



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년03월13일
(11) 등록번호 10-1715557
(24) 등록일자 2017년03월06일

- | | |
|---|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 17/50 (2006.01) G06Q 50/06 (2012.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
G06F 17/5004 (2013.01)
G06Q 50/06 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2016-0037598</p> <p>(22) 출원일자 2016년03월29일
심사청구일자 2016년03월29일</p> <p>(56) 선행기술조사문헌
“Multi-objective Harmony Search 알고리즘을 이
용한 상수도 관망 다목적 최적설계”, 상하수도학
회지 제29권 제3호 (pp. 293-303), 2015년 6월
KR101512080 B1
KR101562490 B1
KR1020110071457 A</p> | <p>(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)</p> <p>(72) 발명자
김중훈
경기도 가평군 북면 노씨터길 39
최지호
서울특별시 영등포구 여의대방로49길 15-1 (신길
동)
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
특허법인남춘</p> |
|---|---|

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 박승철

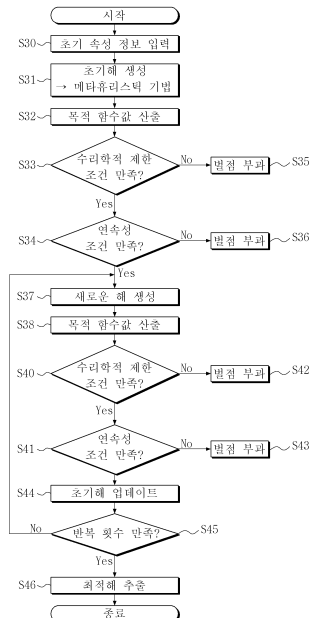
(54) 발명의 명칭 관경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법

(57) 요약

본 발명은 관경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법에 관한 것으로, (a) 상수도 관망의 속성과 관경의 속성에 대한 초기 속성 정보가 입력되는 단계와, (b) 상기 초기 속성 정보에 기초하여 기 등록된 관망 최적 설계 기법에 따라 복수의 초기해가 생성되는 단계와, (c) 각각의 상기 초기해가 기 등록된 목적함수에 적용되어 각각

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



의 상기 초기해의 목적함수값이 산출되는 단계와, (d) 각각의 상기 초기해에 대해 적어도 하나의 수리학적 제약 조건 만족 여부를 판단하고, 상기 수리학적 제약 조건의 만족 여부에 따라 각각의 상기 초기해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와, (e) 각각의 상기 초기해에 대해 환경 연속성 조건의 만족 여부를 판단하고, 상기 환경 연속성 조건의 만족 여부에 따라 각각의 상기 초기해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와, (f) 새로운 해를 생성하는 단계와, (g) 상기 새로운 해가 상기 목적함수에 적용되어 상기 새로운 해의 목적함수값이 산출되는 단계와, (h) 상기 새로운 해에 대해 상기 수리학적 제약 조건의 만족 여부를 판단하고, 상기 수리학적 제약 조건의 만족 여부에 따라 상기 새로운 해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와, (i) 상기 새로운 해에 대해 상기 환경 연속성 조건의 만족 여부를 판단하고, 상기 환경 연속성 조건의 만족 여부에 따라 상기 새로운 해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와, (j) 각각의 상기 초기해의 상기 목적함수값과 상기 새로운 해의 상기 목적함수값의 비교에 따라 복수의 상기 초기해 중 어느 하나가 상기 새로운 해로 교체되어 상기 초기해가 업데이트되는 단계와, (k) 상기 (f) 단계 내지 상기 (j) 단계가 기 설정된 반복 횟수만큼 반복 수행되어 최적해가 결정되는 단계를 포함하며; 상기 (e) 단계 및 상기 (i) 단계에서 상기 환경 연속성 조건의 만족 여부는 하나의 절점을 기준으로 연결되는 두 관로 간의 환경 크기 조건과 유량 조건이 동시에 만족하는지 여부에 따라 판단되는 것을 특징으로 한다.

(72) 발명자

유도근

경기도 안양시 동안구 달안로 153, 203동 507호 (관양동, 공작성일아파트)

이호민

경기도 성남시 분당구 금곡로 233, 1003동 501호 (금곡동, 청솔마을동아아파트)

최영환

경기도 화성시 동탄숲속로 36, 882동 902호 (능동, 동탄숲속마을모아미래도2단지아파트)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

관경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법에 있어서,

- (a) 상수도 관망의 속성과 환경의 속성에 대한 초기 속성 정보가 입력되는 단계와,
- (b) 상기 초기 속성 정보에 기초하여 기 등록된 관망 최적 설계 기법에 따라 복수의 초기해가 생성되는 단계와,
- (c) 각각의 상기 초기해가 기 등록된 목적함수에 적용되어 각각의 상기 초기해의 목적함수값이 산출되는 단계와,
- (d) 각각의 상기 초기해에 대해 적어도 하나의 수리학적 제약 조건 만족 여부를 판단하고, 상기 수리학적 제약 조건의 만족 여부에 따라 각각의 상기 초기해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와,
- (e) 각각의 상기 초기해에 대해 환경 연속성 조건의 만족 여부를 판단하고, 상기 환경 연속성 조건의 만족 여부에 따라 각각의 상기 초기해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와,
- (f) 새로운 해를 생성하는 단계와,
- (g) 상기 새로운 해가 상기 목적함수에 적용되어 상기 새로운 해의 목적함수값이 산출되는 단계와,
- (h) 상기 새로운 해에 대해 상기 수리학적 제약 조건의 만족 여부를 판단하고, 상기 수리학적 제약 조건의 만족 여부에 따라 상기 새로운 해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와,
- (i) 상기 새로운 해에 대해 상기 환경 연속성 조건의 만족 여부를 판단하고, 상기 환경 연속성 조건의 만족 여부에 따라 상기 새로운 해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와,
- (j) 각각의 상기 초기해의 상기 목적함수값과 상기 새로운 해의 상기 목적함수값의 비교에 따라 복수의 상기 초기해 중 어느 하나가 상기 새로운 해로 교체되어 상기 초기해가 업데이트되는 단계와,
- (k) 상기 (f) 단계 내지 상기 (j) 단계가 기 설정된 반복 횟수만큼 반복 수행되어 최적해가 결정되는 단계를 포함하며;

상기 (e) 단계 및 상기 (i) 단계에서 상기 환경 연속성 조건의 만족 여부는 하나의 절점을 기준으로 연결되는 두 관로 간의 관경 크기 조건과 유량 조건이 동시에 만족하는지 여부에 따라 판단되는 것을 특징으로 하는 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (d) 단계, 상기 (e) 단계, 상기 (h) 단계 및 상기 (i) 단계에서 상기 목적함수값의 갱신은 상기 수리학적 제약 조건과 상기 환경 연속성 조건을 만족하지 않는 경우 상기 목적함수값에 벌점이 부과되는 것을 특징으로 하는 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 (e) 단계 및 상기 (i) 단계에서 하나의 절점을 기준으로 연결되는 두 관로는 물이 유입되는 상류 관로와 물이 흘러나가는 하류 관로로 구분되고;

상기 환경 연속성 조건은

상기 하류 관로의 관경의 크기가 상기 상류 관로의 관경의 크기보다 크고 상기 상류 관로의 유량이 상기 하류 관로의 유량보다 많은 경우 만족하지 않고,

상기 상류 관로의 관경의 크기가 상기 하류 관로의 관경의 크기보다 크고, 상기 하류 관로의 유량이 상기 상류

관로의 유량보다 많은 경우 만족하지 않는 것을 특징으로 하는 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 상수도 관망의 속성은 절점의 수, 관로의 수 및 저수지의 수를 포함하며;

상기 환경의 속성은 환경의 종류와, 각 환경의 비용을 포함하는 것을 특징으로 하는 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 목적함수는 설계비용이 반영된 목적함수가 적용되는 것을 특징으로 하는 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 관망 최적 설계 기법은 메타휴리스틱 기법이 적용되는 것을 특징으로 하는 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 수리학적 제약 조건은

절점에서의 압력이 기 등록된 최소 압력 조건 또는 최대 압력 조건을 만족하는지 여부에 대한 압력 조건과,

관로 내에서의 유속이 기 등록된 최소 유속 조건 또는 최대 유속 조건을 만족하는지 여부에 대한 유속 조건을 포함하는 것을 특징으로 하는 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 상수도 관망을 설계하는데 있어 계산 시간을 줄이면서도 환경 연속성 문제를 해결할 수 있는 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 건축, 토목 관련 설계에서 안전성 다음으로 중요하게 고려하는 것은 바로 경제적인 부분이다. 효율적인 설계와 시공을 통해 그 성능을 높임과 동시에 비용을 절감시키는 것이 효과적인 설계의 주요 목표이다.

[0003] 이와 같은 건축, 토목 분야를 아울러, 공학 문제에서 요구하는 조건을 만족시킴과 동시에 경제적인 설계, 경제적인 운영 안을 도출하는 과정을 일반적으로 '최적화'라고 한다. 예를 들어 상수도 관망 최적화의 경우, 절점의 압력, 관로의 유속 등의 요구 조건을 만족하는 다양한 설계안 중, 가장 경제적인 설계안을 선택하는 과정이다.

[0004] 초기의 상수도 관망의 최적 설계는 설계자의 경험에 의존하는 시행착오적 방법을 사용하였으나, 이후 수학적인 설계 기법을 적용하여 해를 탐색하는 방법이 제안되었다. 이와 같은 수학적 접근 방법으로는 최적화 문제를 이루는 모든 함수들이 선형식으로 표현이 가능할 경우에 사용이 가능한 선형계획법, 가능한 해의 영역을 줄여나가며 해를 조합하는 탐색 기법인 동적계획법, 문제를 구성하는 함수 중 비선형의 함수를 포함할 경우에 적용할 수 있는 비선형계획법 등이 있다.

[0005] 그러나, 수학적 접근 방법들은 모든 시스템의 요소를 수식으로 손쉽게 표현할 수 있는 소규모 시스템에 적용이 가능하지만, 이를 실제 규모의 문제에 적용하기에는 한계가 있다.

- [0006] 그런데, 상수도 관망의 최적 설계에 있어서는 주요 방정식 중 하나인 관망에 포함된 각 유량의 이동 경로에서 발생하는 에너지 손실을 산정하기 위한 에너지방정식이 각 관로의 유량에 대해 비선형적인 특성을 지니며, 회로 형태의 특성을 지니는 관망의 경우 각 관로를 통한 유량의 흐름 방향이 가변적이다. 또한 절점 및 관로의 수가 증가할 경우 가능한 해의 영역이 기하급수적으로 증가하기 때문에 수학적 접근 방법으로는 최적 설계에 한계가 있다.
- [0007] 이에 대한 대안으로, 상수도 관망 최적 설계에 메타휴리스틱 기법의 적용 사례가 증가하고 있다. 대표적인 메타휴리스틱 기법으로는 Genetic algorithm(GA, Holland et al., 1975), Simulated annealing(SA, Kirkpartick et al., 1983), Ant colony optimization(ACO, Dorigo et al., 1991), Harmony search algorithm(HSA, Geem et al., 2001) 등이 있다. 이와 같은 메타휴리스틱 기법들은 다양한 비선형성과 복잡성을 갖는 상수도 관망 설계 문제에 대해 확률적인 방법으로 접근하기 때문에, 기존의 수학적 설계 기법보다 효과적으로 설계안을 도출하는 장점을 지닌다.
- [0008] 그런데, 메타휴리스틱 기법을 통해 도출된 상수도 관망 최적 설계안의 경우, 실무 적용성이 떨어지는 결과를 포함할 수 있다. GA, HSA 등의 메타휴리스틱 기법을 통하여 도출된 설계안은 도 1에 도시된 바와 같이, 유량의 흐름 경로에 대해 관경의 요철, 즉 관경 연속성을 만족하지 못하는 부분이 발생하게 된다.
- [0009] 이와 같은 관경 연속성 문제를 보완하기 위한 방법으로 Yoo, D. G. 등의 논문 "A Practice in Optimal Cost Design of Water Distribution Networks(WDSA 2012: 14th Water Distribution Systems Analysis Conference, 24-27, September 2012 in Adelaide, South Australia, pp. 642??651)"과 최영환 등의 논문 "관경 연속성을 고려한 상수도 관망 비용 최적설계(2014. 제40회 대한토목학회 정기 학술대회, pp. 1415??1416)"이 제안된 바 있다.
- [0010] 상기 논문에서는 관망에서 모든 절점과 절점 사이의 가능한 흐름 경로를 탐색하고 각각의 경로에 대해 요철이 발생하는지를 확인 및 처리하여 기존 메타휴리스틱 기반 최적 설계시 발생하던 관경 연속성 문제를 해결할 수 있었다.
- [0011] 그런데, 상기 논문에서는 하나의 관망에서 발생할 수 있는 모든 절점 간의 흐름 경로를 탐색하고, 각각의 경우에 대해 관경 연속성 만족 여부를 확인하기 때문에 최적 설계안 도출에 많은 계산 시간이 소요되는 단점이 있어, 관망 시스템의 규모가 증가할 경우 발생 가능한 흐름 경로의 수가 기하급수적으로 증가하기 때문에 실제 규모 관망에 대해 적용성이 떨어진다.
- [0012] 또한, 관로 3개 이상이 만나는 절점에서 만나는 경우, 관망 연속성 탐색이 합리적으로 이루어지지 않는 문제를 지니고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 이에, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 안출된 것으로서, 상수도 관망을 설계하는데 있어 계산 시간을 줄이면서도 관경 연속성 문제를 해결하고, 합류 지점에서의 관망 연속성 문제도 합리적으로 처리할 수 있는 관경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0014] 상기 목적은 본 발명에 따라, 관경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법에 있어서, (a) 상수도 관망의 속성과 관경의 속성에 대한 초기 속성 정보가 입력되는 단계와, (b) 상기 초기 속성 정보에 기초하여 기 등록된 관망 최적 설계 기법에 따라 복수의 초기해가 생성되는 단계와, (c) 각각의 상기 초기해가 기 등록된 목적함수에 적용되어 각각의 상기 초기해의 목적함수값이 산출되는 단계와, (d) 각각의 상기 초기해에 대해 적어도 하나의 수리학적 제약 조건 만족 여부를 판단하고, 상기 수리학적 제약 조건의 만족 여부에 따라 각각의 상기 초기해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와, (e) 각각의 상기 초기해에 대해 관경 연속성 조건의 만족 여부를 판단하고, 상기 관경 연속성 조건의 만족 여부에 따라 각각의 상기 초기해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와, (f) 새로운 해를 생성하는 단계와, (g) 상기 새로운 해가 상기 목적함수에 적용되어 상기 새로운 해의 목적함수값이 산출되는 단계와, (h) 상기 새로운 해에 대해 상기 수리학적 제약 조건의 만족 여부를 판단하고, 상기 수리학적 제약 조건의 만족 여부에 따라 상기 새로운 해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와, (i) 상기 새로운 해에 대해 상기 관경 연속성 조건의 만족 여부를 판단하고, 상기 관경 연속성 조건의 만족 여부에 따라 상기 새

로운 해의 상기 목적함수값을 갱신하는 단계와, (j) 각각의 상기 초기해의 상기 목적함수값과 상기 새로운 해의 상기 목적함수값의 비교에 따라 복수의 상기 초기해 중 어느 하나가 상기 새로운 해로 교체되어 상기 초기해가 업데이트되는 단계와, (k) 상기 (f) 단계 내지 상기 (j) 단계가 기 설정된 반복 횟수만큼 반복 수행되어 최적해가 결정되는 단계를 포함하며; 상기 (e) 단계 및 상기 (i) 단계에서 상기 환경 연속성 조건의 만족 여부는 하나의 절점을 기준으로 연결되는 두 관로 간의 환경 크기 조건과 유량 조건이 동시에 만족하는지 여부에 따라 판단되는 것을 특징으로 하는 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법에 의해서 달성된다.

[0015] 여기서, 상기 (d) 단계, 상기 (e) 단계, 상기 (h) 단계 및 상기 (i) 단계에서 상기 목적함수값의 갱신은 상기 수리학적 제약 조건과 상기 환경 연속성 조건을 만족하지 않는 경우 상기 목적함수값에 벌점이 부과될 수 있다.

[0016] 또한, 상기 (e) 단계 및 상기 (i) 단계에서 하나의 절점을 기준으로 연결되는 두 관로는 물이 유입되는 상류 관로와 물이 흘러나가는 하류 관로로 구분되고; 상기 환경 연속성 조건은 상기 하류 관로의 환경의 크기가 상기 상류 관로의 환경의 크기보다 크고 상기 상류 관로의 유량이 상기 하류 관로의 유량보다 많은 경우 만족하지 않고, 상기 상류 관로의 환경의 크기가 상기 하류 관로의 환경의 크기보다 크고, 상기 하류 관로의 유량이 상기 상류 관로의 유량보다 많은 경우 만족하지 않는다.

[0017] 그리고, 상기 상수도 관망의 속성은 절점의 수, 관로의 수 및 저수지의 수를 포함하며; 상기 환경의 속성은 환경의 종류와, 각 환경의 비용을 포함할 수 있다.

[0018] 또한, 상기 목적함수는 설계비용이 반영된 목적함수가 적용될 수 있다.

[0019] 그리고, 상기 관망 최적 설계 기법은 메타휴리스틱 기법이 적용될 수 있다.

[0020] 그리고, 상기 수리학적 제약 조건은 절점에서의 압력이 기 등록된 최소 압력 조건 또는 최대 압력 조건을 만족하는지 여부에 대한 압력 조건과, 관로 내에서의 유속이 기 등록된 최소 유속 조건 또는 최대 유속 조건을 만족하는지 여부에 대한 유속 조건을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0021] 상기와 같은 구성에 따라, 본 발명에 따르면, 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계의 계산효율을 크게 개선하였으며, 또한 기존의 기법으로는 탐색 및 처리가 불가능한 합류지점 연속성 위배 조건에 대해 상류, 하류 관로 간 유량 비교를 통해 실무적으로 적합한 설계안을 도출할 수 있도록 구현하였다는 것을 확인할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 관망 최적 설계에 있어 환경 연속성 문제를 설명하기 위한 도면이고,

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 장치의 제어 블록도이고,

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법을 설명하기 위한 흐름도이고,

도 4 및 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법의 효과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세히 설명한다.

[0024] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 장치의 제어 블록도이다. 도 2를 참조하여 설명하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 장치는 입력부(10), 저장부(20), 연산부(30), 출력부(40) 및 제어부(50)를 포함한다.

[0025] 입력부(10)는 조작자에 의하여 입력 가능한 키보드나 마우스 등의 입력장치를 포함할 수 있다. 조작자는 입력부(10)를 통해 상수도 관망의 속성과 환경의 속성에 대한 초기 속성 정보를 입력하게 된다. 여기서, 초기 속성 정보 중 상수도 관망의 속성은 절점의 수, 관로의 수 및 저수지의 수를 포함할 수 있고, 환경의 속성은 환경의 종류와 각 환경의 비용을 포함할 수 있다.

[0026] 제어부(50)는 입력부(10)를 통해 입력되는 초기 속성 정보를 저장부(20)에 저장하고, 통상적인 수리 해석 및 수질 해석 산출 과정을 연산부(30)가 실행하도록 제어할 수 있다. 또한, 제어부(50)는 초기 속성 정보에 기초하

여 연산부(30)가 본 발명에 따른 상수도 관망의 최적 설계를 수행하도록 제어하게 되는데 이에 대한 상세한 설명은 후술한다.

- [0027] 연산부(30)는 제어부(50)의 제어에 따라 상수도 관망의 최적 설계 과정을 수행하여 관망의 관로를 최적화시키는 해를 도출하게 된다. 그리고, 출력부(40)는 제어부(50)의 제어에 따라 최적화된 해를 출력하게 되는데, 화면 상에 최적해를 이미지 등으로 표출하는 디스플레이 장치로 마련될 수 있다.
- [0028] 이하에서는, 도 3을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 관경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법에 대해 상세히 설명한다.
- [0029] 먼저, 상수도 관망의 속성과, 관경의 속성에 대한 초기 속성 정보가 입력된다(S30). 여기서, 초기 속성 정보는 상술한 바와 같이, 절점의 수, 관로의 수 및 저수지의 수를 포함하는 상수도 관망의 속성과, 관경의 유형과 각 관경의 비용을 포함하는 관경의 속성을 포함할 수 있다. 이외에도 다른 다양한 속성 정보가 초기 속성 정보에 포함될 수 있음은 물론이다.
- [0030] 초기 속성 정보가 입력되면, 초기 속성 정보를 이용하여 복수의 초기해가 생성된다(S31). 여기서, 초기해는 기 등록된 관망 최적 설계 기법에 의해 생성되는데, 본 발명에서는 관망 최적 설계 기법으로 메타휴리스틱 기법이 적용되는 것을 예로 하고, 메타휴리스틱 기법 중 Harmony search algorithm이 적용되는 것을 예로 한다. 이외에도 다른 메타휴리스틱 기법, 예를 들어, Genetic algorithm, Simulated annealing, Ant colony optimization 이 적용될 수 있다.
- [0031] 복수의 초기해가 생성되면, 각각의 초기해가 기 등록된 목적함수에 적용되어 각각의 초기해에 대한 목적함수값이 산출된다. 본 발명에서는 목적함수로 설계비용이 적용되는 것을 예로 하는데, 이외에도 상수도 관망 최적 설계에 있어 설계의 주요 고려 사항이 신뢰도인 경우 목적함수에 안정성이 반영될 수 있고 설계비용과 신뢰도 등 다수의 변수가 복합적으로 반영될 수 있음은 물론이다.
- [0032] 그런 다음, 각각의 초기해에 대해 적어도 하나의 수리학적 제약 조건이 만족하는지 여부를 판단한다(S33). 본 발명에서는 수리학적 제약 조건이 압력 조건과 유속 조건을 포함하는 것을 예로 한다.
- [0033] 먼저, 압력 조건은 절점에서의 압력이 기 등록된 최소 압력 조건이나 최대 압력 조건을 만족하는지 여부가 판단된다. 예를 들어, 절점에서의 압력이 기 등록된 최소 압력보다 낮거나 최대 압력보다 높은 경우, 해당 초기해의 목적함수값에 벌점이 부과되어(S35) 초기해의 목적함수값이 갱신된다.
- [0034] 유속 조건은 관로 내에서의 유속이 기 등록된 최소 유속 조건이나 최대 유속 조건을 만족하지 여부를 판단한다. 예를 들어, 절점에서의 압력이 기 등록된 최소 유속보다 낮거나 최대 유속보다 높은 경우, 해당 초기해의 목적함수값에 벌점이 부과되어 초기해의 목적함수값이 갱신된다(S35).
- [0035] 상기와 같이 수리학적 제한 조건의 만족 여부가 판단되면, 각각의 초기해에 대해 관경 연속성 조건의 만족 여부가 판단된다(S34). 그리고, 관경 연속성 조건의 만족 여부에 따라 해당 초기해의 목적함수값에 벌점이 부과되어(S36) 해당 초기해의 목적함수값이 갱신된다.
- [0036] 여기서, 관경 연속성 조건의 만족 여부는 하나의 절점을 기준으로 연결되는 두 관로 간의 관경 크기 조건과 유량 조건이 동시에 만족되는지 여부에 따라 판단된다.
- [0037] 보다 구체적으로 설명하면, 하나의 절점을 기준으로 연결되는 두 관로는 물이 유입되는 상류 관로와, 물이 흘러 나가는 하류 관로로 구분된다. 그리고, 관경 연속성 조건은 하류 관로의 관경의 크기가 상류 관로의 관경의 크기보다 크고 상류 관로의 유량이 하류 관로의 유량보다 많은 경우 만족하지 않는 것으로 판단되어 벌점이 부과된다.
- [0038] 또한, 관경 연속성 조건은 상류 관로의 관경의 크기가 하류 관로의 관경의 크기보다 크고, 하류 관로의 유량이 상류 관로의 유량보다 많은 경우 만족하지 않는 것으로 판단되어 벌점이 부과된다.
- [0039] 이와 같이, 관경 연속성을 고려하는데 있어, 절점을 기준으로 연결되는 두 관로에 대해 관경과 유량을 함께 반영함으로써, 서로 다른 두 절점 사이의 가능한 모든 흐름 경로를 탐색하던 기존의 최적화 기법에 비해 계산 시간을 현저히 감소시킬 수 있게 된다. 또한, 관경과 유량을 함께 반영함으로써 3개 이상의 관로가 단일 지점에서 만나는 합류 지점에 대한 연속성 탐색이 합리적으로 이루어질 수 있게 된다.
- [0040] 상기와 같은 과정을 통해 초기해들에 대해 수리학적 제한 조건과 관경 연속성 조건의 만족 여부가 판단되고 해당 목적함수값들이 벌점 부과를 통해 갱신이 완료되면, 새로운 해가 생성된다(S37). 그리고 새로운 해가 목적

함수에 적용되어 새로운 해에 대한 목적함수값이 산출된다(S38).

- [0041] 그런 다음, 새로운 해에 대해, 초기해에서와 마찬가지로, 수리학적 제약 조건의 만족 여부가 판단되고(S40), 해당 결과에 따라 별점 부과(S42)를 통해 새로운 해의 목적함수값이 갱신된다. 여기서, 수리학적 제약 조건의 만족 여부는 상술한 초기해에서의 수리학적 제약 조건의 만족 여부 판단과 동일한 바, 그 상세한 설명은 생략한다.
- [0042] 그런 다음, 새로운 해에 대해 환경 연속성 조건의 만족 여부가 판단되고(S41), 해당 결과에 따라 별점 부과(S43)를 통해 새로운 해의 목적함수값이 갱신된다. 여기서, 새로운 해에 대한 환경 연속성 조건의 만족 여부 판단은 상술한 초기해에서의 환경 연속성 판단 조건의 만족 여부 판단과 동일한 바, 그 상세한 설명은 생략한다.
- [0043] 상기와 같이, 새로운 해에 대한 수리학적 제약 조건의 만족 여부와, 환경 연속성 조건의 만족 여부의 판단에 따라 새로운 해의 목적함수값이 갱신되면, 각각의 상기 초기해의 목적함수값과 새로운 해의 목적함수값을 비교하여 초기해 중 어느 하나가 새로운 해로 교체되어 초기해가 업데이트된다(S44).
- [0044] 여기서, 초기해의 업데이트는 새로운 해가 초기해 중 어느 하나와 무조건 바뀌는 것을 의미하지 않는다. 예를 들어, 초기해들 중 목적함수값이 가장 나쁜 초기해의 목적함수값과 새로운 해의 목적함수값을 비교하고, 새로운 해의 목적함수값이 해당 초기해의 목적함수값보다 우수한 경우, 해당 초기해가 새로운 해로 교체된다.
- [0045] 반면, 초기해들중 목적함수값이 가장 나쁜 초기해의 목적함수값이 새로운 해의 목적함수값보다 우수한 경우에는 해당 초기해가 그대로 유지되고, 새로운 해가 삭제된다.
- [0046] 상기와 같이, 초기해의 업데이트가 완료되면, 기 설정된 반복 횟수만큼 새로운 해의 비교가 진행되었는지 여부가 판단되고(S45), 반복 횟수만큼 S37, S38, S40, S41, S42, S43, S44 단계를 반복 수행하여 새로운 해를 통해 초기해가 업데이트된다.
- [0047] 상기와 같은 과정을 통해 수리학적 제한 조건과 환경 연속성 조건이 반영된 목적함수값이 우수한 새로운 해가 초기해로 대체되고, 목적함수값이 상대적으로 나쁜 해들이 도태됨으로써, 최종적으로 최적해가 추출이 가능하게 된다(S46).
- [0048] 이하에서는 도 4 및 도 5를 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 환경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계 방법의 효과를 기존의 최적화 기법과 비교하여 설명한다.
- [0049] 비교 실험에서는 상술한 바와 같이, 최적화 기법으로 메타휴리스틱 기법을 적용하였으며, 메타휴리스틱 기법 중 Harmony search algorithm(이하, 'HSA'라 함)를 사용하였다.
- [0050] HSA는 여러 가지 악기의 소리로 화음을 만들 때 생성되는 화음 중 불협화음은 연습과정을 통해 점차 사라지게 되어, 최종적으로 가장 잘 어울리는 화음만 남게 된다는 개념에 착안한 것이다.
- [0051] HSA의 매개변수로는 HMCR(Harmony Memory Consideration Rate)과 PAR (Pitch Adjustment Rate)이 있다. HMCR이란 새로운 화음을 만들어 낼 때 HM(Harmony Memory)에 있는 화음을 바탕으로 만들어 낼 것인지 무작위로 생성할 것인지를 확률을 의미하고, PAR은 좋은 화음을 만들기 위해 각 악기의 음조를 조율하는 것과 같이 기존 해의 이웃값을 고려할 확률을 뜻한다.
- [0052] 본 발명에 따른 상수도 관망 최적 설계 방법과 비교되는 종래 최적화 기법으로는 Yoo, D. G. 등의 논문 "A Practice in Optimal Cost Design of Water Distribution Networks(WDSA 2012: 14th Water Distribution Systems Analysis Conference, 24-27, September 2012 in Adelaide, South Australia, pp. 642??651)"과 최영환 등의 논문 "환경 연속성을 고려한 상수도 관망 비용 최적설계(2014. 제40회 대한토목학회 정기 학술대회, pp. 1415??1416)"에 제시된 최적화 기법을 적용하였다.
- [0053] 상기 논문에 개시된 최적화 기법은 관망 연속성을 고려한 설계안 도출에 상대적으로 긴 시간이 소요된다. 이는 대상 관망의 모든 흐름 경로를 탐색하고 각각의 경로에 대하여 환경 연속성 만족 여부를 확인하기 때문이다.
- [0054] 반면, 본 발명에 따른 상수도 관망 최적 설계 방법은 상술한 바와 같이, 하나의 절점을 기준으로, 인접한 2개 관로에 대해 환경 연속성 확인을 반복적으로 수행하기 때문에 소요되는 시간이 상대적으로 짧다.
- [0055] 최적화 설계에 소요되는 시간을 종래기술과 비교하기 위하여, 상수도 관망 최적 설계의 관련 연구에 주로 사용되는 하노이 관망에 본 발명에 따른 상수도 관망 최적 설계 방법과 종래기술을 적용하였다. 도 4의 (a)는 기존

의 하노이 관망을 나타낸 도면이다. 하노이 관망의 상용 관경표는 [표 1]과 같으며, 목적함수로는 관로 설계 비용을 적용하였다.

[표 1]

관경(mm)	비용(\$/m)
304.8	45.7
406.4	70.4
508	98.4
609.6	129.3
762	180.7
1016	278.3

하노이 관망의 최적 설계안은 수리학적 제한조건만을 고려할 경우 \$6,081,088의 경제적인 설계 비용을 갖지만 관경 연속성을 만족하지 못하는 부분을 포함하고 있다.

상기 논문에 개시된 기법과 본 발명에 따른 상수도 관망 최적 설계 방법으로 각각 10회의 독립적인 최적화를 수행하였고, 각 수행별 종결 조건은 500,000회의 반복시산(Iteration)으로 설정하였다. 상기 논문에 개시된 기법과 본 발명에 따른 상수도 관망 최적 설계 방법의 소요시간을 비교한 결과는 [표 2]과 같으며, 기존 대비 약 83% 감소한 것으로 나타났다.

[표 2]

적용 방법	종래기술 (최영환 등의 논문, 2014)	본 발명
설계비용(\$)	6,093,181	6,093,181
평균 소요시간	21분 20초 (Iteration=10,000)	3분 36초 (Iteration=10,000)
	1시간 46분 39초 (Iteration=50,000)	16분 58초 (Iteration=50,000)
	17시간 47분 33초 (Iteration=500,000)	2시간 51분 18초 (Iteration=500,000)

한편, 종래의 관경 연속성 탐색 기법을 적용하여 최적 설계안을 도출할 경우, 합류지점에서 관경의 연속성을 합리적으로 처리하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이는 종래의 관경 연속성 탐색 기술이 관로를 통한 흐름 경로에 대해 유량의 크기와 관계없이 하류 관로의 관경은 상류 관로의 관경과 동일하거나 작아야 한다는 가정을 포함하기 때문이다.

반면, 본 발명의 경우, 관망의 각 절점을 기준으로 인접한 관로의 유량을 고려하므로, 합류지점에 대해 유량은 상류에서 더 크지만 반대로 관경은 하류에서 더 클 경우, 또한 반대로 유량은 하류에서 더 크지만 관경은 상류에서 더 클 경우에 대한 탐색 및 처리가 가능하게 된다.

종래기술과 본 발명 간의 합류지점 연속성 탐색 및 처리에 대해 비교하기 위해 하노이 관망의 일부분을 도 4의 (b)와 같이 수정하여 각각의 기술을 적용하였다. 수정 하노이 관망은 12번 절점(J12, 도 5 참조)을 기준으로 11번 관로(P11)와 12번 관로(P12)가 합류되는 구조로 이루어져 있다.

수정된 하노이 관망에 적용한 최적 설계 결과는 도 5에 도시된 바와 같다. 도 5의 (a)는 최영환 등의 논문에 개시된 최적 설계 기법이 적용된 결과이고, 도 5의 (b)가 본 발명에 따른 최적 설계 방법이 적용된 결과이다.

종래의 최적 설계 기법이 적용된 설계안은 14번 관로(P14)의 유량은 11번 관로(P11) 및 12번 관로(P12) 각각의 유량보다 크지만, 관경은 508mm로 더 작다. 반면 본 발명이 적용된 설계안에서는 14번 관로(P14)의 관경이

762mm로 실질적으로 설계 비용은 다소 증가하지만, 합류지점에서의 관경 연속성을 만족시키는 것을 확인할 수 있다.

[0067] 이를 통해, 본 발명에 따른 상수도 관망 최적 설계 방법이 관경 연속성을 고려한 상수도 관망 최적 설계의 계산 효율을 크게 개선하였으며, 또한 기존의 기법으로는 탐색 및 처리가 불가능한 합류지점 연속성 위배 조건에 대해 상류, 하류 관로 간 유량 비교를 통해 실무적으로 적합한 설계안을 도출할 수 있도록 구현하였다는 것을 확인할 수 있다.

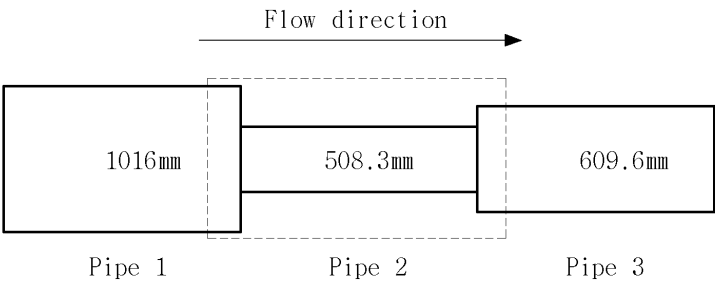
[0068] 비록 본 발명의 몇몇 실시예들이 도시되고 설명되었지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 원칙이나 정신에서 벗어나지 않으면서 본 실시예를 변형할 수 있음을 알 수 있을 것이다. 발명의 범위는 첨부된 청구항과 그 균등물에 의해 정해질 것이다.

부호의 설명

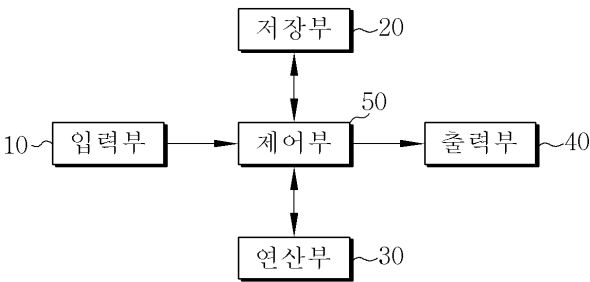
- 10 : 입력부
- 20 : 저장부
- 30 : 연산부
- 40 : 출력부
- 50 : 제어부

도면

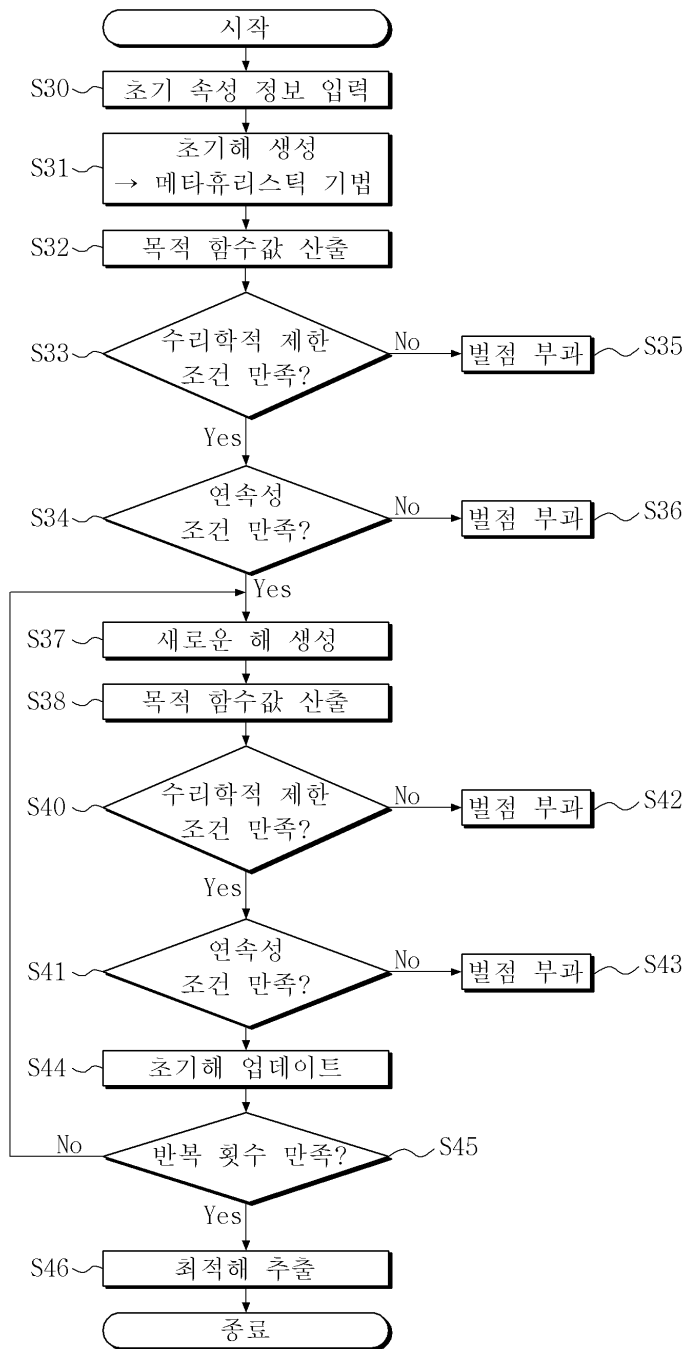
도면1



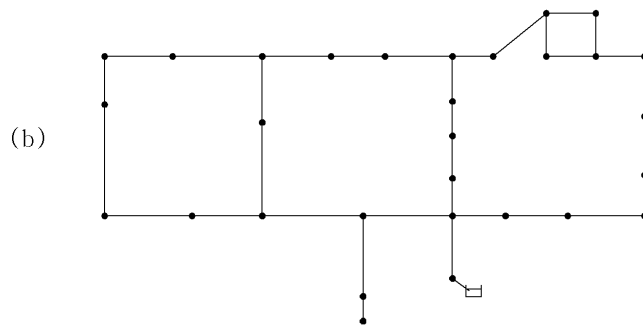
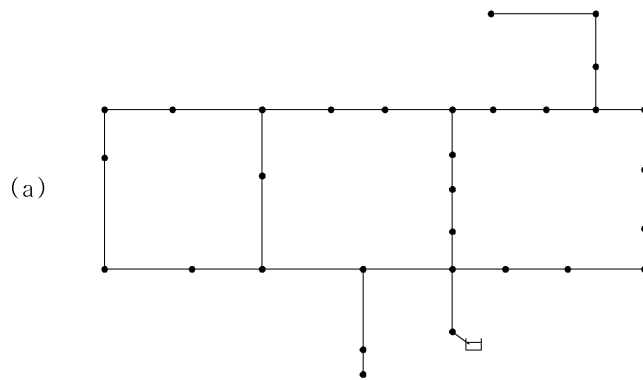
도면2



도면3



도면4



도면5

