



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년04월12일
(11) 등록번호 10-1133664
(24) 등록일자 2012년03월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 19/00 (2011.01) G06Q 50/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0078860
(22) 출원일자 2010년08월16일
심사청구일자 2010년08월16일
(65) 공개번호 10-2011-0068817
(43) 공개일자 2011년06월22일
(30) 우선권주장
1020090125790 2009년12월16일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020080107016 A
KR1020030064815 A
KR1020050102872 A

(73) 특허권자
한국건설기술연구원
경기도 고양시 일산서구 고양대로 283 (대화동)
(72) 발명자
황대문
경기도 파주시 책향기로 403, 숲속길마을월드센터
텔파크 703동 1201호 (동패동)
오현제
경기도 고양시 일산동구 은행마울로 100, 동문2차
아파트 206-603 (식사동, 은행마울)
(74) 대리인
특허법인 신성

전체 청구항 수 : 총 13 항

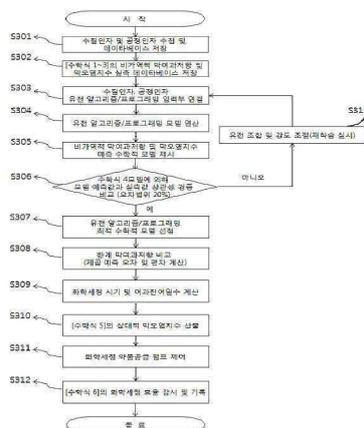
심사관 : 손준영

(54) 발명의 명칭 **분리막을 이용한 수처리 시스템에서 유전자 알고리즘/프로그래밍을 이용한 막오염지수 예측모델 기반 완화 세정 방법 및 시스템**

(57) 요약

본 발명은 막분리를 이용하는 수처리 시스템에서 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P)에 의하여 막 분리 공정의 성능평가 인자인 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 미리 예측하여 세정시기를 예측하고, 한계 저항값까지 도달하는데 걸리는 시간을 계산하여 화학세정 예정 시기 및 막여과 공정 운전의 여과 잔여일수를 평가하며, GA/P 모델로 예측된 값과 여과주기별로 예측된 값의 비율을 계산하여 이를 상대적 막오염지수 산출 피드백부에 전달하여, 화학세정 약품펌프를 제어하는 것을 제공하는데 그 목적이 있다. 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은 수처리 시스템에서의 수질 인자 및 공정 인자를 데이터베이스로 수집하고; 수집된 자료에 근거하여 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 실측하여 데이터베이스에 저장하고; 상기 수질 인자와 공정 인자를 GA/P의 입력노드에 연결하여 수학적 모델을 생성하고; 상기 생성된 GA/P에 예측된 모델 값이 사전에 입력한 한계 저항값까지 도달하는 데 걸리는 시간을 계산하여 화학세정 예정 시기 및 막여과 공정 운전의 여과 잔여 일수를 평가하고; 상기 GA/P의 결정 모델에서 예측된 값과 여과 주기별로 예측된 값의 비율을 계산하여 상대적 막오염지수를 산출하며; 상기 산출된 상대적 막오염지수에 근거하여 주입될 화학세정 약품 공급을 제어하는 수처리 시스템에서의 막오염 완화 세정 방법을 제공한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

남숙현

경기도 과주시 책향기로 403, 숲속길마을 월드샌트
빌파크 703동 1201호 (동패동)

최용준

경기도 고양시 덕양구 백양로 126, 은빛부영아파트
1107동 1102호 (화정동)

안창욱

경기도 수원시 장안구 서부로 2066, 성균관대학교
정보통신학과 (천천동)

특허청구의 범위

청구항 1

- a) 수처리 시스템에서의 수질 인자 및 공정 인자를 데이터베이스로 수집하고;
- b) 수집된 자료에 근거하여 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 실측하여 데이터베이스에 저장하고;
- c) 상기 수질 인자와 공정 인자를 유전자 알고리즘/프로그래밍의 입력노드에 연결하여 화학세정시기 예측을 위한 유전자 막오염 모델을 생성하고;
- d) 상기 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 유전자 막오염 모델에서 예측된 값이 사전에 입력한 한계 저항값까지 도달하는 데 걸리는 시간을 계산하여 화학세정 예정 시기 및 막여과 공정 운전의 여과 잔여 일수를 평가하고;
- e) 상기 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 유전자 막오염 예측 모델에서 예측된 값과 여과 주기별로 실제 측정된 값의 비율을 계산하여 상대적 막오염지수를 산출하며;
- f) 상기 산출된 상대적 막오염지수와 비례하여 화학세정 약품농도를 결정하고 제어하는 분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 비가역적 막여과저항과 막오염지수의 실측의 값은 아래의 수학적 식 1 내지 3을 통해 계산되되,

비가역적 막여과저항($R_{irreversible}$)의 계산은 화학세정 단계를 기준으로 화학세정 실시 직전 수행하는 처리수에 의한 역세척 실시전과 후의 막여과저항을 측정하여 가역적 막여과저항($R_{reversible}$)을 계산하고, 상기 계산된 가역적 막여과저항($R_{reversible}$)을 막여과 운전 초기에 측정되는 막 자체의 여과저항값과 화학세정후 잔류되어 남아있는 막 여과저항($R_{residual}$)을 합하고, 이를 총 막여과저항(R_{total})에서 감하여 비가역적 막여과저항을 실측하는데 아래의 수학적 식 1과 수학적 식 2을 통해 실측되어 이 비가역적 막여과저항은 화학세정 효율을 측정하는 지표로 사용하며, 막오염지수는 아래의 수학적 식 3을 통해 실측하는데, 여과주기를 기준으로 여과 시작시점과 종료시점의 시간 변화에 따른 변화율로 측정된 값으로서 단위 여과주기당 막오염속도 측정지표로 사용되는데

[수학적 식 1]

$$J = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu (R_{membrane} + R_{total})}$$

여기에서, J : 투과수 플럭스

A : 막 면적

ΔP : 막간차압(TMP: transmembrane pressure drop)

$R_{membrane}$: 막 자체 여과저항

R_{total} : 총 막여과저항

[수학식 2]

$$R_{total} = R_{membrane} + R_{residual} + R_{irreversible} + R_{reversible}$$

여기에서, R_{total} : 총 막여과저항

$R_{membrane}$: 막 자체 여과저항

$R_{residual}$: 세정후 잔류 막여과저항

$R_{reversible}$: 가역적 막여과저항

$R_{irreversible}$: 비가역적 막여과저항

[수학식 3]

$$FI = \left\{ \frac{(R_{여과종료} - R_{여과개시}) \times N \times A}{Q \times t} \right\}$$

여기에서, R: 막여과저항 (Resistance)

A: 막 면적(m²)

N: 모듈수

t: 여과시간 (min)

Q: 초기 투과유량 (m³/min)

FI: 막오염지수 (m⁻²)

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 c) 단계는

수질 인자와 공정 인자를 유전자 알고리즘/프로그래밍의 입력노드에 연결하고;

유전자 알고리즘/프로그래밍 모델을 연산하고;

비가역적 막여과저항 및 막오염지수의 예측 수학적 모델을 제시하고;

상기 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델에서 연산된 실측값과 상기 예측 수학적 모델에서 제시된 예측값의 상관성을 검증 비교하여 오차 범위가 소정 범위 내인지 판단하며;

상기 오차 범위가 소정 범위 내인 것으로 판단되는 경우 유전자 알고리즘/프로그래밍의 최적 수학적 모델을 선정하는

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 오차 범위가 소정 범위를 벗어나는 것으로 판단되는 경우, 유전 조합 및 강도를 조절하는 것을 더 포함하고, 상기 조절된 유전 조합 및 강도를 통해 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델을 재생성하도록 c) 단계로 진행되는

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 방법.

청구항 5

제1항 또는 제3항에 있어서,

상기 수질 인자는 탁도, 온도, 총유기탄소 농도, 조류 개체수 중 하나 이상을 포함하고, 상기 공정 인자로는 유량과 운전시간 중 하나 이상을 포함하는

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 완화 세정 방법.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델에서 연산된 실측값과 상기 예측 수학적 모델에서 제시된 예측값의 상관성의 검증 비교는 아래의 수학적 식 4에 의해서 실행되는

[수학적 식 4]

$$MSE = \frac{\sum_N (p_{cal} - p_{exp})^2}{N}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_N (p_{cal} - p_{exp})^2}{N}}$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_N (p_{cal} - p_{cal,ave})(p_{exp} - p_{exp,ave})}{\sqrt{\sum_N (p_{cal} - p_{cal,ave})^2 \sum_N (p_{exp} - p_{exp,ave})^2}} \right)^2$$

$$MSRE = \frac{1}{N} \sum_N \left(\frac{p_{cal} - p_{exp}}{p_{cal}} \right)^2$$

여기에서,

N: 데이터의 수

p_{cal}: GA/P 모델의 예측된 결과

p_{cal,ave}: GA/P 모델에 의해 예측된 결과의 평균값

p_{exp} : 실제 플랜트 운전결과

$p_{exp,ave}$: 실제 플랜트 운전결과의 평균값

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 상대적 막오염지수의 산출은 아래의 수학적식 5에 의해서 실행되는

[수학적식 5]

$$\text{상대적막오염지수} = \frac{\text{막오염지수(실측값)}}{\text{막오염지수(예측값)}}$$

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 화학세정에 의한 효율을 감시하고 기록하는 것을 더 포함하며,

상기 화학세정의 효율은 아래의 수학적식 6에 의해서 산출되는

[수학적식 6]

$$Efficiency = \left(\frac{R_{cake}}{R_{irreversible}} \right) \times 100$$

여기에서, $Efficiency$: 총 막여과저항

R_{cake} : 화학세정에 의해서 제거된 막여과저항

$R_{irreversible}$: 비가역적 막여과저항

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 방법.

청구항 9

유입 원수 수질인자와 막여과 공정인자를 수처리시스템에서 수집하여 데이터베이스를 구축하는 데이터 수집부;

상기 구축된 수질 인자와 공정 인자를 모델 입력변수로 하여 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P)에 의해 모델을 연산 결정하는 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부; 및

상기 결정된 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 막오염 예측 수학적 모델을 통하여 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 예측하고, 여과잔여일수를 평가하여 화학 세정 약품 공급을 제어하는 제어부를 포함하는

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부에서 결정된 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델을 저장된 데이터와 실측 데이터를 비교하여 모델 설정 여부를 결정하는 제1 피드백부; 및

상기 제어부에서 예측된 막여과저항과 막오염지수 및 평가된 여과잔여일수에 근거하여 상대적 막오염지수를 산출하여 세정 약품 공급을 제어하도록 하는 제2 피드백부를 더 포함하는

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제1 피드백부는 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부의 실측 값과 예측 값의 상관도 비교를 수행하는 검증부 및 상기 상관도 분석결과에 따라 실측 값과 예측 값이 맞지 않는 경우 유전 조합 및 연결 강도를 조절하는 피드백 제어부로 구성되고,

상기 제2 피드백부는 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 수학적 모델로 예측된 값과 여과주기별로 예측된 값의 비율을 계산하여 상대적 막오염지수를 산출하는 상대적 막오염지수 산출부를 포함하는

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 시스템.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부는 입력부, 유전조합 계산부 및 출력부로 구성되고,

상기 입력부는 상기 데이터 수집부에서 수집된 수질 인자 자료와 공정 인자 자료를 유전자 알고리즘/프로그래밍의 입력 노드에 연결하고,

상기 유전자 조합 계산부는 상기 입력부의 값이 출력부의 목표 값에 일치하도록 여러 유전 조합에 의하여 학습을 시키며,

상기 출력부는 결정된 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델을 출력하는

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 시스템.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 제어부는 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부에서 결정된 막오염 예측 수학적 모델을 통하여 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 예측하고, 이를 빈도수 분석을 하여 사전에 입력된 한계 저항값과 비교하여 막여과 공정의 여과잔여일수를 평가하는 예측/평가부; 및 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 모델로 예측된 값과 여과주기별로 예측된 값의 비율을 계산하고 상대적 막오염지수를 계산하여 화학세정 약품공급을 제어하는 화학세정약품 농도 제어부로 구성되는

분리막 공정을 이용하는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 및 완화 세정 시스템.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 수처리 시스템에서의 막오염 예측 방법을 이용한 막오염 완화세정방법 및 시스템에 관한 것으로, 분리막을 이용하는 수처리 시스템에서 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P: Genetic algorithm/Programming, 이하는 GA/P로 표기함)에 의해 생성된 분리막 공정의 막오염 예측 모델을 이용하여 막 분리 시스템의 한계 저항값까지 도달하는데 걸리는 시간을 계산하고, 이를 통해 화학세정 예정시기 및 막여과 공정 운전의 여과 잔여일수를 평가하며, 막오염 예측 모델에서 산출된 예측값과 실측된 값의 비율인 상대적 막오염지수를 화학세정 피드백부에 전달하여, 비가역적 막오염 저항값을 감소시키는 분리막 공정의 화학세정 제어방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로 수처리 시스템에서의 막여과 공정에서 가장 큰 문제점은 막 여과가 진행함에 따라 발생하는 막 오염(membrane fouling)이다. 이러한 막 오염은 대상 원수의 특성에 따라 막 표면에 오염물질이 강하게 결합, 축적되기 때문에 발생한다.

[0003] 막 오염을 일으키는 오염물질들은 유기물, 무기물, 미생물 등으로 나뉘며 원수 특성에 따라 다르기 때문에 막오염 물질이 무엇인지를 파악하는 것은 유지관리에 있어 중요한 요소이나, 실제로 이를 정확하게 분석하는 데는 어려움이 따른다.

[0004] 막 오염은 크게 가역적 막오염과 비가역적 막오염으로 구분된다. 가역적 막 오염은 물리적 세정에 의해 제거할 수 있지만, 비가역 막오염은 화학약품에 의한 세정이 이루어져야 제거가 가능하다.

[0005] 또한, 막 오염 물질에 따라 화학 약품의 선택이 달라지는데 보통 원수 특성과 막의 특성을 고려하여 결정한다. 화학 세정의 경우 유지 세정과 회복 세정으로 구분하는데 최근 들어 유지 세정에 대한 중요성이 보다 강조되고 있는 실정이다.

[0006] 이러한 유지 세정은 주기적인 세정을 통해 플럭스(flux)를 향상시킬 뿐만 아니라 막의 열화 속도를 줄여주고 막 수명을 연장하는 기대효과를 가질 수 있다.

[0007] 실질적으로 막 분리 여과에 있어서 막 오염 정도와 성상(state of matter)이 매순간 다르게 나타나기 때문에 세정주기 및 약품사용농도 또한 변화되어야 한다.

[0008] 하지만, 대부분 막 여과 정수 처리 시설에서는 약품 세정 주기와 농도를 고정시켜 운영하고 있는 것이 현실이다. 지금까지의 문헌에 따르면 무기물에 의한 막 오염은 산화제가 강한 황산이나 구연산 등이 효과적인 세정 효율을 보이며, 유기물에 의한 막 오염은 단백질 가수분해를 촉진시키고 부식성이 강한 수산화나트륨이나 염소에 의한 살균력이 강한 차염소산 나트륨이 효과적인 것으로 보고되어 있다.

[0009] 또한, 유기물질 중 소수성 혹은 친수성의 천연유기물질(NOM: Natural Organic Matter) 모두 막 오염 물질로 작용될 수 있으며, 소수성이 강한 천연유기물질은 대부분 산 물질이고, 친수성이 강한 천연유기물질은 중성물질인 것을 감안하면 약품세정 전략을 세울 때 반드시 고려해야 할 사항으로 알려져 있다.

[0010] 막 분리 시스템에서 막 오염을 저감시키면서 플럭스를 향상시켜 운전할 수 있는 유지관리 기술로 알려진 막오염 완화세정 기술의 핵심은 막 오염과 세정 이론에 기초하여 막 오염이 진행됨에 따라 가역적인(reversible) 막오염보다 물리 세정으로 회복시킬 수 없는 무기물 등의 비가역적인(irreversible) 막오염의 비중이 높아지기 때문에, 비교적 “덜” 비가역적인 막오염일 때 세정하는 것이 보다 경제적이고 안정적인 운전성능을 지속시킬 수 있다는 것이다.

[0011] 종래에는 막 여과 공정을 가동하면서 진행되는 막오염 현상을 가역적 또는 비가역적 현상을 구분하여 해석하기 보다는 가역적 막오염과 비가역적 막오염, 그리고 막 여과 자체에 의한 저항 등을 합한 총 합 개념으로 이를 계산하였고, 막오염 완화를 위한 화학세정 시기를 사전에 미리 예측하기보다는 오히려 일정시간 운전하여 막오염 또는 투과 플럭스가 설정 값보다 현저히 떨어지게 되면 그 시점부터 회복 세정을 실시하게 된다.

[0012] 또한, 막오염 완화 세정을 실시하는 데 있어 종래의 사용하는 차염소산 나트륨의 농도도 운전주기 동안 제조사에서 정한 일정 농도로 하기 때문에 경우에 따라서는 과도한 화학 약품에 노출되기도 하고 또는 부적절한 약품 투입으로 막오염 세정 효과가 떨어지게 된다.

- [0013] 특히, 막 오염 현상은 유입 원수 수질특성과 운전 조건에 민감하고 복잡한 반응과 관계의 비선형적 특성을 보이기 때문에 일반 단순 회귀식(regression equation)에 의하여 예측하는데 한계가 있다.
- [0014] 또한, 규모가 대규모로 커질수록 일정규모로 묶인 막모듈 유닛트가 다른 막 오염 속도 및 패턴을 갖기 때문에 각각의 막 모듈 유닛트를 개별적으로 예측, 평가, 제어를 수행할 수 있는 예측 모델 및 방법의 제안이 요구되고 있는 실정이다.
- [0015] 이와 같이 막 여과를 이용하는 수처리 시스템에서 종래에는 막 여과 공정의 오염 특성이 비선형적 특성을 나타내기 때문에 막 오염 현상을 예측하기 어려운 문제점이 있고, 이로 인해 여과 잔여 일수를 평가하고, 막 오염 정도에 따라 세정약품 농도를 제어하는데 어려운 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0016] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 수처리 시스템에서 사용하는 막 여과 공정에서 비가역적 막 여과저항의 예측 값 및 실제 측정된 측정 값에 대한 비율과 한계 막 여과저항 값의 비교 결과에 따라 비선형식에 따르는 최적의 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P)에 의해 생성된 막오염 예측 모델을 통하여 화학세정 주기 및 잔여 여과 일수를 예측, 평가하고, 세정약품 농도를 제어할 수 있는 수처리 시스템에서의 막오염 예측 방법을 이용한 막오염 완화세정 방법 및 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0017] 또한, 본 발명은 상기 방법을 실현하기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 포함한 시스템을 제공하는데 다른 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0018] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 제1 관점에 따르면, a) 수처리 시스템에서의 수질 인자 및 공정 인자를 자동 계측기로 계측하여 데이터베이스 프로그램으로 수집하고; b) 수집된 자료에 근거하여 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 실측하여 데이터베이스에 저장하고; c) 상기 수질 인자와 공정 인자를 유전자 알고리즘/프로그래밍의 입력노드에 연결하여 유전자 막오염 예측 모델을 생성하고; d) 상기 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 유전자 막오염 예측 모델을 이용하여 사용자가 정의한 분리막 고정층의 한계 저항값(resistance)까지 도달하는데 걸리는 시간을 계산하여 분리막 공정의 여과 잔여 일수를 예측 및 평가하고; e) 상기 유전자 막오염 예측 모델에 의해 생성된 막오염지수 예측 값과 실제 분리막 시스템에서 측정된 막오염 지수 값의 비인 상대적 막오염지수를 산출하며; f) 상기 산출된 상대적 막오염지수를 이전 약품주입농도에 곱하여 막오염 정도에 따라 차염소산나트륨으로 실시하는 화학세정약품농도를 제어하는 방법을 제공한다.
- [0019] 상기 비가역적 막여과저항과 막오염지수의 실측 값은 실시 예에서 설명된 수학적 식 1 내지 3을 통해 실행될 수 있다. 여기에서, 비가역적 막여과저항($R_{irreversible}$)의 계산은 화학세정 단계를 기준으로 화학세정 실시 직전 수행하는 처리수에 의한 역세척 실시전과 후의 막여과저항을 측정하여 가역적 막여과저항($R_{reversible}$)을 계산하고, 상기 계산된 가역적 막여과저항($R_{reversible}$)을 막여과 운전 초기에 측정되는 막 자체의 여과저항값과 화학세정후 잔류되어 남아있는 막여과저항($R_{residual}$)을 합하고, 이를 총 막여과저항(R_{total})에서 감하여 비가역적 막여과저항을 실측하는데 아래의 수학적 식 1과 수학적 식 2을 통해 실측되어 이 비가역적 막여과저항은 화학세정 효율을 측정하는 지표로 사용하며,
- [0020] 막오염지수는 아래의 수학적 식 3을 통해 실측하는데, 여과주기를 기준으로 여과 시작시점과 종료시점의 시간 변화에 따른 변화율로 측정된 값으로서 단위 여과주기당 막오염속도 측정지표로 사용된다.
- [0021] 상기 유전자 알고리즘/프로그래밍의 유전자 막오염 예측 모델을 생성하는 단계는 수질 인자와 공정 인자를 유전자 알고리즘/프로그래밍의 입력노드에 연결하고; 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델을 연산하고; 비가역적 막여과저항 및 막오염지수의 예측 수학적 모델을 제시하고; 상기 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델에서 연산된 실측 값과 상기 예측 수학적 모델에서 제시된 예측값의 상관성을 검증 비교하여 오차 범위가 소정 범위 내인지 판단하며; 상기 오차 범위가 소정 범위 내인 것으로 판단되는 경우 유전자 알고리즘/프로그래밍의 최적 수학적 모델

을 선정하는 것을 포함한다.

- [0022] 상기 오차 범위가 소정 범위를 벗어나는 것으로 판단되는 경우, 유전 조합 및 강도를 조절하는 것을 더 포함하고, 상기 조절된 유전 조합 및 강도를 통해 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델을 재생성하도록 c) 단계로 진행될 수 있다.
- [0023] 상기 수질 인자는 탁도, 온도, 총유기탄소 농도, 조류 개체수인 클로로필-a의 농도 중 하나 이상을 포함하고, 상기 공정 인자로는 유량과 운전시간, 막간차압(TMP), 막 여과저항(resistance) 중 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0024] 상기 모델 예측값과 실측값의 상관성을 검증 비교는 실시 예에서 설명된 수학적 식 4에 의해서 실행될 수 있으며, 상기 상대적 막오염지수의 산출은 실시 예에서 설명된 수학적 식 5에 의해서 실행될 수 있다.
- [0025] 상기 화학세정에 의한 효율을 감시하고 기록하는 것을 더 포함하며, 상기 화학세정의 효율은 실시 예에서 설명된 수학적 식 6에 의해서 산출될 수 있다.
- [0026] 본 발명의 제2 관점에 따르면, 유입 원수 수질인자와 막여과 공정인자를 수처리시스템에서 수집하여 데이터베이스를 구축하는 데이터 수집부; 상기 구축된 수질 인자와 공정 인자를 모델 입력변수로 하여 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P) 모델을 연산 결정하는 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부; 및 상기 결정된 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 모델을 통하여 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 예측하고, 여과잔여일수를 평가하여 화학 세정 약품 공급을 제어하는 제어부를 포함하는 수처리 시스템에서의 막오염 완화 세정 시스템을 제공한다.
- [0027] 상기 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부에서 결정된 모델을 저장된 데이터와 실측 데이터를 비교하여 모델 설정 여부를 결정하는 제1 피드백부; 및 상기 제어부에서 예측된 막여과저항과 막오염지수 및 평가된 여과잔여일수에 근거하여 상대적 막오염지수를 산출하여 세정 약품 공급을 제어하도록 하는 제2 피드백부를 더 포함할 수 있다.
- [0028] 상기 제1 피드백부는 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부의 예측 값과 실제 값의 상관도 비교를 수행하는 검증부 및 상기 상관도 분석결과에 따라 예측 값과 실제 값이 맞지 않는 경우 유전 조합 및 연결 강도를 조절하는 피드백 제어부로 구성되고, 상기 제2 피드백부는 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 모델로 예측된 값과 여과주기별로 예측된 값의 비율을 계산하여 상대적 막오염지수를 산출하는 상대적 막오염지수 산출부를 포함할 수 있다.
- [0029] 상기 수질 인자는 탁도, 온도, 총유기탄소 농도, 조류 개체수 중 하나 이상을 포함하고, 상기 공정 인자로는 유량과 운전시간 중 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0030] 상기 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부는 입력부, 유전자 조합 계산부 및 출력부로 구성되고, 상기 입력부는 상기 데이터 수집부에서 수집된 수질 인자 자료와 공정 인자 자료를 유전자 알고리즘/프로그래밍의 입력 노드에 연결하고, 상기 유전자 조합 계산부는 상기 입력부의 값이 출력부의 목표 값에 일치하도록 여러 유전자 조합에 의하여 학습을 시키며, 상기 출력부는 결정된 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 수학적 모델을 출력할 수 있다.
- [0031] 상기 제어부는 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부에서 결정된 수학적 모델을 통하여 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 예측하고, 이를 빈도수 분석을 하여 사전에 입력된 한계 저항값과 비교하여 막여과 공정의 여과잔여일수를 평가하는 예측/평가부; 및 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 모델로 예측된 값과 여과주기별로 예측된 값의 비율을 계산하고 상대적 막오염지수를 계산하여 화학세정 약품공급을 제어하는 화학세정약품 농도 제어부로 구성될 수 있다.

발명의 효과

- [0032] 본 발명에 따르면, 막 여과를 이용한 수처리 시스템에서 원수 수질 조건, 막 운전조건 등 다양한 변수가 조합되어 비선형적 패턴 특성을 보이는 막 여과 성능을 사전에 예측하여 세정 시기를 조기에 예측할 수 있고, 여과 가능한 여과 잔여 일수를 평가할 수 있으며, 막 오염 정도에 따라 세정 약품을 변동하여 주입함으로써 과도한 약품 사용을 방지할 수 있고, 막 소재의 내구성 측면에서 고농도의 약품 노출을 최대한 줄임으로써 막 소재의 성능을 지속적으로 유지관리 할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 본 발명에 의한 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의한 화학 세정 시기와 여과 잔여일수 예측 방법을 통해 세정약품 제어를 위한 알고리즘을 나타내는 도면.
- 도 2는 막 분리 공정에서 실제 측정되는 비가역적 막 여과저항 및 막 오염지수를 측정하기 위한 방법을 나타내는 도면.
- 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 유전자 알고리즘/프로그래밍의 유전자 표현 및 교배 연산 예를 나타내는 도면.
- 도 4는 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P)을 이용한 막 여과 공정의 비가역적 막여과 저항과 막오염지수를 예측하는 막오염 완화세정 시스템의 일 실시 예를 나타내는 구성도.
- 도 5는 본 발명에 의한 유전자 알고리즘/프로그래밍을 이용한 화학 세정 시기 및 여과 잔여일수를 예측하기 위하여 모델 변수를 구동하는 프로그램을 나타내는 화면.
- 도 6은 본 발명의 실시 예에 따라 GA/P를 이용하여 약 470여일 간의 장기운전기간 동안의 막여과저항을 예측한 결과와 실측된 데이터의 상관성을 나타내는 그래프.
- 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 막 여과의 화학세정 제어장치의 효과를 나타내는 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 본 발명의 추가적인 목적들, 특징들 및 장점들은 다음의 상세한 설명 및 첨부도면으로부터 보다 명료하게 이해될 수 있다.
- [0035] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시 예를 상세히 설명한다.
- [0036] 먼저, 본 발명에 따른 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P)에 의해 생성된 수학적 모델을 이용하여 화학 세정 시기와 여과 잔여일수 예측 방법을 통해 세정약품 투입 제어를 위한 방법도 도 1을 참조하여 설명한다. 도 1은 본 발명에 의한 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 화학 세정시기 예측 수학적 모델을 이용하여 화학 세정 시기와 여과 잔여일수 예측 방법을 통해 세정약품을 제어하기 위한 방법의 알고리즘을 나타낸 것이다.
- [0037] 도 1에 나타낸 바와 같이, 본 발명에 의한 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P: Genetic algorithm/Programming)에 의해 생성된 수학적 모델을 이용하여 화학 세정 시기와 여과 잔여일수 예측을 통해 세정 약품의 주입을 제어하기 위한 방법은, 먼저 유전자 알고리즘/프로그래밍 예측 모델을 생성하기 위하여 수처리 시스템에서의 수질 인자 및 공정 인자를 데이터베이스로 수집하고(S301), 수집된 자료에 근거하여 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 실측하여 이를 데이터베이스에 저장하며(S302), 상기 수질 인자와 공정 인자를 유전자 알고리즘/프로그래밍의 입력부에 연결하여 수학적 모델을 생성한다(S303 내지 S307). 그런 다음, 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 화학세정시기 예측 수학적 모델 값이 사전에 입력한 한계 저항값까지 도달하는 데 걸리는 시간을 계산하여 화학세정 예정 시기 및 막여과 공정 운전의 여과 잔여 일수를 평가하고(S308 내지 S309), 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 모델로 예측된 값과 여과 주기별로 실측된 값의 비율을 계산하여 상대적 막오염지수를 산출하며(S310), 산출된 상대적 막오염지수에 근거하여 주입될 화학세정 약품 공급을 제어한다(S311). 그리고 화학세정의 효율을 감시하고 기록한다(S312).
- [0038] 상기 302 단계에서 비가역적 막여과저항과 막오염지수의 실측은 아래의 수학식 1 내지 3을 통해 실행된다.

수학식 1

[0039]
$$J = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{\Delta P}{\mu (R_{membrane} + R_{total})}$$

[0040] 여기에서, J : 투과수 플럭스

[0041] A : 막 면적

[0042] ΔP : 막간차압(TMP: transmembrane pressure drop)

[0043] $R_{membrane}$: 막 자체 여과저항

[0044] R_{total} : 총 막여과저항

수학식 2

[0045]
$$R_{total} = R_{membrane} + R_{residual} + R_{irreversible} + R_{reversible}$$

[0046] 여기에서, R_{total} : 총 막여과저항

[0047] $R_{membrane}$: 막 자체 여과저항

[0048] $R_{residual}$: 세정후 잔류 막여과저항

[0049] $R_{reversible}$: 가역적 막여과저항

[0050] $R_{irreversible}$: 비가역적 막여과저항

수학식 3

[0051]
$$FI = \left\{ \frac{(R_{여과종료} - R_{여과개시}) \times N \times A}{Q \times t} \right\}$$

[0052] 여기에서, R : 막여과저항 (Resistance)

[0053] A : 막 면적(m²)

[0054] N : 모듈수

[0055] t : 여과시간 (min)

[0056] Q: 초기 투과유량 (m³/min)

[0057] FI : 막오염지수 (m⁻²)

[0058] 구체적으로, 상기 302 단계에서 비가역적 막여과저항과 막오염지수의 실측에 대하여 도 2를 더 참조하여 설명한다. 도 2는 막 분리 공정에서 실제 측정되는 비가역적 막 여과저항 및 막 오염지수를 측정하기 위한 방법을 나타내는 도면이다.

[0059] 본 발명에 따라 화학세정 약품의 공급량을 제어하기 위하여 계산되는 상대적 막오염지수는 모델로 예측되는 값과 실측되는 값을 비교하는 것으로, 여기에서 실측되는 비가역적 막여과저항과 막오염지수는 상기의 [수학식 1], [수학식 2] 및 [수학식 3]을 이용하여 계산할 수 있다.

[0060] 특히, 비가역적 막여과저항을 계산하는데 있어서, 총 막오염저항(Rtotal)은 가역적 막오염에 의한 저항, 비가역적 막오염에 의한 저항, 막여과 자체의 저항으로 크게 나눌 수 있다. 화학세정 이전 단계의 물에 의한 역세척 실시 전과 후의 막여과저항을 측정하여 가역적 막여과 저항을 계산하고, 이를 막여과 운전 초기에 측정되는 막 자체의 여과저항값과 세정후 잔류되어 남아있는 막여과저항을 합하여 실측되는 총 막여과저항을 빼면 비가역적 막여과저항이 계산된다. 또한, 예측 변수인 막오염지수는 기본 여과 주기별로 시간 변화에 따른 막여과저항의 변화율로 측정된 값으로 이는 단위 여과 주기당 막오염속도를 의미하는 것으로 상기한 [수학식 3]을 통해 계산된다.

[0061] 상기 수학적 모델을 생성하는 단계(S303 내지 S307)는 수질 인자와 공정 인자를 유전자 알고리즘/프로그래밍의 입력부에 연결하고(S303), 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델을 연산하고(S304), 비가역적 막여과저항 및 막오염지수의 예측 수학적 모델을 제시하며(S305), 모델 예측값과 실측값의 상관성을 검증 비교하여 오차 범위가 소정 범위(예를 들면 20%) 내인지 판단하며(S306), 오차 범위가 소정 범위 내인 것으로 판단되는 경우 유전자 알고리즘/프로그래밍의 최적 수학적 모델을 선정한다(S307).

[0062] 상기 S306 단계에서 모델 예측값과 실측값의 상관성을 검증 비교는 아래의 수학식 4에 의해서 실행된다.

수학식 4

$$MSE = \frac{\sum_N (p_{cal} - p_{exp})^2}{N}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_N (p_{cal} - p_{exp})^2}{N}}$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_N (p_{cal} - p_{cal,ave})(p_{exp} - p_{exp,ave})}{\sqrt{\sum_N (p_{cal} - p_{cal,ave})^2 \sum_N (p_{exp} - p_{exp,ave})^2}} \right)$$

$$MSRE = \frac{1}{N} \sum_N \left(\frac{p_{cal} - p_{exp}}{p_{cal}} \right)^2$$

[0063]

[0064] 여기서, N : 데이터의 수

[0065] p_{cal} : GA/P 모델의 예측된 결과

[0066] p_{cal,ave} : GA/P 모델에 의해 예측된 결과의 평균값

[0067] p_{exp} : 실제 플랜트 운전결과

[0068] p_{exp,ave} : 실제 플랜트 운전결과의 평균값

[0069] 상기 단계 S306에서, 오차 범위가 소정 범위를 벗어나는 것으로 판단되는 경우, 유전 조합 및 강도를 조절하여 (S313) 모델을 재생성하도록 단계 S303으로 진행된다.

[0070] 상기 단계 S310에서 상대적 막오염지수의 산출은 아래의 수학적 식 5에 의해서 실행된다.

수학적 식 5

$$\text{상대적막오염지수} = \frac{\text{막오염지수(실측값)}}{\text{막오염지수(예측값)}}$$

[0071]

[0072] 상기 단계 S312에서 화학세정의 효율은 아래의 수학적 식 6에 의해서 산출된다.

수학적 식 6

$$\text{Efficiency} = \left(\frac{R_{\text{cake}}}{R_{\text{irreversible}}} \right) \times 100$$

[0073]

[0074] 여기에서, *Efficiency* : 총 막여과저항

[0075] *R_{cake}* : 화학세정에 의해서 제거된 막여과저항

[0076] *R_{irreversible}* : 비가역적 막여과저항

[0077] 다음으로 상기에서 설명된 본 발명의 따른 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 화학세정시기 수학적 모델을 통해 화학 세정 시기와 여과 잔여일수를 평가하고, 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 막오염 예측 수학적 모델을 이용하여 막 여과 공정의 비가역적 막여과 저항과 막오염지수를 계산하여 세정약품 제어에 위한 방법을 구현한다. 막오염 완화세정 시스템에 대하여 도 4를 참조하여 설명한다. 본 발명의 막오염 완화 세정 시스템은 앞서 설명한 제어 방법을 실행할 수 있게 구성되는 구성요소들을 이용할 수 있으며, 아래의 설명되는 시스템에 한정되는 것은 아니다.

[0078] 도 4는 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P)을 이용하여 막 여과 공정의 비가역적 막여과 저항과 막오염지수를 예측하는 막오염 완화세정 시스템의 일 실시 예를 나타내는 구성도이다.

[0079] 도 4에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P)에 의해 생성된 수학적 모델을 이용한 막 여과 공정의 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 예측하는 막오염 완화세정 시스템은, 유입 원수 수질 인자와 막여과 공정인자를 수처리시스템에서 수집하여 데이터베이스를 구축하는 데이터 수집부(110); 상기 구축된 수질 인자와 공정 인자를 모델 입력변수로 하여 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P)에 의해 생성된 모델을 연산하고 결정하는 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부(120); 및 상기 결정된 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 막오염 예측 모델을 통하여 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 예측하고, 화학세정시기 예측 수학적 모델을 이용하여 여과잔여일수를 평가하여 화학 세정 약품 공급을 제어하는 제어부(130)를 포함한다.

[0080] 또한, 상기 막오염 완화 세정 시스템은 상기 유전자 알고리즘/프로그래밍 모델 결정부(120)에서 결정된 GA/P의 막오염 예측 수학적 모델에서 예측된 데이터와 실측 데이터를 비교하여 모델 설정 여부를 결정하는 제1 피드백부(140) 및 상기 제어부(130)에서 예측된 막여과저항과 막오염지수 및 평가된 여과잔여일수에 근거하여 상대적 막오염지수를 산출하여 세정 약품 공급을 제어하도록 하는 제2 피드백부(150)를 더 포함한다. 또한, 상기 제어부의 세정 약품 공급을 통해 세정되는 세정 효율을 감시하고 기록하는 화학세정효율 감시/기록부(160)를 더 포함할 수 있다.

[0081] 상기 제1 피드백부(140)는 후술할 GA/P 결정부(120)의 출력부(122)의 예측 값과 실제 값의 상관도 비교를 수행

하는 검증부(141) 및 상기 상관도 분석결과에 따라 예측 값과 실제 값이 맞지 않는 경우 유전 조합 및 연결 강도를 조절하는 피드백 제어부(142)로 구성된다.

- [0082] 상기 제2 피드백부(150)는 GA/P 수학적 모델로 예측된 값과 여과주기별로 예측된 값의 비율을 계산하여 상대적 막오염지수를 산출하는 상대적 막오염지수 산출부를 포함한다.
- [0083] 상기 데이터 수집부(110)는 GA/P의 입력변수로 사용하는데 필요한 유입 원수 수질 인자와 막여과 공정 인자를 수처리시스템에서 수집하여 데이터베이스를 구축한다. 여기에서, 수질 인자는 탁도, 온도, 총 유기탄소 농도, 조류 개체수(예를 들면, 클로로필-a) 등이 있고, 공정 인자로는 유량, 운전시간, 막간차압(TMP), 막 여과저항(resistance) 등이 있다.
- [0084] 이러한 수질 인자 및 공정 인자는 비가역적 막여과 저항 및 막오염지수에 영향을 미치는 인자로서, 수처리시스템에서 실시간으로 수집될 수 있거나 사용자의 직접 분석 및 입력에 의해 수집될 수 있다.
- [0085] 상기 GA/P 결정부(120)는 크게 입력부(121), 유전조합 계산부(122), 출력부(122)로 구성된다.
- [0086] 상기 입력부(121)는 이전 단계의 데이터 수집부에서 수집된 수질인자 자료와 공정인자 자료를 GA/P의 입력 노드(입력 변수)에 연결한다. 즉 상기 입력부(121)에는 예측변수인 비가역적 막여과저항과 막오염지수에 영향을 미치는 요인으로, 탁도, 온도, 총 유기탄소 농도, 조류 개체수 등 수질 인자와 유량, 운전시간 등 운전 자료가 입력된다.
- [0087] 상기 유전 조합 계산부(122)는 비선형 특성을 보이는 막 운전 데이터를 패턴학습시키기 위하여 입력부(121)의 값이 출력부(122)의 목표 값에 일치하도록 여러 유전 조합에 의하여 학습을 시키며, 이는 입력부(121)의 학습조건 비율에 따라 변동가능하다.
- [0088] 상기 출력부(122)의 예측 값과 실제 값의 상관도 비교는 제1 피드백부(140)의 검증부(142)에서 수행하며 상관도 분석결과에 따라 예측 값과 실제 값이 맞지 않는 경우 유전 조합 및 연결 강도를 조절 등으로 입력부(121)의 인자 값을 바꾸는 설정을 할 수 있다.
- [0089] 상기 출력부(123)는 입력부(121)의 예측 모델의 입력노드의 조합과 계산 알고리즘에 의하여 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 결정된 수학적 모델에 의해 막 분리 공정의 비가역적 막여과저항과 막오염지수를 출력한다.
- [0090] 상기 제어부(130)는 GA/P 결정부(120)에서 결정된 모델을 통하여 막오염을 예측하고, 이를 빈도수 분석을 하여 사전에 입력된 한계 저항값과 비교하여 막여과 공정의 여과잔여일수를 평가하는 예측/평가부(131) 및 GA/P에 의해 생성된 모델로 예측된 값과 여과주기별로 예측된 값의 비율을 계산하여 이를 상대적 막오염지수를 연산부에 의해 계산하여 화학세정 약품공급을 제어하는 화학세정약품 농도 제어부(132)로 구성된다.
- [0091] 이와 같은 본 발명의 막여과저항과 막오염지수를 예측하는 막오염 완화세정 시스템은 막여과 공정에 유입하는 원수 수질(탁도, 온도, 총 유기탄소 농도, 조류 개체수)의 수질 인자와 막여과 공정의 운전자료(유량, 운전시간)의 공정 인자의 조합 조건에 의하여 비가역적 막여과 저항의 생성결과를 미리 예측한다.
- [0092] GA/P에서 생성된 막오염 예측 수학적 모델을 이용하여 실제 예측된 비가역적 막여과 저항값에 대한 비율과 한계 막여과저항 값의 비교 결과에 따라 비선형식에 따르는 최적의 GA/P 모델을 통해 한계 저항값까지 도달하는 데 걸리는 시간을 계산하여 화학세정 예정 시기 및 막여과 공정 운전의 여과잔여일수를 평가하고, GA/P 에 의해 생성된 모델로 예측된 값과 여과주기별로 예측된 실제 값의 비율을 계산하여 이를 상대적 막오염지수 산출 피드백부에 전달한다. 최종적으로 막오염 정도에 따라 화학세정 약품공급펌프를 제어함으로써 비상시 막여과 공정 운전대책을 수립할 수 있고, 과도한 약품 사용을 사전에 방지하는 등 약품사용량을 절감할 수 있으며, 운전 조작의 편의성과 신뢰성을 확보할 수 있다.
- [0093] 도 5는 본 발명에 의한 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 수학적 모델을 이용한 화학세정 시기 및 잔여 여과일수를 예측하도록 구동하는 프로그램을 나타낸 화면이다.
- [0094] GA/P 구동 프로그램을 구체적으로 설명하면, 우선 유전자 알고리즘/프로그래밍의 특징으로 함수를 스스로 정의하여 효율적으로 이용하는 기법인 자동함수 정의가 있다. 유전자 알고리즘/프로그래밍은 유전 알고리즘을 프로그램 공간으로 확장한 것으로 유전 프로그래밍의 개체(해)는 컴퓨터 프로그램을 나타내어진다.
- [0095] 따라서 유전자 알고리즘/프로그래밍 개체는 유전 알고리즘에서와 같은 비트 문자열이 아닌 트리 구조에 의해 표현된다. 유전 프로그래밍의 유전자는 터미널 및 함수 집합의 원소로 구성되므로 터미널과 함수 집합이 해를 구성할 문장이라 할 수 있다. 이들 집합은 문제를 풀기에 적합하도록 선택된 기호 집합으로 사용자에게 의해 선언된

다. 그리고 터미널 집합은 프로그램의 변수와 상수로 구성되고, 함수 집합은 프로그램의 기능을 구현하는 것으로 표준적인 산술 연산, 수학 연산, 논리 연산 또는 문제에 따른 특수 함수를 가질 수 있다. 함수 집합은 인수를 갖는 프로그램으로 작용하기 때문에 트리의 내부 노드로 표시되며, 터미널은 인수를 갖지 않는 프로그램으로 작용하기 때문에 트리의 말단 노드로 표현된다.

- [0096] 유전 프로그래밍에서 사용된 유전 연산자는 유전 알고리즘과 유사하다. 선택 연산의 경우는 유전 알고리즘과 동일하다. 그러나 교배 연산이나 돌연변이 연산의 경우 유전 프로그래밍의 부호화 방법에 의존함으로써 기존의 연산 방법과는 다른 방식을 사용한다. 먼저 교배 연산은 유전 프로그래밍에서 가장 중요한 연산자로 두 개체를 교배하여 새로운 두 개의 자식 개체를 발생시킨다(도 3 참조: 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 유전자 알고리즘 및 프로그래밍의 유전자 표현 및 교배 연산 예를 나타낸 그림).
- [0097] 부모 개체는 통상 서로 다른 크기와 형태를 가지며, 교배 후 자식 개체도 부모 개체와 다른 형태와 크기를 갖게 된다. 교배에 의한 자식 개체들은 부모 개체의 교배 부분을 제거하고 교배 부분을 상호 교환하여 생성된다.
- [0098] 유전자 알고리즘/프로그래밍에 의해 생성된 모델에 의한 예측값의 정확도를 평가하기 위해 가장 널리 사용되는 통계적 평가 기준인 mean square error(MSE), root mean square error(RMSE), correlation coefficient(R2), 그리고 mean squared relative error(MSRE) 사용한다. MSE, RMSE, R2 그리고 MSRE를 계산하는 방법은 상기한 [수학식 5]와 같다.
- [0099] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따라 GA/P에 의해 생성된 막오염 모델을 이용하여 약 470여일 간의 장기운전기간 동안의 막여과저항을 예측한 결과와 실측된 데이터의 상관성을 나타낸 그래프로써, 실제 운전 경향을 잘 반영하여 예측하고 있는 것으로 나타났다.
- [0100] 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 막여과의 화학세정 제어의 효과를 나타낸 그래프로, 화학세정 제어를 미실시한 실시 예에 비하여 본 발명의 실시 예에 따르면, 막여과 운전주기가 2배 가까이 연장시킬 수 있는 것으로 나타났다.
- [0101] 본 발명은 다양한 종류의 막여과 규격, 예를 들어, 막공 크기에 따라 정밀여과(MF), 한외여과(UF), 나노여과(NF), 역삼투압(RO) 또는 막모듈 형태에 따라 가압식, 침지식 등에 통용될 수 있을 뿐만 아니라 이에 한정되어 해석되지 않으며, 설명의 이해를 돕기 위해 대표적인 정밀여과 또는 한외여과를 구체적으로 적용하여 설명하였다.
- [0102] 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시 예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경의 가능함은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.
- [0103] 삭제

부호의 설명

- [0104] 110: 데이터 수집부
- 120: 유전자 알고리즘/프로그래밍(GA/P) 결정부
- 121: GA/P 모델 입력부
- 122: 유전 조합 계산부
- 123: 모델 출력부
- 130: 제어부
- 131: 예측/ 평가부
- 132: 화학세정약품 농도 제어부
- 140: 제1 피드백부
- 141: 검증부

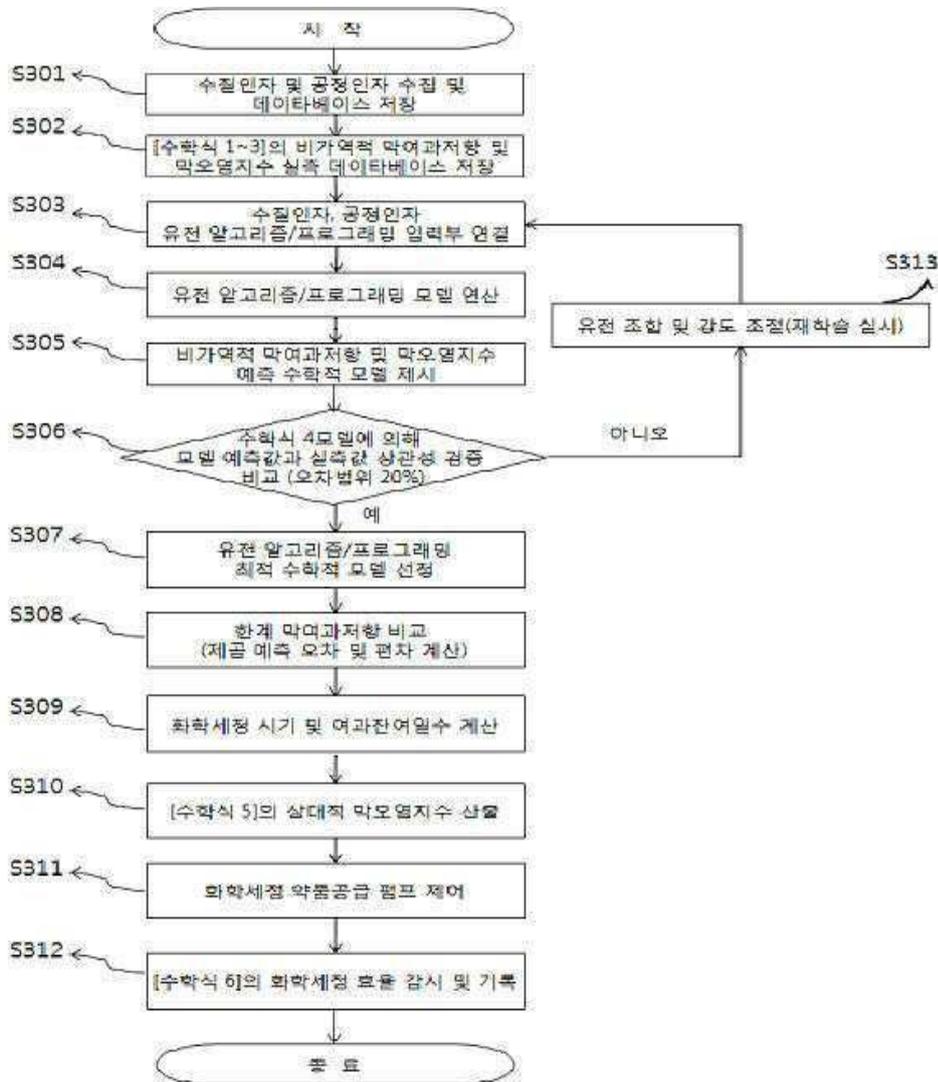
142: 피드백 제어부

150: 제2 피드백부

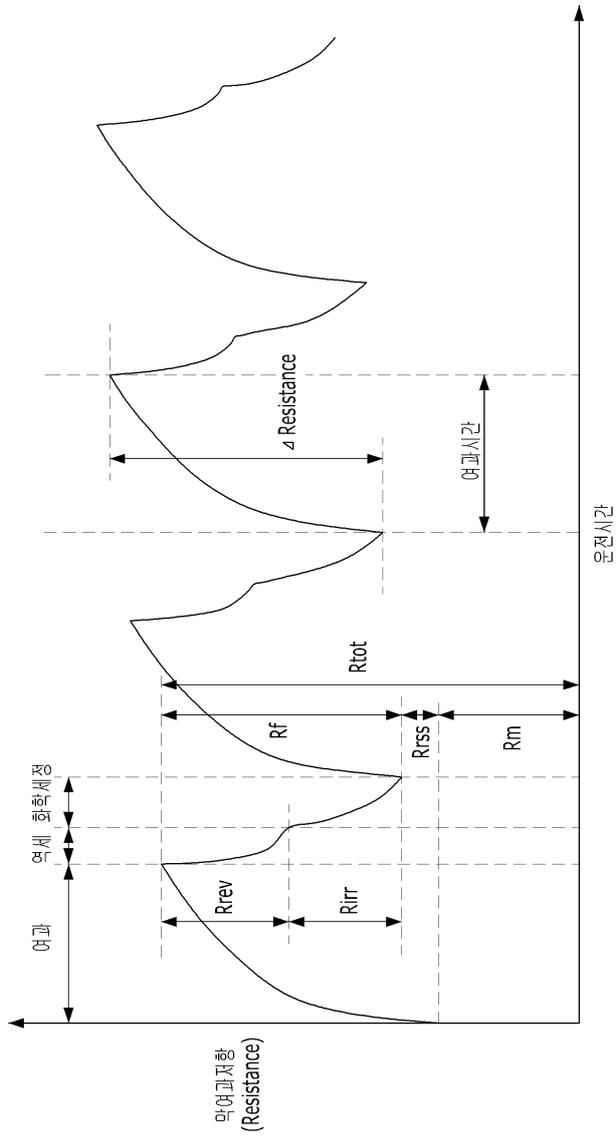
151: 상대적 막 오염지수 산출부

도면

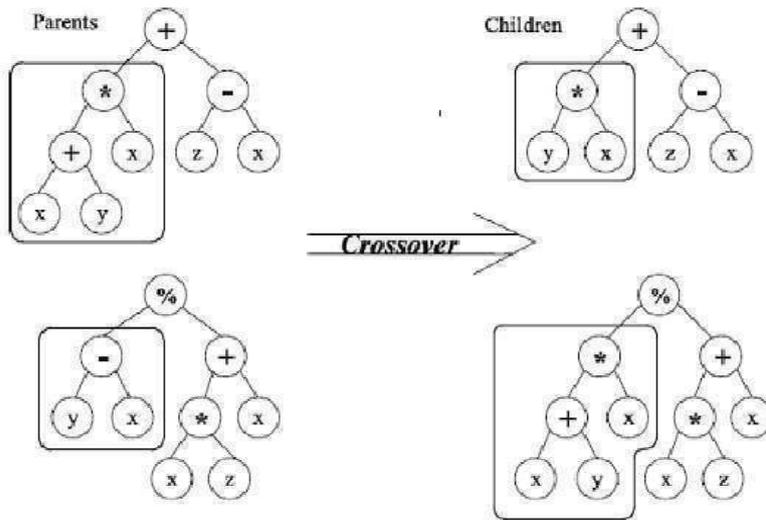
도면1



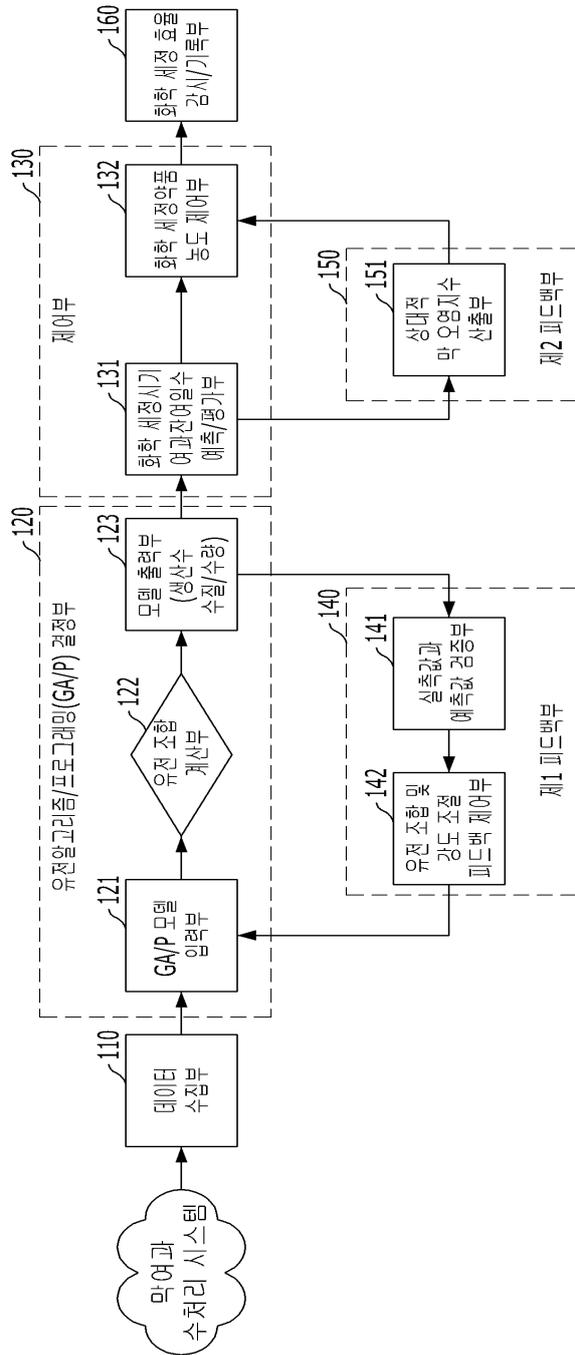
도면2



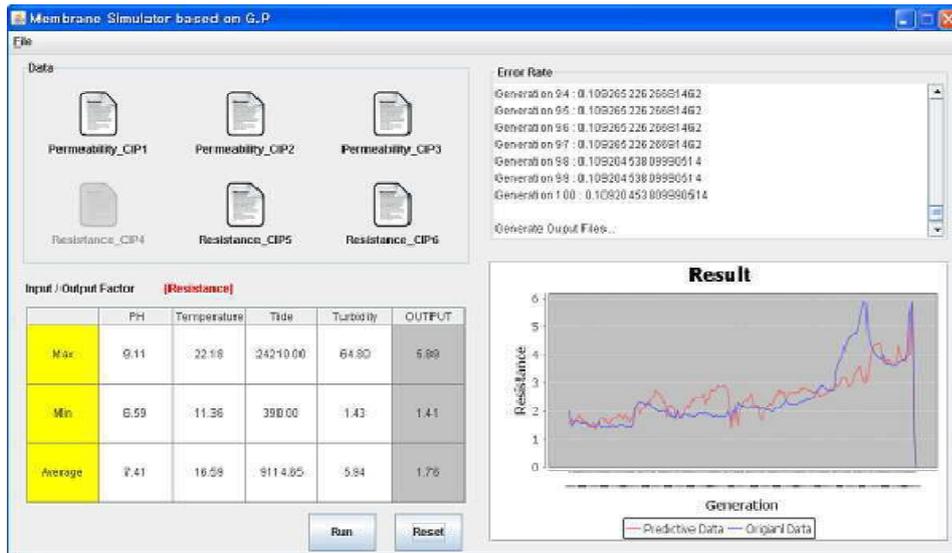
도면3



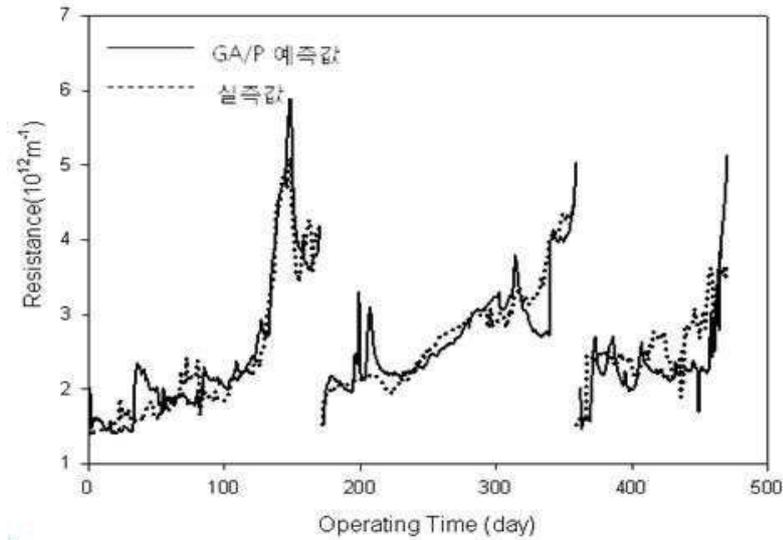
도면4



도면5



도면6



도면7

