,

다중 지점 누수 탐지 최적화의 목적함수 RMSE 식의 $P_{sim,s}^t$ 값은 상기 누수 발생 전에 관측된 압력, 유량 등의 수리데이터를 통해 캘리브레이션된 상수관망 네트워크를 이용하여 개발 모형의 수리 해석 모듈을 통해 도출되는 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 11

제1 항에 있어서,

상기 누수탐지 최적화 결정변수는 PI , Cd , F_s 인 다중 지점 누수 탐지 방법.

청구항 12

누수 개수에 따른 RMSE 값을 체크하고, 누수 개수가 N개가 되었을 때 $RMSE(N-1)$ 값이 $RMSE(N)$ 값보다 작다면, 누수 개수가 N-1개일때의 누수 관로 정보를 현장 탐색부에 전달하는 모형 탐색부; 및

누수 개수가 N-1개일때의 누수 관로 정보를 바탕으로 현장 탐사를 수행하고, 해당하는 관로의 누수 발생 여부를 확인하여 상기 모형 탐색부와 피드백 과정을 수행하는 현장 탐색부를 포함하는 다중 지점 누수 탐지 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 다중 지점 누수 탐지 방법 및 그 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 상수관망 네트워크(WDN, Water Distribution Network)의 다중 지점 누수 탐지 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 상수도 네트워크에 발생한 누수를 탐지하는 방법 중 가장 일반적인 방법은 탐지 장비를 이용한 현장 탐사 기반 누수 탐지 방법이 있다. 해당 방법은 활용되는 탐지 장비에 따라 청음식 탐지와 가스 주입식 탐지로 나뉘어진다.

[0003] 음향 장비를 활용하는 청음식 탐지는 누수의 위치를 정확하게 탐지할 수 있지만 탐지 기술자의 경험과 능력에 따라서 탐지 효율이 크게 좌우되며, 주변의 소음(예를 들면, 차량이 지나가는 소리, 인근 수요처의 물 사용 소리 등)으로 인한 잡음이 개입할 경우 탐지가 어려워진다는 단점이 있다.

[0004] 또한 상수도 관로 내에 탐지용 가스를 주입하고 누수 지점에서 빠져나온 가스를 가스 탐지기로 감지하여 누수 지점을 찾는 방식인 가스 주입식 탐지는 탐지 범위가 넓은 경우 혹은 청음식 누수 탐지가 어려운 경우에 효과적으로 사용할 수 있는 장점이 있으나, 관이 깊은 곳에 매설되어 있을 경우, 탐지용 가스가 가스 탐지 센서까지 도달하는데 시간이 소요된다는 단점이 있다.

[0005] 이러한 현장 탐사 기반의 누수 탐지 방법은 누수 발생여부를 직접 확인하고 누수의 위치를 정확히 특정하는 것에는 효과적이지만 탐지를 수행할 때 누수 위치에 대한 마땅한 근거가 없이 탐지를 수행하여 많은 비용과 인력, 그리고 시간이 소요될 수 있다.

[0006] 근래에는, 누수 탐지시, 현장 탐사 기반 누수탐지 방법의 비효율성으로 인해 유량이나 수압 등의 관측 데이터 분석과 수리 해석을 기반으로 한 해석 기반 누수 탐지 방법이 개발되어 왔다. 예를 들면, Bayesian system identification methodology에 기반한 누수 감지 방법, District Metered Area(DMA)의 유량을 분석하여 누수를 감지하는 방법, 관로의 누수나 파열부에서 발생하는 Negative Pressure Wave 를 활용한 방법, 최적화 기법을 활용한 방법, 인공 신경망(ANN)을 활용한 누수 탐지 방법 등 많은 해석기반 누수탐지 방법들이 연구, 개발되어 왔다.

[0007] Bayesian system identification methodology에 기반한 누수 감지 방법은, 베이지안 확률 이론을 통해 상수관망 시스템 상태를 분석 및 식별함으로써 누수 위치를 탐지하는 방법으로서, 여기서 베이지안 확률이란 빈도 확률 개념을 적용할 수 없는 사건에 대하여 해당 사건과 관련이 있는 여러 확률을 이용해 해당 사건이 발생할 확률을 추정하는 이론이다. 즉 베이지안 확률 이론을 통해 각 파이프의 누수 발생 확률을 계산함으로써 누수를 감지할 수 있다.

[0008] District Metered Area(DMA)의 유량을 분석하여 누수를 감지하는 방법은, 상수관망의 소블럭(DMA) 단위로 용수 사용량을 파악하고 있다가, 어느 한 소블럭(DMA)에서 유량이 일정량 혹은 비정상적으로 증가할 경우 해당 소블럭 내에서 누수가 발생하였다고 판단하는 방식이다.

[0009] Negative Pressure Wave 를 활용한 방법은, 파이프의 누수 균열로 인해 생기는 파동을 통해 누수를 탐지하는 방법으로, 파동의 크기로 누수량의 규모를 추정하고 파동의 속도와 이동 시간을 통해 누수 위치를 특정하는 방식이다.

[0010] 해당 방법들을 통한 누수 탐지는 컴퓨터 기반의 데이터 분석을 통한 누수 탐지 방법이기 때문에 현장 탐사 기반 누수 탐지와는 달리, 필요 인력, 비용, 소요시간 등이 적다는 장점이 있다.

[0011] 그러나, 기존에 개발된 해석 기반 누수 탐지 방법들은 데이터 분석에만 초점을 두고 개발되어 왔기 때문에 대체로 현장 상황을 고려하지 않아 해당 방법을 그대로 실제 현장 업무에 적용하기 힘들다는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 컴퓨터 기반의 데이터 분석 및 수리 해석 모의를 통한 누수 위치 탐지 결과

를 활용하여 현장 누수 탐지의 소요 경비를 효과적으로 줄임과 동시에, 해석 기반의 누수탐지 결과를 반영한 현장 탐사 및 현장 탐사 결과를 다시 해석 기반의 누수탐지에 반영하는 공조 탐색을 통해 누수탐지 효율을 개선하고 현장 업무에 적용할 수 있는 다중 지점 누수 탐지 방법 및 그 시스템을 제공하는 것이다.

[0013] 다만 이러한 과제는 예시적인 것으로, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이에 한정되지 않는다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법은, 모형 탐색부가 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수를 1개부터 증가시키면서, 누수탐지 최적화 결정변수를 이용하여 각 누수 개수에 따른 최적화 모형 목적 함수(RMSE, Root Mean Square Error) 값을 체크하는 단계; 및 상기 모형 탐색부가 상기 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수가 N개가 되었을 때, RMSE(N-1) 값이 RMSE(N) 값보다 작다면, 누수 개수가 N-1개일때의 누수 관로 정보를 현장 탐색부에 전달하는 단계를 포함한다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법에서, 상기 현장 탐색부가 누수 개수가 N-1개일때의 누수 예상 관로 정보를 바탕으로 현장 탐사를 수행하고, 해당 관로의 누수 발생 여부를 확인 하는 단계; 및 상기 현장 탐색부가 현장 탐사 결과 누수가 발생되거나 발생되지 않은 관로 정보를 상기 모형 탐색부에 송신하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법에서, 상기 누수가 발생된 관로 정보를 상기 모형 탐색부에 송신하는 단계 후, 상기 모형 탐색부는, 상기 정보에 누수가 발생된 관로 정보가 포함될 경우, 상기 누수가 발생된 관로 정보를 반영하여, 상기 모형 탐색부가 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수를 1개부터 증가시키면서, 누수탐지 최적화 결정변수를 이용하여 각 누수 개수에 따른 최적화 모형 목적 함수(RMSE, Root Mean Square Error) 값을 체크하는 단계를 재수행하는 단계; 및 상기 단계 탐색 재수행 결과 나온 누수 관로 정보를 상기 현장 탐색부에 전달하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법에서, 상기 누수가 발생된 관로 정보를 상기 모형 탐색부에 송신하는 단계 후, 상기 모형 탐색부는, 상기 정보에 누수가 발생되지 않은 관로 정보가 포함될 경우, 상기 누수가 발생되지 않은 관로를 탐색 범위에서 제외하고, 상기 모형 탐색부가 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수를 1개부터 증가시키면서, 누수탐지 최적화 결정변수를 이용하여 각 누수 개수에 따른 최적화 모형 목적 함수(RMSE, Root Mean Square Error) 값을 체크하는 단계를 재수행하는 단계; 및 상기 단계 탐색 재수행 결과 나온 누수 관로 정보를 상기 현장 탐색부에 전달하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법에서, 상기 현장 탐색부가 단계 탐색 결과에 해당하는 관로의 누수 발생 여부를 확인하는 단계; 및 상기 현장 탐색부가 현장 탐사 결과 누수가 발생되거나 발생되지 않은 관로 정보를 상기 모형 탐색부에 송신하는 단계를 반복 수행할 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법에서, 상기 현장 탐색부가 누수 관로를 복구하는 단계; 및 상기 누수 관로가 복구된 후 상수관망 네트워크 수리해석 압력 값과, 다중 누수 발생 전의 상수관망 네트워크 관측 데이터 압력 값이 기 설정된 오차범위 내로 들어올 경우, 모든 다중 누수 지점이 특정되었다고 판단하고 다중 누수 탐지를 종료하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법에서, 상기 누수탐지 최적화 결정변수를 이용하여 각 누수 개수에 따른 최적화 모형 목적 함수 값을 체크하는 단계 전, 다중 누수 발생 전에 관측된 압력, 유량 등의 수리 관측 데이터를 수집하는 단계; 및 수집한 상기 수리 관측 데이터를 기반으로 상기 상수관망 네트워크를 캘리브레이션(Calibration)하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법에서, 상기 상수관망 네트워크를 캘리브레이션하는 단계는, 목적함수 RMSE 식의 $P_{Obs,s}^t$ 에 다중 누수 발생 전에 관측된 압력값을 입력하여 도출되는 최적화 목적 함수를 이용할 수 있다.

[0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법에서, 다중 지점 누수 탐지 시, 최적화 목적함수 RMSE 식의 $P_{Obs,s}^t$ 값은 다중 누수 발생 후에 관측된 압력값을 입력하여 활용할 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법에서, 다중 지점 누수 탐지 최적화의 목적함수 RMSE 식의 $P_{sim,s}^t$ 값은 상기 누수 발생 전에 관측된 압력, 유량 등의 수리데이터를 통해 캘리브레이션된 상수관망 네트워크

를 이용하여 개발 모형의 수리 해석 모듈을 통해 도출될 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법에서, 상기 누수탐지 최적화 결정변수는 PI , Cd , F_s 일 수 있다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 시스템은, 누수 개수에 따른 RMSE 값을 체크하고, 누수 개수가 N개가 되었을 때 $RMSE(N-1)$ 값이 $RMSE(N)$ 값보다 작다면, 누수 개수가 N-1개일때의 누수 관로 정보를 현장 탐색부에 전달하는 모형 탐색부; 및 누수 개수가 N-1개일때의 누수 관로 정보를 바탕으로 현장 탐사를 수행하고, 해당하는 관로의 누수 발생 여부를 확인하여 상기 모형 탐색부와 피드백 과정을 수행하는 현장 탐색부를 포함할 수 있다.

[0026] 전술한 것 외의 다른 측면, 특징, 이점은 이하의 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용, 청구범위 및 도면으로부터 명확해질 것이다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법 및 그 시스템은, 기존의 누수 탐지 방법인 현장 탐사 기반 누수 탐지 방법과 해석 기반 누수 탐지 방법의 장점만을 채용하여 누수 탐지의 효율성을 극대화하였으며, 단계 탐색(Cascade Search)을 통해 누수 발생 개수를 모르는 상황에서도 다중 지점의 누수를 파악할 수 있는 효과를 제공한다. 또한 공조 탐색(Cooperation Search)을 통해 모형 탐색부와 현장 탐색부 간의 실시간 공조를 구현하여 개발 기술의 현장 적용성을 향상시킬 수 있는 효과를 제공한다.

[0028] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 청구범위의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 누수 탐지 방법 및 그 시스템의 개념도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 누수 탐지 방법의 순서도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 누수 탐지 방법의 단계 탐색 단계에 대한 순서도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 누수 탐지 방법의 공조 탐색 단계에 대한 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 발명의 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시예로 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 다른 실시예에 도시되어 있다 하더라도, 동일한 구성요소에 대하여서는 동일한 식별 부호를 사용한다.

[0031] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 하며, 도면을 참조하여 설명할 때 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

[0032] 이하의 실시예에서, 제1, 제2 등의 용어는 한정적인 의미가 아니라 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하는 목적으로 사용되었다.

[0033] 이하의 실시예에서, 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.

[0034] 이하의 실시예에서, 포함하다 또는 가지다 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 또는 구성요소가 존재함을 의미하는 것이고, 하나 이상의 다른 특징들 또는 구성요소가 부가될 가능성을 미리 배제하는 것은 아니다.

[0035] 도면에서는 설명의 편의를 위하여 구성 요소들이 그 크기가 과장 또는 축소될 수 있다. 예컨대, 도면에서 나타난 각 구성의 크기 및 두께는 설명의 편의를 위해 임의로 나타냈으므로, 본 발명이 반드시 도시된 바에 한정되지 않는다.

[0036] 어떤 실시예가 달리 구현 가능한 경우에 특정한 공정 순서는 설명되는 순서와 다르게 수행될 수도 있다. 예를 들어, 연속하여 설명되는 두 공정이 실질적으로 동시에 수행될 수도 있고, 설명되는 순서와 반대의 순서로 진행

될 수 있다.

- [0037] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0038] 이하, 도 1 내지 도 4를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법 및 그 시스템에 대해 설명한다.
- [0039] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 누수 탐지 방법 및 그 시스템의 개념도이다. 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 누수 탐지 방법의 순서도이다. 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 누수 탐지 방법의 단계 탐색 방법에 대한 순서도이다. 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 누수 탐지 방법의 공조 탐색 방법에 대한 모식도이다.
- [0040] 도 1 내지 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법은, 모형 탐색부가 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수를 1개부터 증가시키면서, 누수탐지 최적화 결정변수를 이용하여 각 누수 개수에 따른 RMSE(Root Mean Square Error) 값을 체크하는 단계, 상기 모형 탐색부가 상기 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수가 N개가 되었을 때, RMSE(N-1) 값이 RMSE(N) 보다 작다면, 누수 개수가 N-1개일때의 누수 관로 정보를 현장 탐색부에 전달하는 단계 및 상기 현장 탐색부가 누수 개수가 N-1개일때의 상기 누수 관로 정보를 바탕으로 현장 탐사를 수행하고, 해당 관로의 누수 발생 여부를 확인하는 단계를 순차적으로 진행한다.
- [0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법은, 현장 탐사에 앞서, 누수 발생 가능성이 높은 위치를 산정하고 해당 위치를 기반으로 누수 탐지를 수행하여 탐지 효율을 향상할 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법은 많은 비용과 인력, 시간이 소요되는 것을 해결하기 위해 상수관망 네트워크의 각종 관측 데이터와 정밀한 수리 해석 기반의 누수 탐지 방법 형태로 개발되었으며, 현장 업무를 고려하여 데이터 분석 및 수리 해석이 필요한 모형 탐색부와 현장 탐사 및 누수 여부 확인을 위한 현장 탐색부 간의 공조 체계를 하나의 프레임 워크(Framework)로 구현하여 현장 적용성을 향상시킬 수 있다.
- [0042] 모형 탐색부는 절점 압력 및 파이프의 유량 등 상수관망 네트워크 관측 데이터와 GA 최적화 기법을 기반으로 한 수리 해석을 통해 상수관망 내 누수발생 가능성이 높은 관로를 선정한 후 해당 결과를 현장 탐색부에 전달할 수 있다. 현장 탐색부는 모형 탐색부의 분석 결과를 토대로 누수 가능성이 높은 관로를 조사하여 실제 누수 여부를 판단한 후, 탐지 결과를 모형 탐색부에 전달할 수 있다. 모형 탐색부는 현장 탐색부의 현장 탐사 결과에 따라 추가 해석 및 누수 관로 재탐색을 수행할 수 있다. 이러한 모형 탐색부와 현장 탐색부의 공조는 모형 탐색부에서 더 이상 누수 의심 관로가 탐색되지 않을 때까지 반복 수행될 수 있다.
- [0043] 본 발명의 일 실시예에 따른 상수관망 다중 누수 탐지 프레임 워크는 도 2에 도시된 바와 같이 총 여덟 단계로 이루어질 수 있다.
- [0044] 먼저, 다중 누수 발생 전에 관측된 압력 및 유량에 대한 수리 데이터를 수집할 수 있으며(S100), 수집된 수리 데이터를 기반으로 해당 네트워크를 캘리브레이션(Calibration)할 수 있다(S200). 상기 캘리브레이션 단계는, RMSE 식의 $P_{Obs,s}^t$ 에 다중 누수 발생 전에 관측된 압력값을 입력하여 도출되는 최적화 목적 함수를 이용할 수 있다.
- [0045] 그 후 다중 누수가 발생하였을 것으로 판단되는 시점 이후의 압력 유량 등의 관측 데이터를 수집할 수 있다(S300).
- [0046] 그 다음 모형 탐색부는 S200 단계에서 캘리브레이션(보정)된 네트워크 및 S300 단계에서 수집된 누수 발생 후 관측 데이터와 개발 모형(LeakFINDER) 내 수리 해석 모듈을 활용하여 최적화 목적함수 RMSE식을 통해 누수 발생 가능성이 높은 관로를 탐색할 수 있다(S400). 상기 누수 예상 관로 탐색 단계는, RMSE 식의 $P_{Obs,s}^t$ 에 다중 누수 발생 후 관측된 압력값을 입력하여 도출되는 최적화 목적 함수를 이용할 수 있다.
- [0047] 모형 탐색부에서 누수 발생 가능성이 높은 관로를 탐색한 후에는, 탐색된 관로들을 현장 탐색부에 전달하여 실제 누수 발생 여부를 확인할 수 있다(S500).
- [0048] 그 후 확인 결과를 모형 탐색부에 피드백(Feedback)할 수 있다(S600). 즉 현장 탐색부가 현장 탐사 결과 누수가

발생되거나 발생되지 않은 관로 정보를 모형 탐색부에 송신할 수 있다.

[0049] 이때 현장 탐색부의 조사 결과, 해당 관로가 누수 관로가 아닐 경우 모형 탐색부의 이후 탐색 범위에서 제외한 후 추가 탐색을 수행할 수 있다. 만일 누수 관로로 판정된 경우에는 단계 탐색에서 해당 관로를 누수관으로 고정하고 모형 탐색부의 추가 탐색(S400)을 수행할 수 있다(S700).

[0050] 추가 탐색을 위해 S400을 수행하기 전, 현장 탐색부에서 발견한 누수 관로(S600)를 복구한 뒤의 상수관망 네트워크 수리해석 결과(압력)와 다중 누수 발생 전 상수관망 관측 데이터(압력)간의 비교, 분석을 수행할 수 있다(S800).

[0051] 이와 같이 누수관을 탐색하기 위한 S400 내지 S800의 과정을 반복 수행하며, 다중 누수 탐지 및 복구 후의 상수관망 네트워크 수리해석 결과(압력) 값과 다중 누수 발생 전의 상수관망 관측 데이터(압력) 값의 차이가 기 설정된 오차 범위 내로 들어올 경우, 모든 다중 누수 지점이 특정되었다고 판단하고 다중 누수 탐지를 종료할 수 있다(S900). 상기 기 설정된 오차 범위는 1 % ~ 5 % 일 수 있다.

[0052] 본 발명의 일 실시예에 따른 다중 누수 탐지 프레임 워크는, 컴퓨터 기반의 모형(LeakFINDER)으로 개발될 수 있다. 개발 모형은 제1, 2 프로그램을 이용하여 실행될 수 있다. 이때, 제1 프로그램은 상수관망 네트워크의 수리해석을 담당하고, 제2 프로그램은 최적화 기법을 이용한 누수 의심 관로 선정, 모형 탐색부와 현장 탐색부 간의 공조 모의 등의 시뮬레이션 실행을 담당할 수 있다. 본 실시예에서, 제1 프로그램은 EPANET (Rossman, 2000)일 수 있고, 제2 프로그램은 MATLAB (The MathWorks, 2000) 일 수 있다.

[0053] 개발 모형(LeakFINDER)은 모형 탐색부에서 수행하는 단계 탐색(Cascade Search)과, 모형 탐색부와 현장 탐색부의 공조 체계를 의미하는 공조 탐색(Cooperation Search)로 구성될 수 있다. 단계 탐색은 실제 상황에서 지진과 같은 대규모 재난으로 인해 발생한 다중 누수의 개수를 알 수 없다는 문제점에서 착안하여 누수 개수를 1개에서부터 하나씩 증가시켜가며 누수 발생 위치를 탐색하는 기법일 수 있다.

[0054] 또한 공조 탐색에서는 모형 탐색부와 현장 탐색부의 공조, 즉 현장에서의 실제 탐지 결과(탐지 혹은 미탐지)를 모형 탐색부의 누수 탐지 모의에 반영하는 역할을 수행하며, 이를 통해 이후에 진행되는 모형 탐색부의 단계 탐색(Cascade Search)시 탐색 범위를 줄여 누수 탐지 효율을 증가시킬 수 있다.

[0055] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 누수 탐지를 위해 사용한 최적화 기법에 대해 설명한다.

[0056] 본 실시예에 따르면, 다중 누수 탐지를 위해 최적화 기법을 활용할 수 있다. 이때 상기 최적화 기법은 유전자 알고리즘(GA, Genetic Algorithm)을 사용할 수 있다.

[0057] 유전자 알고리즘을 사용하기 위한 최적화 모형의 결정 변수를 총 세가지로 형성될 수 있다. 세가지 결정 변수는, 누수가 발생하는 관로의 ID(파이프 인덱스), 해당 관로의 누수량, 누수를 제외한 네트워크 전체 용수 사용량일 수 있다. 이때 누수량은 오리피스 유량 계수 값으로 결정될 수 있다.

[0058] 다중 누수 탐지를 위한 관측 데이터는, 지진과 같이 대규모 재난으로 인한 다중 누수 발생 후의 현장 관측 값을 활용하며, 누수 탐지 효율을 높이기 위해 물 사용량이 적은 새벽 시간대(오전 2시 내지 3시)의 절점 압력과 네트워크 유량 관측 값을 사용할 수 있다.

[0059] 최적화 모형의 목적 함수는 다중 누수 발생 후 절점 별 압력 관측 값과 수리 해석 모의 값의 오차(RMSE, Root Mean Square Error)를 최소화하는 것으로, 하기 수학식 1과 같이 정의될 수 있다.

[0060] [수학식 1]

$$RMSE = \sum_{s=1}^{NS} \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (P_{obs,s}^t - P_{sim,s}^t)^2}{T}}$$

[0062] 여기서, NS는 센서(압력 로거)의 개수, T는 모의 시간, $P_{obs,s}^t$ 는 s번째 센서의 t 시간 때 압력 관측 값, $P_{sim,s}^t$ 는 s번째 센서의 t시간 때 모의 값을 나타낼 수 있다.

[0063] 본 실시예에 따르면, $P_{obs,s}^t$ 값은 다중 누수가 발생하였을 것으로 판단되는 시점 이후의 관측되는 압력, 유량 등의 수리 데이터를 통해 도출될 수 있다.

[0064] $P_{sim,s}^t$ 값은 누수 탐지 최적화 결정 변수 정보와 다중 누수 발생 전에 관측된 압력, 유량 등의 수리 데이터를 통

해 캘리브레이션 된 상수관망 네트워크를 이용하여 개발 모형(LeakFINDER)의 수리 해석 모듈을 통해 도출될 수 있다. 본 실시예에 따르면, $P_{obs,s}^t$ 값과 $P_{sim,s}^t$ 값의 차이가 기 설정된 오차 범위 내에 속할 경우 모든 다중 누수 지점이 특정되었다고 판단하고 다중 누수 탐지를 종료할 수 있다.

[0065] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 단계 탐색(Cascade Search) 방법에 대해 설명한다.

[0066] 본 실시예에 따르면, 최적화 기법을 활용한 다중 누수 탐지 시, 누수 발생 수를 1개에서 시작해서 1개씩 늘려 나가며 탐색하는 방법, 즉 단계 탐색(Cascade Search) 방법을 이용할 수 있다. 단계 탐색(Cascade Search) 방법은 도 3을 참조하여 설명한다.

[0067] 도 3을 참조하면, 먼저 첫 탐색 시, 누수 개수를 1개로 가정하고 누수 탐지를 수행할 수 있다. 이때 누수 탐지 최적화의 결정 변수는 PI_1 , cd_1 , F_s 로 3개일 수 있다. 여기서 PI 는 누수관의 파이프 인덱스(Index), cd 는 해당 누수관의 누수량, F_s 는 누수를 제외한 네트워크 전체 유량을 의미할 수 있다.

[0068] 이때 누수 개수를 1개로 가정한 누수 탐지 최적화가 완료된 후, 이어서 네트워크 내 누수 개수를 2개로 가정하여 누수 탐지 최적화를 수행할 수 있다. 이때 누수 탐지 최적화의 결정 변수는 PI_1 , PI_2 , cd_1 , cd_2 , F_s 총 5개로 구성될 수 있다. 여기서 F_s 는 누수를 제외한 네트워크 내 절점의 용수 사용량을 결정하므로 누수 개수와 상관없이 하나의 값으로 결정될 수 있다.

[0069] 그 후 상기와 같은 방식으로 누수의 개수를 하나씩 늘려가며 누수 탐지 최적화를 수행할 수 있다. 이때 결정 변수의 수는 $2N+1$ (N 은 누수관의 수)개가 될 수 있다. 상기와 같은 누수 탐지 최적화는 누수탐지 최적화의 최적화 모형 목적 함수 값이 더 이상 개선되지 않을 때까지 수행될 수 있다.

[0070] 이와 같이, 단계 탐색(Cascade Search)에서는 누수 개수를 하나씩 늘려가며 단계적으로 다중 누수 탐지를 수행하며, 최적화 수행 후 모의 결과가 관측 값과 가장 근접한 단계의 누수 개수, 누수 위치 조합을 현장 탐색부에 전달할 수 있다.

[0071] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 공조 탐색(Cooperation Search) 방법에 대해 도 4를 참조하여 설명한다.

[0072] 공조 탐색에서는 모형 탐색부와 현장 탐색부 간의 공조를 모의할 수 있다. 먼저, 모형 탐색부에서 단계 탐색을 통해 누수 의심 관로를 탐색한 후, 실제 누수 여부의 확인을 위해 해당 관로의 위치를 현장 탐색부에게 전달할 수 있다.

[0073] 현장 탐색부는 모형 탐색부의 탐색 결과를 기반으로 현장에서 해당 관로의 실제 누수 여부를 확인한 후, 확인 결과를 모형 탐색부에게 피드백 할 수 있다.

[0074] 모형 탐색부는 현장 탐색부의 피드백 결과를 바탕으로 재탐색 여부를 판단할 수 있다. 즉, 현장 탐색부의 확인 결과, 해당 관로가 누수관이 아닐 경우, 이후 최적화 탐색 모의에서 해당 관로를 탐색 범위에서 제외할 수 있다. 이러한 처리를 통해 탐색 관로의 범위를 줄이고 최적화의 효율을 증대할 수 있다. 만일 현장 탐색부 확인 결과 해당 관로가 누수관으로 판정된 경우, 해당 관로는 이후 최적화 모의에서 누수관으로 고정하여 마찬가지로 탐색범위에서 제외할 수 있다. 이때 실제 파악된 누수관의 위치와 누수 균열 크기(누수량)를 최적화 모의에 반영하여 재탐색 할 수 있다.

[0075] 보다 상세하게는, 누수가 발생된 관로 정보를 모형 탐색부에 송신할 때 상기 정보에 누수가 발생된 관로 정보가 포함될 경우, 상기 누수가 발생된 관로를 포함하여 상기 각 누수 개수에 따른 RMSE 값을 체크하는 단계 및 상기 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수가 N 개가 되었을 때, $RMSE(N-1)$ 값이 $RMSE(N)$ 값 보다 작다면, 누수 개수가 $N-1$ 개일때의 누수 관로 정보를 현장 탐색부에 전달하는 단계를 포함할 수 있다.

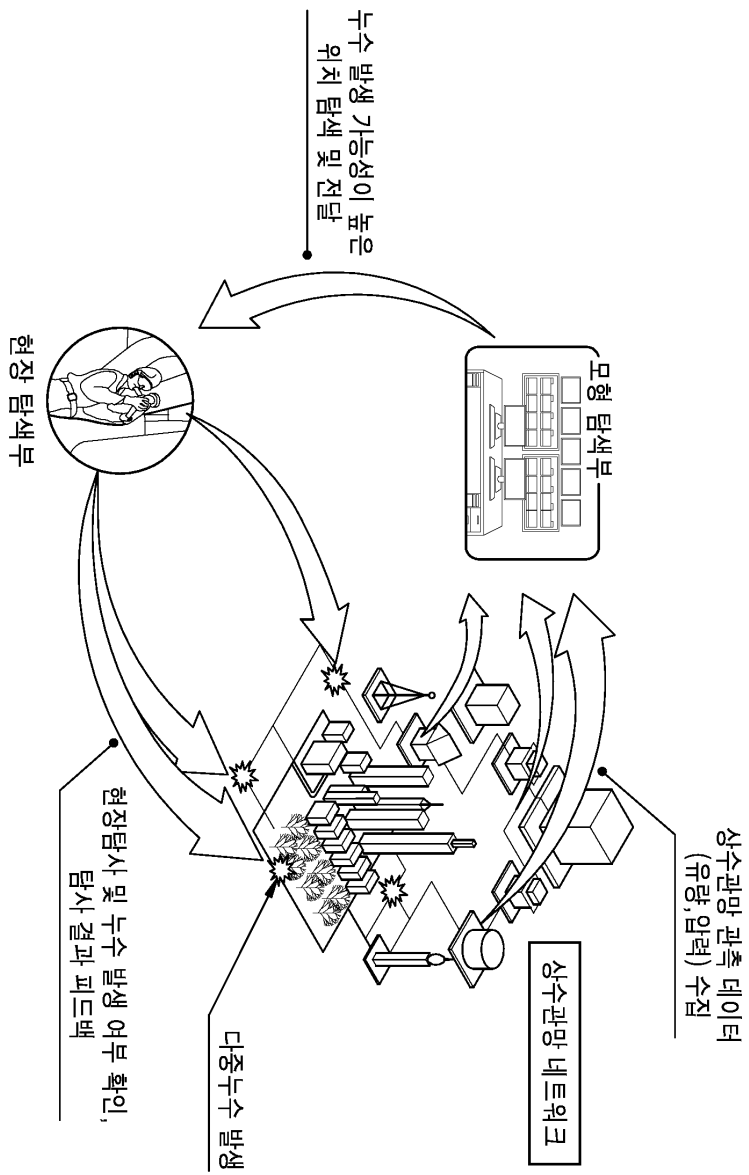
[0076] 또한 누수가 발생된 관로 정보를 모형 탐색부에 송신할 때 상기 정보에 누수가 발생되지 않은 관로 정보가 포함될 경우, 상기 누수가 발생되지 않은 관로를 제외하고 상기 각 누수 개수에 따른 RMSE 값을 체크하는 단계 및 상기 상수관망 네트워크에 발생한 누수 개수가 N 개가 되었을 때, $RMSE(N-1)$ 값이 $RMSE(N)$ 값보다 작다면, 누수 개수가 $N-1$ 개일때의 누수 관로 정보를 현장 탐색부에 전달하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0077] 모형 탐색부는 위와 같이 현장 탐색부의 확인 결과를 바탕으로 누수관에 대한 후처리를 시행한 후 단계 탐색(Cascade Search)을 다시 재수행하고, 누수 관로 정보에 대한 새로운 탐색 결과를 현장 탐색부에 전달하여 현장 탐사를 수행할 수 있다.

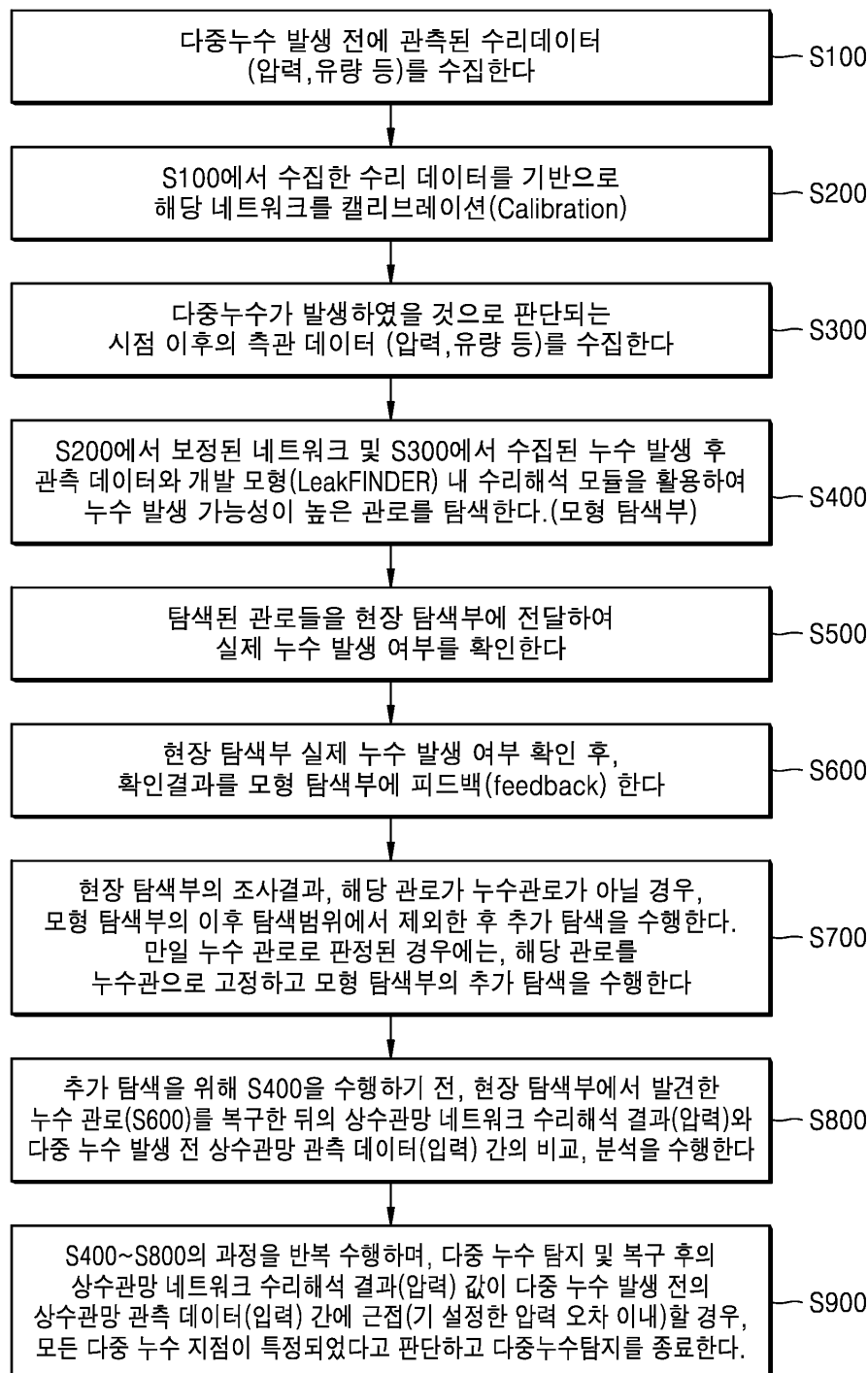
- [0078] 이러한 모형 탐색부와 현장 탐색부의 공조 탐색(Cooperation Search)은 모형 탐색부에서 더 이상 누수 의심 관로가 탐색되지 않을 때, 즉 다중 누수 탐지 및 누수관망 복구 후의 상수관망 네트워크 수리해석 결과(압력)값이 다중 누수 발생 전의 상수관망 네트워크 관측 데이터(압력)에 기 설정된 오차 범위 내로 들어올 경우까지 반복적으로 수행할 수 있다. 상기 기 설정된 오차 범위는 1 % ~ 5 % 일 수 있다.
- [0079] 상술한 바와 같이 단계 탐색(Cascade Search) 방법을 통해 상수관망 네트워크에 지진 등 대규모 재해로 인해 발생한 다중 지점의 누수를 효율적으로 탐지하고, 모형 탐색부와 현장 탐색부 간 공조 체계(Cooperation)를 구축함으로써 누수 탐지 수행 시, 소요 경비 및 시간을 효과적으로 감소시킬 수 있다.
- [0080] 최근 국내 지진 발생 빈도가 증가함에 따라 각 분야별 지진 대비, 복구 등에 대한 연구 및 기술 개발이 활발히 진행 중에 있으며, 이와 관련한 연구 및 산업은 점차 확대될 것으로 판단된다. 특히, 대부분의 시설물이 지중에 매설되어 있는 상수관망은 지진 발생 시 관로의 파손 및 누수 등의 피해를 100퍼센트 막기 힘들기 때문에 내진 설계 등의 사전 보강뿐만 아니라 사후 복구에 대한 관심도 높아지고 있다. 본 발명의 실시예에 따른 다중 지점 누수 탐지 방법 및 시스템은 상수관망의 지진 재난 피해 복구 분야에 광범위하게 활용될 수 있다.
- [0081] 이와 같이 도면에 도시된 실시예를 참고로 본 발명을 설명하였으나, 이는 예시에 불과하다. 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 갖는 자라면 실시예로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 충분히 이해할 수 있다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위에 기초하여 정해져야 한다.
- [0082] 실시예에서 설명하는 특정 기술 내용은 일 실시예들로서, 실시예의 기술 범위를 한정하는 것은 아니다. 발명의 설명을 간결하고 명확하게 기재하기 위해, 종래의 일반적인 기술과 구성에 대한 기재는 생략될 수 있다.
- [0083] 또한, 도면에 도시된 구성 요소들 간의 선들의 연결 또는 연결 부재는 기능적인 연결 및/또는 물리적 또는 회로적 연결들을 예시적으로 나타낸 것으로서, 실제 장치에서는 대체 가능하거나 추가의 다양한 기능적인 연결, 물리적인 연결, 또는 회로 연결들로 표현될 수 있다. 또한, "필수적인", "중요하게" 등과 같이 구체적인 언급이 없다면 본 발명의 적용을 위하여 반드시 필요한 구성 요소가 아닐 수 있다.
- [0084] 발명의 설명 및 청구범위에 기재된 "상기" 또는 이와 유사한 지시어는 특별히 한정하지 않는 한, 단수 및 복수 모두를 지칭할 수 있다. 또한, 실시 예에서 범위(range)를 기재한 경우 상기 범위에 속하는 개별적인 값을 적용한 발명을 포함하는 것으로서(이에 반하는 기재가 없다면), 발명의 설명에 상기 범위를 구성하는 각 개별적인 값을 기재한 것과 같다. 또한, 실시예에 따른 방법을 구성하는 단계들에 대하여 명백하게 순서를 기재하거나 반하는 기재가 없다면, 상기 단계들은 적당한 순서로 행해질 수 있다. 반드시 상기 단계들의 기재 순서에 따라 실시예들이 한정되는 것은 아니다.
- [0085] 실시예에서 모든 예들 또는 예시적인 용어(예들 들어, 등등)의 사용은 단순히 실시예를 상세히 설명하기 위한 것으로서 청구범위에 의해 한정되지 않는 이상, 상기 예들 또는 예시적인 용어로 인해 실시예의 범위가 한정되는 것은 아니다. 또한, 통상의 기술자는 다양한 수정, 조합 및 변경이 부가된 청구범위 또는 그 균등물의 범주 내에서 설계 조건 및 팩터에 따라 구성될 수 있음을 알 수 있다.

도면

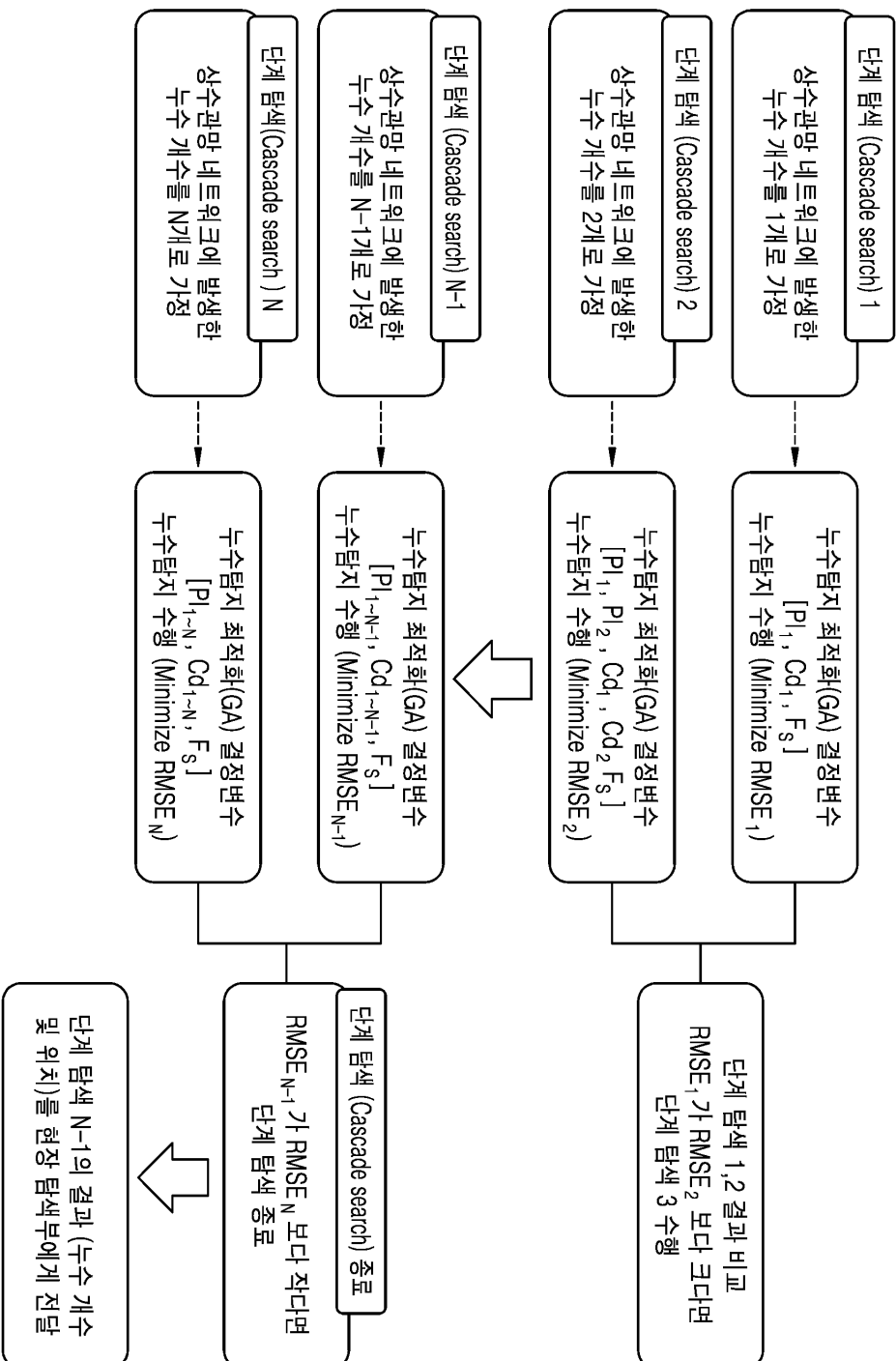
도면1



도면2



도면3



도면4

