(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0045560
(43) 공개일자 2021년04월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/06 (2012.01) *G06F 30/00* (2020.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/06 (2013.01)
G06F 30/20 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2019-0128501
(22) 출원일자 2019년10월16일
심사청구일자 2019년10월16일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
서울과학기술대학교 산학협력단
서울특별시 노원구 공릉로 232 (공릉동, 서울과학기술대학교)
(72) 발명자
김중훈
서울특별시 성북구 종암로25길 30, 106동302호(종암동, 삼성 래미안아파트)
이호민
경기도 성남시 분당구 금곡로 233, 1003동 501호 (금곡동, 청솔마을동아아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인남촌

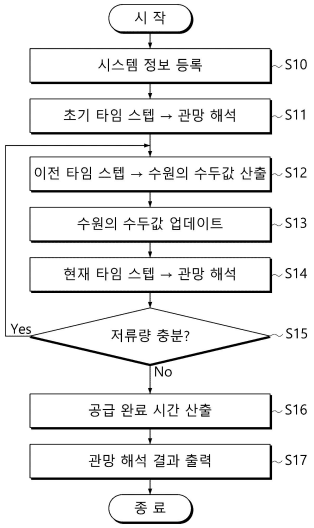
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법 및 장치**

(57) 요 약

본 발명은 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법 및 장치에 관한 것으로, 상기 상수도 시스템에 대한 시스템 정보가 등록되는 단계와, 상기 시스템 정보에 기초하여 상기 상수도 시스템의 관망이 해석되는 단계와, 상기 상수도 시스템의 관망 해석 결과가 출력되는 단계를 포함하며; 수위-저류량 관계식이 적용되어 이전 타임 스텝에서의 수원의 저류량이 현재 타임 스텝의 관망 해석에 적용되는 것을 특징으로 한다. 이에 따라, 상수도 시스템에 수리학적 상태 변화가 생겼을 때 수원의 저류량이 시간에 따라 변화하는 유한수원을 고려하여 신뢰도 있는 상수도 시스템 해석 결과를 도출할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06F 2113/14 (2020.01)
(72) 발명자
전환돈
서울특별시 강남구 압구정로 401 52동 301호 (압구정동,한양아파트)
유광태
서울특별시 마포구 토정로31길 23, 101동 1501호
백승철
서울특별시 구로구 디지털로31길 85, 106동 403호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2016002120004
부처명	환경부
과제관리(전문)기관명	한국환경산업기술원
연구사업명	글로벌탑환경기술개발사업
연구과제명	안전형 상수관망 설계 및 관리 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2016.08.10 ~ 2021.04.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법에 있어서,

상기 상수도 시스템에 대한 시스템 정보가 등록되는 단계와,

상기 시스템 정보에 기초하여 상기 상수도 시스템의 관망이 해석되는 단계와,

상기 상수도 시스템의 관망 해석 결과가 출력되는 단계를 포함하며;

상기 상수도 시스템의 관망이 해석되는 단계는 기 설정된 타임 스텝 단위로 수행되며;

각각의 상기 타임 스텝에서는

각각의 절점에 HOR 관계식이 설정되는 단계와,

상기 상수도 시스템을 구성하는 관로에서의 제1 유량과, 상기 상수도 시스템을 구성하는 절점에서의 제1 수두가 상기 HOR 관계식에 적용되어 상기 절점에서의 공급 가능 유량이 산출되는 단계와,

상기 공급 가능 유량이 상기 HOR 관계식에 적용되어 상기 상수도 시스템을 구성하는 관로에서의 제2 유량과, 상기 상수도 시스템을 구성하는 절점에서의 제2 수두가 산출되는 단계를 포함하고;

각각의 상기 타임 스텝은 기 설정된 수렴도 조건이 충족될 때까지 반복 수행되되, 상기 제2 유량 및 상기 제2 수두가 제1 유량 및 제1 수두로 업데이트되면서 반복 수행되며;

상기 시스템 정보는 상기 HOR 관계식과, 상기 유한수원에 대한 수위-저류량 관계식을 포함하며;

이전 타임 스텝에서의 저류량이 상기 수위-저류량 관계식에 적용되어 현재 타임 스텝에서의 상기 유한수원의 수두값이 산출되어 현재 타임 스텝에서의 상기 HOR 관계식에 적용되는 것을 특징으로 하는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 HOR 관계식은 수학식

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_{10}H_0 \\ -q^* \end{bmatrix}$$

$$A_{22}(i,j) = 0 \quad H_i < Z_i$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i (H_i - Z_i)^n}{H_i (H_i^* - Z_i)^n} \quad Z_i < H_i < H_i^*$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i}{H_i} \quad H_i^* \le H_i$$

(행렬 A_{11}은 관로별 손실수두의 정보를 포함하며, A_{12}와 A_{21}은 상기 절점과 상기 관로의 상호 접속 관계를 나타내는 접속행렬이고, Q는 상기 관로의 유량이고, H는 상기 절점의 수두, H_0는 상기 유한수원의 수두값이고, A_{10}은 배수지, 물탱크 등과 같은 고정절점수두를 갖는 절점들의 접속행렬이고, A_{21}는 대각행렬이고, q^*는 절점별 공급 가능 유량이고, A_{22}는 공급 가능 유량과 수압의 관계를 나타내는 행렬이고,H^*는 상기 절점에서의 충족 수두, Z는 상기 절점에서의 최소 수두, q는 상기 절점에서의 수요 유량, n은 상기 절점에서의 수압이 상기 절점에서의 충족 수두 미만이면서 상기 절점에서의 최소 수두 이상일 때 상기 절점에서의 공급 가능 유량을 산정하기 위하여

사용되는 매개 변수값이다)를 포함하는 것을 특징으로 하는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

현재 타임 스텝에서의 저류량은 수학식

$$S_{t+1} = S_t + Q_{It} \times \Delta t - Q_{Ot} \times \Delta t \ ]$$

(S_{t+1}은 현재 타임 스텝에서의 상기 유한수원의 저류량이고, S_t는 이전 타임 스텝에서의 저류량이고, Q_{It}는 이전 타임 스텝에서의 유입량이고, Q_{Ot}는 이전 타임 스텝에서의 유출량이다)에 의해 산출되고,

상기 유입량은 수학식

$$Q_{It} = P_t \times Q_{Ibase}$$

(Q_{It}는 상기 유입량이고, P_t는 유입 패턴 변수이고, Q_{Ibase}는 평균 유입량이다)에 의해 산출되고,

상기 유출량은 이전 타임 스텝에서의 각 절점에서의 공급 가능 유량의 합산을 통해 산출되고,

상기 수위-저류량 관계식은 정비례하여 상기 저류량에 의해 수위가 결정되어 상기 유한수원의 수두값이 산출되는 것을 특징으로 하는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 상수도 시스템의 관망이 해석되는 단계는 상기 매개 변수값을 난수 발생을 통해 상호 상이한 값으로 설정하여 반복 수행되는 것을 특징으로 하는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법.

청구항 5

유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 장치에 있어서,

상기 상수도 시스템에 대한 시스템 정보를 획득하는 시스템 정보 획득부와,

상기 시스템 정보에 기초하여, 상기 상수도 시스템의 관망을 해석하는 관망 해석부와,

상기 관망 해석부에 의해 해석된 관망 해석 결과를 출력하는 결과 출력부를 포함하고;

상기 시스템 정보 획득부에 의해 획득되는 상기 시스템 정보는 상기 HOR 관계식과, 상기 유한수원에 대한 수위-저류량 관계식을 포함하고;

상기 관망 해석부는 기 설정된 타임 스텝 단위로 관망 해석을 수행하되, 각각의 상기 타임 스텝에서

각각의 절점에 HOR 관계식이 설정되는 단계와,

상기 상수도 시스템을 구성하는 관로에서의 제1 유량과, 상기 상수도 시스템을 구성하는 절점에서의 제1 수두가 상기 HOR 관계식에 적용되어 상기 절점에서의 공급 가능 유량이 산출되는 단계와,

상기 공급 가능 유량이 상기 HOR 관계식에 적용되어 상기 상수도 시스템을 구성하는 관로에서의 제2 유량과, 상기 상수도 시스템을 구성하는 절점에서의 제2 수두가 산출되는 단계를 수행하고;

상기 관망 해석부는 각각의 상기 타임 스텝에서 기 설정된 수렴도 조건이 충족될 때까지 반복 수행되되, 상기 제2 유량 및 상기 제2 수두가 제1 유량 및 제1 수두로 업데이트시키면서 반복 수행하며;

상기 관망 해석부는 이전 타임 스텝에서의 저류량을 상기 수위-저류량 관계식에 적용하여 현재 타임 스텝에서의 상기 유한수원의 수두값을 산출하여 현재 타임 스텝에서의 상기 HOR 관계식에 적용하는 것을 특징으로 하는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 HOR 관계식은 수학식

$$\begin{bmatrix} A_{11} A_{12} \\ A_{21} A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_{10}H_0 \\ -q^* \end{bmatrix}$$

$$A_{22}(i,j) = 0 \quad H_i < Z_i$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i (H_i - Z_i)^n}{H_i (H_i^* - Z_i)^n} \quad Z_i < H_i < H_i^*$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i}{H_i} \quad H_i^* \leq H_i$$

(행렬 A_{11}은 관로별 손실수두의 정보를 포함하며, A_{12}와 A_{21}은 상기 절점과 상기 관로의 상호 접속 관계를 나타내는 접속행렬이고, Q는 상기 관로의 유량이고, H는 상기 절점의 수두, H_0는 상기 유한수원의 수두값이고, A_{10}은 배수지, 물탱크 등과 같은 고정절점수두를 갖는 절점들의 접속행렬이고, A_{21}는 대각행렬이고, q^*는 절점별 공급 가능 유량이고, A_{22}는 공급 가능 유량과 수압의 관계를 나타내는 행렬이고,H^*는 상기 절점에서의 충족 수두, Z는 상기 절점에서의 최소 수두, q는 상기 절점에서의 수요 유량, n은 상기 절점에서의 수압이 상기 절점에서의 충족 수두 미만이면서 상기 절점에서의 최소 수두 이상일 때 상기 절점에서의 공급 가능 유량을 산정하기 위하여 사용되는 매개 변수값이다)를 포함하는 것을 특징으로 하는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

현재 타임 스텝에서의 저류량은 수학식

$$S_{t+1} = S_t + Q_{It} \times \Delta t - Q_{Ot} \times \Delta t \ ]$$

(S_{t+1}은 현재 타임 스텝에서의 상기 유한수원의 저류량이고, S_t는 이전 타임 스텝에서의 저류량이고, Q_{It}는 이전 타임 스텝에서의 유입량이고, Q_{0t}는 이전 타임 스텝에서의 유출량이다)에 의해 산출되고,

상기 유입량은 수학식

$$Q_{It} = P_t \times Q_{Ibase}$$

(Q_{It}는 상기 유입량이고, P_t는 유입 패턴 변수이고, Q_{Ibase}는 평균 유입량이다)에 의해 산출되고,

상기 유출량은 이전 타임 스텝에서의 각 절점에서의 공급 가능 유량의 합산을 통해 산출되고,

상기 수위-저류량 관계식은 정비례하여 상기 저류량에 의해 수위가 결정되어 상기 유한수원의 수두값이 산출되는 것을 특징으로 하는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 관망 해석부는 상기 매개 변수값을 난수 발생을 통해 상호 상이한 값으로 설정하여 반복 수행하는 것을 특징으로 하는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법 및 장치에 관한 것으로서, 보다 상세

하게는 상수도 시스템에서 수원의 저류량이 시간이 지남에 따라 증가하거나 감소하는 유한수원에 적용되는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] Demand Driven Analysis(이하, 'DDA'라 함) 기법은 기존 상수도 시스템의 수리학적 해석 과정에서 적용되어 왔으며, 각 수요 지점의 수요량이 수압에 상관없이 항상 100% 공급된다는 기본 가정 하에 유량의 연속방정식과 수두의 에너지방정식을 이용하여 각 절점의 수두와 관로의 유량을 계산한다.

[0003] DDA 기법으로 상수도 시스템을 해석함에 있어 상수도 시스템이 정상적인 상태일 경우에는 해석에 무리가 없으나, 특정 원인으로 인하여 상수도 시스템의 수리학적 상태가 변화하는 경우에는 해석 결과의 신뢰도에 문제가 발생할 수 있다.

[0004] 예를 들어 관로의 파손이나 이를 수리하기 위한 관로 차단으로 인해 물의 흐름 양상이 변화하거나 혹은 화재 진압 등에 의해 국소 지역에서의 수요 유량이 급격하게 증가하는 경우, 일부 절점에서는 대기압보다 압력이 낮은 부압이 발생하는 등의 비현실적인 해석 결과가 도출될 수 있다.

[0005] 이는 실제 상수도 시스템에서 수리학적 변화가 발생할 때 각 수요지점의 수요량이 100% 충족될 수 없는 경우가 발생함에도 불구하고, DDA 기법은 항상 수요량을 100% 공급 가능하다는 전제 하에 수압을 계산하기 때문이다.

[0006] 보다 구체적으로 설명하면, DDA 기법은, 절점(node)에서 요구(demand)되는 수요 유량이 항상 100% 충족 가능하다는 전제 하에 유량의 연속방정식과 수두의 에너지 방정식을 이용하여 각 절점의 수압을 계산한다.

[0007] [수학식 1]은 DDA 기법에 사용되는 Gradient algorithm을 행렬의 형태로 나타낸 것이다.

[0008] [수학식 1]

[0009] $$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_{10}H_0 \\ -q_0 \end{bmatrix}$$

[0010] [수학식 1]에서 행렬 A_{11}은 관로별 손실수두의 정보를 포함한다. A_{12}와 A_{21}은 각각 미지의 수두 및 유량값을 갖는 절점 및 관로들의 실제 위상을 나타내는 접속 행렬, 즉 절점과 관로의 연결 관계를 나타낸 행렬을 의미한다. Q는 미지의 관로별 유량, H는 미지의 절점별 수두, H_0는 배수지 또는 펌프와 같은 수원의 수두값, q_0는 절점별 수요량을 의미한다. 또한 행렬 A_{10}은 배수지, 물탱크 등과 같은 고정절점수두를 갖는 절점들의 접속행렬을 의미한다. 그리고, 행렬 A_{22}는 절점에서의 수압과 공급 가능 유량의 관계를 나타내는데, DDA 기법에서 A_{22}는 영행렬이다. 이러한 [수학식 1]에 기초하여, DDA 기법은 절점에서 요구되는 수요 유량을 수압과 상관없이 100% 충족될 수 있다고 전제한다.

[0011] 상기의 DDA 기법은 미국 환경청에서 개발한 상수도 시스템 해석 프로그램인 EPANET 등의 여러 프로그램에서 채용하고 있다. 따라서 EPANET 프로그램을 이용해서 상수도 시스템을 해석하는 경우, 수요 유량은 수압과 상관없이 100% 충족될 수 있다는 전제 하에 해석된 결과를 얻을 수 있을 뿐이다.

[0012] 상수도 시스템이 정상일 때에는 각 절점에서의 수요 유량은 100% 충족될 수 있다. 따라서 [수학식 1]을 이용하는 DDA 기법으로 상수도 시스템을 해석하여도, 절점에서의 수압 계산 결과에는 문제가 없다.

[0013] 그러나 상수도 시스템이 정상이 아닐 경우, 즉 상수도 시스템에 수리학적 상태 변화가 생긴 비정상 상태에서는 DDA 기법에 의한 해석에서 압력 계산 결과에 문제가 발생될 수 있다. 예를 들면, 관로의 차단 등으로 인해 특정 절점으로 용수가 공급되는 경로가 길어지거나, 또는 화재 진압 시와 같이 국소 지역에서 수요 유량이 급격하게 증가하는 경우 DDA 기법에 의한 결과에 따르면 일부 절점에서 부압이 생길 수 있다. 왜냐하면 이러한 상태에서는 현실적으로 절점에서의 수요 유량이 100% 충족될 수 없음에도 불구하고, DDA 기법에서는 절점에서의 수요 유량이 언제나 100% 충족된다는 가정 하에서 수압을 계산하기 때문이다.

[0014] 이러한 문제를 해결하기 위해서는 절점에서의 공급 가능 유량이 수압에 따라 가변할 수 있음을 전제로 한 상수도 시스템 해석 기법이 요구되었으며, 이에 본원 출원인에 의해 출원되어 등록된 한국등록특허 제10-1512080호에서는 절점에서의 공급 가능 유량을 수업에 따라 산출하는 Pressure Driven Analysis(이하, 'PDA'이라 함) 기법을 제안하였다.

[0015] PDA 기법에서는 수압과 공급 가능 유량은 모두 미지수로 주어지며 수치 계산을 통해 그 값이 결정된다. 즉 PDA

기법은 DDA 기법에서와 같이 절점에서의 수요 유량이 언제나 100% 충족된다고 전제하지 않고 수압에 따라 공급 가능 유량을 산출한다. 따라서 PDA 기법을 활용하면 비정상 상태에서도 신뢰도 있는 해석 결과를 얻을 수 있었다.

[0016] PDA 기법에 대하여 보다 자세하게 살펴보면, PDA 기법은 DDA 기법의 Gradient algorithm을 수정한 Global gradient algorithm이 적용된다. [수학식 2]는 Global gradient algorithm을 행렬의 형태로 나타낸 것이다.

[0017] [수학식 2]

[0018] $$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_{10}H_0 \\ -q^* \end{bmatrix}$$

[0019] [수학식 2]에서 행렬 A_{11}은 관로별 손실수두의 정보를 포함하며, A_{12}와 A_{21}은 미지의 수두 및 유량값을 갖는 절점 및 관로들의 실제 위상, 즉 절점과 관로들의 상호 접속 관계를 나타내는 접속행렬이다. Q는 미지의 관로별 유량, H는 미지의 절점별 수두, H_0는 배수지 또는 펌프와 같은 수원의 수두값, A_{10}은 배수지, 물탱크 등과 같은 고정절점수두를 갖는 절점들의 접속행렬을 의미한다. 이는 상술한 DDA 기법에 적용되는 Gradient algorithm과 동일하다.

[0020] 반면, DDA 기법에서 A_{22}가 영행렬인 것과는 달리, PDA 기법에서 A_{22}는 대각(Diagonal) 행렬로 구성되며, q^*는 절점별 공급 가능 유량을 의미한다. A_{22}는 공급 가능 유량과 수압의 관계를 나타내는 행렬로써, [수학식 3]과 같은 비선형 수학식으로 정의될 수 있다.

[0021] [수학식 3]

[0022] $$A_{22}(i,j) = 0, \quad H_i < Z_i$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i (H_i - Z_i)^{1/2}}{H_i (H_i^* - Z_i)^{1/2}}, \quad Z_i < H_i < H_i^*$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i}{H_i} \quad H_i^* \le H_i$$

[0023] HOR(Head-Outflow Relation) 관계식으로 지칭되는 [수학식 2]와 [수학식 3]을 조합하여 살펴보면, 수압(H_i)이 충족 수두(H^*_i) 이상일 경우 절점의 공급 가능 유량(q^*)은 수요 유량을 100% 충족시킬 수 있고, 수압(H_i)이 최소 수두(Z_i) 이하일 경우 절점의 공급 가능 유량(q^*)은 0이며, 수압(H_i)이 충족 수두(H^*_i)와 최소 수두(Z_i)사이일 경우 절점에서의 공급 가능 유량(q^*)은 수압(H_i)에 따라 가변한다. 이 때, q_i는 절점에서의 수요 유량을 나타낸다.

[0024] 상기한 DDA 기법 및 PDA 기법은 모두 수원에 대해 공급량이 무한하다는 가정을 전제로 한다. 이에 따라 수원으로 지정되는 객체는 특정 고도와 수위를 갖는 무한한 규모로 간주되어 실제 수원의 규모 및 저류량을 고려할 수 없어 수리학적 범위 내에서 무한정으로 용수를 공급하는 형태의 결과를 도출한다.

[0025] 이에 따라 수요량이 급증하여 실제 공급 가능한 용수의 양이 충분하지 못한 상황, 혹은 수계 전환을 통해 추가 공급 가능한 양을 고려해야 하는 상황 등의 현실적인 모의가 불가능하다.

[0026] 따라서, 이와 같은 기존 수리해석 모형의 단점을 개선하기 위해 수원의 저류량의 규모를 고려할 수 있는 고도화된 상수도 시스템 수리해석 기법의 개발이 요구된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0027] 이에, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 안출된 것으로서, 상수도 시스템에 수리학적 상태 변화가 생겼을 때 수원의 저류량이 시간에 따라 변화하는 유한수원을 고려하여 신뢰도 있는 상수도 시스템 해석 결과를 도출할 수 있는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법 및 장치를 제공하는데 그 목적이 있다.

[0028] 다만 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지는 않았으나 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있는 목적을 포함할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0029] 상기 목적은 본 발명에 따라, 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법에 있어서, 상기 상수도 시스템에 대한 시스템 정보가 등록되는 단계와, 상기 시스템 정보에 기초하여 상기 상수도 시스템의 관망이 해석되는 단계와, 상기 상수도 시스템의 관망 해석 결과가 출력되는 단계를 포함하며; 상기 상수도 시스템의 관망이 해석되는 단계는 기 설정된 타임 스텝 단위로 수행되며; 각각의 상기 타임 스텝에서는 각각의 절점에 HOR 관계식이 설정되는 단계와, 상기 상수도 시스템을 구성하는 관로에서의 제1 유량과, 상기 상수도 시스템을 구성하는 절점에서의 제1 수두가 상기 HOR 관계식에 적용되어 상기 절점에서의 공급 가능 유량이 산출되는 단계와, 상기 공급 가능 유량이 상기 HOR 관계식에 적용되어 상기 상수도 시스템을 구성하는 관로에서의 제2 유량과, 상기 상수도 시스템을 구성하는 절점에서의 제2 수두가 산출되는 단계를 포함하고; 각각의 상기 타임 스텝은 기 설정된 수렴도 조건이 충족될 때까지 반복 수행되되, 상기 제2 유량 및 상기 제2 수두가 제1 유량 및 제1 수두로 업데이트되면서 반복 수행되며; 상기 시스템 정보는 상기 HOR 관계식과, 상기 유한수원에 대한 수위-저류량 관계식을 포함하며; 이전 타임 스텝에서의 저류량이 상기 수위-저류량 관계식에 적용되어 현재 타임 스텝에서의 상기 유한수원의 수두값이 산출되어 현재 타임 스텝에서의 상기 HOR 관계식에 적용되는 것을 특징으로 하는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법에 의해서 달성된다.

[0030] 여기서, 상기 HOR 관계식은 수학식

[0031]
$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_{10}H_0 \\ -q^* \end{bmatrix}$$

$$A_{22}(i,j) = 0 \quad H_i < Z_i$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i (H_i - Z_i)^n}{H_i (H_i^* - Z_i)^n} \quad Z_i < H_i < H_i^*$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i}{H_i} \quad H_i^* \le H_i$$

[0032]

[0033] (행렬 A_{11}은 관로별 손실수두의 정보를 포함하며, A_{12}와 A_{21}은 상기 절점과 상기 관로의 상호 접속 관계를 나타내는 접속행렬이고, Q는 상기 관로의 유량이고, H는 상기 절점의 수두, H_0는 상기 유한수원의 수두값이고, A_{10}은 배수지, 물탱크 등과 같은 고정절점수두를 갖는 절점들의 접속행렬이고, A_{21}는 대각행렬이고, q^*는 절점별 공급 가능 유량이고, A_{22}는 공급 가능 유량과 수압의 관계를 나타내는 행렬이고,H^*는 상기 절점에서의 충족 수두, Z는 상기 절점에서의 최소 수두, q는 상기 절점에서의 수요 유량, n은 상기 절점에서의 수압이 상기 절점에서의 충족 수두 미만이면서 상기 절점에서의 최소 수두 이상일 때 상기 절점에서의 공급 가능 유량을 산정하기 위하여 사용되는 매개 변수값이다)를 포함할 수 있다.

[0034] 또한, 현재 타임 스텝에서의 저류량은 수학식

[0035]
$$S_{t+1} = S_t + Q_{It} \times \Delta t - Q_{Ot} \times \Delta t \ ]$$

[0036] (S_{t+1}은 현재 타임 스텝에서의 상기 유한수원의 저류량이고, S_t는 이전 타임 스텝에서의 저류량이고, Q_{It}는 이전 타임 스텝에서의 유입량이고, Q_{0t}는 이전 타임 스텝에서의 유출량이다)에 의해 산출되고,

[0037] 상기 유입량은 수학식

[0038]
$$Q_{It} = P_t \times Q_{Ibase}$$

[0039] (Q_{It}는 상기 유입량이고, P_t는 유입 패턴 변수이고, Q_{Ibase}는 평균 유입량이다)에 의해 산출되고,

[0040] 상기 유출량은 이전 타임 스텝에서의 각 절점에서의 공급 가능 유량의 합산을 통해 산출되고, 상기 수위-저류량 관계식은 정비례하여 상기 저류량에 의해 수위가 결정되어 상기 유한수원의 수두값이 산출될 수 있다.

[0041] 또한, 상기 상수도 시스템의 관망이 해석되는 단계는 상기 매개 변수값을 난수 발생을 통해 상호 상이한 값으로 설정하여 반복 수행될 수 있다.

[0042] 한편, 상기 목적은 본 발명의 다른 실시 형태에 따라, 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 장치에 있어서, 상기 상수도 시스템에 대한 시스템 정보를 획득하는 시스템 정보 획득부와, 상기 시스템 정보에 기초하여, 상기 상수도 시스템의 관망을 해석하는 관망 해석부와, 상기 관망 해석부에 의해 해석된 관망 해석 결과를 출력하는 결과 출력부를 포함하고; 상기 시스템 정보 획득부에 의해 획득되는 상기 시스템 정보는 상기 HOR 관계식과, 상기 유한수원에 대한 수위-저류량 관계식을 포함하고; 상기 관망 해석부는 기 설정된 타임 스텝 단위로 관망 해석을 수행하되, 각각의 상기 타임 스텝에서 각각의 절점에 HOR 관계식이 설정되는 단계와, 상기 상수도 시스템을 구성하는 관로에서의 제1 유량과, 상기 상수도 시스템을 구성하는 절점에서의 제1 수두가 상기 HOR 관계식에 적용되어 상기 절점에서의 공급 가능 유량이 산출되는 단계와, 상기 공급 가능 유량이 상기 HOR 관계식에 적용되어 상기 상수도 시스템을 구성하는 관로에서의 제2 유량과, 상기 상수도 시스템을 구성하는 절점에서의 제2 수두가 산출되는 단계를 수행하고; 상기 관망 해석부는 각각의 상기 타임 스텝에서 기 설정된 수렴도 조건이 충족될 때까지 반복 수행되되, 상기 제2 유량 및 상기 제2 수두가 제1 유량 및 제1 수두로 업데이트시키면서 반복 수행하며; 상기 관망 해석부는 이전 타임 스텝에서의 저류량을 상기 수위-저류량 관계식에 적용하여 현재 타임 스텝에서의 상기 유한수원의 수두값을 산출하여 현재 타임 스텝에서의 상기 HOR 관계식에 적용하는 것을 특징으로 하는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 장치에 의해서도 달성된다.

[0043] 여기서, 상기 HOR 관계식은 수학식

[0044] $$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_{10}H_0 \\ -q^* \end{bmatrix}$$

[0045] $$A_{22}(i,j) = 0 \quad H_i < Z_i$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i (H_i - Z_i)^n}{H_i (H_i^* - Z_i)^n} \quad Z_i < H_i < H_i^*$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i}{H_i} \quad H_i^* \le H_i$$

[0046] (행렬 A_{11}은 관로별 손실수두의 정보를 포함하며, A_{12}와 A_{21}은 상기 절점과 상기 관로의 상호 접속 관계를 나타내는 접속행렬이고, Q는 상기 관로의 유량이고, H는 상기 절점의 수두, H_0는 상기 유한수원의 수두값이고, A_{10}은 배수지, 물탱크 등과 같은 고정절점수두를 갖는 절점들의 접속행렬이고, A_{21}는 대각행렬이고, q^*는 절점별 공급 가능 유량이고, A_{22}는 공급 가능 유량과 수압의 관계를 나타내는 행렬이고,H^*는 상기 절점에서의 충족 수두, Z는 상기 절점에서의 최소 수두, q는 상기 절점에서의 수요 유량, n은 상기 절점에서의 수압이 상기 절점에서의 충족 수두 미만이면서 상기 절점에서의 최소 수두 이상일 때 상기 절점에서의 공급 가능 유량을 산정하기 위하여 사용되는 매개 변수값이다)를 포함할 수 있다.

[0047] 그리고, 현재 타임 스텝에서의 저류량은 수학식

[0048] $$S_{t+1} = S_t + Q_{It} \times \Delta t - Q_{Ot} \times \Delta t \quad]$$

[0049] (S_{t+1}은 현재 타임 스텝에서의 상기 유한수원의 저류량이고, S_t는 이전 타임 스텝에서의 저류량이고, Q_{It}는 이전 타임 스텝에서의 유입량이고, Q_{Ot}는 이전 타임 스텝에서의 유출량이다)에 의해 산출되고,

[0050] 상기 유입량은 수학식

[0051] $$Q_{It} = P_t \times Q_{Ibase}$$

[0052] (Q_{It}는 상기 유입량이고, P_t는 유입 패턴 변수이고, Q_{Ibase}는 평균 유입량이다)에 의해 산출되고, 상기 유출량은 이전 타임 스텝에서의 각 절점에서의 공급 가능 유량의 합산을 통해 산출되고, 상기 수위-저류량 관계식은 정비례하여 상기 저류량에 의해 수위가 결정되어 상기 유한수원의 수두값이 산출될 수 있다.

[0053] 그리고, 상기 관망 해석부는 상기 매개 변수값을 난수 발생을 통해 상호 상이한 값으로 설정하여 반복 수행할 수 있다.

발명의 효과

[0054] 상기와 같은 구성에 따라, 본 발명에 따르면 상수도 시스템에 수리학적 상태 변화가 생겼을 때 수원의 저류량이 시간에 따라 변화하는 유한수원을 고려하여 신뢰도 있는 상수도 시스템 해석 결과를 도출할 수 있는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법 및 장치가 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0055] 도 1 및 도 2는 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법을 설명하기 위한 도면이고;

도 3은 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 장치의 구성을 나타낸 도면이고,

도 4 내지 도 6은 본 발명에 따른 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법의 효과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0056] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세히 설명한다.

[0057] 먼저, 본 발명에 따른 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법의 기본 원리에 대해 설명한다. 본 발명에 따른 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법은 상술한 바와 같은 HOR 식을 활용한 PDA 기법에 기반을 두고, 이에 유한수원의 개념을 도입한다.

[0058] PDA 기법은 상술한 [수학식 2] 및 [수학식 3]에 기재된 바와 같으며, [수학식 4] 및 [수학식 5]로 다시 나타낸다.

[0059] [수학식 4]

[0060] $$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_{10}H_0 \\ -q^* \end{bmatrix}$$

[0061] [수학식 5]

[0062] $$A_{22}(i,j) = 0, \quad H_i < Z_i$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i \left(H_i - Z_i\right)^{1/2}}{H_i \left(H_i^* - Z_i\right)^{1/2}}, \quad Z_i < H_i < H_i^*$$

$$A_{22}(i,j) = \frac{q_i}{H_i} \quad H_i^* \le H_i$$

[0063] [수학식 4]에서 행렬 A_{11}은 관로별 손실수두의 정보를 포함하며, A_{12}와 A_{21}은 미지의 수두 및 유량값을 갖는 절점 및 관로들의 실제 위상, 즉 절점과 관로들의 상호 접속 관계를 나타내는 접속행렬이다. Q는 미지의 관로별 유량, H는 미지의 절점별 수두, H_0는 배수지 또는 펌프와 같은 수원의 수두값, A_{10}은 배수지, 물탱크 등과 같은 고정절점수두를 갖는 절점들의 접속행렬을 의미한다.

[0064] 그리고, A_{22}는 대각(Diagonal) 행렬로 구성되며, q^*는 절점별 공급 가능 유량을 의미한다. A_{22}는 공급 가능 유량과 수압의 관계를 나타내는 행렬로써, [수학식 5]와 같은 비선형 수학식으로 정의된다.

[0065] [수학식 5]에서, 수압(H_i)이 충족 수두(H^*_i) 이상일 경우 절점의 공급 가능 유량(q^*)은 수요 유량을 100% 충족시킬 수 있고, 수압(H_i)이 최소 수두(Z_i) 이하일 경우 절점의 공급 가능 유량(q^*)은 0이며, 수압(H_i)이 충족 수두(H^*_i)와 최소 수두(Z_i)사이일 경우 절점에서의 공급 가능 유량(q^*)은 수압(H_i)에 따라 가변한다. 이 때, q_i는 절점에서의 수요 유량을 나타낸다.

[0066] 여기서, 본 발명에 따른 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법에서는 유한수원을 고려하기 위해, 유한수원의 수두값인 H_0가 이전 타임 스텝(Time step, k)에서의 수두값이 현재 타임 스텝(k+1)에서의 수두값으로 업데이트된다.

[0067] 이하에서는 유한수원의 수두값인 H_0의 산출에 대해 설명한다.

[0068] 유한수원의 수두값을 산출하기 위해, 본 발명에서는 유한수원의 바닥고와 해당 시간대의 수위를 이용하여, [수학식 8]을 이용한다.

[0069] [수학식 6]

[0070] $$H_t = \text{바닥고} + \text{수위}_t$$

[0071] [수학식 6]에서 수위는 수위-저류량 관계식을 통해 산출된다. 본 발명에서는 유한수원에서 수위에 따른 단면적이 일정한 것으로 가정하며, 따라서, 수위-저류량 관계식은 선형 관계로 표현이 가능하다.

[0072] 여기서, 유한수원의 저류량은 유입량과 유출량을 통해 산출된다. 유입량은 [수학식 7]을 통해 산출된다.

[0073] [수학식 7]

[0074] $$Q_{It} = P_t \times Q_{Ibase}$$

[0075] 여기서, Q_{It}는 유입량이고, P_t는 유입 패턴 변수이고, Q_{Ibase}는 평균 유입량이다.

[0076] 그리고, 현재 타임 스텝에서의 저류량은 [수학식 8]을 통해 산출된다.

[0077] [수학식 8]

[0078] $$S_{t+1} = S_t + Q_{It} \times \Delta t - Q_{Ot} \times \Delta t$$

[0079] 여기서, S_{t+1}은 현재 타임 스텝에서의 유한수원의 저류량이고, S_t는 이전 타임 스텝에서의 저류량이고, Q_{It}는 유입량이고, Q_{Ot}는 유출량이다.

[0080] 상기와 같이, 현재 타임 스텝의 저류량이 산출되면, 수위-저류량 관계식을 통해 수위가 결정되고, [수학식 6]을 통해 현재 타임 스텝에서의 수두값이 산출 가능하게 된다. 여기서, 유출량은 각 절점에서의 공급 가능 유량의 합산을 통해 산출이 가능하다.

[0081] 이하에서는, 도 1을 참조하여 본 발명에 따른 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법의 관망 해석 과정에 대해 설명한다. 여기서, 도 1에 도시된 관망 해석 과정은 본 발명의 일 실시예에 불과하므로 도 1을 통해 본 발명이 한정 해석되는 것은 아니다.

[0082] 도 1을 참조하여 설명하면, 먼저, 본 발명에 따른 상수도 시스템의 시스템 정보가 등록된다(S10). 본 발명에서는 상술한 바와 같이, [수학식 4] 및 [수학식 5]에 나타낸 HOR 관계식, [수학식 8]의 저류량 관계식, 그리고, [수학식 7]의 유입량 관계식이 등록될 수 있다. 또한, 시스템 정보는 [수학식 6]에 나타낸 수위는 수위-저류량 관계식을 포함할 수 있으며, 수위-저류량 관계식이 S10 단계에서 등록될 수 있다.

[0083] 상기와 같이, 시스템 정보가 등록되면, 초기 타임 스텝에서의 관망 해석 과정이 진행된다(S11). 여기서, 초기 타임 스텝에서의 관망 해석 과정에서는 수원의 초기 수위에 따른 초기 수두값이 사용되는데, 초기 수두값은 S10 단계에서 시스템 정보로 등록될 수 있다.

[0084] 여기서, 본 발명에 따른 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 방법에서의 관망 해석 과정은 상술한 PDA 기법을 기본으로 한다.

[0085] 보다 구체적으로 설명하면, 모든 절점은 각각의 고유 특성인 HOR 관계식이 설정된다(S111). 여기서, HOR 관계식의 설정에서는 Global gradient algorithm(이하, 'GGA'라 함) 행렬의 구성 요소 A_{12}, A_{21}, A_{11}, A_{22}가 정의되는데, A_{12}와 A_{21}는 절점과 파이프 등의 연결 관계에 의해 정의되고, A_{11}와 A_{22}는 매개 변수값에 기초하여 정의된다.

[0086] 매개 변수값은 [수학식 5]의 지수인 1/2로 표현된 값으로, 수압(H_i)이 충족 수두(H^*_i)와 최소 수두(Z_i)사이의 범

위에 있을 때 HOR 관계식의 A_{22}를 결정하기 위하여 사용되는 변수로, 각 절점이 서로 다른 HOR 관계식을 갖도록 설정되는데, 사용자가 입력한 평균 및 표준편차를 따르는 정규분포 형태의 n값이 무작위도 발생되어 각 절점에 부여됨으로써, 각각의 절점에 HOR 관계식이 설정 가능하게 된다.

[0087] 상기와 같이, HOR 관계식이 모든 절점에 대해 설정되면, 임의의 관로별 유량(Q_1)과 절점별 수두(H_1) 값이 입력된다(S112). 이를 통해, [수학식 4]의 우측항이 결정된다. 즉, 수원의 수두값인 H_0는 시스템 정보 등록 단계에서 등록되는 값으로 이후의 타임 스텝에서는 이전 타임 스텝의 값들에 기초하여, [수학식 6] 내지 [수학식 8]을 통해 산출되는데, 이에 대한 상세한 설명은 후술한다. 그리고, 접속행렬 A_{10}은 시스템 정보로 등록되며, [수학식 4]에 관로별 유량(Q_1)과 절점별 수두(H_1) 값이 적용되어 절점에서의 공급 가능 유량 q^*가 산출되어 [수학식 4]의 우측항이 결정된다.

[0088] 그런 다음, 다시 [수학식 4]의 관로별 유량과 절점별 수두를 변수, Q_2 및 H_2로 하여 [수학식 4]를 풀이하여 관로별 유량과 절점별 수두를 변수, Q_2 및 H_2 값이 산출된다(S113).

[0089] 여기서, 현재 단계에서의 관로별 유량(Q^{k+1})및 절점별 수두(H^{k+1})의 계산에 있어, 이전 단계에서의 관로별 유량(Q^k) 및 절점별 수두(H^k)와 관계는 [수학식 9] 및 [수학식 10]과 같이 나타낼 수 있다.

[0090] [수학식 9]

[0091] $$H^{k+1} = -(A_{21}G^{-1}A_{12})^{-1}[A_{21}G^{-1}(A_{11}Q^k + A_{10}H_0) - A_{21}Q^k + q]$$

[0092] [수학식 10]

[0093] $$Q^{k+1} = (-G^{-1}A_{11} + I)Q^k - G^{-1}(A_{12}H^{k+1} + A_{10}H_0)$$

[0094] 여기서, $G=NA_{11}$이고, N은 수두손실 지수로 정의되는 대각행렬이고, I는 단위 행렬이고, k는 타임 스텝, 즉 반복(Iteration) 회수를 나타낸다.

[0095] 상기와 같은 과정은 수렴도 조건이 충족될 때까지 반복 수행되는 것을 예로 한다. 여기서, 수렴도 조건이란 이전 단계의 관료별 유량과 현재 단계에서의 관료별 유량 간의 차이와, 이전 단계에서의 절점별 수두와 현재 단계에서의 절점별 수두 간의 차이의 합인 오차값이 기 설정된 정확도보다 작은 값으면 수렴도 조건을 만족시키는 것으로 설정할 수 있다.

[0096] 이 때, 오차값이 정확도보다 작지 않으면 상기의 과정이 반복 수행되는데, 반복 수행 획수가 기 설정된 최대 반복수보다 커지면 더 이상 반복 수행하지 않고 수렴도 조건을 충족하는 것으로 설정할 수 있다. 다만, 이 경우는 결과값이 일정 기준을 충족시키지 못한 채로 반복 횟수가 최대 반복수보다 커지게 되었다는 경고 메시지를 출력할 수 있다.

[0097] 상기와 같이 수렴도 조건이 충족되는 경우, 최종적인 절점별 수두와 관로별 유량이 관망 해석 결과로 출력된다(S116).

[0098] 다시, 도 1을 참조하여 설명하면, 상기 과정을 통해 초기 타임 스텝의 관망 해석 과정이 완료되면, 다음 타임 스텝의 관망 해석 과정이 진행된다. 먼저, 이전 타임 스텝(현 상태에서는 초기 타임 스텝)의 수원의 수두값이 산출된다(S12). 여기서, 수원의 수두값은 [수학식 6] 내지 [수학식 8]을 통해 산출된다.

[0099] 그런 다음, 이전 타임 스텝의 수두값이 현재 타임 스텝에서의 관망 해석을 위한 수원의 수두값으로 업데이트된다(S13).

[0100] 그런 다음, 현재 타임 스텝에서의 관망 해석 과정이 진행된다(S14). 여기서, 현재 타임 스텝에서의 관망 해석 과정은 도 2에 도시된 과정에 따르며, 이 때 수원의 수두값은 이전 타임 스텝에서 기반하여 업데이트된 수두값이 적용된다.

[0101] 여기서, 본 발명에서는 수원의 수두값이 시간에 따라 변하게 되는데, 현재의 저류량이 현재 타임 스텝에서 각 절점에 공급하기에 충분한지 여부를 판단한다(S15). 여기서, 현재의 저류량이 충분한 경우에는 상술한 바와 같이, 관망 해석 과정이 지속된다.

[0102] 반면, 수원의 저류량이 각 절점에서의 공급량의 합을 충족시키기 못하는 경우, 공급 완료 시간을 산출하게 된다(S16). 여기서, 공급 완료 시간의 산출은 한 구간의 타임 스텝을 세분화하여 관망 해석 과정을 진행함으로써, 수원이 고갈되는 시간을 산출할 수 있게 된다. 상기와 같은 과정을 해석된 관망 해석 결과는 출력된다(S17).

[0103] 한편, 본 발명에서는 도 1에 도시된 관망 해석 과정이 반복 수행되는 것을 예로 하는데, 본 발명의 실시예에서는 이를 앙상블 기법이라 지칭한다. 본 발명의 실시예에 따른 앙상블 기법이란, 복수의 서로 다른 HOR 관계식을 생성하여 이를 각각의 절점에 적용하여, 도 1에 도시된 관망 해석 과정을 반복 수행하고, 반복 수행의 결과값을 통계 처리, 예컨대, 평균이나 표준 편차를 산출하는 것을 예로 한다.

[0104] 이와 같은 과정에서 절점들의 공급 가능 총량이 부족한 경우, 타임 스텝의 간격을 조정하여 상술한 바와 같이 수원이 고갈되는 시간을 산출하게 된다.

[0105] 보다 구체적으로 설명하면, S111 단계에서 난수 발생기를 사용하여 매개 변수값을 임의로 설정할 수 있다. 매개 변수값은 [수학식 5]의 지수인 1/2로 표현된 값으로, 수압(H_i)이 충족 수두(H^*_i)와 최소 수두(Z_i)사이의 범위에 있을 때 HOR 관계식의 A_{22}를 결정하기 위하여 사용되는 변수로, 각 절점이 서로 다른 HOR 관계식을 갖도록 설정되는데, 사용자가 입력한 평균 및 표준편차를 따르는 정규분포 형태의 n값이 무작위도 발생되어 각 절점에 부여됨으로써, 각각의 절점에 HOR 관계식이 설정 가능하게 된다. 그리고, 기 설정된 m회의 반복 과정에서 난수 발생기에서 무작위로 발생된 값이 매개 변수값으로 적용되어 도 1에 도시된 관망 해석 과정이 진행된다.

[0106] 도 3은 도면 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 유한수원을 고려한 상수도 시스템의 압력 기반 관망 해석 장치의 구성을 도시한 도면이다.

[0107] 도면 3을 참조하면 본 발명의 일 실시예에 따른 압력 기반 관망 해석 장치(100)는 시스템 정보 획득부(110), 관망 해석부(120), 앙상블부(130), 및 결과 출력부(140)를 포함할 수 있다. 다만 이러한 구성 이외에 다른 구성를 더 포함하는 것을 배제하는 것은 아니다.

[0108] 여기서 본 발명의 일 실시예에 따른 압력 기반 관망 해석 장치(100)는 서버(server), 개인용 컴퓨터 등이 될 수 있다. 시스템 정보 획득부(110)는 상수도 시스템을 구성하기 위한 정보, 수리해석 관련 정보를 포함할 수 있으며, 본 발명의 일 실시예에 따른 압력 기반 관망 해석 장치(100)는 상술한 바와 같이, HOR 관계식과 수원의 저류량 및 유입량 관계식을 이용하므로 HOR 관계식과 수원의 저류량 및 유입량 관계식과 관련된 정보 역시 포함할 수 있다.

[0109] 관망 해석부(120)는 전술한 HOR 관계식과 수원의 저류량 및 유입량 관계식을 적용한 압력 기반 관망 해석 과정을 수행한다. 즉, 관망 해석부(120)는 도 1 및 도 2에 도시된 압력 기반 관망 해석 과정을 수행하게 된다.

[0110] 특히 본 발명의 일 실시예에 따른 압력 기반 관망 해석 장치(100)는 상수도 시스템 해석을 반복시키는 앙상블 기법을 적용할 수 있는 앙상블부(130)를 포함할 수 있다. 앙상블 기법은 전술하였으므로 자세한 설명은 생략하기로 한다.

[0111] 관망 해석부(120)를 보다 구체적으로 살펴보면, 관망 해석부(120)는 시간에 따른 수원의 저류량 및 GGA 행렬의 구성 요소인 A_{12}, A_{21}, A_{11}, A_{22}를 각각 정의한 뒤 GGA 행렬을 포함하는 HOR 관계식과 수원의 저류량 및 유입량 관계식을 기초로 수리해석을 수행한다.

[0112] 이 때 관망 해석부(120)는 시간에 따른 수원의 저류량 및 GGA 행렬의 A_{11}과 A_{22}를 정의하는 것과 GGA 행렬을 포함한 HOR 관계식과 수원의 저류량 및 유입량 관계식을 기초로 수리해석하는 것을 수리해석의 결과값이 수렴도 조건을 만족시킬 때까지 반복 수행하게 되는데, 이에 대한 구체적인 설명은 상술한 바와 같다.

[0113] 결과 출력부(140)는 관망 해석부(120)의 관망 해석 결과를 출력한다. 본 발명에서는 해석 결과로 수압 의존적 공급 유량이 포함될 수 있다. 상술한 바와 같이, 본 발명은 PDA 기법을 기반으로 공급 가능 유량은 수압에 따라 가변적이라고 전제하고 있기 때문에 이러한 결과를 출력할 수 있는 것이다.

[0114] 이하에서는 도 4 내지 도 6을 참조하여 본 발명에 따른 압력 기반 관망 해석 방법의 효과에 대해 설명한다.

[0115] 도 4는 관망 해석을 위해 설정된 가상 네트워크를 나타낸 도면이다. 2개의 수원(R1,R2)으로 이루어져 있으며, 13개의 절점(J1~J13)과 21개의 관로(Pipe1~Pipe21)로 구성된 가상 네트워크이다.

[0116] 실험은 기존의 DDA 기법, PDA 기법, 그리고 본 발명에 따른 압력 기반 관망 해석 방법(A-PDA)을 시뮬레이션하여

진행되었으며, 도 5는 정상상태에서의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이고, 도 6은 비정상상태의 시뮬레이션 결과를 나타낸 도면이다.

[0117] 도 5에 도시된 바와 같이, 정상 상태의 경우, 즉 수원의 저류량이 충분한 경우에는 3가지 방법이 모두 유사한 결과가 도출되는 것을 확인할 수 있다. 그러나, 비정상상태의 경우, 예컨대, 수원 R1의 공급이 차단된 상태에서, DDA 기법에서는 점선 박스에 나타난 바와 같이, 부압이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

[0118] 또한, PDA 기법과 본 발명에 따른 압력 기반 관망 해석 방법은 초기 해석 과정에서는 유사한 결과가 도출되고 있으나, 시간이 경과함에 따라, 유량과 압력이 변하는 것을 확인할 수 있다.

[0119] 한편 전술한 본 발명의 실시예는 압력 기반 관망 해석 방법을 실행하기 위한 컴퓨터 프로그램이 기록된 기록매체에 적용할 수 있다. 예를 들면 이러한 프로그램을 기록한 CD-ROM 등의 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체, 또는 이러한 프로그램을 전송하는 전송 매체도 본 발명의 실시 형태로서 적용할 수 있다. 또한 상기 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체 등의 프로그램 제품도 본 발명의 실시 형태로서 적용할 수 있다. 상기한 프로그램, 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체, 전송 매체 및 프로그램 제품은 본 발명의 범주에 포함된다.

[0120] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

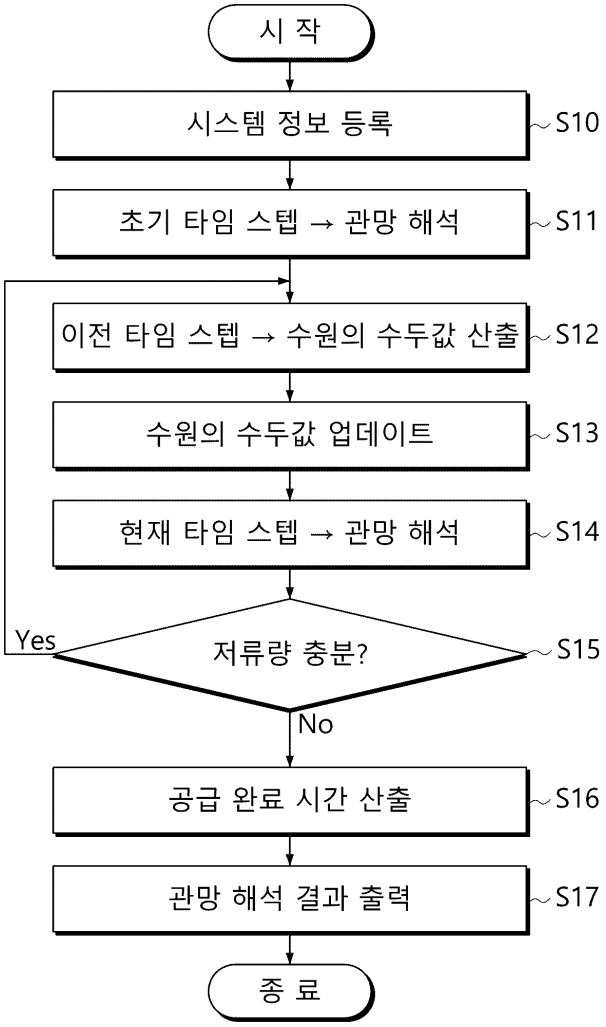
[0121] 100 : 압력 기반 관망 해석 장치 110 : 시스템 정보 획득부

120 : 관망 해석부 130 : 앙상블부

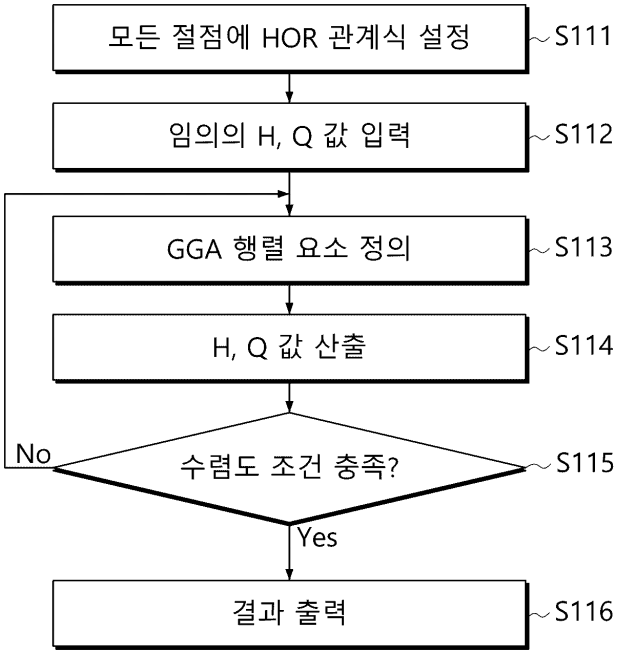
140 : 결과 출력부

도면

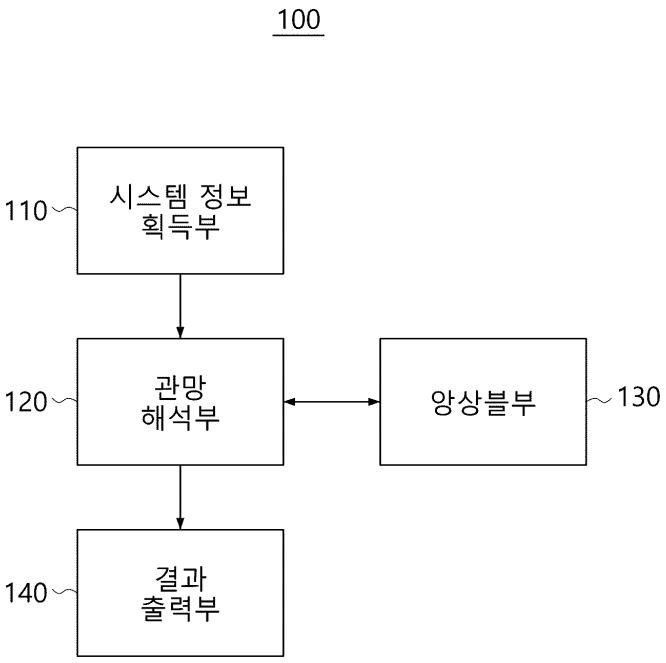
도면1


시 작
시스템 정보 등록
S10
초기 타임 스텝 → 관망 해석
S11
이전 타임 스텝 → 수원의 수두값 산출
S12
수원의 수두값 업데이트
S13
현재 타임 스텝 → 관망 해석
S14
Yes
저류량 충분?
S15
No
공급 완료 시간 산출
S16
관망 해석 결과 출력
S17
종 료

도면2


모든 절점에 HOR 관계식 설정
S111
임의의 H, Q 값 입력
S112
GGA 행렬 요소 정의
S113
H, Q 값 산출
S114
No
수렴도 조건 충족?
S115
Yes
결과 출력
S116

도면3


100
110
시스템 정보 획득부
120
관망 해석부
앙상블부
130
140
결과 출력부

도면4

ID	DDA		PDA		A-PDA (00:00 hrs)		A-PDA (168:00 hrs)	
	Discharge (m^3/hr)	Pressure (m)	Discharge (m^3/hr)	Pressure (m)	Discharge (m^3/hr)	Pressure (m)	Discharge (m^3/hr)	Pressure (m)
J1	0	32.44	0	32.45	0	32.45	0	33.02
J2	212.4	25.89	212.4	25.90	212.4	25.90	212.4	26.47
J3	0	28.00	0	28.01	0	28.01	0	28.57
J4	640.8	23.72	640.8	23.73	640.8	23.73	640.8	24.29
J5	212.4	25.24	212.4	25.25	212.4	25.25	212.4	25.81
J6	684.0	19.04	684.0	19.06	684.0	19.06	684.0	19.62
J7	640.8	20.95	640.8	20.97	640.8	20.97	640.8	21.53
J8	327.6	18.10	327.6	18.16	327.6	18.16	327.6	18.71
J9	0	19.96	0	20.21	0	20.21	0	20.71
J10	0	19.71	0	19.93	0	19.93	0	20.44
J11	108.0	14.25	106.93	14.71	106.93	14.71	108.0	15.14
J12	108.0	12.50	100.71	13.04	100.71	13.04	102.34	13.47
J13	0	19.21	0	19.24	0	19.24	0	19.80
R1	-2,094.66	0	-2,087.83	0	-2,087.83	2	-2,091.88	2.58
R2	-839.34	0	-838.25	0	-838.25	2	-836.5	2.54

도면5

ID	DDA		PDA		A-PDA (00:00 hrs)		A-PDA (02:37 hrs)	
	Discharge (m^3/hr)	Pressure (m)	Discharge (m^3/hr)	Pressure (m)	Discharge (m^3/hr)	Pressure (m)	Discharge (m^3/hr)	Pressure (m)
J1	0	-44.58	0	8.82	0	8.82	0	8.59
J2	212.4	-50.68	90.44	2.72	90.44	2.72	86.56	2.49
J3	0	-45.23	0	7.45	0	7.45	0	7.20
J4	640.8	-47.32	355.48	4.62	355.48	4.62	344.89	4.35
J5	212.4	-22.73	197.47	12.97	197.47	12.97	191.57	12.2
J6	684.0	-46.64	399.56	5.12	399.56	5.12	388.16	4.83
J7	640.8	-48.42	401.18	5.88	401.18	5.88	393.61	5.66
J8	327.6	-50.00	178.54	4.46	178.54	4.46	173.62	4.21
J9	0	-52.36	0	3.63	0	3.63	0	3.43
J10	0	-53.66	0	2.10	0	2.10	0	1.88
J11	108.0	-58.68	29.34	1.11	29.34	1.11	27.05	0.94
J12	108.0	-60.26	0	0	0	0	0	0
J13	0	-38.53	0	6.16	0	6.16	0	5.66
R1	-	-	-	-	-	-	-	-
R2	-2,934.00	0	-1,610.28	0	-1,610.28	0	-1,549.85	0.04