

 (19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0098252 (43) 공개일자 2012년09월05일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) G06F 19/00 (2011.01) G06F 17/10 (2006.01) G06Q 50/06 (2012.01) (21) 출원번호 10-2011-0018092 (22) 출원일자 2011년02월28일 심사청구일자 2011년02월28일	(71) 출원인 경희대학교 산학협력단 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스내 (서천동, 경희대학교) (72) 발명자 유창규 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 공과대학 (서천동, 경희대학교) 임정진 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 공과대학 275 (서천동, 경희대학교) (74) 대리인 특허법인다나

전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법 및 시스템, 및 그로스 에러 감지 시스템을 이용한 데이터 보정 방법

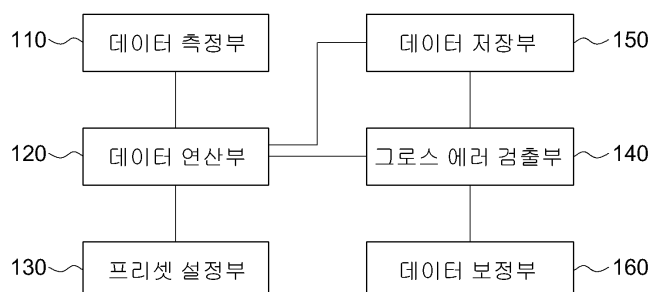
(57) 요약

본 발명은 그로스 에러를 포함하는 데이터를 색출하여, 정확한 측정 데이터를 사용할 수 있도록 하기 위해 안출된 것으로, 그로스 에러를 검출하는 방법과 함께, 데이터를 보정하는 방법을 제공하여 공정 운영상의 정확성을 담보할 수 있는 방법을 제공하기 위한 것이다.

또한, 본 발명은 라그랑주 승수법을 이용하여, 질량보존식의 제약조건 하에서 그로스 에러를 검출할 수 있는 방법 및 시스템을 제공하기 위한 것이다.

본 발명에 따른 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법은, 공정변수를 측정하여 측정데이터를 생성하는 단계; 상기 측정데이터에 라그랑주 승수법을 적용하여 상기 공정변수의 추정 데이터를 생성하는 단계; 및 상기 측정데이터와 상기 추정 데이터 및 상기 측정데이터의 표준 편차에 기반하여 상기 측정데이터의 그로스 에러(Gross error)를 검출하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 KRF-2009-0076129

부처명 교육과학기술부

연구사업명 일반연구자 사업

연구과제명 환경정보학과 시스템최적화의 원천 기술을 이용한 통합관리시스템 개발

주관기관 경희대학교 국제캠퍼스 산학협력단

연구기간 2009.05.01 ~ 2012.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

폐수처리 공정상의 공정변수를 측정하여 측정 데이터를 생성하는 단계;

상기 측정 데이터에 라그랑주 승수법을 적용하여 상기 공정변수의 추정 데이터를 생성하는 단계;

상기 측정 데이터와 상기 추정 데이터 및 상기 측정 데이터의 표준 편차에 기반하여 상기 측정 데이터의 그로스 에러(Gross error) 포함 여부를 검출하는 단계

를 포함하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 추정 데이터는 하기 수학식에 의해 산정되는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법.

[수학식]

$$y_{esti} = y_{meas} - \Psi A_1^T (A_1 \Psi A_1^T)^{-1} A_1 y_{meas}$$

(여기서 y_{esti} 는 추정 데이터, y_{meas} 는 측정 데이터, Ψ 는 웨이트 행렬, A_1 은 질량 보존 식의 계수를 포함하는 프로세스 행렬을 의미함.)

청구항 3

제 1 항에 있어서, 그로스 에러의 검출 단계는,

상기 측정데이터, 상기 추정 데이터 및 상기 표준 편차에 기반하여 상대 에러(Relative Error)를 연산하고, 상기 상대 에러와 신뢰도값에 기반하여 상기 그로스 에러를 검출하는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 상대 에러는 하기 수학식에 기반하여 산정되는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법.

[수학식]

$$RE = \left| \frac{y_{meas} - y_{esti}}{\sigma} \right|$$

(여기서 RE 는 상대 에러, y_{meas} 는 측정 데이터, y_{esti} 는 추정 데이터, σ 는 측정데이터의 표준 편차를 의미함.)

청구항 5

제 1 항에 있어서, 그로스 에러의 검출 단계는,

하기 수학적식에 기반하여, 상기 측정 데이터의 그로스 에러 포함여부를 판단하는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법.

[수학적식]

$$y_{esti} - P_i \sigma < y_{meas} < y_{esti} + P_i \sigma$$

(여기서 y_{meas} 는 측정 데이터, y_{esti} 는 추정 데이터, σ 는 측정데이터의 표준 편차, P_i 는 정규분포에서 $i\%$ 의 신뢰수준을 나타내는 값을 의미함.)

청구항 6

제 1 항에 있어서, 그로스 에러의 검출 단계 이후에,

그로스 에러를 포함하는 상기 측정 데이터를 상기 추정 데이터로 대체하는 데이터 보정 단계를 더 포함하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법.

청구항 7

폐수처리 공정의 각 단계에서 공정변수에 대한 측정데이터를 생성하는 데이터 측정부;

상기 측정데이터의 평균값과 표준편차값을 연산하고, 상기 표준편차값에 기초한 웨이트 행렬, 프로세스 행렬, 상기 측정데이터에 기반하여 공정변수의 추정데이터를 연산하는 데이터 연산부;

상기 프로세스 행렬을 저장하는 프리셋 저장부;

상기 표준편차값, 상기 측정데이터 및 상기 추정데이터를 저장하는 데이터 저장부; 및

상기 측정데이터, 상기 추정데이터 및 상기 표준편차값에 기반하여 상기 측정데이터의 그로스 에러 포함여부를 판단하는 그로스 에러 검출부

를 포함하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 데이터 측정부는 미리 정해진 시간 간격으로 상기 측정데이터를 생성하는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 웨이트 행렬은 하기 수학적식에 기반하여 도출되는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템.

[수학식]

$$\Psi = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \sigma_2^2 & \cdots & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix}$$

(여기서 Ψ 는 웨이트 행렬, σ 는 표준편차를 의미함.)

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 추정 데이터는 하기 수학식에 기초하여 연산되는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템.

[수학식]

$$y_{esti} = y_{meas} - \Psi A_1^T (A_1 \Psi A_1^T)^{-1} A_1 y_{meas}$$

(여기서 y_{esti} 는 추정데이터, y_{meas} 는 측정 데이터, Ψ 는 웨이트 행렬, A_1 은 질량 보존 식의 계수를 포함하는 프로세스 행렬을 의미함)

청구항 11

제 7 항에 있어서,

상기 프로세스 행렬은, 상기 폐수처리 공정의 각 단계별 에너지 보존식의 계수값에 기반하여 생성되는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템.

청구항 12

제 7 항에 있어서, 상기 그로스 에러 검출부는,

상기 측정데이터, 상기 추정 데이터 및 상기 표준 편차에 기반하여 상대 에러(Relative Error)를 연산하고, 상기 상대 에러와 신뢰도값에 기반하여 상기 그로스 에러를 검출하는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 상대 에러는 하기 수학식에 기반하여 산정되는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템.

[수학식]

$$RE = \left| \frac{y_{meas} - y_{esti}}{\sigma} \right|$$

(여기서 RE 는 상대 에러, y_{meas} 는 측정 데이터, y_{esti} 는 추정 데이터, σ 는 측정데이터의 표준 편차를 의미함.)

청구항 14

제 7 항에 있어서, 상기 그로스 에러 검출부는,

하기 수학식에 기반하여, 상기 측정 데이터의 그로스 에러 포함여부를 판단하는 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템.

[수학식]

$$y_{esti} - P_i \sigma < y_{meas} < y_{esti} + P_i \sigma$$

(여기서 y_{meas} 는 측정 데이터, y_{esti} 는 추정 데이터, σ 는 측정데이터의 표준 편차, P_i 는 정규분포에서 $i\%$ 의 신뢰수준을 나타내는 값을 의미함.)

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 P_i 는 1.96 인 것을 특징으로 하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템.

청구항 16

제 7 항에 있어서,

그로스 에러를 포함하는 상기 측정 데이터를 상기 추정 데이터로 대체하는 데이터 보정부를 더 포함하는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템.

청구항 17

폐수처리 공정으로부터 공정변수에 대한 측정 데이터를 생성하는 단계;

상기 측정 데이터의 평균값과 표준편차값을 연산하는 단계;

상기 표준편차값에 기초한 웨이트 행렬, 프로세스 행렬, 상기 측정 데이터에 기반하여 공정변수의 추정 데이터를 연산하는 단계;

상기 측정 데이터와 상기 추정 데이터 및 상기 표준편차에 기반하여 그로스 에러 포함여부를 판단하는 단계; 및

그로스 에러를 포함하는 상기 측정 데이터를 제거하고 상기 추정 데이터로 대체하여 측정 데이터를 보정하는 단계

를 포함하는 그로스 에러 감지 시스템을 이용한 데이터 보정 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법 및 시스템, 및 그로스 에러 감지 시스템을 이용한 데이터 보정 방법에 관한 것으로서, 상세하게는 폐수처리 공정 과정에서 측정 데이터의 그로스 에러 포함 여부를 검출하고 그로스 에러를 포함하는 데이터를 보정하는 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 폐수 처리 공정에 있어서, A2O 공법은 각기 다른 환경 조건의 미생물을 사용함으로써 폐수로부터 전인 및 전 질소를 제거하기 위해 널리 사용되는 공정을 의미한다.

[0003] 도 1은 A2O 공법의 구성도를 도시한 것으로, 도 1을 참조하면, A2O 공법은 혐기성 리액터(Anaerobic Reactor, 10), 무산소 리액터(Anoxic Reactor, 20), 호기성 리액터(Aerobic Reactor, 30) 및 침전조(Clarifier, 40)를 포함한다. A2O 공법에 있어서, 폐수는 혐기성 리액터(10)로 인입되고, A2O 공법에는 2개의 재생 흐름을 포함하는데, 하나는, 탈질소반응의 효율을 증가시키기 위해 질산염을 호기성 리액터(30)로부터 무산소 리액터(20)로 연결하는 내부 재생 흐름이고, 다른 하나는 혼입액 부유 고형물을 유지하기 위해 침전조(40)에서 혐기성 리액터(10)로 슬러지를 반송하는 재생 흐름이다.

[0004] A2O 공법을 거친 폐수는 강으로 흐르고, 슬러지는 슬러지 처리 공정을 더 거치게 된다.

[0005] A2O 공법에 있어서, 혐기성 리액터(10)는 전인을 제거하기 위해 사용된다. 무산소 리액터(20) 및 호기성 리액터(30)는 전질소를 제거하기 위해 사용되며, 탈질소반응과 질산화작용이 각각의 리액터에서 발생하게 된다.

[0006] 탈질소반응은 아질산염과 질산염을 질소 가스로 변환하기 위한 것이고, 질산화 작용은 암모니아를 아질산염과 질산염으로 산화시키기 위한 것이다.

[0007] 호기성 리액터(30)에서는 또한 탄소물질의 산화반응과 인의 축적이 발생한다. 탄소물질의 산화반응은 CO₂의 형성에 영향을 끼치게 된다. 이와 같이, 산화 반응에 필요한 산소의 요구량을 화학적 산소 요구량(chemical oxygen demand : COD)라 한다.

[0008] 무산소 리액터(20)에서 N₂가스를 발생시키는 동안 호기성 리액터(30)에서는 CO₂를 발생시켜 폐수 처리 공정의 외부로 배출하는 것이다.

[0009] 이와 같은 A2O 공정에 있어서, 공정에 유입되는 것과 유출되는 것을 살펴보면, 공정으로 유입되는 것은 COD, 전인, 전질소 및 전 부유물질이고, 최종 배출되는 것은 COD, 전질소(Total Nitrogen : TN), 전인(Total Phosphorous : TP) 및 전부유물질(Total Suspended Solids : TSS)이다. 또한, 중도 배출되는 것은, COD, 전입, 전질소 및 부유물질과 함께, N₂가스와 CO₂ 가스를 들 수 있다.

[0010] 이와 같은 A2O 공정에 있어서도, 질량 보존의 법칙은 만족해야 하므로, 유입되는 물질의 양은 최종 혹은 중도 배출되는 물질의 질량이 같아야 한다는 질량 보존식을 만족하여야 한다.

[0011] 위와 같은 A2O 공정 전반에 걸친 측정값(raw data)에는 개개의 측정 장치의 정확도에 따라 크고 작은 오차가 존재하며, 때로 계기의 고장, 눈금 조정 잘못, 파이프 누출 등의 원인으로 상대적으로 큰 그로스 에러를 포함할 수도 있다. 이러한 오차가 포함된 측정값들은 공장 전체에 대한 정상상태 수치를 만족시키지 못하는 비일관성을 보이며, 데이터 상호간에도 서로 상반되는 경향을 보이기도 한다. 그리고 기술적 어려움, 경제적 이유 때문에 직접 측정되지 못한 변수들과 각 단위 장치의 성능을 나타내는 매개 변수 등을 추정해야 할 필요가 있다.

[0012] 그러나, 이와 같은 A2O 공법에 있어서, 측정 데이터를 보정하기 위해서는, 질량 보존식의 제약조건이 있는 경우임을 고려하여 한다. 이는, A2O 공법에서 외부로 배출되는 N₂, CO₂는 공기중으로 배출되기 때문에, 실제로 측정이 이루어지지 않게 되어, 질량 보존식을 만족하지 않는 것처럼 보이기 때문이다. 따라서, 이와 같은 제약 하에서 그로스 에러 탐지와 데이터 보정이 이루어지도록 해야 할 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명은 그로스 에러를 포함하는 데이터를 색출하여, 정확한 측정 데이터를 사용할 수 있도록 하는 것에 목적이 있다.
- [0014] 본 발명은 라그랑주 승수법을 이용하여, 질량보존식의 제약조건 하에서 그로스 에러를 검출할 수 있는 방법 및 시스템을 제공하는 것에 다른 목적이 있다.
- [0015] 본 발명은 그로스 에러를 검출하는 방법과 함께, 데이터를 보정하는 방법을 제공하여 공정 운영상의 정확성을 담보할 수 있는 방법을 제공하는 것에 또 다른 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0016] 상기 목적을 달성하기 위해 안출된 본원의 제 1 발명, 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법은, 공정변수를 측정하여 측정데이터를 생성하는 단계; 상기 측정데이터에 라그랑주 승수법을 적용하여 상기 공정변수의 추정 데이터를 생성하는 단계; 및 상기 측정데이터와 상기 추정 데이터 및 상기 측정데이터의 표준 편차에 기반하여 상기 측정데이터의 그로스 에러(Gross error)를 검출하는 단계를 포함한다.
- [0017] 본원의 제 2 발명, 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템은, 폐수처리 공정의 각 단계에서 공정변수에 대한 측정데이터를 생성하는 데이터 측정부; 상기 측정데이터의 평균값과 표준편차값을 연산하고, 상기 표준편차값에 기초한 웨이트 행렬, 프로세스 행렬, 상기 측정데이터에 기반하여 공정변수의 추정데이터를 연산하는 데이터 연산부; 상기 프로세스 행렬을 저장하는 프리셋 저장부; 상기 표준편차값, 상기 측정데이터 및 상기 추정데이터를 저장하는 데이터 저장부; 및 상기 측정데이터, 상기 추정데이터 및 상기 표준편차값에 기반하여 상기 측정데이터의 그로스 에러 포함여부를 판단하는 그로스 에러 검출부를 포함한다.
- [0018] 본원의 제 3 발명, 그로스 에러 감지 시스템을 이용한 데이터 보정 방법은, 폐수처리 공정으로부터 공정변수에 대한 측정데이터를 생성하는 단계; 상기 측정데이터의 평균값과 표준편차값을 연산하는 단계; 상기 표준편차값에 기초한 웨이트 행렬, 프로세스 행렬, 상기 측정데이터에 기반하여 공정변수의 추정 데이터를 연산하는 단계; 상기 측정 데이터와 상기 추정 데이터 및 상기 표준편차에 기반하여 그로스 에러 포함여부를 판단하는 단계; 및 그로스 에러를 포함하는 상기 측정 데이터를 제거하고 상기 추정 데이터로 대체하여 측정 데이터를 보정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0019] 본 발명은 그로스 에러를 포함하는 데이터를 색출하여, 정확한 측정 데이터를 사용할 수 있도록 할 수 있는 효과가 있으며, 또한, 그로스 에러를 검출하는 방법과 함께, 데이터를 보정하는 방법을 제공하여 공정 운영상의 정확성을 담보할 수 있는 방법을 제공할 수 있는 효과가 있다.
- [0020] 더욱이 라그랑주 승수법을 이용함으로써, 질량보존식의 제약조건 하에서 그로스 에러를 검출할 수 있다는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 종래기술에 따른 A2O 공법의 구성도,
 도 2는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법을 설명하기 위한 예시도,
 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른, 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템의 블록도, 및
 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 그로스 에러 감지 시스템을 이용한 데이터 보정 방법의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다. 따라서, 본 명세서에 기재

된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

[0023] 데이터 보정은 프로세스에서 측정된 데이터를 질량 보존 및 에너지 보존과 일치하도록 더 정확하게 조절 혹은 보정하는 것이다. 데이터 보정은 무작위 오류(Random Error)와 그로스 에러(Gross Error)를 포함하는 실시간 프로세스 데이터를 보존법칙과 일치하는 신뢰성 있는 데이터로 변환하는 것이다.

[0024] 그러한 데이터는 효과적인 공정의 동작과 관리를 위해 반드시 필요한 것이며, 일반적으로 공정의 모니터링, 분석, 감시 및 최적화를 위해 사용된다.

[0025] 먼저, 데이터가 측정되면, 데이터가 그로스 에러를 포함하고 있는지 파악하고, 그로스 에러를 포함하는 데이터를 버리고, 그로스 에러가 없는 데이터를 측정 데이터로 사용한다. 무작위 에러를 포함하는 데이터가 일반적으로 데이터 보정이 수행되고, 하기 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

[0026]
$$y_{meas} = y_{model} + \varepsilon$$

[0027] 여기서 y_{meas} 는 측정값의 벡터이고, y_{model} 은 실제 값의 벡터, ε 은 측정 오차의 무작위 벡터이다.

[0028] 데이터 보정은 질량 보존의 제약을 따르면서 실제값과 측정값의 제곱합을 최소화하는 과정이다. 수학적으로 데이터 보정 문제는 하기 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

[0029]
$$\text{Min}(y_{meas} - y_{model})^T \Psi^{-1} (y_{meas} - y_{model})$$

[0030]
$$A_1 y_{model} = 0$$

[0031] 여기서 Ψ 는 하기 수학식 3과 같이 표현되는 웨이트 행렬(weight matrix)이고, A_1 은 질량 보존 식의 계수를 포함하는 프로세스 행렬(process matrix)이다.

수학식 3

$$\Psi = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \sigma_2^2 & \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix}$$

[0032]

[0033] 상기 수학식 2에 상기 수학식 3을 대입하면 결과적으로 하기 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$\begin{aligned} & Min \left[\frac{(y_{1,meas} - y_{1,model})^2}{\sigma_1^2} + \frac{(y_{2,meas} - y_{2,model})^2}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{(y_{n,meas} - y_{n,model})^2}{\sigma_n^2} \right] \\ & = Min \sum_{i=1}^n \frac{(y_{i,meas} - y_{i,model})^2}{\sigma_i^2} \end{aligned}$$

[0034]

[0035] 결과적으로 수학식 4는 폐수 처리 공정 측정데이터의 측정오차를 최소화 하려는 최적화의 문제를 나타내는 것이다.

[0036] 그러나, 폐수처리 공정에서, 측정데이터의 측정오차를 최소화 하기 위해서는, 질량 보존식의 제약조건이 있는 경우임을 고려하여야 한다.

[0037] 이와 같은 문제점을 해결하기 위해, 본 발명에서는 라그랑주 승수법을 이용한다.

[0038] 라그랑주 승수법은 제약조건하에서의 최적화의 문제를 제약 조건없는 최적화의 문제로 변형시켜 제약조건이 없는 경우의 1차 필요조건을 적용할 수 있게 하는 방법이다.

[0039] 라그랑주 승수법을 수학식 2에 적용하여 제약 조건이 없도록 전개하면, 하기 수학식 5와 같이 전개할 수 있다.

수학식 5

$$L(y_{model}, \lambda) = (y_{meas} - y_{model})^T \Psi^{-1} (y_{meas} - y_{model}) - 2\lambda^T A_1 y_{model}$$

[0040]

[0041] 여기서, λ 는 라그랑지 승수이고 하기 수학식 6과 같이 표현될 수 있다.

수학식 6

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix}$$

[0042]

[0043] 상기 수학식 1을 상기 수학식 5에 대입하면, 하기 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 7

$$L(\varepsilon, \lambda) = \varepsilon^T \Psi^{-1} \varepsilon - 2\lambda^T (A_1 y_{meas} - A_1 \varepsilon)$$

[0044]

[0045] 상기 수학식 7을 각각 ε 과 λ 에 대해 미분하고, 미분값이 0이 되도록 설정하면, 하기 수학식 8 및 수학식 9와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 8

$$\frac{\partial L}{\partial \varepsilon} = 2\Psi^{-1} \varepsilon + 2A_1^T \lambda = 0$$

[0046]

수학식 9

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = A_1 (y_{meas} - \varepsilon) = 0$$

[0047]

[0048] 상기 수학식 8을 간소화 하면, 하기 수학식 10와 같은 관계식을 도출할 수 있다.

수학식 10

$$\begin{aligned} \varepsilon &= -\Psi A_1^T \lambda \\ \lambda &= -(\Psi A_1^T)^{-1} \varepsilon \end{aligned}$$

[0049]

[0050] 상기 수학식 10의 양변에 A_1 을 곱하여 다시 정리하면, 하기 수학식 11과 같이 전개될 수 있고, 이를 상기 수학식 9에 대입하면 결과적으로 하기 수학식 12의 관계식을 도출할 수 있다.

수학식 11

[0051]

$$\lambda = -A_1^{-1}(\Psi A_1^T)^{-1}A_1\varepsilon = -(A_1\Psi A_1^T)^{-1}A_1\varepsilon$$

수학식 12

[0052]

$$\lambda = (-A_1\Psi A_1^T)^{-1}A_1y_{meas}$$

[0053]

상기 수학식 12를 상기 수학식 10에 대입하면, 상기 수학식 13과 같은 관계식을 도출할 수 있다.

수학식 13

[0054]

$$\varepsilon = \Psi A_1^T(A_1\Psi A_1^T)^{-1}A_1y_{meas}$$

[0055]

상기 수학식 13을 상기 수학식 1에 도입하면, 결과적으로, 하기 수학식 14의 관계식을 갖는 공정변수의 추정치 y_{esti} 를 도출할 수 있다.

수학식 14

[0056]

$$y_{esti} = y_{meas} - \varepsilon = y_{meas} - \Psi A_1^T(A_1\Psi A_1^T)^{-1}A_1y_{meas}$$

[0057]

공정의 측정 데이터로부터 잘못된 측정치를 식별하는 것이 그로스 에러 디텍션(Gross error Detection : GE D)이다.

[0058]

만약 측정치가 추정치와 큰 편차를 가지고 있다면, 그 측정치는 그로스 에러가 있다는 것을 의미한다.

[0059]

본 발명에서는 그로스 에러를 갖는 측정치를 식별하기 위한 방법으로, 상대오차(Relative error : RE)를 사용한다.

[0060]

상대오차는 하기 수학식 15와 같이 정의된다.

수학식 15

[0061]

$$RE = \left| \frac{y_{meas} - y_{esti}}{\sigma} \right|$$

[0062]

여기서 y_{meas} 는 공정상의 측정값, y_{esti} 는 상기 수학식 14의 데이터 보정을 수행한 후에 획득한 공정변수의 추정값, σ 는 측정값의 표준 편차를 나타낸다.

[0063]

여기서 상대오차의 계산값에 신뢰도를 적용함으로써, 그로스 에러를 판별할 수 있다. 즉, 공정상의 추정값이

정규분포를 따른다고 가정하면, 측정값의 평균값과, 이에 대한 표준편차를 이용하여 그로스 에러를 검출할 수 있는 것이다.

[0064] 예컨대, 95%의 신뢰구간을 적용하는 경우, 상대오차 계산값이 정규분포에서 95%의 신뢰수준을 나타내는 값 1.96 보다 크면, 이 측정 데이터는 그로스 에러를 포함하는 데이터로 판단할 수 있는 것이다. 상대오차 계산값이 1.96보다 작으면, 이 측정 데이터는 그로스 에러가 없는 데이터로 간주할 수 있다.

[0065] 즉, 하기 수학적 16의 조건을 만족하는 경우에 한하여, 측정 데이터에 Gross error가 없는 것으로 판단할 수 있는 것이다.

수학적 16

$$y_{esti} - 1.96\sigma < y_{meas} < y_{esti} + 1.96\sigma$$

[0066]

[0067] 이후, 그로스 에러 검출유무에 따라, 그로스 에러를 포함하는 데이터는 제외하고, 추정값을 측정 데이터로 대체함으로써, 데이터 보정(Data Reconciliation)을 수행할 수 있다. 결과적으로 추정값은 그로스 에러를 포함하지 않는 데이터와 함께 측정 데이터로 활용한다.

[0068] 여기서 신뢰도를 95%로 선정한 것은, 발명을 손쉽게 설명하기 위한 하나의 예시이고, 발명을 한정하려는 의도가 아니며, 공정의 조건, 운영자의 선택에 따라, 얼마든지 변경될 수 있다.

[0069] 도 2는 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 방법을 설명하기 위한 예시도이다. 도 2에 도시된 바와 같이, A20 공정은 크게 8개의 유량의 흐름으로 설명할 수 있다. 이때, f8은 처리된 폐수가 강물 등으로 유입되는 흐름을 나타내는 것이고, f5는 폐슬러지를 처리하기 위해, 처리된 폐수를 유출하는 흐름을 나타내며, f6 및 f7은 A20 공정에 존재하는 2개의 재생 흐름으로써, f7은 질산염의 재생, f6은 슬러지의 재생 흐름을 나타내는 것이다.

[0070] 이와 같은 조건에서, f1~f8 사이의 유량(flow rate)을 측정한 평균값, 표준 편차 및 분산값이 하기 표 1과 같다고 가정하면, 다음 표 1을 이용해 웨이트 행렬 Ψ 를 도출할 수 있다.

표 1

[0071]

구 분	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8
flow rate (측정값)	2041	4133.9	5981.7	4215.1	1963.5	2062.1	1954.8	42.3
σ	686	1358	2044	1358	652	686	686	13.75
σ^2	470878	1845931	4181496	1845937	425525	470879	470879	198

[0072] 즉, 상기 수학적 3과 같이 표현되는 Ψ 에 분산값의 자승 σ^2 을 이용하여 하기 수학적17과 같이 나타내는 것이다.

수학식 17

$$\Psi = \begin{bmatrix} 470878 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1845931 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4181496 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1845937 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 425525 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 470879 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 470879 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 198 \end{bmatrix}$$

[0073]

[0074] 또한, 도 2의 A20 공정에 질량 보존식을 순서대로 적용하면, 하기 수학식 18과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 18

$$\begin{aligned} Q_{f1} + Q_{f6} - Q_{f2} &= 0 \\ Q_{f2} + Q_{f7} - Q_{f3} &= 0 \\ Q_{f3} - Q_{f7} - Q_{f4} &= 0 \\ Q_{f4} - Q_{f6} - Q_{f8} - Q_{f5} &= 0 \end{aligned}$$

[0075]

[0076] 여기서 Q는 f1~f8에 해당하는 유량을 나타내며, 상기 질량보존식을 이용하여, 프로세스 행렬 A_1 을 산정하면, 공정 순서를 행으로 배치하고 f1~f8에 해당하는 계수를 열로 배치하면 하기 수학식 19와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 19

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

[0077]

[0078] 이로써, 상기 수학식 14에 기술된 y_{esti} 를 구하는데 필요한 변수를 모두 도출하였으므로, 상기 수학식 14를 이용해 유량의 추정치를 도출할 수 있으며, 도출값은 하기 표 2와 같다.

표 2

구분	f1	f2	f3	f4	f5	f6	f7	f8
flow rate (추정값)	2032.6	4115.1	6061.0	4115.1	1990.3	2082.6	1945.9	42.3

y_{esti} 값을 도출하였으므로, 상기 수학식 15 및 상기 수학식 16을 이용하여 개개의 측정 데이터 y_{meas} 가 그로스 에러를 포함하고 있는지 판단할 수 있다.

예컨대, 상기 수학식 16을 이용할 경우, f1에 대해 표준편차 σ 는 686, 측정값 y_{esti} 는 2032.6 이므로, 하기 수학식 20의 조건을 만족하는 경우에 한하여, 측정 데이터에 그로스 에러가 없는 것으로 판단할 수 있다.

수학식 20

$$688.04 < y_{meas} < 3377.16$$

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른, 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템의 블록도이다. 도 3을 참조하면, 라그랑주 승수법을 이용한 그로스 에러 감지 시스템은, 데이터 측정부(110), 데이터 연산부(120), 프리셋 설정부(130), 그로스 에러 검출부(140), 및 데이터 저장부(150)를 포함한다. 그로스 에러 감지 시스템은 그로스 에러를 포함하는 측정데이터의 보정을 수행하기 위한 데이터 보정부(160)을 더 포함할 수 있다.

먼저, 데이터 측정부(110)는 폐수처리 공정의 각 단계에서 공정변수를 측정하여 측정데이터를 생성한다. 데이터 측정부(110)에서 측정되는 공정변수는 전인(TP), 전질소(TN), 화학적 산소 요구량(COD), 전부유물질(TSS) 등의 유량이다. 데이터 측정부(110)는 폐수처리 공정에 설치된 센서류에 의해 센싱된 측정값을 입력받거나, 사용자의 외부 입력에 기반하여 측정 데이터를 생성하고 상기 데이터를 데이터 저장부(150)로 저장한다.

측정 데이터는 미리 정해진 시간 간격으로 주기적으로 업데이트 될 수 있고, 누적된 측정 데이터는 데이터 연산부(120)에서 평균값 및 정규분포값을 연산하는데 사용할 수 있다.

데이터 연산부(120)는 데이터 저장부(150)에 저장된 측정 데이터에 대한 평균값 및 정규분포값을 연산하고, 정규분포값, 프리셋 설정부로부터 독출한 프로세스 행렬 및 측정데이터를 이용하여 공정변수 추정값을 연산하여 추정데이터를 생성한다.

이때, 데이터 연산부(120)는 라그랑주 승수법에 의해 정리된 상기 수학식 14에 의거, 데이터 추정값을 연산할 수 있다. 여기서, 프로세스 행렬 A_i 은 프리셋 설정부에 의해 저장된 값을 사용할 수 있고, 웨이트 행렬 Ψ 는 데이터 저장부에 저장한 표준편차를 이용할 수 있다.

즉, 데이터 연산부(120)는 측정데이터, 표준편차로부터 계산된 웨이트 행렬, 프리셋 설정부(130)로부터 프로세스 행렬을 독출하여 추정데이터를 생성하는 것이다.

프리셋 설정부(130)는 데이터 연산부(120)가 추정값을 연산하는데 사용할 수 있는 프로세스 행렬을 저장한다. 이때, 프로세스 행렬은 폐수 처리 공정의 각 단계에 있어서, 질량보존식의 계수값을 이용하여 도출될 수 있다.

그로스 에러 검출부(140)는, 데이터 연산부(120)가 연산한 추정데이터와 데이터 저장부(150)에 저장된 측정 데이터를 비교하여, 그로스 에러를 검출하는 기능부이다. 이때, 그로스 에러를 검출함에 있어서, 신뢰도와 데이터 저장부(150)에 저장된 표준편차를 이용할 수 있다. 신뢰도는 관리자에 의해 조절될 수 있는 사항으로, 외부 입력에 따라 변경될 수 있다.

예컨대, 그로스 에러 검출부는 상기 수학식 16의 조건을 만족하는지를 판단함으로써, 그로스 에러 유무를 판단할 수 있다. 다른 실시예에 따른, 신뢰도가 99%인 경우에는 하기 수학식 21을 이용하여 그로스 에러를 검출

할 수 있다.

수학식 21

$$y_{esti} - 2.58\sigma < y_{meas} < y_{esti} + 2.58\sigma$$

[0092]

즉, 그로스 에러 검출부(140)는 하기 수학식 22의 일반화된 수학식에 기반하여, 측정 데이터의 그로스 에러 포함여부를 판단할 수 있다.

수학식 22

$$y_{esti} - P_i\sigma < y_{meas} < y_{esti} + P_i\sigma$$

[0094]

상기 수학식 22에서 y_{meas} 는 측정 데이터, y_{esti} 는 추정 데이터, σ 는 측정데이터의 표준 편차, P_i 는 정규분포에서 $i\%$ 의 신뢰수준을 나타내는 값을 의미한다.

[0095]

데이터 저장부(150)는 측정 데이터, 측정 데이터의 평균값 및 표준편차 정보와, 데이터 연산부(120)가 연산한 추정데이터를 저장하는 기능부이다. 데이터 저장부(150)는 RAM, ROM 과 같은 자기기록매체를 사용할 수 있다. 또한, 데이터 저장부(150)의 용량 한계를 고려하여, 일정 횟수 이상의 측정 데이터가 저장되면, 다음번 측정 데이터부터, 먼저 기록된 측정데이터를 삭제하고 새로 저장된 측정데이터를 저장할 수 있다.

[0096]

데이터 보정부(160)는 그로스 에러 검출부(140)로부터 그로스 에러를 포함하는 데이터로 판단된 측정데이터를 제거하고, 측정데이터를 추정 데이터로 대체한다. 즉, 측정 데이터를 추정 데이터로 대체함으로써, 데이터 보정을 수행하는 것이다.

[0097]

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 그로스 에러 감지 시스템을 이용한 데이터 보정 방법의 흐름도이다.

[0098]

도 4를 참조하면, 먼저 데이터 측정부가 폐수처리 공정으로부터 공정변수에 대한 측정데이터를 생성한다(S410). 이때 측정데이터는 미리 정해진 시간 간격으로 지속적으로 갱신될 수 있다. 이후, 데이터 연산부는 상기 측정데이터의 평균값과 표준편차값을 연산하고(S420), 상기 표준편차값에 기초한 웨이트 행렬, 프로세스 행렬, 상기 측정데이터에 기반하여 공정변수의 추정 데이터를 연산한다(S430), 그로스 에러 검출부는 상기 측정 데이터와 상기 추정 데이터 및 상기 표준편차에 기반하여 그로스 에러 포함여부를 판단하고(S440), 데이터 보정부는 그로스 에러를 포함하는 측정 데이터를 추정 데이터로 대체하여 측정 데이터를 보정하게 된다(S450).

[0099]

이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술사상과 아래에 기재될 특허청구범위의 균등범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

부호의 설명

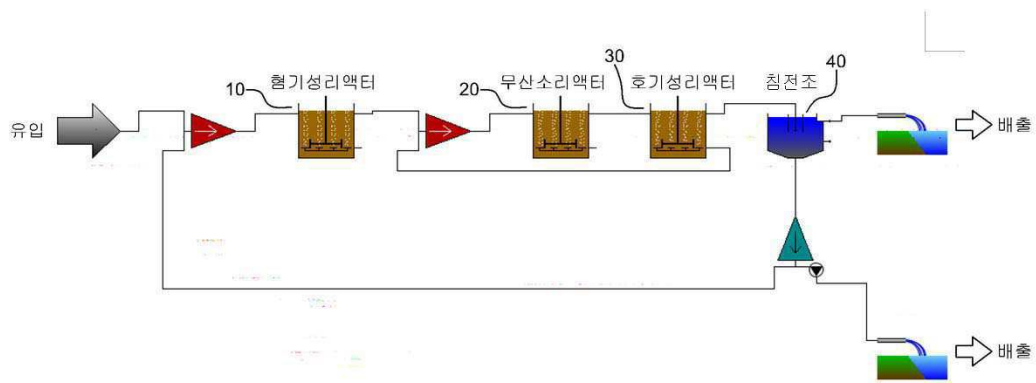
10 : 혐기성 리액터

[0101]

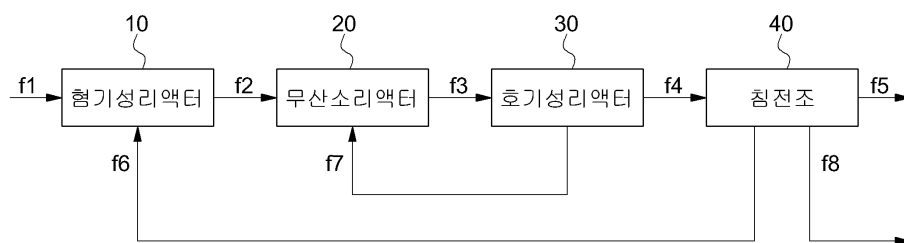
- 20 : 무산소 리액터
- 30 : 호기성 리액터
- 40 : 침전조
- 110 : 데이터 측정부
- 120 : 데이터 연산부
- 130 : 프리셋 설정부
- 140 : 프로스 에어 검출부
- 150 : 데이터 저장부
- 160 : 데이터 보정부

도면

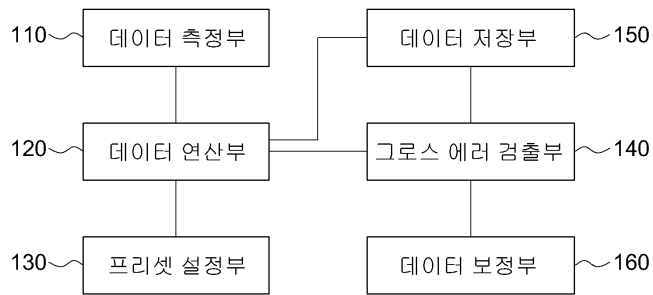
도면1



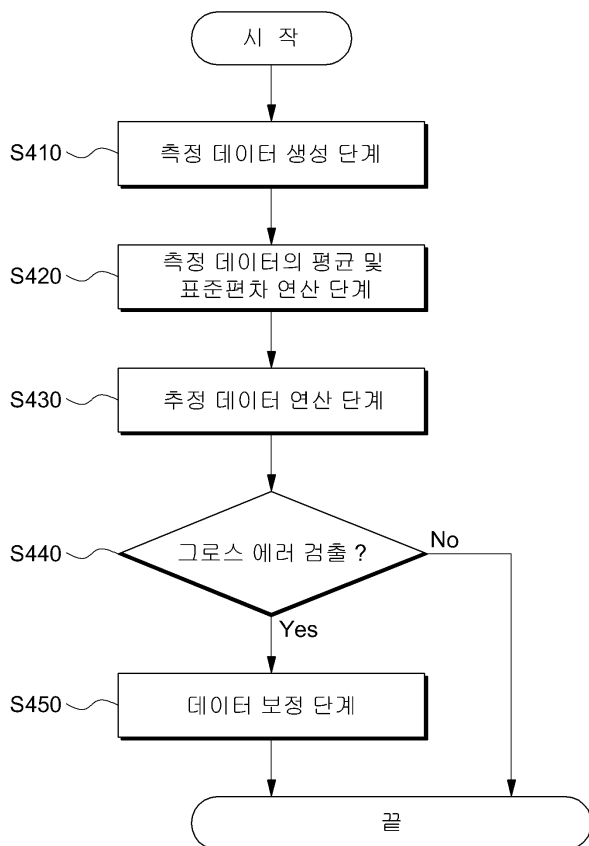
도면2



도면3



도면4



도면5

