



등록특허 10-2053738



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년12월09일
(11) 등록번호 10-2053738
(24) 등록일자 2019년12월03일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G16C 60/00 (2019.01) *A01G 31/02* (2019.01)
(52) CPC특허분류
G16C 60/00 (2019.02)
A01G 31/02 (2019.02)
(21) 출원번호 10-2019-0115737
(22) 출원일자 2019년09월20일
심사청구일자 2019년09월20일

- (56) 선행기술조사문헌
B. Ban, "Mathematical Model for Secondary Transport of Cations at the Root of Plants", Preprints 2019, doi: 10.20944/preprints201909.0219.v1, 2019.09.19.*
M. Fernandes, "Hydroponic Greenhouse Crop Optimization", 석사학위논문, Technico LISBOA, 2017.11.

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

전체 청구항 수 : 총 19 항

심사관 : 성경아

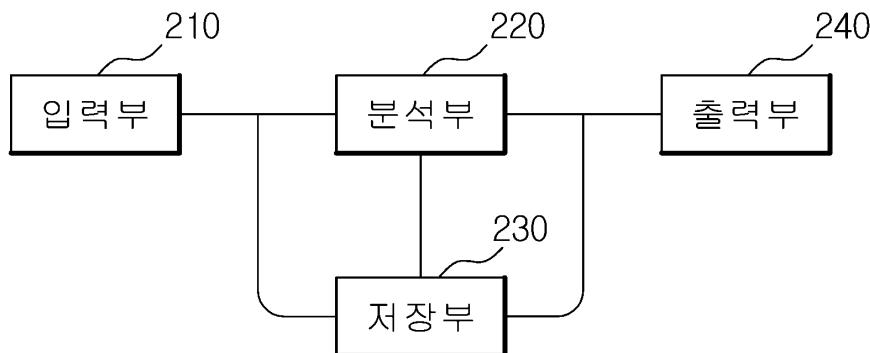
- (54) 발명의 명칭 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치 및 방법

(57) 요 약

본 발명은 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법에 관한 것으로, 수경재배 양액 분석 방법에 있어서, 상기 양액을 입력 받는 단계; 상기 입력 받은 양액을 바탕으로 상기 양액의 이온 조성물, 상기 이온 조성물 농도 및 상기 양액 중 필요한 화학물 양 중 적어도 어느 하나를 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 통해 분석하는 단계; 및 상기 분석한 결과를 출력하는 단계;를 포함한다.

대 표 도 - 도2

200



(52) CPC특허분류

G06F 17/13 (2013.01)

G06N 20/00 (2019.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1425134362

부처명 중소벤처기업부

연구관리전문기관 중소기업기술정보진흥원

연구사업명 창업성장기술개발(R&D)

연구과제명 농장 원격 자동 제어를 위한 클라우드 기반 대량 노드 데이터 스트림 처리 및 관리 인공지
능 개발과 실내형 식물공장에서의 실증

기여율 1/1

주관기관 농업회사법인 상상텃밭 주식회사

연구기간 2019.06.15 ~ 2020.06.14

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

수경재배 양액 분석 방법에 있어서,

상기 양액을 입력 받는 단계;

상기 입력 받은 양액을 바탕으로 상기 양액의 이온 조성물, 상기 이온 조성물 농도 및 상기 양액 중 필요한 화학물 양 중 적어도 어느 하나를 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 통해 분석하는 단계; 및

상기 분석한 결과를 출력하는 단계;를 포함하는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 네트워크 모델은,

입력노드가 상기 양액에 포함된 화학물질 또는 그 원료이고,

출력노드가 상기 양액 중 식물이 흡수하는 이온 조성물을 포함하며,

상기 입력노드 및 상기 출력노드에는 상기 양액 중 식물이 흡수하지 못하는 이온 조성물 및 침전물이 연결되어 있는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 입력노드는 UV 광을 더 포함하는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 상미분방정식은,

독립 변수가 시간이고, 반응 속도 계수를 포함하는 상기 양액의 화학 반응에 대한 방정식인 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 반응 속도 계수는 아래의 [수식1]로 유도된 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법.

[수식1]

$$K = k_f / k_b$$

(여기서, K는 평형 상수, k_f 및 k_b 는 상기 반응 속도 계수이다.)

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 네트워크 모델은 해리 상수를 이용해 상기 양액의 이온화 및 그 역반응 중 적어도 어느 하나를 분석하는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 네트워크 모델은 아래의 [수식2]로 상기 양액의 상기 이온 조성을 농도를 계산하는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법.

[수식2]

$$\frac{d[X_i](t)}{dt} = \sum_{j=1}^q \{ c k_j \prod [input to X_i](t-1) \}$$

(여기서, $[X_i]$ 는 상기 네트워크의 i번째 노드 변수의 농도, q는 $[X_i]$ 중첩 방정식의 총 항수, c는 X_i 수이다.)

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 네트워크 모델은 현재 상태 정보를 적용하여 다음 상태를 업데이트하는 것으로, 상기 업데이트는 아래의 [수식3]에 따른 경사 하강(gradient descent) 방법으로 수행되는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법.

[수식3]

$$[X_i](t) = [X_i](t-1) + \frac{d[X_i](t)}{dt} \Delta t$$

(여기서, $[X_i]$ 는 상기 네트워크의 i번째 노드 변수의 농도, Δt 는 시간 간격이다.)

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 업데이트는 아래의 [수식4]에 따른 동기식 업데이트 방법을 적용한 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법.

[수식4]

$$X(t) = X(t-1) + \frac{dX(t)}{dt} \Delta t$$

(여기서, X는 농도, Δt 는 시간 간격이다.)

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항의 방법을 프로세서가 수행하게 하는 명령어를 포함하는 컴퓨터 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능 기록매체.

청구항 11

수경재배 양액 분석하는 장치에 있어서,

상기 양액의 이온 조성물, 상기 이온 조성물 농도 및 상기 양액 중 필요한 화학물 양 중 적어도 어느 하나를 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 통해 분석하는 분석부; 및

상기 분석한 결과를 출력하는 출력부;를 포함하는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 네트워크 모델은,

입력노드가 상기 양액에 포함된 화학물질 또는 그 원료이고,

출력노드가 상기 양액 중 식물이 흡수하는 이온 조성물을 포함하며,

상기 입력노드 및 상기 출력노드에는 상기 양액 중 식물이 흡수하지 못하는 이온 조성물 및 침전물이 연결되어 있는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 입력노드는 UV 광을 더 포함하는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 상미분방정식은,

독립 변수가 시간이고, 반응 속도 계수를 포함하는 상기 양액의 화학 반응에 대한 방정식인 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 반응 속도 계수는 아래의 [수식5]로 유도된 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치.

[수식5]

$$K = k_f / k_b$$

(여기서, K는 평형 상수, k_f 및 k_b 는 상기 반응 속도 계수이다.)

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 네트워크 모델은 해리 상수를 이용해 상기 양액의 이온화 및 그 역반응 중 적어도 어느 하나를 분석하는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치.

청구항 17

제11항에 있어서,

상기 네트워크 모델은 아래의 [수식6]으로 상기 양액의 상기 이온 조성물 농도를 계산하는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치.

[수식6]

$$\frac{d[X_i](t)}{dt} = \sum_{j=1}^q \left\{ ck_j \prod [input to X_i](t-1) \right\}$$

(여기서, $[X_i]$ 는 상기 네트워크의 i번째 노드 변수의 농도, q는 $[X_i]$ 중첩 방정식의 총 항수, c는 X_i 수이다.)

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 네트워크 모델은 현재 상태 정보를 적용하여 다음 상태를 업데이트하는 것으로, 상기 업데이트는 아래의 [수식7]에 따른 경사 하강(gradient descent) 방법으로 수행되는 것

을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치.

[수식7]

$$[X_i](t) = [X_i](t-1) + \frac{d[X_i](t)}{dt} \Delta t$$

(여기서, $[X_i]$ 는 상기 네트워크의 i번째 노드 변수의 농도, Δt 는 시간 간격이다.)

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 업데이트는 아래의 [수식8]에 따른 동기식 업데이트 방법을 적용한 것
을 특징으로 하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치.

[수식8]

$$X(t) = X(t-1) + \frac{dX(t)}{dt} \Delta t$$

(여기서, X는 농도, Δt 는 시간 간격이다.)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 원예작물의 양액재배는 토양을 이용하지 않는 재배 방법으로 생육에 필요한 영양 성분(다량 및 미량원소)을 적절하게 흡수할 수 있도록 알맞은 조성과 농도로 조절된 배양액을 식물에 공급해주며 재배하는 방법이다.

[0005] 양액재배는 물만으로 재배하는 순수 수경 재배(水耕栽培)와 배지(인공토양)에 심어 재배하는 배지경 수경재배가 있으며, 배양액을 만들어 재배하기 때문에 양액 재배(Solution Culture)고도 한다.

[0007] 이러한 양액재배는 단기간에 많은 양의 작물을 수확할 수 있고 토양재배와 비교하여 자연환경의 지배를 덜 받기 때문에 농경이 불가능한 곳에서도 원예작물이 재배를 가능하게 한다. 그러나 이 양액재배는 많은 자본이 필요하고, 양액이 작황에 지배적인 영향을 가져오므로 상기 양액에 대한 세심한 관리가 요구된다.

[0009] 양액재배는 양액의 재활용 여부에 따라 개방 시스템과 폐쇄 시스템으로 구분되는데, 개방 시스템은 일정시간 사용한 양액을 다시 재사용하지 않고 배출하는 방식으로 배출양액의 잔여 비료성분으로 인하여 환경오염 및 비료의 불필요한 과다사용으로 인한 문제점이 있다.

[0011] 반면 폐쇄 시스템은 양액 이용율의 극대화 및 환경문제 해결을 위하여 많은 관심을 받고 있으나, 양액을 재활용하므로 식물이 영양분을 흡수하는 과정에서 양액 내의 이온 조성이 변하게 되기 때문에 양액의 이온 조성물 농도 측정이 중요하나 양액의 이온별 조성물 농도 측정이 어려워 널리 실용화되지 못하고 있다.

[0013] 종래 학계와 현재 산업계는 양액의 전기전도도(Electric conductivity:EC)를 측정한 뒤 기준 농도에 맞도록 농축배양액을 첨가하여 전체적인 배양액의 농도를 보정해주는 방식을 채택하고 있으나, 양액내의 이온간 불균형상태를 완전히 해소할 수 없는 문제점이 있다.

[0015] 이런 문제점을 해결하기 위해 이온 선택성 전극(Ion Selective Electrod)인 ISE 센서를 이용하여 양액 속에서 특정한 이온 조성을 농도만을 측정하는 방식이 제시되기 시작했으며, 이런 종래기술로는 한국등록특허 제10-0814680호가 있다.

[0017] 그러나 종래기술은 ISE 센서가 반투과성 막을 통과하는 이온의 흐름으로 인해 형성되는 전압(Nernst Potential)을 측정하기 때문에, 여러 이온이 녹아 있는 경우 측정 대상이 아닌 이온이 막을 투과하며 전압을 교란시켜 센서의 값이 왜곡되어 출력되는 문제점이 있다.

[0019] 이런 문제점은 도 1의 종래기술에 따른 이온 조성물 농도에 대한 이론값과 측정값의 비교 그래프를 통해 확인할 수 있다.

[0021] 도 1을 참조하면, 이온 조성물 농도에 대한 이론값(110)과 측정값(120)의 비교하면, 농도가 높아 질수록 측정값(120)이 이론값(110)과 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다.

[0023] 또한, 종래기술은 양액 중 식물이 흡수하지 않는 이온 및 침전물에 대한 화학반응을 고려하지 않는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0025] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, 양액의 이온별 조성물 농도를 정확하게 분석할 수 있는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치 및 방법을 제공하는 데 있다.

[0027] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는, 양액 중 식물이 흡수하지 않는 이온 및 침전물에 대한 화학반응을 고려하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치 및 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0029] 상기와 같은 기술적 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 바람직한 일 측면에 따르면, 수경재배 양액 분석 방법에 있어서, 상기 양액을 입력 받는 단계; 상기 입력 받은 양액을 바탕으로 상기 양액의 이온 조성물, 상기 이온 조성물 농도 및 상기 양액 중 필요한 화학물 양 중 적어도 어느 하나를 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 통해 분석하는 단계; 및 상기 분석한 결과를 출력하는 단계;를 포함하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법을 제공한다.

[0031] 여기서, 상기 네트워크 모델은, 입력노드가 상기 양액에 포함된 화학물질 또는 그 원료이고, 출력노드가 상기 양액 중 식물이 흡수하는 이온 조성물을 포함하며, 상기 입력노드 및 상기 출력노드에는 상기 양액 중 식물이 흡수하지 못하는 이온 조성물 및 침전물이 연결되어 있을 수 있다.

[0033] 여기서, 상기 입력노드는 UV 광을 더 포함할 수 있다.

[0035] 여기서, 상기 상미분방정식은, 독립 변수가 시간이고, 반응 속도 계수를 포함하는 상기 양액의 화학 반응에 대한 방정식일 수 있다.

[0037] 여기서, 상기 반응 속도 계수는 아래의 [수식1]로 유도될 수 있다.

[0038] [수식1]

$$K = k_f / k_b$$

[0040] (여기서, K는 평형 상수, k_f 및 k_b 는 상기 반응 속도 계수이다.)

[0042] 여기서, 상기 네트워크 모델은 해리 상수를 이용해 상기 양액의 이온화 및 그 역반응 중 적어도 어느 하나를 분석할 수 있다.

[0044] 여기서, 상기 네트워크 모델은 아래의 [수식2]로 상기 양액의 상기 이온 조성물 농도를 계산할 수 있다.

[0045] [수식2]

$$\frac{d[X_i](t)}{dt} = \sum_{j=1}^q \{ c k_j \prod [input\ to\ X_i](t-1) \}$$

[0046]

[0047] (여기서, $[X_i]$ 는 상기 네트워크의 i번째 노드 변수의 농도, q는 $[X_i]$ 중첩 방정식의 총 항수, c는 X_i 수이다.)

[0049] 여기서, 상기 네트워크 모델은 현재 상태 정보를 적용하여 다음 상태를 업데이트하는 것으로, 상기 업데이트는 아래의 [수식3]에 따른 경사 하강(gradient descent) 방법으로 수행될 수 있다.

[0050]

[수식3]

$$[X_i](t) = [X_i](t-1) + \frac{d[X_i](t)}{dt} \Delta t$$

[0051]

[0052] (여기서, $[X_i]$ 는 상기 네트워크의 i번째 노드 변수의 농도, Δt 는 시간 간격이다.)

[0054]

여기서, 상기 업데이트는 아래의 [수식4]에 따른 동기식 업데이트 방법을 적용할 수 있다.

[0055]

[수식4]

$$X(t) = X(t-1) + \frac{dX(t)}{dt} \Delta t$$

[0056]

[0057] (여기서, X는 농도, Δt 는 시간 간격이다.)

[0059]

본 발명의 바람직한 다른 측면에 따르면, 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법을 프로세서가 수행하게 하는 명령어를 포함하는 컴퓨터 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능 기록매체를 제공한다.

[0061]

본 발명의 바람직한 또 다른 측면에 따르면, 수경재배 양액 분석하는 장치에 있어서, 상기 양액의 이온 조성물, 상기 이온 조성물 농도 및 상기 양액 중 필요한 화학물 양 중 적어도 어느 하나를 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 통해 분석하는 분석부; 및 상기 분석한 결과를 출력하는 출력부;를 포함하는 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치를 제공한다.

[0063]

여기서, 상기 네트워크 모델은, 입력노드가 상기 양액에 포함된 화학물질 또는 그 원료이고, 출력노드가 상기 양액 중 식물이 흡수하는 이온 조성물을 포함하며, 상기 입력노드 및 상기 출력노드에는 상기 양액 중 식물이 흡수하지 못하는 이온 조성물 및 침전물이 연결되어 있을 수 있다.

[0065]

여기서, 상기 입력노드는 UV 광을 더 포함할 수 있다.

[0067]

여기서, 상기 상미분방정식은, 독립 변수가 시간이고, 반응 속도 계수를 포함하는 상기 양액의 화학 반응에 대한 방정식일 수 있다.

[0069]

여기서, 상기 반응 속도 계수는 아래의 [수식5]로 유도될 수 있다.

[0070]

[수식5]

$$K = k_f / k_b$$

[0072]

(여기서, K는 평형 상수, k_f 및 k_b 는 상기 반응 속도 계수이다.)

[0074]

여기서, 상기 네트워크 모델은 해리 상수를 이용해 상기 양액의 이온화 및 그 역반응 중 적어도 어느 하나를 분석할 수 있다.

[0076]

여기서, 상기 네트워크 모델은 아래의 [수식6]로 상기 양액의 상기 이온 조성물 농도를 계산할 수 있다.

[0077] [수식6]

$$\frac{d[X_i](t)}{dt} = \sum_{j=1}^q \{ c k_j \prod [input to X_i](t-1) \}$$

[0078]

(여기서, $[X_i]$ 는 상기 네트워크의 i번째 노드 변수의 농도, q는 $[X_i]$ 중첩 방정식의 총 항수, c는 X_i 수이다.)

[0081] 여기서, 상기 네트워크 모델은 현재 상태 정보를 적용하여 다음 상태를 업데이트하는 것으로, 상기 업데이트는 아래의 [수식7]에 따른 경사 하강(gradient descent) 방법으로 수행될 수 있다.

[0082] [수식7]

$$[X_i](t) = [X_i](t-1) + \frac{d[X_i](t)}{dt} \Delta t$$

[0083]

(여기서, $[X_i]$ 는 상기 네트워크의 i번째 노드 변수의 농도, Δt 는 시간 간격이다.)

[0086] 여기서, 상기 업데이트는 아래의 [수식8]에 따른 동기식 업데이트 방법을 적용할 수 있다.

[0087] [수식8]

$$X(t) = X(t-1) + \frac{dX(t)}{dt} \Delta t$$

[0088]

(여기서, X는 농도, Δt 는 시간 간격이다.)

발명의 효과

[0091] 본 발명은 양액의 이온별 조성물 농도를 정확하게 분석할 수 있어 수경재배 폐쇄 시스템에 활용할 수 있는 효과가 있다.

[0093] 또한, 본 발명은 양액 중 식물이 흡수하지 않는 이온 및 침전물에 대한 화학반응을 고려하기 때문에 수경재배 폐쇄 시스템을 정확하게 진단할 수 있고 제어효율을 증대시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0095] 도 1은 종래기술에 따른 양액의 이온 조성물 농도에 대한 이론값과 측정값을 비교한 그래프이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치의 구성도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 분석부의 네트워크 모델 구성도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치를 통해 분석한 양액의 이온 조성물 농도 값 표이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0096] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0098] 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 해당 구성요소들은 이와 같은 용어들에 의해 한정되지는 않는다. 이 용어들은 하나의 구성요소들을 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0100] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '연결되어' 있다거나, 또는 '접속되어' 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '직접 연결되어' 있다거나, '직접 접속되어' 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0102] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, '포함한다' 또는 '가지다' 등의 용어는 명세서상에 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.

[0104] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치의 구성도이다.

[0106] 도 2를 참조하면, 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치(200)는 입력부(210), 분석부(220), 저장부(230) 및 출력부(240)를 포함한다.

[0108] 입력부(210)는 양액을 입력 받는다. 여기서, 입력부(210)는 ISE 센서 또는 EC 센서 등과 같은 센서로 센서를 통해 양액에서 측정한 신호를 입력받을 수 있거나, 사용자가 직접 양액에 포함된 화학물질 및 그 원료 등의 입력값을 입력 할 수 있는 키보드 등과 같은 입력장치일 수 있다.

[0110] 분석부(220)는 입력부(210)와 유무선으로 연결되어 있으며, 입력부(210)를 통해 양액을 입력 받아 입력 받은 양액의 이온 조성물, 이온 조성물 농도 및 양액 중 필요한 화학물 양 중 적어도 어느 하나를 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 통해 분석한다. 여기서, 분석부(220)는 저장부(230)에 저장된 상미분방정식, 반응 속도 계수 및 해리 상수 중 적어도 어느 하나를 바탕으로 반응 속도 계수 및 해리 상수 중 적어도 어느 하나를 구하거나, 저장부(230)에 저장된 반응 속도 계수 및 해리 상수 중 적어도 어느 하나를 제공 받을 수 있다.

[0112] 독립 변수가 시간이고, 반응 속도 계수를 포함하는 양액의 화학 반응에 대한 상미분방정식은 아래의 [수학식1]과 같이 표현된다.

[0113] [수학식1]

$$\frac{d[CaSO_4]}{dt} = k_f[Ca][SO_4] - k_b[CaSO_4]$$

[0115] (여기서, k_f 및 k_b 는 반응 속도 계수이다.)

[0117] 반응 속도 계수는 아래의 [수학식2]로 유도된다.

[0118] [수학식2]

$$K = k_f / k_b$$

[0120] (여기서, K는 평형 상수, k_f 및 k_b 는 반응 속도 계수이다.)

[0122] 평형 상수는 수렴 상태에 것으로 만일 k_f 및 k_b 의 값을 K로 조정하면서 k_f 및 k_b 의 값을 조작하면 시간 간격이 너무 크지 않으면 반응은 같은 상태로 수렴되므로, 분석부(220)는 [수학식2] 바탕으로 양액의 화학 반응에 대한 각 상미분방정식의 반응 속도 계수를 구할 있다.

[0124] 해리 상수는 양액의 이온화 및 그 역반응 중 적어도 어느 하나의 분석에 필요한 것으로, 아래의 [수학식3]로 표현된다.

[0125] [수학식3]

$$[0126] K_d = \frac{[X]^a[Y]^b}{X_a Y_b}$$

[0127] (여기서, K_d 는 해리 상수로 산 해리 상수 K_a 의 이론적 값으로 얻어지며, $[X]$, $[Y]$, XY 는 각 물질의 농도이다.)

[0129] 용해도 곱 해리 상수인 K_{sp} 는 아래의 [수학식4]로 표현된다.

[0130] [수학식4]

$$[0131] K_{sp} = [X_{(aq)}]^a [Y_{(aq)}]^b$$

[0132] (여기서, K_{sp} 는 용해도 곱 해리 상수로 용해도로 얻어진다.)

[0134] 이에 분석부(220)는 [수학식3] 및 [수학식4]를 이용하여 네트워크 모델을 통해 해리 상수 및 용해도 곱 해리 상수를 구할 수 있다.

[0136] 저장부(230)는 분석부(220)가 양액의 이온 조성물, 이온 조성물 농도 및 양액 중 필요한 화학물 양 중 적어도 어느 하나를 분석하는데 필요한, 독립 변수가 시간이고, 반응 속도 계수를 포함하는 양액의 화학 반응에 대한 상미분방정식, 반응 속도 계수, 양액의 이온화 및 그 역반응 중 적어도 어느 하나의 분석에 필요한 해리 상수를 저장하고 있다. 여기서, 양액의 화학 반응에 대한 상미분방정식, 반응 속도 계수, 해리 상수는 사용자로부터 입력받거나 분석부(220)가 구한 값을 제공 받아 저장할 수 있다.

[0138] 출력부(240)는 분석부(220)와 유무선으로 연결되어 있으며, 분석부(220)가 분석한 값을 출력한다.

[0140] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 분석부의 네트워크 모델 구성도이다. 여기서, 분석부(220)의 네트워크 모델(300)은 상추용 야마자키 양액을 입력 받았을 때이다.

[0142] 도 3을 참조하면, 네트워크 모델(300)은 상미분방정식으로 양액의 화학 반응에 대하여 모델링된 것으로, 입력노드(310), 출력노드(320), 물(330), 식물에 흡수되지 않은 이온(340) 및 침전물(350)을 포함한다.

[0144] 입력노드(310)는 입력부(110)를 통해 입력되는 양액에 포함된 화학물질 또는 그 원료이다. 여기서, 입력노드(310)는 물, 수소 이온, 수산화 이온, pH 조정을 위한 질산 및 Fe-EDTA 이온을 분해하는 UV 광을 더 포함 할 수 있다.

[0146] 출력노드(320)는 양액 중 식물이 흡수하는 이온 조성물을 포함한다.

[0148] 물(330)은 입력노드(310), 출력노드(320) 및 식물에 흡수되지 않은 이온(340)과 연결되어 있으며, 식물에 공급되는 물이다.

[0150] 식물에 흡수되지 않은 이온(340)은 입력노드(310), 출력노드(320), 물(330) 및 침전물(340)과 연결되어 있으며, 양액 중 식물에 흡수되지 않는 이온이다.

[0152] 침전물(350)은 입력노드(310), 출력노드(320) 및 식물에 흡수되지 않은 이온(340)과 연결되어 있으며, 양액의 이온간의 반응에 의해 생성되는 침전물이다.

[0154] 여기서, 식물에 흡수되지 않은 이온(340) 및 침전물(350) 중 적어도 어느 하나는 출력노드(320)에 포함 될 수도 있다.

[0156] 네트워크 모델(300)은 입력부(210)를 통해 상추용 야마자키 양액을 입력 받은 후, 저장부(330)에 저장 된 상추용 야마자키 양액의 화학 반응에 대한 상미분방정식을 제공 받아 입력노드(310), 출력노드(320), 물(330), 식물에 흡수되지 않은 이온(340) 및 침전물(350)에 상응하는 값을 반영한다.

[0158] 여기서, 저장부(330)에 저장된 상추용 야마자키 양액의 화학 반응에 대한 상미분방정식은 아래의 [상추용 야마자키 양액 상미분방정식]과 같다.

[0160] [상추용 야마자키 양액 상미분방정식]

$$\frac{dH_2O}{dt} = -k_0[H_2O] + k_1[H^+][OH^-]$$

$$\frac{dH^+}{dt} = k_0[H_2O] - k_1[H^+][OH^-]$$

$$\frac{dOH^-}{dt} = k_0[H_2O] - k_1[H^+][OH^-]$$

$$\frac{dKNO_3}{dt} = -k_2[KNO_3] + k_3[K^+][NO_3^-]$$

$$\frac{dK^+}{dt} = k_2[KNO_3] - k_3[K^+][NO_3^-]$$

$$\frac{dNO_3^-}{dt} = k_2[KNO_3] - k_3[K^+][NO_3^-]$$

$$\frac{dCa(NO_3)_2}{dt} = -k_4[Ca(NO_3)_2] + k_5[Ca^{2+}][NO_3^-]^2$$

$$\frac{dCa^{2+}}{dt} = k_4[Ca(NO_3)_2] - k_5[Ca^{2+}][NO_3^-]^2$$

$$\frac{dNO_3^-}{dt} = 2k_4[Ca(NO_3)_2] - k_5[Ca^{2+}][NO_3^-]^2$$

$$\frac{dNH_4H_2PO_4}{dt} = -k_6[NH_4H_2PO_4] + k_7[NH_4^+][H_2PO_4^-]$$

$$\frac{dNH_4^+}{dt} = k_6[NH_4H_2PO_4] - k_7[NH_4^+][H_2PO_4^-]$$

$$\frac{dH_2PO_4^-}{dt} = k_6[NH_4H_2PO_4] - k_7[NH_4^+][H_2PO_4^-]$$

$$\frac{dH_3PO_4}{dt} = -k_8[H_3PO_4] + k_9[H^+][H_2PO_4^-]$$

$$\frac{dH^+}{dt} = k_8[H_3PO_4] - k_9[H^+][H_2PO_4^-]$$

$$\frac{dH_2PO_4^-}{dt} = k_8[H_3PO_4] - k_9[H^+][H_2PO_4^-]$$

$$\frac{dH_2PO_4^-}{dt} = -k_{10}[H_2PO_4^-] + k_{11}[H^+][HPO_4^{2-}]$$

$$\frac{dH^+}{dt} = k_{10}[H_2PO_4^-] - k_{11}[H^+][HPO_4^{2-}]$$

$$\frac{dHPO_4^{2-}}{dt} = k_{10}[H_2PO_4^-] - k_{11}[H^+][HPO_4^{2-}]$$

$$\frac{dHPO_4^{2-}}{dt} = -k_{12}[HPO_4^{2-}] + k_{13}[H^+][PO_4^{3-}]$$

$$\frac{dH^+}{dt} = k_{12}[HPO_4^{2-}] - k_{13}[H^+][PO_4^{3-}]$$

$$\frac{dPO_4^{3-}}{dt} = k_{12}[HPO_4^{2-}] - k_{13}[H^+][PO_4^{3-}]$$

$$\frac{dCa^{2+}}{dt} = k_{14}[CaHPO_4] - k_{15}[Ca^{2+}][HPO_4^{2-}]$$

$$\frac{dHPO_4^{2-}}{dt} = k_{14}[CaHPO_4] - k_{15}[Ca^{2+}][HPO_4^{2-}]$$

[0163]

$$\frac{dCaHPO_4}{dt} = -k_{14}[CaHPO_4] + k_{15}[Ca^{2+}][HPO_4^{2-}]$$

$$\frac{dCa^{2+}}{dt} = 3k_{16}[Ca_3(PO_4)_2] - k_{17}[Ca^{2+}]^3[PO_4^{3-}]^2$$

$$\frac{dHPO_4^{2-}}{dt} = 2k_{16}[Ca_3(PO_4)_2] - k_{17}[Ca^{2+}]^3[PO_4^{3-}]^2$$

$$\frac{dCa(PO_4)_2}{dt} = -k_{16}[Ca_3(PO_4)_2] + k_{17}[Ca^{2+}]^3[PO_4^{3-}]^2$$

$$\frac{dCa^{2+}}{dt} = k_{18}[Ca(H_2PO_4)_2] - k_{19}[Ca^{2+}][H_2PO_4^-]^2$$

$$\frac{dH_2PO_4^-}{dt} = 2k_{18}[Ca(H_2PO_4)_2] - k_{19}[Ca^{2+}][H_2PO_4^-]^2$$

$$\frac{dCa(H_2PO_4)_2}{dt} = -k_{18}[Ca(H_2PO_4)_2] + k_{19}[Ca^{2+}][H_2PO_4^-]^2$$

[0164]

[0166] 네트워크 모델(300)은 도 2에서 설명한 [수학식2]를 이용하여 반응 속도 계수를 구할 수 있는데, 상추용 야마자키 양액의 반응 속도 계수는 아래의 [표1]의 상추용 야마자키 양액 반응 속도 계수와 같다.

표 1

[0168]

상추용 야마자키 양액 반응 속도 계수

반응 속도 계수	값	반응 속도 계수	값
k_0	$1e-20$	k_1	$1e-6$
k_2	976.8870716	k_3	0
k_4	161.1897361	k_5	0
k_6	105.7203812	k_7	0
k_8	0.725	k_9	100
k_{10}	$6.31e-6$	k_{11}	100
k_{12}	$3.98e-13$	k_{13}	100
k_{14}	$1e-5$	k_{15}	100
k_{16}	$1.2e-16$	k_{17}	100
k_{18}	0.591361	k_{19}	100

[0170]

[0172] 네트워크 모델(300)은 반영된 값들을 바탕으로 [수학식5]를 이용해 양액의 이온 조성물 농도를 계산한다.

[수학식5]

$$\frac{d[X_i](t)}{dt} = \sum_{j=1}^q \{ ck_j \prod [input\ to\ X_i](t-1) \}$$

[0173]

[0174] (여기서, $[X_i]$ 는 네트워크의 i번째 노드 변수의 농도, q는 $[X_i]$ 중첩 방정식의 총 항수, c는 X_i 수이다.)

[0176]

또한, 네트워크 모델(300)은 현재 상태 정보를 적용하여 다음 상태를 업데이트해 시간에 따른 양액의 이온 조성을 농도를 분석하며, 업데이트는 [수학식6]에 따른 경사 하강(gradient descent) 방법으로 수행한다.

[0178]

[수학식6]

$$[X_i](t) = [X_i](t-1) + \frac{d[X_i](t)}{dt} \Delta t$$

[0179]

[0180] (여기서, $[X_i]$ 는 네트워크의 i번째 노드 변수의 농도, Δt 는 시간 간격이다.)

[0182]

또한, 네트워크 모델(300)은 업데이트를 [수학식7]에 따른 동기식 업데이트 방법을 적용해 수행할 수 있다.

[0184]

[수학식7]

$$X(t) = X(t-1) + \frac{dX(t)}{dt} \Delta t$$

[0185]

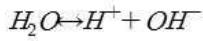
[0186] (여기서, X는 농도, Δt 는 시간 간격이다.)

[0188]

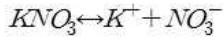
또한, 네트워크 모델(300)은 도 2에서 설명한 [수학식3] 및 [수학식4]를 이용하여 해리 상수 및 용해도 곱 해리 상수를 구할 수 있는데, 상추용 야마자키 양액의 해리 상수 및 용해도 곱 해리 상수는 아래의 [상추용 야마자키 양액 해리 상수 및 용해도 곱 해리 상수]와 같다.

[0190]

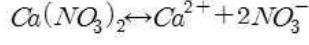
[상추용 야마자키 양액 해리 상수 및 용해도 곱 해리 상수]



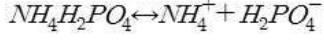
$$K_d = K_a = [OH^-]^2 = (10^{-7})^2 = 10^{-14} at PH\bar{7}$$



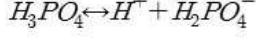
$$K_{sp} = [K^+][NO_3^-] = (3.77685133)^2 [24] = 14.26460597$$



$$K_{sp} = [Ca^{2+}][No_3^-]^2 = 8.7495048(2 \times 8.7495048)^2 [24] = 2679.232594$$

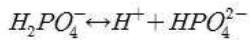


$$K_{sp} = [NH_4^+][H_2PO_4^-] = (3.5017430)^2 [24] = 12.262204$$

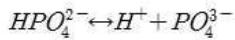


$$K_d = K_a = 0.00707946 [25]$$

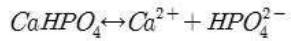
[0191]



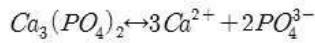
$$K_d = K_a = 8.1283e - 08 [25]$$



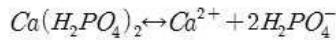
$$K_d = K_a = 4.7863e - 13 [25]$$



$$K_{sp} = [Ca^{2+}][HPO_4^{2-}] = (0.0014655)^2 [24] = 2.14787e - 6$$



$$K_{sp} = [Ca^{2+}]^3[PO_4^{3-}]^2 = (2 \times 3.857e - 6)^2 (3 \times 3.857e - 6)^3 [24] = 9.22e - 26$$



$$K_{sp} = [Ca^{2+}][H_2PO_4^-]^2 = (0.0769)(2 \times 0.0769)^2 [26] = 0.00591361$$

[0192]

[0194] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치를 통해 분석한 양액의 이온 조성물 농도 값 표이다. 여기서, 분석한 양액의 이온 농도는 ISE 센서로 측정할 수 없는 이온을 제외한 0.4M의 KNO_3 , 0.1M의 $Ca(NO_3)_2$ 및 0.05M의 $NH_4H_2PO_4$ 로 이루어진 상추용 야마자키 양액의 100배 농축된 것을 1L 물에 총 10단계에 걸쳐 첨가해 각각의 첨가 단계에서 이온 조성물 농도를 분석한 것이다.

[0196]

도 4를 참조하면, 이론값(411, 412, 413, 414)은 상추용 야마자키 양액의 이론적 이온 조성물 농도이며, 분석값(421, 422, 423, 424)은 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치를 통해 분석한 상추용 야마자키 양액의 이온 조성물 농도 값, 측정값(431, 432, 433, 434)은 종래 방법인 ISE 센서를 통해 측정한 상추용 야마자키 양액의 이온 조성물 농도 값이다.

[0198]

[0198] 여기서, 측정값(431, 432, 433, 434)은 Vernier의 Go Direct® ISE 시리즈, GDX- NO_3 , GDX- NH_4 , GDX-CA, GDX-K를 이용했으며, 분석값(421, 422, 423, 424)은 저장부(220)에 저장된 [상추용 야마자키 양액 상미분방정식], 저장부(220)에 저장되어 있거나 분석부(220)가 네트워크 모델(300)로 분석한 [표1]의 상추용 야마자키 양액 반응 속도 계수 및 [상추용 야마자키 양액 해리 상수 및 용해도 곱 해리 상수]를 사용했으며, H_2O , H^+ , OH^- 를 제외한 다른 모든 요소의 초기 값을 0으로, 시간에 따른 업데이트를 위해 dt 는 $1e-8$ 초로 설정했다.

[0200]

다시 도 4로 돌아와 살펴보면, 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치(200)를 통해 분석한 상추용 야마자키 양액의 이온 조성물 K , Ca , NO_3 , NH_4 의 농도 값인 분석값(421, 422, 423, 424)은 이론값(411, 412, 413, 414)과 오차 없이 동일하지만, 종래 방법인 ISE 센서를 통해 측정한 측정값(431, 432, 433, 434)은 이론 값과 단계가 진행될수록 오차가 커지는 것을 확인할 수 있다.

[0202]

상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 장치(200)는 이론값(411, 412, 413, 414)과 오차 없이 양액의 이온 조성물 농도를 분석할 수 있고, 이를 바탕으로 분석부(220)가 양액에서 필요한 화학물양을 분석할 있어 수경재배 시스템 등과 같은 곳에 활용할 수 있다.

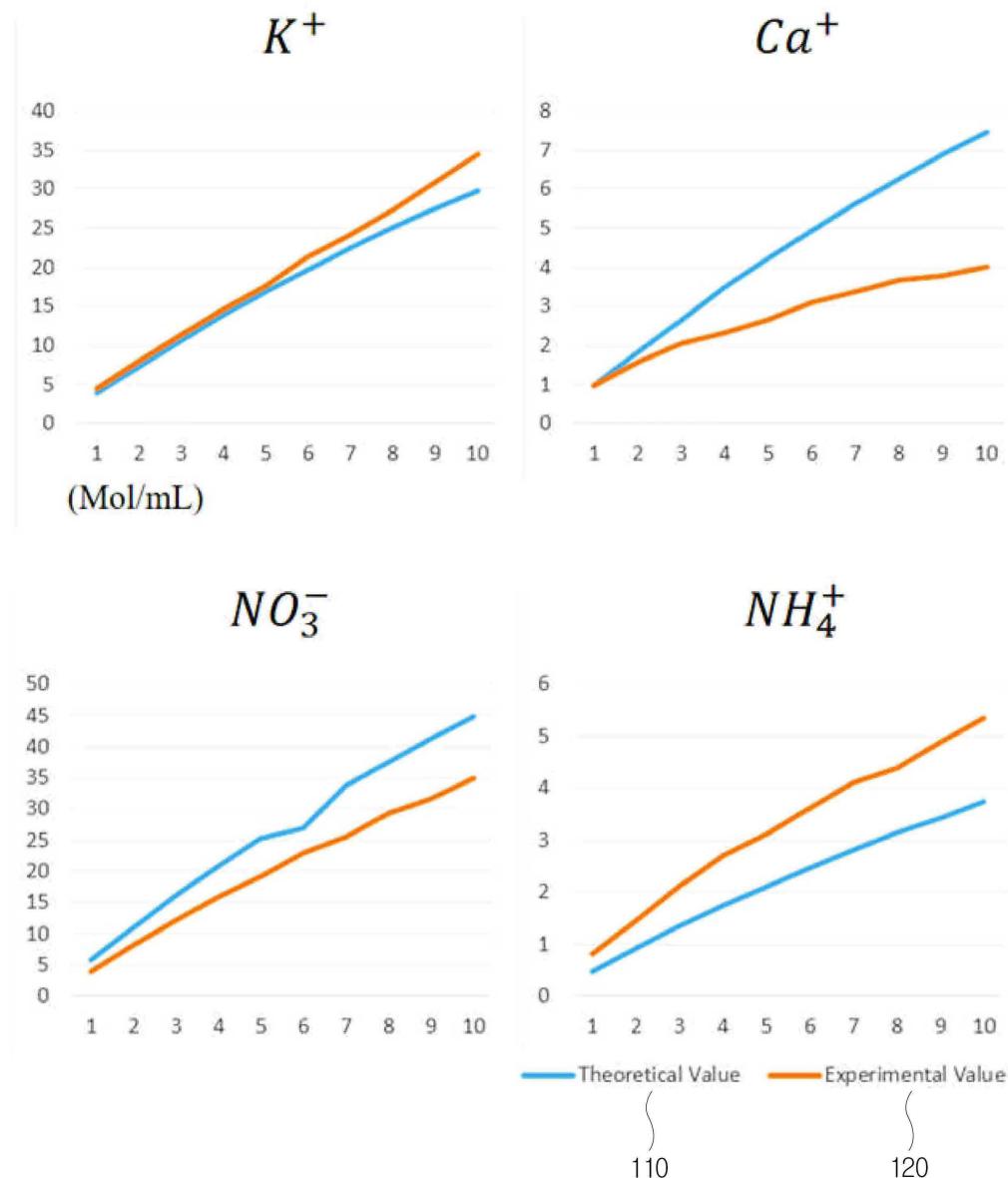
- [0204] 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 이용한 수경재배 양액 분석 방법의 순서도이다.
- [0206] 도 5를 참조하면, S510단계에서는 입력부(210)를 통해 양액을 입력 받는다.
- [0208] S520단계에서는 분석부(220)가 입력부(210)를 통해 입력 받은 양액을 바탕으로 양액의 이온 조성물, 이온 조성물 농도 및 양액 중 필요한 화학물 양 중 적어도 어느 하나를 상미분방적식으로 모델링된 네트워크 모델을 통해 분석한다.
- [0210] S530단계에서는 출력부(240)가 분석부(230)가 분석한 결과를 출력한다.
- [0212] 상술한 본 발명의 실시 예들은 다양한 수단을 통해 구현될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 실시 예들은 하드웨어, 펌웨어(firmware), 소프트웨어 또는 그것들의 결합 등에 의해 구현될 수 있다.
- [0214] 하드웨어에 의한 구현의 경우, 본 발명의 실시 예들에 따른 방법은 하나 또는 그 이상의 ASICs(Application Specific Integrated Circuits), DSPs(Digital Signal Processors), DSPDs(Digital Signal Processing Devices), PLDs(Programmable Logic Devices), FPGAs(Field Programmable Gate Arrays), 프로세서, 컨트롤러, 마이크로 컨트롤러, 마이크로 프로세서 등에 의해 구현될 수 있다.
- [0216] 펌웨어나 소프트웨어에 의한 구현의 경우, 본 발명의 실시 예들에 따른 방법은 이상에서 설명된 기능 또는 동작들을 수행하는 모듈, 절차 또는 함수 등의 형태로 구현될 수 있다. 소프트웨어 코드 등이 기록된 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터 판독 가능 기록 매체 또는 메모리 유닛에 저장되어 프로세서에 의해 구동될 수 있다. 메모리 유닛은 프로세서 내부 또는 외부에 위치하여, 이미 공지된 다양한 수단에 의해 프로세서와 데이터를 주고 받을 수 있다.
- [0218] 또한, 본 발명에 첨부된 볼록도의 각 블록과 흐름도의 각 단계의 조합들은 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들에 의해 수행될 수도 있다. 이를 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 범용 컴퓨터, 특수용 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 인코딩 프로세서에 탑재될 수 있으므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비의 인코딩 프로세서를 통해 수행되는 그 인스트럭션들이 볼록도의 각 블록 또는 흐름도의 각 단계에서 설명된 기능들을 수행하는 수단을 생성하게 된다. 이를 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 특정 방법으로 기능을 구현하기 위해 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 지향할 수 있는 컴퓨터 이용 가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장되는 것도 가능하므로, 그 컴퓨터 이용 가능 또는 컴퓨터 판독 가능 메모리에 저장된 인스트럭션들은 볼록도의 각 블록 또는 흐름도 각 단계에서 설명된 기능을 수행하는 인스트럭션 수단을 내포하는 제조 품목을 생산하는 것도 가능하다. 컴퓨터 프로그램 인스트럭션들은 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에 탑재되는 것도 가능하므로, 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비 상에서 일련의 동작 단계들이 수행되어 컴퓨터로 실행되는 프로세스를 생성해서 컴퓨터 또는 기타 프로그램 가능한 데이터 프로세싱 장비를 수행하는 인스트럭션들은 볼록도의 각 블록 및 흐름도의 각 단계에서 설명된 기능들을 실행하기 위한 단계들을 제공하는 것도 가능하다.
- [0220] 더불어 각 블록 또는 각 단계는 특정된 논리적 기능을 실행하기 위한 하나 이상의 실행 가능한 인스트럭션들을 포함하는 모듈, 세그먼트 또는 코드의 일부를 나타낼 수 있다. 또한 몇 가지 대체 실시 예들에서는 블록들 또는 단계들에서 언급된 기능들이 순서를 벗어나서 발생하는 것도 가능함을 주목해야 한다. 예컨대, 잇달아 도시되어 있는 두 개의 블록들 또는 단계들은 사실 실질적으로 동시에 수행되는 것도 가능하고 또는 그 블록들 또는 단계들이 때때로 해당하는 기능에 따라 역순으로 수행되는 것도 가능하다.
- [0222] 이상에서 본 발명에 따른 실시 예들이 설명되었으나, 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 발명의 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 범위의 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 다음의 청구범위에 의해서 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

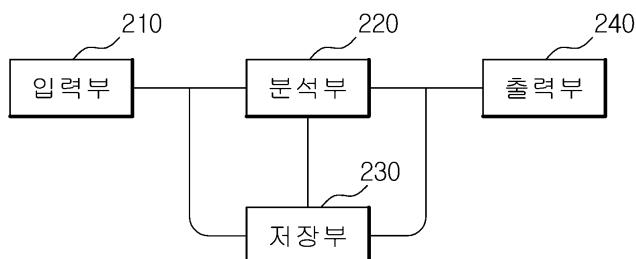
- [0224] 210 : 입력부 220 : 분석부
230 : 저장부 240 : 출력부

도면

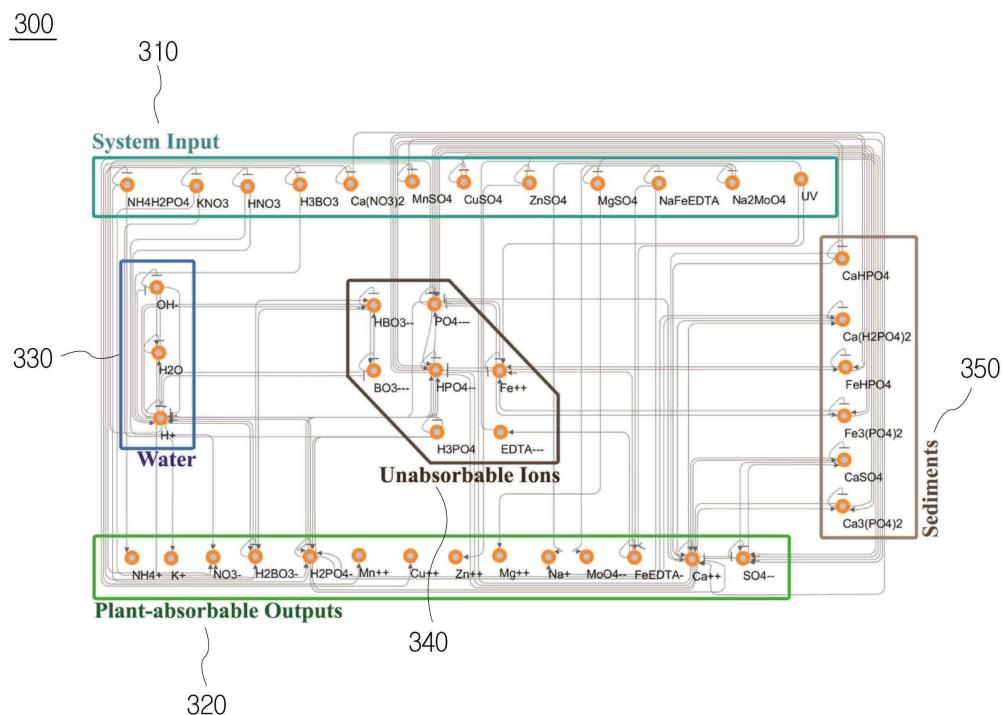
도면1



도면2

200

도면3



도면4

구분	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계	7단계	8단계	9단계	10단계
K										
411-	이론값	3.8835	7.327	10.689	13.87	16.885	19.747	22.467	25.055	27.521
421-	분석값	3.8835	7.327	10.689	13.87	16.885	19.747	22.467	25.055	27.521
431-	측정값	4.36955	7.96121	11.33368	14.5715	17.55282	21.32524	24.19406	27.28197	30.85615
Ca										
412-	이론값	0.97087	1.832	2.672	3.4637	4.221	4.937	5.677	6.264	6.88
422-	분석값	0.97087	1.832	2.672	3.4637	4.221	4.937	5.677	6.264	6.88
432-	측정값	0.95579	1.54849	2.04874	2.31673	2.650174	3.19853	3.356937	3.65157	3.790148
NO₃										
413-	이론값	5.82524	10.991	16.033	20.804	25.327	26.92	33.7	37.582	41.281
423-	분석값	5.82524	10.991	16.033	20.804	25.327	29.621	33.701	37.583	41.281
433-	측정값	4.04472	8.24084	12.1232	16.0027	19.1123	22.95228	25.57974	29.36491	31.64328
NH₄										
414-	이론값	0.48544	0.916	1.336	1.734	2.111	2.468	2.808	3.132	3.44
424-	분석값	0.48344	0.916	1.336	1.734	2.111	2.468	2.808	3.132	3.44
434-	측정값	0.81084	1.46115	2.09361	2.38363	3.104724	3.616726	4.101231	4.388624	4.899455

도면5

