(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0039294
(43) 공개일자 2021년04월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G16C 20/70 (2019.01)
(52) CPC특허분류
G16C 20/70 (2019.02)
B01J 2219/00195 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0124067
(22) 출원일자 2020년09월24일
심사청구일자 2020년09월24일
(30) 우선권주장
1020190121575 2019년10월01일 대한민국(KR)

(71) 출원인
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
김동철
서울 마포구 신수동1 백범로 35 서강대학교 아담샬관 701호
임영욱
인천광역시 연수구 해돋이로84번길 30 109동 1303호 (금호어울림아파트)
강태욱
서울특별시 마포구 신수동1 백범로 35 서강대학교 리치과학관 611호
(74) 대리인
특허법인세림

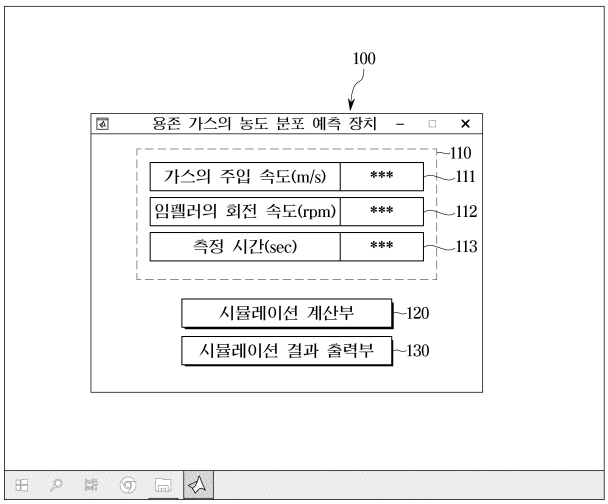
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 **바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치 및 그 예측 방법**

(57) 요 약

바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치가 개시된다. 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치는, 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측하기 위해 바이오 반응기에 주입되는 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보를 입력하도록 마련된 시뮬레이션 조건 입력부; 입력된 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 측정 시간 정보를 확인하고, 확인된 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 측정 시간 정보에 기초하여 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산하는 시뮬레이션 계산부; 및 계산된 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식에 기초하여 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포에 대한 예측 결과물을 출력하는 시뮬레이션 결과 출력부를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
B01J 2219/00243 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711104218
과제번호	202032010
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	C1가스리파이너리사업
연구과제명	표면증강라만분광법을 이용한 비평형 용존 C1 가스 및 대사산물 실시간 모니터링 기술개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	서강대학교산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측하기 위해 바이오 반응기에 주입되는 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보를 입력하도록 마련된 시뮬레이션 조건 입력부;

상기 입력된 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 측정 시간 정보를 확인하고, 상기 확인된 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 측정 시간 정보에 기초하여 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산하는 시뮬레이션 계산부; 및

상기 계산된 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식에 기초하여 상기 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포에 대한 예측 결과물을 출력하는 시뮬레이션 결과 출력부를 포함하는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시뮬레이션 계산부는 상기 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산할 때에, 교반에 의한 난류 유동 방정식, 기체-액체 물질 전달에 의해 생성된 용존 가스의 거동 방정식, 기포의 생성과 소멸 및 거동 방정식을 이용하는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 교반에 의한 난류 유동 방정식은, 유체 내 압력, 밀도, 중력 가속도, 점도, 유체의 속도에 의해 계산되는 최종적인 유체의 디퓨전(diffusion)과 속도에 따른 밀도를 이용하는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 기체-액체 물질 전달에 의해 생성된 용존 가스의 거동 방정식은, 밀도, 유체의 속도, 용존 가스의 농도, 유체의 디퓨전에 따른 밀도와 용존 가스의 농도, 종(species) 물질 전달률에 의해 계산되는 최종적인 밀도와 용존 가스의 농도를 이용하는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 종(species) 물질 전달률은, 물질 전달 계수, 계면 영역, 가스의 질량 농도, 액체의 질량 농도에 의해 계산되는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 기포의 생성과 소멸 및 거동 방정식은, 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식과, 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식에 의해 계산되는 최종적인 기포들의 부피 개수 밀도와 유체의 속도에 따른 기포들의 부피 개수 밀도와 기포의 부피에 기초한 성장률에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용하는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식은, 부피를 갖는 기포들간의 합쳐짐에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용하는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식은, 부피를 갖는 기포들의 부서짐에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용하는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 시뮬레이션 결과 출력부는,

상기 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포에 대한 예측 결과물을 3차원 이미지로 출력하는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 용존 가스는 용존 일산화탄소 가스인 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치.

청구항 11

바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측하기 위해 바이오 반응기에 주입되는 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보를 입력하고,

상기 입력된 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 측정 시간 정보를 확인하고,

상기 확인된 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 측정 시간 정보에 기초하여 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산하고,

상기 계산된 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식에 기초하여 상기 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포에 대한 예측 결과물을 출력하는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 개시된 발명은 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치 및 그 예측 방법에 관한 것으로써, 더욱 상세하게는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 바이오 반응기내 실시간 용존 가스의 농도 분포를 예측할 수 있는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치 및 그 예측 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 바이오 반응기(Bioreactor)는 특정물질이나 세포를 생산하기 위해 또는 특정반응을 수행하기 위해 생물체를 조절된 환경하에서 키울 수 있도록 만든 장치로써, 키우려는 생물체 및 원하는 생산물의 생물학적, 생화학적인 특성, 물리, 화학적 성질뿐만 아니라 이들 특성에 따른 전체 공정 등을 고려하여 설계하게 된다.

[0003] 바이오 반응기는 반응물을 교반시키는 임펠러와, 임펠러의 회전축에 결합되어 임펠러를 회전시키는 모터를 포함할 수 있다.

[0004] 이러한, 바이오 반응기를 구성적인 측면으로 분류하면, 교반식 탱크형(Stirred tank), 막형 반응기형(Membrane

bioreactor), 회전 원반식형(Rotating disk bioreactor), 에어 리프트형(Air-lift), 충전탑 형 등으로 분류할 수 있다.

[0005] 또한, 운용 방식으로 분류하면, 회분식(Batch), 연속식(Continuous), 유가배양식(Fed-batch), 고농도 연속식(Continuous with high cell density), 추출발효식(Extractive fermentation) 등으로 분류할 수 있으며, 생화학 반응단계의 복잡성에 따라 분류하면, 효소반응, 미생물, 동물, 식물 세포, 동물, 식물체등으로 분류할 수 있다.

[0006] 최근에는, 바이오 반응기내 실시간 용존 가스의 농도 분포를 예측할 수 있는 시뮬레이션의 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 이상의 이유로, 개시된 발명의 일 측면은 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 바이오 반응기내 실시간 용존 가스의 농도 분포를 예측할 수 있는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치 및 그 예측 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 개시된 발명의 일 측면에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치는, 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측하기 위해 바이오 반응기에 주입되는 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보를 입력하도록 마련된 시뮬레이션 조건 입력부; 상기 입력된 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 측정 시간 정보를 확인하고, 상기 확인된 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 측정 시간 정보에 기초하여 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산하는 시뮬레이션 계산부; 및 상기 계산된 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식에 기초하여 상기 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포에 대한 예측 결과물을 출력하는 시뮬레이션 결과 출력부를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 시뮬레이션 계산부는 상기 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산할 때에, 교반에 의한 난류 유동 방정식, 기체-액체 물질 전달에 의해 생성된 용존 가스의 거동 방정식, 기포의 생성과 소멸 및 거동 방정식을 이용할 수 있다.

[0010] 상기 교반에 의한 난류 유동 방정식은, 유체 내 압력, 밀도, 중력 가속도, 점도, 유체의 속도에 의해 계산되는 최종적인 유체의 디퓨전(diffusion)과 속도에 따른 밀도를 이용할 수 있다.

[0011] 상기 기체-액체 물질 전달에 의해 생성된 용존 가스의 거동 방정식은, 밀도, 유체의 속도, 용존 가스의 농도, 유체의 디퓨전에 따른 밀도와 용존 가스의 농도, 종(species) 물질 전달률에 의해 계산되는 최종적인 밀도와 용존 가스의 농도를 이용할 수 있다.

[0012] 상기 종(species) 물질 전달률은, 물질 전달 계수, 계면 영역, 가스의 질량 농도, 액체의 질량 농도에 의해 계산될 수 있다.

[0013] 상기 기포의 생성과 소멸 및 거동 방정식은, 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식과, 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식에 의해 계산되는 최종적인 기포들의 부피 개수 밀도와 유체의 속도에 따른 기포들의 부피 개수 밀도와 기포의 부피에 기초한 성장률에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용할 수 있다.

[0014] 상기 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식은, 부피를 갖는 기포들간의 합쳐짐에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용할 수 있다.

[0015] 상기 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식은, 부피를 갖는 기포들의 부서짐에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용할 수 있다.

[0016] 상기 시뮬레이션 결과 출력부는, 상기 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포에 대한 예측 결과물을 3차원 이미지로 출력할 수 있다.

[0017] 상기 용존 가스는 용존 일산화탄소 가스일 수 있다.

[0018] 개시된 발명의 다른 측면에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 방법은, 바이오 반응기내 용존

가스의 농도 분포를 예측하기 위해 바이오 반응기에 주입되는 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보를 입력하고, 상기 입력된 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 측정 시간 정보를 확인하고, 상기 확인된 가스의 주입 속도 정보와 임펠러의 회전 속도 정보와 측정 시간 정보에 기초하여 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산하고, 상기 계산된 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식에 기초하여 상기 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포에 대한 예측 결과물을 출력할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 개시된 발명의 일 측면에 따르면, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 바이오 반응기내 실시간 용존 가스의 농도 분포를 예측할 수 있는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치 및 그 예측 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치를 도시한다.

도 2는 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치가 적용된 바이오 반응기를 일 예로 도시한다.

도 3은 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치에서 머신 러닝 모델을 이용하여 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측하는 것을 도시한다.

도 4 내지 도 6은 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치에서 시뮬레이션 결과 출력부에 의해 표시되는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 정보에 대한 예측 결과물을 일 예로 도시한다.

도 7은 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치에서 시뮬레이션 결과 출력부에 의해 표시되는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 정보에 대한 예측 결과물을 다른 일 예로 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다. 본 명세서가 실시예들의 모든 요소들을 설명하는 것은 아니며, 개시된 발명이 속하는 기술분야에서 일반적인 내용 또는 실시예들 간에 중복되는 내용은 생략한다. 명세서에서 사용되는 '부, 모듈, 부재, 블록'이라는 용어는 소프트웨어 또는 하드웨어로 구현될 수 있으며, 실시예들에 따라 복수의 '부, 모듈, 부재, 블록'이 하나의 구성요소로 구현되거나, 하나의 '부, 모듈, 부재, 블록'이 복수의 구성요소들을 포함하는 것도 가능하다.

[0022] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 직접적으로 연결되어 있는 경우뿐 아니라, 간접적으로 연결되어 있는 경우를 포함하고, 간접적인 연결은 무선 통신망을 통해 연결되는 것을 포함한다.

[0023] 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0024] 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.

[0025] 제 1, 제 2 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위해 사용되는 것으로, 구성요소가 전술된 용어들에 의해 제한되는 것은 아니다.

[0026] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 예외가 있지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.

[0027] 각 단계들에 있어 식별부호는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않는 이상 명기된 순서와 다르게 실시될 수 있다.

[0028] 이하 첨부된 도면들을 참고하여 개시된 발명의 작용 원리 및 실시예들에 대해 설명한다.

[0029] 이하에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 바이오 반응기내 실시간 용존 일산화탄소 가스의 농도 분포를 예측할 수 있는 바이오 반응기내 용존 일산화탄소 가스의 농도 분포 예측 장치를 살펴보기로 한다.

[0030] 도 1은 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치를 도시한다.

[0031] 도 1에 도시된 바와 같이, 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치(100)는 프로그램으로 제공될 수 있다. 프로그램은 시뮬레이션 조건 입력부(110), 시뮬레이션 계산부(120), 시뮬레이션 결과 출력부(130)를 포함할 수 있다.

[0032] 시뮬레이션 조건 입력부(110)는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측하기 위해 바이오 반응기에 주입되는 가스의 주입 속도 정보(111)와 임펠러의 회전 속도 정보(112)와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보(113)를 입력하도록 마련될 수 있다. 사용자는 시뮬레이션 조건 입력부(110)에 가스의 주입 속도 정보(111)와 임펠러의 회전 속도 정보(112)와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보(113)를 입력할 수 있다. 예를 들어, 사용자는 바이오 반응기내 기체-액체 물질 전달 성능에 영향을 주는 가스의 주입 속도를 0.01 내지 0.05 m/s의 범위에서 입력할 수 있고, 임펠러의 회전 속도를 300 내지 1000 rpm의 범위에서 입력할 수 있다. 사용자는 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간의 시작과 끝을 4 내지 20 sec의 범위에서 입력할 수 있다.

[0033] 도 2는 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치가 적용된 바이오 반응기를 일예로 도시한다.

[0034] 도 2에 도시된 바와 같이, 바이오 반응기(10)는 반응물을 담는 반응기 본체(1)의 내부에 설치되어 반응물을 교반시키는 임펠러(2)와, 임펠러(2)의 회전축(3)에 결합되어 임펠러(2)를 회전시키는 모터(4)와, 반응기 본체(1)의 내벽과 임펠러(2) 사이에 마련되고 반응기 본체(1)의 반경 방향 및 원주 방향을 따라 일정 간격으로 설치되는 복수의 배플(5a, 5b, 5c, baffle)과, 반응기 본체(1)의 바닥면에 설치되어 가스를 주입하는 인렛(6)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 임펠러(2)는 교반 효율에 따라 회전축(3)에 2개 이상 일정 간격으로 결합될 수 있다. 복수의 배플(5a, 5b, 5c)은 그 내부로 열교환을 위한 유체가 흐르는 배관을 포함하고, 임펠러(2)의 회전에 따른 반응물의 원주 방향 흐름을 상하 방향으로 바꾸어 반응물의 혼합을 양호하게 하고, 반응물과 열교환을 통해 반응물의 온도를 일정하게 유지시키는 온도 제어 기능을 수행할 수 있다. 바이오 반응기(10)는 크기별 또는 높이별로 서로 다르게 제작될 수 있다.

[0035] 사용자는 시뮬레이션 계산부(120)를 클릭하여 시뮬레이션 계산부(120)를 수행시킬 수 있다.

[0036] 시뮬레이션 계산부(120)는 시뮬레이션 조건 입력부(110)에 의해 입력된 가스의 주입 속도 정보(111)와 임펠러의 회전 속도 정보(112)와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보(113)를 확인할 수 있다.

[0037] 시뮬레이션 계산부(120)는 확인된 가스의 주입 속도 정보(111)와 임펠러의 회전 속도 정보(112)와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보(113)에 기초하여 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산할 수 있다.

[0038] 도 3은 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치에서 머신 러닝 모델을 이용하여 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측하는 것을 도시한다.

[0039] 도 3에 도시된 바와 같이, 머신 러닝 모델(M)은 확인된 가스의 주입 속도 데이터(VD1, VD2, VD3)와, 확인된 임펠러의 회전 속도 데이터(RD1, RD2)와, 확인된 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 데이터(TD1)를 스스로 만들어 가스의 주입 속도 데이터(VD1, VD2, VD3)와, 임펠러의 회전 속도 데이터(RD1, RD2)와, 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 데이터(TD1)를 통해 스스로 학습할 수 있다. 예를 들어, 가스의 주입 속도 데이터인 VD1은 0.01m/s일 수 있고, VD2는 0.03m/s일 수 있고, VD3는 0.05m/s일 수 있다. 임펠러의 회전 속도 데이터인 RD1은 600rpm일 수 있고, RD2는 800rpm일 수 있다. 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 데이터인 TD1은 측정 시간의 시작과 끝이 4 내지 20 sec일 수 있다.

[0040] 머신 러닝 모델(M)은 가스의 주입 속도 데이터(VD1, VD2, VD3)에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 변화를 분석할 수 있고, 임펠러의 회전 속도 데이터(RD1, RD2)에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 변화를 분석할 수 있고, 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 데이터(TD1)에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 변화를 분석할 수 있다.

[0041] 머신 러닝 모델(M)은 분석을 통해 도출된 가스의 주입 속도 데이터(VD1, VD2, VD3)와, 임펠러의 회전 속도 데이터(RD1, RD2)와, 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 데이터(TD1)에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 변화에 기초하여 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측할 수 있다.

[0042] 시뮬레이션 계산부(120)는 머신 러닝 모델(M)을 이용하여 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산할 때에, 교반에 의한 난류 유동 방정식, 기체-액체 물질 전달에 의해 생성된 용존 가스의 거동 방정식, 기포의 생성과

소멸 및 거동 방정식을 이용할 수 있다.

[0043] 교반에 의한 난류 유동 방정식은 유체 내 압력, 밀도, 중력 가속도, 점도, 유체의 속도에 의해 계산되는 최종적인 유체의 디퓨전(diffusion)과 속도에 따른 밀도를 이용할 수 있다. 예를 들어, 교반에 의한 난류 유동 방정식은 하기 [수학식 1]과 같이 나타낼 수 있다.

[0044] [수학식 1]

[0045] $$\rho\frac{D\vec{v}}{Dt} = -\nabla p + \rho\vec{g} + \mu\nabla^2\vec{v}$$

[0046] $\rho\frac{D\vec{v}}{Dt}$ 은 최종적인 유체의 디퓨전(diffusion)과 속도에 따른 밀도이고, ρ 은 밀도이고, D 는 유체의 디퓨전이고, $\vec{v}$ 는 유체의 속도이고, p 는 유체 내 압력이고, $\vec{g}$ 는 중력 가속도이고, μ 는 점도일 수 있다.

[0047] 교반에 의한 난류 유동 방정식은 유체 내 압력 차이에 의한 거동과, 중력 가속도에 의한 유체의 거동과, 유체 점도를 고려한 거동을 이용할 수 있다.

[0048] 기체-액체 물질 전달에 의해 생성된 용존 가스의 거동 방정식은 밀도, 유체의 속도, 용존 가스의 농도, 유체의 디퓨전에 따른 밀도와 용존 가스의 농도, 종(species) 물질 전달률에 의해 계산되는 최종적인 밀도와 용존 가스의 농도를 이용할 수 있다. 이때, 종(species) 물질 전달률은, 물질 전달 계수, 계면 영역, 가스의 질량 농도, 액체의 질량 농도에 의해 계산될 수 있다. 예를 들어, 기체-액체 물질 전달에 의해 생성된 용존 가스의 거동 방정식은 하기 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

[0049] [수학식 2]

[0050] $$\frac{\partial(\rho C_1)}{\partial t} = -\nabla\cdot(\rho\vec{v}C_1) + D\nabla(\rho C_1) + \dot{m}_{gl}$$,

[0051] $$\dot{m}_{gl} = kglA(\rho_g _ \rho_l)$$

[0052] $\frac{\partial(\rho C_1)}{\partial t}$ 는 최종적인 밀도와 용존 가스의 농도이고, ρ 은 밀도이고, $\vec{v}$ 는 유체의 속도이고, C_1 은 용존 가스의 농도이고, D 는 유체의 디퓨전이고, $\dot{m}_{gl}$ 은 종(species) 물질 전달률이고, kgl 은 물질 전달 계수이고, A 는 계면 영역이고, ρ_g 은 가스의 질량 농도이고, ρ_l 은 액체의 질량 농도일 수 있다.

[0053] 기체-액체 물질 전달에 의해 생성된 용존 가스의 거동 방정식은 유체의 유동에 의한 용존 가스의 거동과, 유체의 디퓨전에 의한 용존 가스의 거동과, 종(species) 물질 전달률에 의한 용존 가스의 농도를 이용할 수 있다.

[0054] 기포의 생성과 소멸 및 거동 방정식은, 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식과, 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식에 의해 계산되는 최종적인 기포들의 부피 개수 밀도와 유체의 속도에 따른 기포들의 부피 개수 밀도와 기포들의 부피에 기초한 성장률에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용할 수 있다. 예를 들어, 기포의 생성과 소멸 및 거동 방정식은 하기 [수학식 3]과 같이 나타낼 수 있다.

[0055] [수학식 3]

$$\frac{\partial}{\partial t}[n(V,t)] + \nabla \cdot [\vec{v}n(V,t)] + \nabla \cdot [G_V n(V,t)]$$

$$= \frac{1}{2}\int^{V} a(V-V',V')n(V-V',t)n(V',t)dV' - \int_0^{\infty} a(V,V')n(V,t)n(V',t)dV'$$

$$+ \int_{\Omega_v} pg(V')\beta(V|V')n(V',t)dV'] - g(V)n(V,t)$$

[0056]

[0057] $\frac{\partial}{\partial t}[n(V,t)]$ 는 최종적인 기포들의 부피 개수 밀도이고, $\nabla \cdot [\vec{v}n(V,t)]$ 는 최종적인 유체의 속도에 따른 기포들의 부피 개수 밀도이고, $\nabla \cdot [G_V n(V,t)]$ 는 최종적인 기포의 부피에 기초한 성장률에 따른 기포들의 부피 개수 밀도이고, $\frac{1}{2}\int^{V} a(V-V',V')n(V-V',t)n(V',t)dV'$ 은 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식이고, $\int_0^{\infty} a(V,V')n(V,t)n(V',t)dV'$ 은 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 감소 방정식이고, $\int_{\Omega_v} pg(V')\beta(V|V')n(V',t)dV']$ 은 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식이고, $g(V)n(V,t)$ 은 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 감소 방정식일 수 있다.

[0058] 이때, n 은 기포들의 개수 밀도이고, V 는 하나의 기포의 부피이고, $n(V,t)$ 는 V의 부피를 갖는 기포의 개수 밀도이고, $\vec{v}$ 는 유체의 속도이고, G_V 는 기포의 부피에 기초한 성장률이고, V' 는 다른 하나의 기포의 부피이고, $a(V-V',V')$ 는 V-V'와 V'의 부피를 갖는 기포들간의 합쳐짐에 대한 충돌 발생 확률 빈도이고, $n(V-V',t)$ 는 V-V'의 부피를 갖는 기포의 개수 밀도, $n(V',t)$ 는 V'의 부피를 갖는 기포의 개수 밀도이고, $a(V,V')$ 는 V와 V'의 부피를 갖는 기포들간의 합쳐짐에 대한 충돌 발생 확률 빈도이고, Ω_v 는 기포 부피의 형태들이고, p 는 유체 내 압력이고, $g(V')$ 는 V'의 부서짐 빈도이고, $\beta(V|V')$ 는 V'에서 V로 부서지는 기포들의 확률 밀도 함수이고, $g(V)$ 는 V의 부서짐 빈도일 수 있다.

[0059] 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식은, 부피를 갖는 기포들간의 합쳐짐에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용할 수 있다. 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식은 작은 기포가 서로 합쳐져 기포의 생성에 따라 기포들의 부피 개수가 증가할 때에 이용할 수 있다. 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 감소 방정식은 하나의 기포와 다른 하나의 기포가 합쳐져 기포의 부피가 이상이되어 기포가 소멸됨에 따라 기포들의 부피 개수가 감소할 때에 이용할 수 있다.

[0060] 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식은, 부피를 갖는 기포들의 부서짐에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용할 수 있다. 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식은 부피가 큰 기포가 부서져 기포의 생성에 따라 기포들의 부피 개수가 증가할 때에 이용할 수 있다. 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 감소 방정식은 기포가 부서져 기포가 소멸됨에 따라 기포들의 부피 개수가 감소할 때에 이용할 수 있다.

[0061] 사용자는 시뮬레이션 결과 출력부(130)를 클릭하여 시뮬레이션 결과 출력부(130)를 수행시킬 수 있다.

[0062] 시뮬레이션 결과 출력부(130)는 시뮬레이션 계산부(120)에 의해 계산된 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식에

기초하여 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포에 대한 예측 결과물을 출력할 수 있다.

[0063] 시뮬레이션 결과 출력부(130)는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 정보에 대한 예측 결과물을 3차원 이미지로 출력할 수 있다. 시뮬레이션 결과 출력부(130)는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 정보에 대한 예측 결과물을 ASCII 파일로 출력할 수 있다. 사용자는 예측 결과물에 대한 출력 간격을 설정할 수 있다.

[0064] 도 4 내지 도 6은 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치에서 시뮬레이션 결과 출력부에 의해 표시되는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 정보에 대한 예측 결과물을 일 예로 도시한다.

[0065] 도 4에 도시된 바와 같이, 사용자가 시뮬레이션 결과 출력부(130)를 클릭하면, 시뮬레이션 결과 출력부(130)는 높이가 300㎜일 때의 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 표시할 수 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 사용자가 시뮬레이션 결과 출력부(130)를 클릭하면, 시뮬레이션 결과 출력부(130)는 높이가 200㎜일 때의 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 표시할 수 있다. 도 6에 도시된 바와 같이, 사용자가 시뮬레이션 결과 출력부(130)를 클릭하면, 시뮬레이션 결과 출력부(130)는 높이가 100㎜일 때의 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 표시할 수 있다. 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포는 보라색 계열에서 노란색 계열까지 표시될 수 있고, 노란색 계열의 용존 가스의 농도가 보라색 계열의 용존 가스의 농도보다 더 높을 수 있다.

[0066] 도 7은 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치에서 시뮬레이션 결과 출력부에 의해 표시되는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 정보에 대한 예측 결과물을 다른 일 예로 도시한다.

[0067] 도 7에 도시된 바와 같이, 사용자가 시뮬레이션 결과 출력부(130)를 클릭하면, 시뮬레이션 결과 출력부(130)는 반응기 윤곽의 전체 높이에 대해 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 표시할 수 있다. 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포는 보라색 계열에서 노란색 계열까지 표시될 수 있고, 노란색 계열의 용존 가스의 농도가 보라색 계열의 용존 가스의 농도보다 더 높을 수 있다.

[0068] 한편, 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치(100)는 용존 일산화탄소 가스의 농도 분포를 예측하기 위해 마련될 수 있다. 도시된 바에 한정되지 않고, 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치(100)는 다른 성분의 용존 가스의 농도 분포를 예측할 수 있다.

[0069] 도 8은 일 실시예에 의한 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 방법의 일 예를 도시한다.

[0070] 도 8을 참조하면, 사용자는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측하기 위해 프로그램에 마련된 시뮬레이션 조건 입력부(110)에 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측하기 위해 바이오 반응기에 주입되는 가스의 주입 속도 정보(111)와 임펠러의 회전 속도 정보(112)와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보(113)를 입력할 수 있다(810). 예를 들어, 사용자는 바이오 반응기내 기체-액체 물질 전달 성능에 영향을 주는 가스의 주입 속도를 0.01 내지 0.05 m/s의 범위에서 입력할 수 있고, 임펠러의 회전 속도를 300 내지 1000 rpm의 범위에서 입력할 수 있다. 사용자는 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간의 시작과 끝을 4 내지 20 sec의 범위에서 입력할 수 있다.

[0071] 프로그램은 시뮬레이션 계산부(120)에 의하여, 시뮬레이션 조건 입력부(110)에 의해 입력된 가스의 주입 속도 정보(111)와 임펠러의 회전 속도 정보(112)와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보(113)를 확인할 수 있다(820).

[0072] 프로그램은 시뮬레이션 계산부(120)에 의하여, 확인된 가스의 주입 속도 정보(111)와 임펠러의 회전 속도 정보(112)와 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 정보(113)에 기초하여 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산할 수 있다(830).

[0073] 머신 러닝 모델(M)은 확인된 가스의 주입 속도 데이터(VD1, VD2, VD3)와, 확인된 임펠러의 회전 속도 데이터(RD1, RD2)와, 확인된 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 데이터(TD1)를 스스로 만들어 가스의 주입 속도 데이터(VD1, VD2, VD3)와, 임펠러의 회전 속도 데이터(RD1, RD2)와, 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 데이터(TD1)를 통해 스스로 학습할 수 있다.

[0074] 머신 러닝 모델(M)은 가스의 주입 속도 데이터(VD1, VD2, VD3)에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 변화를 분석할 수 있고, 임펠러의 회전 속도 데이터(RD1, RD2)에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 변화를 분석할 수 있고, 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 데이터(TD1)에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 변화를 분석할 수 있다.

[0075] 머신 러닝 모델(M)은 분석을 통해 도출된 가스의 주입 속도 데이터(VD1, VD2, VD3)와, 임펠러의 회전 속도 데이

터(RD1, RD2)와, 농도 분포 예측이 필요한 측정 시간 데이터(TD1)에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 변화에 기초하여 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 예측할 수 있다.

[0076] 프로그램은 머신 러닝 모델(M)에 의하여, 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식을 계산할 때에, 교반에 의한 난류 유동 방정식, 기체-액체 물질 전달에 의해 생성된 용존 가스의 거동 방정식, 기포의 생성과 소멸 및 거동 방정식을 이용할 수 있다.

[0077] 교반에 의한 난류 유동 방정식은 유체 내 압력, 밀도, 중력 가속도, 점도, 유체의 속도에 의해 계산되는 최종적인 유체의 디퓨전(diffusion)과 속도에 따른 밀도를 이용할 수 있다.

[0078] 기체-액체 물질 전달에 의해 생성된 용존 가스의 거동 방정식은 밀도, 유체의 속도, 용존 가스의 농도, 유체의 디퓨전에 따른 밀도와 용존 가스의 농도, 종(species) 물질 전달률에 의해 계산되는 최종적인 밀도와 용존 가스의 농도를 이용할 수 있다. 이때, 종(species) 물질 전달률은, 물질 전달 계수, 계면 영역, 가스의 질량 농도, 액체의 질량 농도에 의해 계산될 수 있다.

[0079] 기포의 생성과 소멸 및 거동 방정식은, 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식과, 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식에 의해 계산되는 최종적인 기포들의 부피 개수 밀도와 유체의 속도에 따른 기포들의 부피 개수 밀도와 기포들의 부피에 기초한 성장률에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용할 수 있다. 기포들의 합쳐짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식은, 부피를 갖는 기포들간의 합쳐짐에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용할 수 있다. 기포들의 부서짐에 의한 기포들의 부피 개수 증가 방정식 및 기포들의 부피 개수 감소 방정식은, 부피를 갖는 기포들의 부서짐에 따른 기포들의 부피 개수 밀도를 이용할 수 있다.

[0080] 프로그램은 시뮬레이션 결과 출력부(130)에 의하여, 시뮬레이션 계산부(120)에 의해 계산된 용존 가스의 농도 분포 예측 방정식에 기초하여 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포에 대한 예측 결과물을 출력할 수 있다(840). 시뮬레이션 결과 출력부(130)는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 정보에 대한 예측 결과물을 3차원 이미지로 출력할 수 있다. 시뮬레이션 결과 출력부(130)는 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 정보에 대한 예측 결과물을 ASCII 파일로 출력할 수 있다. 사용자는 예측 결과물에 대한 출력 간격을 설정할 수 있다.

[0081] 사용자가 시뮬레이션 결과 출력부(130)를 클릭하면, 시뮬레이션 결과 출력부(130)는 도 4에 도시된 바와 같이 높이가 300㎜일 때의 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 표시할 수 있고, 도 5에 도시된 바와 같이 높이가 200㎜일 때의 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 표시할 수 있고, 도 6에 도시된 바와 같이 높이가 100㎜일 때의 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 표시할 수 있고, 도 7에 도시된 바와 같이 반응기 윤곽의 전체 높이에 대해 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포를 표시할 수 있다. 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포는 보라색 계열에서 노란색 계열까지 표시될 수 있고, 노란색 계열의 용존 가스의 농도가 보라색 계열의 용존 가스의 농도보다 더 높을 수 있다.

[0082] 이상과 같이, 일 실시예에 따른 바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포 예측 장치(100)는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 바이오 반응기내 실시간 용존 가스의 농도 분포를 예측할 수 있다.

[0083] 한편, 개시된 실시예들은 컴퓨터에 의해 실행 가능한 명령어를 저장하는 기록 매체의 형태로 구현될 수 있다. 명령어는 프로그램 코드의 형태로 저장될 수 있으며, 프로세서에 의해 실행되었을 때, 프로그램 모듈을 생성하여 개시된 실시예들의 동작을 수행할 수 있다. 기록 매체는 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체로 구현될 수 있다.

[0084] 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록 매체로는 컴퓨터에 의하여 해독될 수 있는 명령어가 저장된 모든 종류의 기록 매체를 포함한다. 예를 들어, ROM(Read Only Memory), RAM(Random Access Memory), 자기 테이프, 자기 디스크, 플래시 메모리, 광 데이터 저장장치 등이 있을 수 있다.

[0085] 이상에서와 같이 첨부된 도면을 참조하여 개시된 실시예들을 설명하였다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고도, 개시된 실시예들과 다른 형태로 본 발명이 실시될 수 있음을 이해할 것이다. 개시된 실시예들은 예시적인 것이며, 한정적으로 해석되어서는 안 된다.

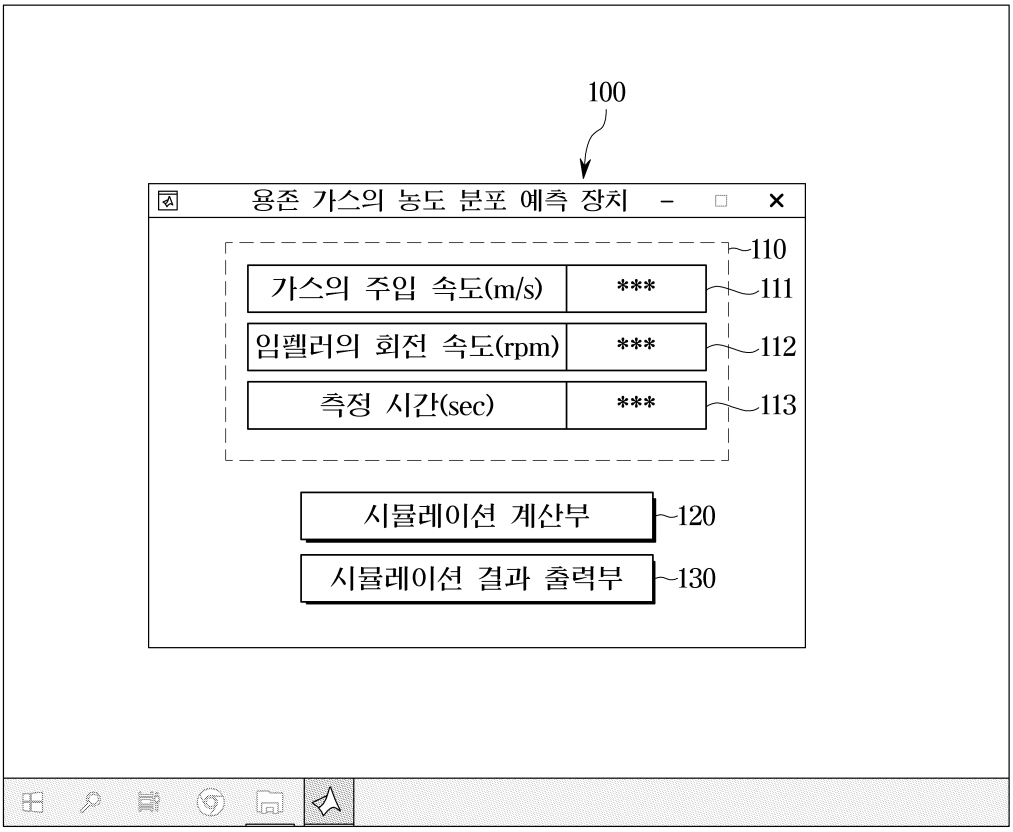
부호의 설명

[0086] 100: 용존 가스의 농도 분포 예측 장치 110: 시뮬레이션 조건 입력부

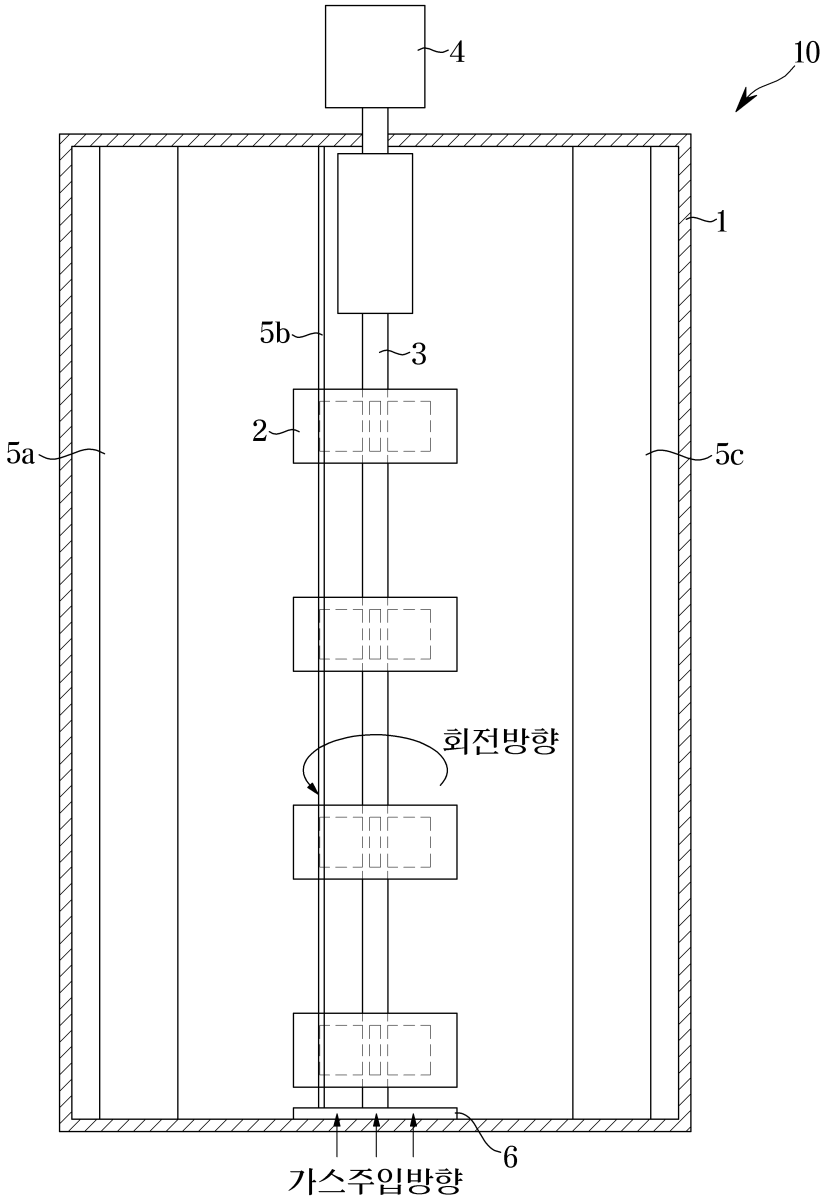
120: 시뮬레이션 계산부 130: 시뮬레이션 결과 출력부

도면

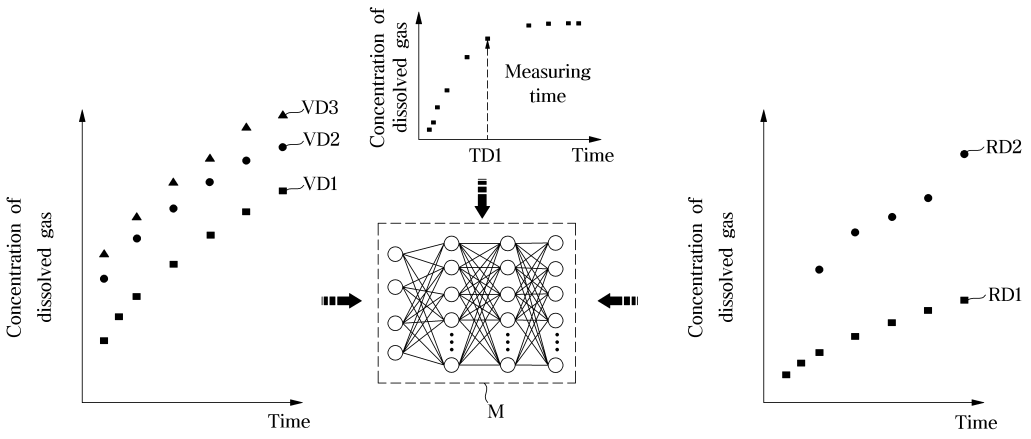
도면1



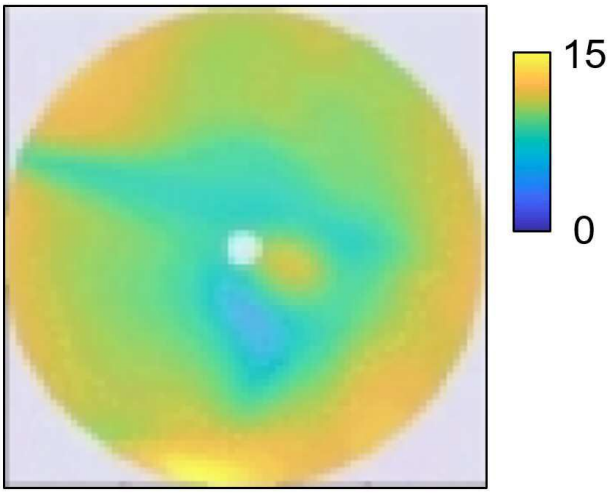
도면2


4
10
1
5b
3
2
5a
5c
회전방향
6
가스주입방향

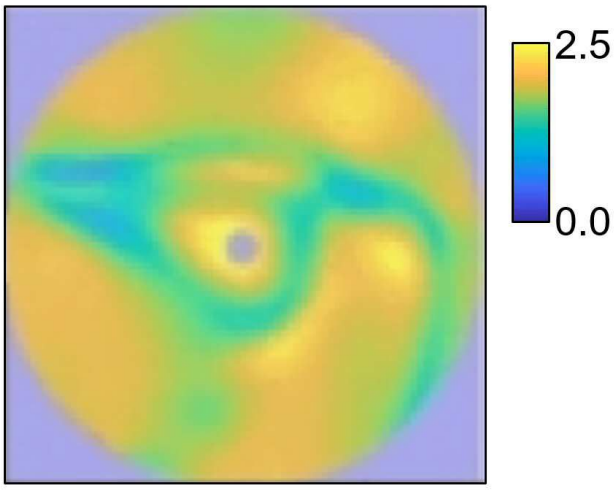
도면3


Concentration of dissolved gas
VD3
VD2
VD1
Time
Concentration of dissolved gas
Measuring time
TD1
Time
M
Concentration of dissolved gas
RD2
RD1
Time

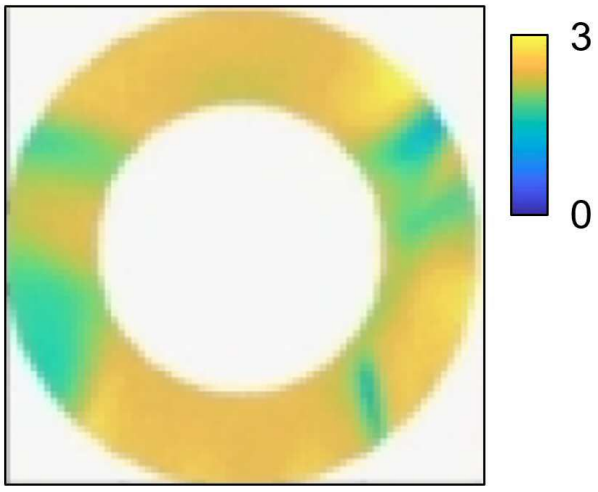
도면4



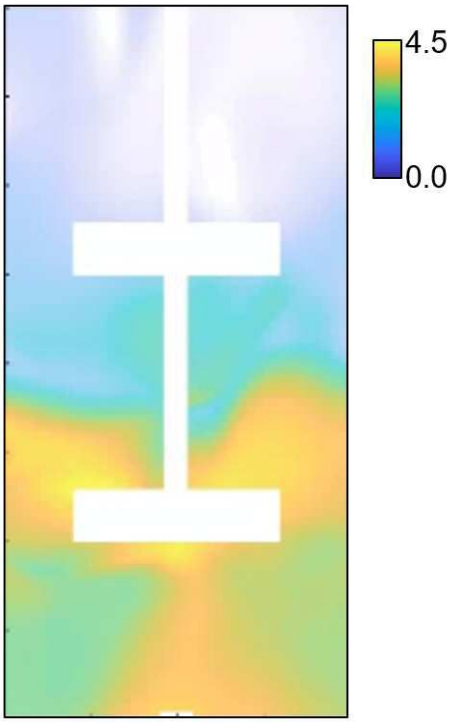
도면5



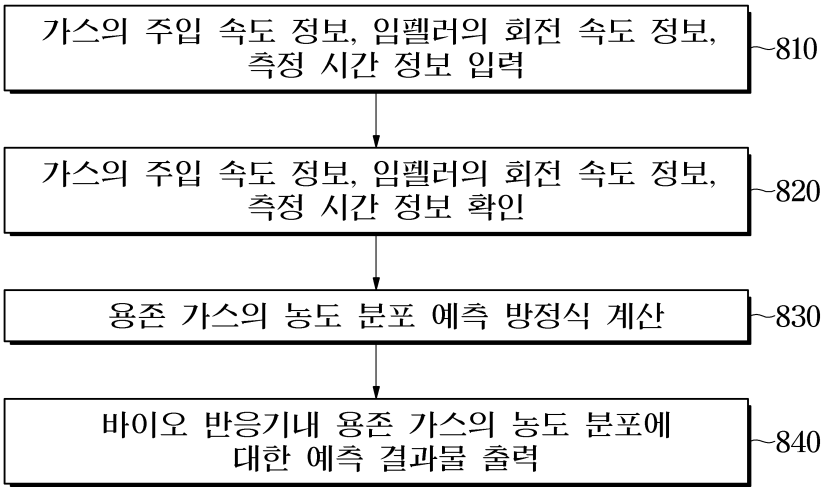
도면6



도면7


4.5
0.0

도면8


가스의 주입 속도 정보, 임펠러의 회전 속도 정보, 측정 시간 정보 입력
810
가스의 주입 속도 정보, 임펠러의 회전 속도 정보, 측정 시간 정보 확인
820
용존 가스의 농도 분포 예측 방정식 계산
830
바이오 반응기내 용존 가스의 농도 분포에 대한 예측 결과물 출력
840