



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0110504
(43) 공개일자 2021년09월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C10G 9/32 (2006.01) C10G 1/00 (2006.01)
C10G 1/02 (2006.01) C10J 3/48 (2006.01)
C10J 3/50 (2006.01)
(52) CPC특허분류
C10G 9/32 (2013.01)
C10G 1/008 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0015346
(22) 출원일자 2021년02월03일
심사청구일자 2021년02월03일
(30) 우선권주장
1020200025109 2020년02월28일 대한민국(KR)

(71) 출원인
연세대학교 원주산학협력단
강원도 원주시 흥업면 연세대길 1
(72) 발명자
최항석
강원도 원주시 지정면 가곡로 50, 1006동 402호
황재규
강원도 원주시 복원로 1600, 102동 502호
최명규
강원도 원주시 흥업면 세동길 13 104동 102호 (매지리, 현대아파트)
(74) 대리인
김보정

전체 청구항 수 : 총 11 항

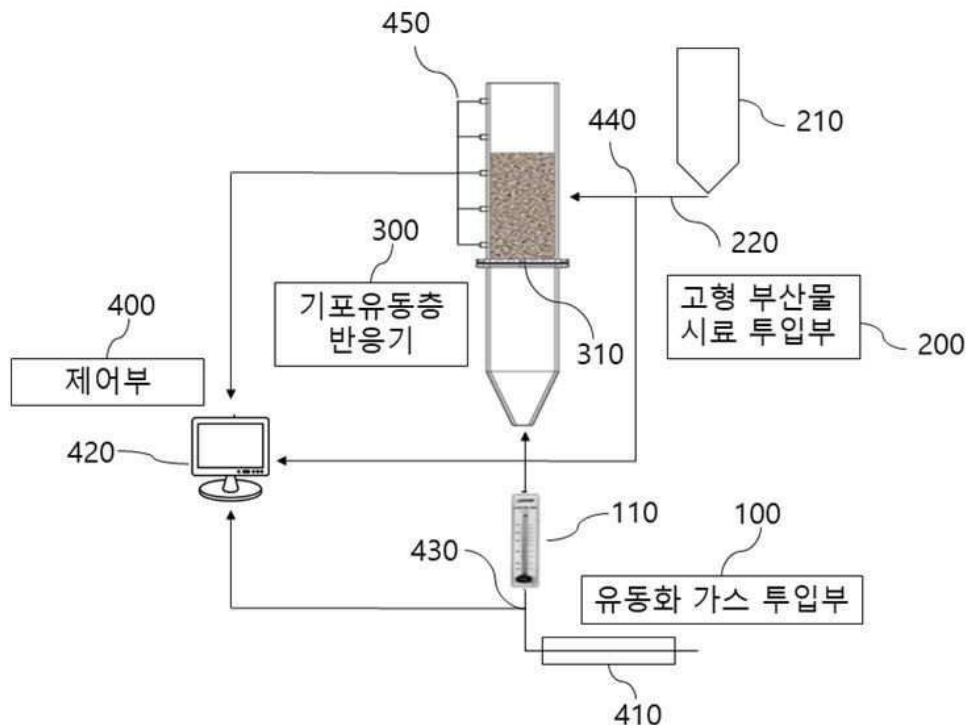
(54) 발명의 명칭 바이오오일의 생산효율 향상 장치 및 그 방법

(57) 요약

바이오오일의 생산효율을 향상시키기 위한 실험방법 및 그 장치가 개시된다. 본 발명의 장치는 유동화 가스를 반응기 하단에서 투입하기 위한 유동화 가스 유량을 조절할 수 있는 볼 유량계를 포함하는 가스 투입부와 고형 부산물을 저장하는 고형 부산물 저장탱크와 저장탱크 내 고형 부산물을 반응기 안으로 투입하는 스크류 모터를 포

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



함하는 시료 투입부, 분산판의 형상변화(원형, 정사각형, 직사각형)에 따른 3가지 종류의 기포유동층 반응기, 유동화 가스 투입 온도를 조절하는 가열체, 가스 투입 온도를 측정하는 온도센서, 기포유동층 반응기 내부로 고품부산물을 투입하는 모터의 속도를 조절 가능한 속도 제어장치, 기포유동층 반응기에서 실시간으로 압력을 측정하는 압력센서, 상기한 온도, 압력 데이터를 저장하는 저장장치를 포함하는 제어부를 포함하여 구성함으로써 유동화 가스의 유량을 조절하면서, 실시간으로 측정되는 압력 데이터를 통하여 기포유동층의 압력강하 선도 도출이 가능하며, 이 선도를 통해 유동층 설계에 가장 중요한 설계 인자인 최소 유동화 속도를 구할 수 있다.

(52) CPC특허분류

C10G 1/02 (2013.01)

C10J 3/482 (2013.01)

C10J 3/503 (2013.01)

C10G 2300/1011 (2013.01)

C10G 2300/4006 (2013.01)

C10G 2300/4012 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415168240
과제번호	20173010092430
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	신재생에너지핵심기술개발(R&D)
연구과제명	20T/D급 열분해 오일 생산 실증 및 이용기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)대경에스코
연구기간	2017.12.01 ~ 2021.11.30

명세서

청구범위

청구항 1

원형, 정사각형, 직사각형 형상의 분산판을 포함하는 원형, 정사각형, 직사각형의 단면을 가지는 기포유동층 반응기;

상기 기포유동층 반응기 내부에 유동화 가스를 투입하는 유동화 가스 투입부;

상기 기포유동층 반응기 내부에 고형 부산물을 투입하는 고형 부산물 시료 투입부;

상기 기포유동층 반응기의 측면에 구비되어 실시간으로 압력을 측정하는 압력센서;

상기 압력센서에서 실시간 측정한 압력을 수신하여 데이터 저장장치에 저장함과 동시에 측정된 압력 데이터를 통하여 유동화 가스의 유량을 조절하여 기포유동층의 압력강하 선도 도출이 가능하도록 동작하는 제어부;

를 포함하고,

상기 제어부는

도출된 선도를 통해 유동층 설계 인자인 최소 유동화 속도를 구하는 바이오오일의 생산효율 향상 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 유동화 가스 투입부에 연결되어 있는 스테인레스관을 가열하는 가열체;

온도와 압력데이터를 저장하는 데이터 저장장치;

기포유동층 반응기 하단으로 투입되는 유동화 가스의 온도를 측정하는 온도센서; 및

상기 기포유동층 반응기 내부로 고형 부산물을 투입하는 스크류 모터의 속도를 조절하는 속도 제어 장치;

를 더 포함하는 바이오오일의 생산효율 향상 장치.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 기포유동층 반응기는

측면에는 실시간으로 압력을 측정하여 상기 제어부의 데이터 저장장치로 데이터를 송신하는 압력센서가 부착되어 있는 것을 특징으로 하는 바이오오일의 생산효율 향상 장치.

청구항 4

청구항 2에 있어서,

상기 유동화 가스 투입부는

스테인레스관을 매개로 연결되어 상기 기포유동층 반응기 하단으로 유동화가스를 주입하며, 가스의 주입은 상기 기포유동층 반응기 하단에 부착되어 있는 볼 유량계를 통하여 이루어지며, 투입되는 가스의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 스테인레스관은 상기 제어부에서 조정하는 가열체와 가스의 투입 온도를 측정하여 제어부의 데이터 저장장치로 측정 온도를 송신하는 온도센서가 부착되어 있는 것을 특징으로 하는 바이오오일의 생산효율 향상 장치.

상 장치.

청구항 5

청구항 3 또는 청구항 4에 있어서,

상기 최소 유동화 속도는

유체가 충전층을 통과하지 못하는 고정층(fixed bed)의 유속을 결정하고, 이러한 고정층 영역이 최대 압력강하를 보인 후 급격하게 감소한 지점에서 공탐속도를 일정한 속도로 증가시켜 고체입자가 부유하는 압력강하 감소 및 천이현상이 발생하는 때의 공탐속도로 결정되는 바이오오일의 생산효율 향상 장치.

청구항 6

원형, 정사각형, 직사각형 형상의 분산관을 포함하는 원형, 정사각형, 직사각형의 단면을 가지는 기포유동층 반응기를 포함하는 바이오오일의 생산효율 향상 장치를 이용한 생산 효율 향상 방법에 있어서,

(a)상기 기포유동층 반응기 내부에 유동화 가스와 고형 부산물을 투입하는 단계;

(b)상기 기포유동층 반응기의 측면에 구비된 압력센서를 이용하여 실시간으로 압력을 측정하는 단계;

(c)상기 (b)단계에서 실시간 측정한 압력을 수신하여 측정된 압력 데이터를 통하여 유동화 가스의 유량을 조절하는 단계;

(d)상기 (c)단계의 유량 조절을 통하여 기포유동층의 압력강하 선도를 도출하는 단계; 및

(e)상기 (d)단계에서 도출된 선도를 통해 유동층 설계 인자인 최소 유동화 속도를 구하는 단계;

를 포함하는 바이오오일의 생산효율 향상 방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 (e)단계에서의 최소 유동화 속도는

유동층 반응기 형상 및 공탐속도(superficial gas velocity) 변화에 따른 유동층의 압력강하 선도를 이용하여 산출하는 바이오오일의 생산효율 향상 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 (e)단계에서의 최소 유동화 속도는

유동 안정 영역 및 fast fluidization으로 가는 choking영역을 구하여 결정되는 것을 특징으로 하는 바이오오일의 생산효율 향상 장치.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 최소 유동화 속도는

유체가 충전층을 통과하지 못하는 고정층(fixed bed)의 유속을 결정하고, 이러한 고정층 영역이 최대 압력강하를 보인 후 급격하게 감소한 지점에서 공탐속도를 일정한 속도로 증가시켜 고체입자가 부유하는 압력강하 감소

및 천이현상이 발생하는 때의 공탐속도로 결정되는 바이오오일의 생산효율 향상 장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

Kramer의 Mixing Index 도출식을 이용하여 최소 유동화 속도와 유동층 내 고형 부산물의 혼합-분리 특성을 판단하는 것을 특징으로 하는 바이오오일의 생산효율 향상 장치.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

Mixing Index 도출식은 다음의 수학식으로 표현되는 바이오오일의 생산효율 향상 장치.

$$M = \frac{\sigma_0^2 - \sigma_r^2}{\sigma_0^2 - \sigma_r^2}, \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

여기서, X_i 는 각 샘플링 셀에서 char의 질량 분율을 나타내고 σ_0^2 는 불활성 분립체(모래)와 고형 부산물(char)이 완전히 분리(segregate)되었을 때 고형 부산물의 질량 분율의 표준 편차, σ_r^2 는 불활성 분립체와 고형 부산물이 완전히 혼합되었을 때 고형 부산물의 질량 분율의 표준 편차, $M = 1$ 은 완전한 혼합을 나타내고 $M = 0$ 은 완전한 분리를 나타낸다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 바이오오일의 생산효율 향상 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 분산판을 포함하는 기포유동층 반응기도 분산판 형상 변화에 따라 원형, 정사각형, 직사각형의 단면을 갖게 하고 기포유동층 반응기의 하단에서 공기를 불어넣어 반응기 내의 분립체를 유동화시키는 구조로 유동화 가스의 유량과 분산판의 형상을 변화시켜 가면서 기포 유동층 반응기의 특성을 살펴볼 수 있는 바이오오일의 생산효율 향상 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 입자 지름이 작은 분립체를 반응기와 같은 용기에 넣고, 하단에서 분산판과 같은 정류기를 거쳐 가스 또는 액체를 흘려보내면, 유속이 작을 때에는 고정층이라 불리우는 입자가 정지된 상태이지만, 유속이 어느 정도 이상이 되면, 입자에 가해지는 유동저항과 중력이 같아져서 분립체는 마치 끓는 액체처럼 손쉽게 유동할 수 있는 상태가 된다. 이 현상이 유동화이며, 이 상태의 층이 유동층이다.

[0003] 유동층에서는 용기 내의 입자가 거의 균일하게 혼합되어, 입자와 유체의 접촉이 좋고 온도조절이 손쉬워, 간단한 장치로 다량의 분립체를 연속적으로 처리하여 그 일부를 빼내거나 공급할 수가 있다.

[0004] 반응기 하부에 있는 다공 분산판으로 유동화 가스를 주입하면 분산판 위에 불활성 분립체(대표적으로 모래)가 유동을 시작한다. 이때 반응기 내의 압력 강하가 층 면적당 고체의 무게가 같아지면 이때 고체들이 상호 움직임을 갖기 시작하는데 이 상태를 최소 유동화 상태라고 하며, 이때의 기체 속도를 최소 유동화 속도(minimum fluidization velocity)라고 한다.

[0005] 이후 계속적으로 유속을 증가시키면 압력 강하는 거의 일정하게 유지되지만 고체층이 팽창하면 고체들의 거동은 전적으로 액체와 같은 특성을 보이기 시작한다. 또한, 층은 큰 공주의 형태로 통과하는 기체들이 출현하여 이를 기/액계에서와 유사하게 기포라고 부르며 이 기포의 거동은 층을 매우 격렬하게 끓는 액체와 같은 형상으로 만든다. 이러한 현상을 기포 유동층(bubbling fluidized bed)이라고 한다.

[0006] 상기 기포 유동층은 고정층에 비해 열전달률이 우수하기 때문에 바이오매스를 에너지화하는 방법 중에 하나인

열분해 공정에서 주로 활용되고 있다. 열분해는 반응온도 450 내지 550℃ 범위의 무산소 조건에서 수행하는 바이오매스의 열화학적 변환 공정으로서, 투입된 바이오매스가 가스, 찰(char)로 변환되어 반응기에서 배출된다. 하지만, 찰의 경우, 유동층 반응기 내 모래 위에 얇은 층으로 축적되고 이러한 층은 공정의 연속운전을 방해한다.

[0007] 상기 최소 유동화 속도는 유동층 설계에 있어 가장 중요한 설계인자이며, 이러한 최소 유동화 속도와 유동층 내 고형 부산물의 혼합-분리 특성을 해석하기 위한 mixing index를 도출하기 위해서는 반응기 하단에서 투입되는 유동화 가스의 유속과 분산판의 형상을 변화시켜 가면서 특성을 살펴볼 수 있다.

[0008] 따라서, 본 발명은 상기한 특성들을 파악함으로써, 바이오오일의 생산효율을 향상시키기 위한 실험방법 및 그 장치를 제공하고자 하는 것이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) KR 등록특허공보 제10-0983074호(2010.09.13)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 이러한 문제점을 해결하기 위한 본 발명은 기포유동층 내부의 분산판 형상 변화에 따른 최소 유동화 속도를 도출하고, 반응기 내 고형 부산물 혼합-분리 현상을 해석하여 바이오오일의 생산효율 향상 장치 및 그 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 이러한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 바이오오일의 생산효율 향상 장치는 원형, 정사각형, 직사각형 형상의 분산판을 포함하는 원형, 정사각형, 직사각형의 단면을 가지는 기포유동층 반응기와 상기 기포유동층 반응기 내부에 유동화 가스를 투입하는 유동화 가스 투입부, 상기 기포유동층 반응기 내부에 고형 부산물을 투입하는 고형 부산물 시료 투입부, 상기 기포유동층 반응기의 측면에 구비되어 실시간으로 압력을 측정하는 압력센서, 상기 압력센서에서 실시간 측정한 압력을 수신하여 데이터 저장장치에 저장함과 동시에 측정된 압력 데이터를 통하여 유동화 가스의 유량을 조절하여 기포유동층의 압력강하 선도 도출이 가능하도록 동작하는 제어부를 포함하고, 상기 제어부는 도출된 선도를 통해 유동층 설계 인자인 최소 유동화 속도를 구하도록 구성함으로써 달성될 수 있다.

[0012] 상기 제어부는 상기 유동화 가스 투입부에 연결되어 있는 스테인레스관을 가열하는 가열체, 온도와 압력데이터를 저장하는 데이터 저장장치, 기포유동층 반응기 하단으로 투입되는 유동화 가스의 온도를 측정하는 온도센서, 기포유동층 반응기 내부로 고형 부산물을 투입하는 스크류 모터의 속도를 조절하는 속도 제어 장치를 더 포함할 수 있다.

[0013] 한편, 이러한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 원형, 정사각형, 직사각형 형상의 분산판을 포함하는 원형, 정사각형, 직사각형의 단면을 가지는 기포유동층 반응기를 포함하는 바이오오일의 생산효율 향상 장치를 이용한 생산 효율 향상 방법은 (a)상기 기포유동층 반응기 내부에 유동화 가스와 고형 부산물을 투입하는 단계와 (b)상기 기포유동층 반응기의 측면에 구비된 압력센서를 이용하여 실시간으로 압력을 측정하는 단계, (c)상기 (b)단계에서 실시간 측정한 압력을 수신하여 측정된 압력 데이터를 통하여 유동화 가스의 유량을 조절하는 단계, (d)상기 (c)단계의 유량 조절을 통하여 기포유동층의 압력강하 선도를 도출하는 단계를 포함하여 상기 (d)단계에서 도출된 선도를 통해 유동층 설계 인자인 최소 유동화 속도를 구할 수 있다.

발명의 효과

[0014] 따라서, 본 발명의 바이오오일의 생산효율 향상 장치 및 그 방법에 의하면, 기포유동층 반응기 하단에서 불 유량계를 통해 투입되는 유동화 가스의 유량을 조절하면서, 실시간으로 측정되는 압력 데이터를 통하여 기포유동층의 압력강하 선도 도출이 가능하며, 이 선도를 통해 유동층 설계에 가장 중요한 설계 인자인 최소 유동화 속

도를 구할 수 있다.

- [0015] 또한, 본 발명의 바이오오일의 생산효율 향상 장치 및 그 방법에 의하면, 고형 부산물을 투입하여 반응기 내 불활성 분립체와 부산물의 혼합-분리 현상을 해석하기 위한 mixing index를 도출할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 바이오오일의 생산효율을 향상시키기 위한 실험을 수행하는 장치의 주요 구성도,
 도 2는 원형, 정사각형, 직사각형의 형상을 가지는 분산판의 모습을 도시한 도면,
 도 3은 원형, 정사각형, 직사각형의 단면을 가지는 기포유동층 반응기를 도시한 도면,
 도 4는 본 발명의 바이오오일의 생산효율 향상 방법을 설명하기 위한 흐름도,
 도 5는 본 발명의 최소 유동화속도를 구하는 방법을 설명하기 위한 참고도면,
 도 6은 도출된 Mixing Index의 예시 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정 해석되지 아니하며, 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.
- [0018] 명세서 전체에서, 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. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "장치" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 및/또는 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0019] 명세서 전체에서 "및/또는"의 용어는 하나 이상의 관련 항목으로부터 제시 가능한 모든 조합을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 예를 들어, "제1 항목, 제2 항목 및/또는 제3 항목"의 의미는 제1, 제2 또는 제3 항목뿐만 아니라 제1, 제2 또는 제3 항목들 중 2개 이상으로부터 제시될 수 있는 모든 항목의 조합을 의미한다.
- [0020] 명세서 전체에서 각 단계들에 있어 식별부호(예를 들어, a, b, c, ...)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별부호는 각 단계들의 순서를 한정하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0021] 이하, 도면을 참고하여 본 발명의 일실시예에 대하여 설명한다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 바이오오일의 생산효율을 향상시키기 위한 실험을 수행하는 장치의 주요 구성도이며, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 원형, 정사각형, 직사각형 형상을 가지는 분산판의 모습을 도시한 그림이다. 도 3은 본 발명에 실시예에 따른 원형, 정사각형, 직사각형의 단면을 가지는 기포유동층의 반응기의 모습을 도시한 그림이다.
- [0023] 본 발명의 바이오오일의 생산효율을 향상시키기 위한 실험을 수행하는 장치는 도 1에 도시된 바와 같이, 반응기 하단의 유동화 가스 투입부(100), 고형 부산물 시료 투입부(200), 기포유동층 반응기(300) 및 제어부(400)를 포함할 수 있다.
- [0024] 유동화 가스 투입부(100)는 기포유동층 반응기(300) 내부에 유동화 가스를 투입하는 모듈이다. 유동화 가스는 에어컴프레서(미도시)와 같은 장치와 스테인레스관을 매개로 연결되어 기포유동층 반응기(300) 하단으로 주입된다. 가스의 주입은 기포유동층 반응기(300) 하단에 부착되어 있는 볼 유량계(110)를 통하여 이루어지며, 투입되는 가스의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 스테인레스관은 제어부(400)에서 조정하는 가열체(410)와 가스의 투입 온도를 측정하여 제어부(400)의 데이터 저장장치(420)로 측정 온도를 송신하는 온도센서(430)가 부착되어 있다.
- [0025] 고형 부산물 시료 투입부(200)는 고형 부산물 저장탱크(210)에서 기포유동층 반응기(300) 내부로 고형 부산물을 투입하는 스크류 모터(220)로 구성된 모듈이다. 스크류 모터(220)의 속도는 제어부(400)에 포함되어 있는 속도 제어 장치(440)로 제어된다.

- [0026] 기포유동층 반응기(300)는 다양한 단면의 형상을 가지며, 기포유동층 반응기(300)의 측면에는 실시간으로 압력을 측정하여 제어부(400)의 데이터 저장장치(420)로 데이터를 송신하는 압력센서(320)가 부착되어 있다.
- [0027] 도 2의 원형, 정사각형, 직사각형의 형상을 가지는 분산판의 모습을 도시한 도면과 도 3의 원형, 정사각형, 직사각형의 단면을 가지는 기포유동층 반응기를 도시한 도면을 참고하면, 기포유동층 반응기(300)는 다양한 단면의 형상으로 구성되어 있음을 알 수 있다.
- [0028] 도면을 참고하면, 도 2의 반응기 내부의 분산판(310)의 원형, 정사각형, 직사각형 형상 변화에 따라 도 3에 도시한 바와 같이 원형, 정사각형, 직사각형의 단면을 가지는 형상을 갖을 수 있다.
- [0029] 제어부(400)는 상기한 스테인레스관 가열체(410), 온도와 압력데이터를 저장하는 데이터 저장장치(420), 기포유동층 반응기(300) 하단에서 주입되는 유동화 가스의 온도를 측정하는 온도 센서(430), 기포유동층 반응기(300) 내부로 고형 부산물을 투입하는 스크류 모터(220)의 속도를 조절하는 속도 제어 장치(440), 기포유동층 반응기(300) 측면에 부착되어 반응기 내부의 압력을 측정하는 압력센서(450)를 포함한다.
- [0030] 상술한 구성의 바이오오일의 생산효율을 향상시키기 위한 실험방법 및 그 장치에 의하면, 유동화 가스의 유량을 조절하면서, 실시간으로 측정되는 압력 데이터를 통하여 기포유동층의 압력강하 선도 도출이 가능하며, 이 선도를 통해 유동층 설계에 가장 중요한 설계 인자인 최소 유동화 속도를 구할 수 있는 것이다.
- [0031] 또한, 고형 부산물을 투입하여 반응기 내 불활성 분립체와 부산물의 혼합-분리 현상을 해석하기 위한 mixing index를 도출할 수 있다.
- [0032] 상술한 장치를 이용한 본 발명의 생산 효율 향상 방법에 대하여 설명한다.
- [0033] 도 4는 본 발명의 생산 효율 방법을 설명하기 위한 흐름도로서, 도시된 바와 같이, 먼저, 원형, 정사각형, 직사각형 형상의 분산판을 포함하는 원형, 정사각형, 직사각형의 단면을 가지는 기포유동층 반응기를 이용하여 기포유동층 반응기 내부에 유동화 가스와 고형 부산물을 투입하는 단계를 실행한다(S100).
- [0034] 단계 S100에서 기포유동층 반응기 내부에 유동화 가스와 고형 부산물을 투입되면, 상기 기포유동층 반응기의 측면에 구비된 압력센서를 이용하여 실시간으로 압력을 측정한다(S200).
- [0035] 단계 S200에서 실시간 측정한 압력을 수신한 제어부는 측정된 압력 데이터를 통하여 유동화 가스의 유량을 조절하는 단계를 수행한다(S300).
- [0036] 단계 S300에서의 유량 조절을 통하여 기포유동층의 압력강하 선도를 도출하는 단계(S400)를 수행하여 도출된 선도를 통해 유동층 설계 인자인 최소 유동화 속도를 구하는 것이다.
- [0037] 도 5의 본 발명의 최소 유동화속도를 구하는 방법을 설명하기 위한 도면을 참고하면, 유동층 반응기 형상 및 공탐속도(superficial gas velocity) 변화에 따른 유동층의 압력강하 선도를 도시한 것이다.
- [0038] 유동층 설계에 가장 중요한 설계 인자인 최소유동화속도(minimum fluidization velocity)를 구하였으며, 유동 안정 영역 및 fast fluidization으로 가는 choking영역 등을 구하였다. 공탐속도 변화에 따른 유동현상을 관찰하여 보면 공탐속도가 아주 적은 경우에는 고체입자 사이로 기체가 통과하면서 정체된 고체입자 층을 형성하게 되는데 이때 압력강하는 고체입자 층의 무게와 같아질 때까지 증가하며, 입자 층의 별다른 움직임은 보이지 않는다.
- [0039] 이 영역을 고정층(fixed bed)라 부르며, 유체가 충전 층을 관통하지 못하는 유속으로 결정된다. 이러한 고정층 영역이 일정한 지점까지 계속 이어지다가 최대 압력강하를 보인 후 급격하게 감소하는 것이 확인되는데, 이후 공탐속도를 일정한 속도로 더 증가시키면 고체입자가 조금씩 부유하고 압력강하 감소 및 천이 현상이 발생하게 된다. 이때의 공탐속도를 최소 유동화 속도라고 하며 도면에서 빨간 선은 각 형상별 도출된 최소 유동화 속도 조건을 나타낸다.
- [0040] 도면을 참고하면, 도출한 각 형상별 공탐속도 변화에 따른 압력강하 선도를 통해 분산판 형상 및 컬럼 형상 변화에 따라 크게 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 고정층 영역에서 압력강하는 고체입자 층의 무게와 같아질 때까지 증가하고 기포 유동 영역으로 들어설 때 압력강하의 감소량은 형상 변화에 따라 크게 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있다.
- [0041] 이하, 투입되는 유동화 가스의 유속과 분산판의 형상을 변화시켜 가면서 특성을 살펴볼 수 있는 최소 유동화 속도와 유동층 내 고형 부산물의 혼합-분리 특성을 해석하기 위한 mixing index를 도출하는 구체적인 방법에 대하여

설명한다.

[0042] 수학식 1의 Kramer의 Mixing Index 도출식을 이용하여 계산한다.

[0043] [수학식1]

$$M = \frac{\sigma_0^2 - \sigma_r^2}{\sigma_0^2 - \sigma_r^2}, \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

[0044]

[0045] 상기 수학식 1에서 X_i 는 각 샘플링 셀에서 char의 질량 분율을 나타내고 σ_0^2 는 불활성 분립체(모래)와 고형 부산물(char)이 완전히 분리(segregate)되었을 때 고형 부산물의 질량 분율의 표준 편차이다. σ_r^2 는 불활성 분립체와 고형 부산물이 완전히 혼합되었을 때 고형 부산물의 질량 분율의 표준 편차이다. $M = 1$ 은 완전한 혼합을 나타내고 $M = 0$ 은 완전한 분리를 나타낸다.

[0046] 유동층 반응기 내 공기의 속도는 공탑속도를 최소유동화 속도로 나누어 무차원화하였다. 공탑속도 $U/U_{mf} = 1$ 에서는 유동층 고체 입자와 char가 서로 분리되지 않고 혼합된 상태를 유지하며, 이후 공탑속도가 증가할수록 유동층 고체 입자와 char는 기포 유동과 밀도차에 의해 분리되며 mixing index는 감소한다. Mixing index는 세 유동층 반응기 형상 모두 $U/U_{mf} = 1.14$ 에 최소로 나타나며, 이는 모래와 char가 최대도로 분리된 상태를 의미한다. 이후 $U/U_{mf} = 1.14$ 를 기점으로 공탑속도가 증가할수록 모래와 char는 서로 혼합되며 mixing index는 증가한다. 유동층 column 형상에 의한 두 고체 혼합물의 mixing index는 $U/U_{mf} = 1.14$ 이하에서는 원형 형상이 최소로 나타나고, $U/U_{mf} = 1.14$ 이상에서는 직사각 형상이 최소로 나타난다.

[0047] 상술한 과정으로 도출된 Mixing index는 도 6에 예시되어 있다.

[0048] 상기 도 6의 Mixing index 그래프에서 확인할 수 있듯이, 공탑속도가 최소유동화 속도보다 클 경우, 직사각 형상에서 불활성 분립체와 고형 부산물의 혼합도가 가장 낮은 것을 확인하였으며, 바이오오일 생산 효율 증대에 필수 조건인 연속공정 설계를 위한 고형 부산물 분리 장치의 적용을 위해서는 직사각 형상이 가장 유리할 것으로 사료된다. 따라서 추후 바이오오일 생산을 위한 급속열분해 hot-bed 장치 형상은 직사각 형상을 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

[0049] 상술한 본 발명의 바이오오일의 생산효율 향상 장치 및 그 방법에 의하면, 기포유동층 반응기 하단에서 볼 유량계를 통해 투입되는 유동화 가스의 유량을 조절하면서, 실시간으로 측정되는 압력 데이터를 통하여 기포유동층의 압력강하 선도 도출이 가능하며, 이 선도를 통해 유동층 설계에 가장 중요한 설계 인자인 최소 유동화 속도를 구할 수 있다.

[0050] 또한, 본 발명의 바이오오일의 생산효율 향상 장치 및 그 방법에 의하면, 고형 부산물을 투입하여 반응기 내 불활성 분립체와 부산물의 혼합-분리 현상을 해석하기 위한 mixing index를 도출할 수 있는 것이다.

[0051] 이상에서 본 발명은 기재된 구체예에 대하여 상세히 설명되었지만 본 발명의 기술사상 범위 내에서 다양한 변형 및 수정이 가능함은 당업자에게 있어서 명백한 것이며, 이러한 변형 및 수정이 첨부된 특허 청구범위에 속함은 당연한 것이다.

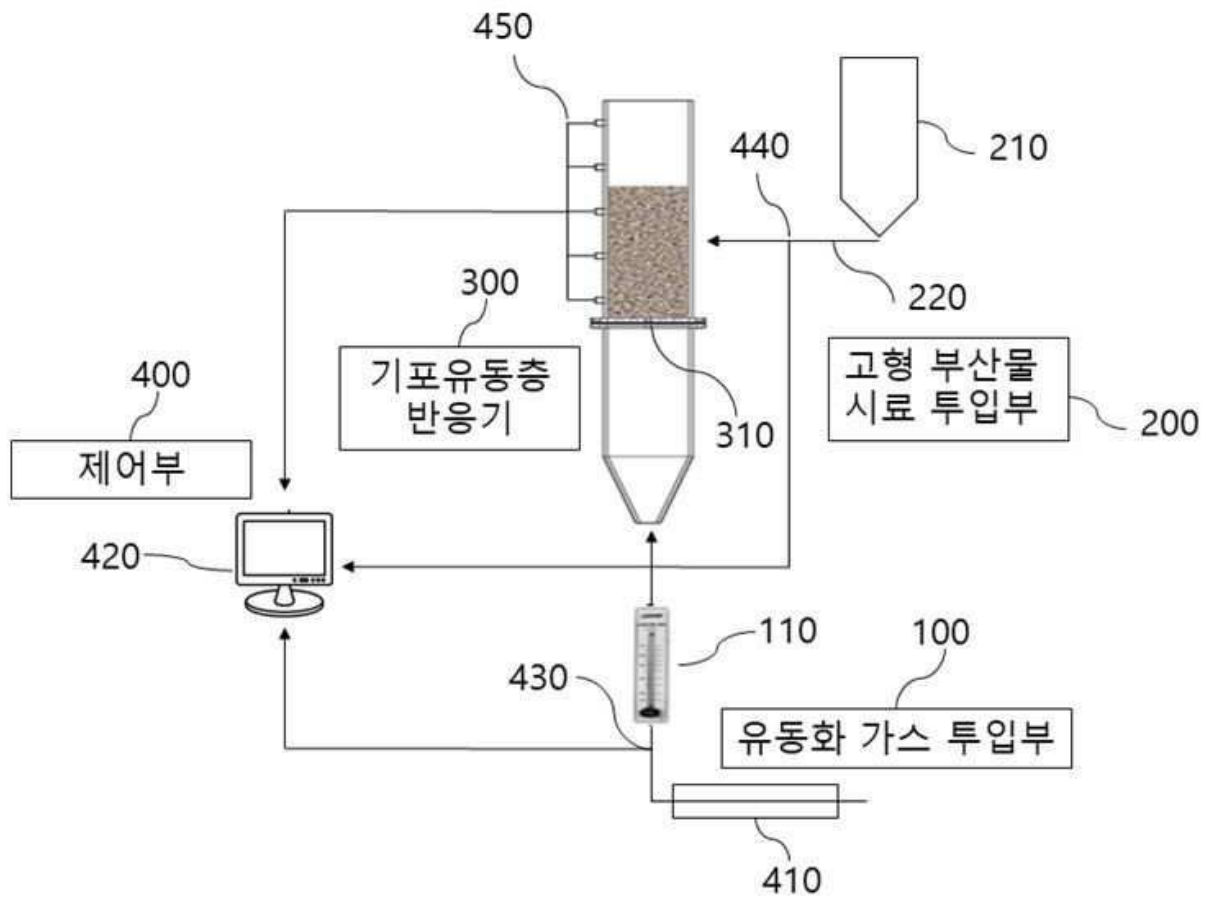
부호의 설명

[0052] 100: 유동화 가스 투입부 200: 고형 부산물 시료 투입부

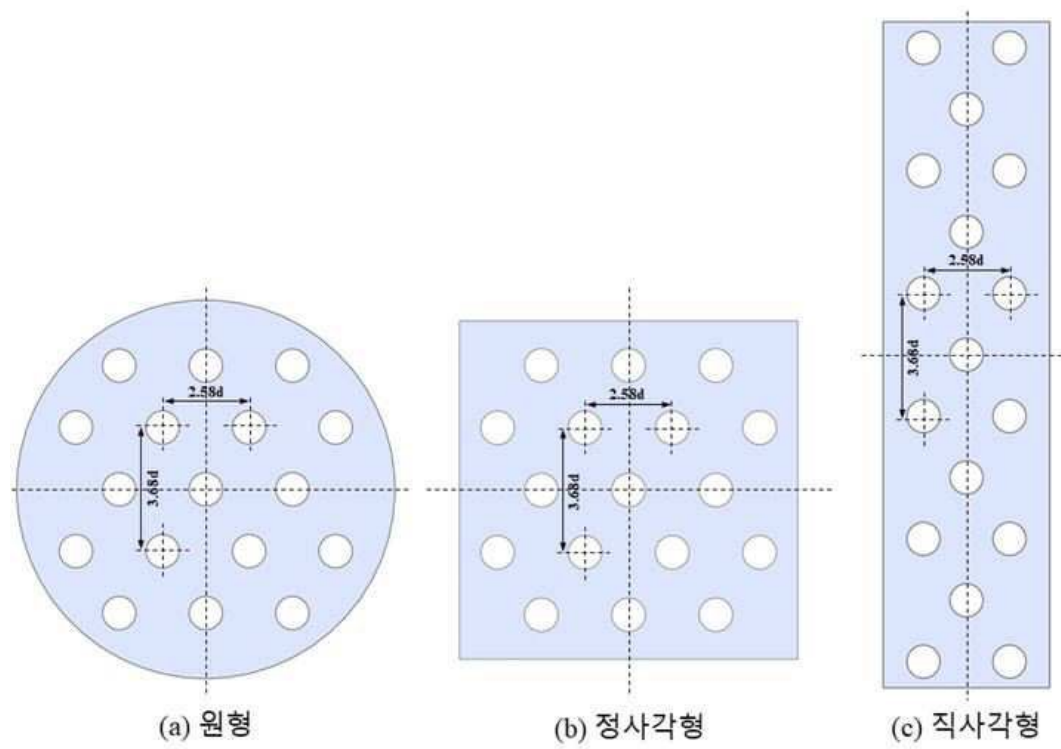
300: 기포유동층 반응기 400: 제어부

도면

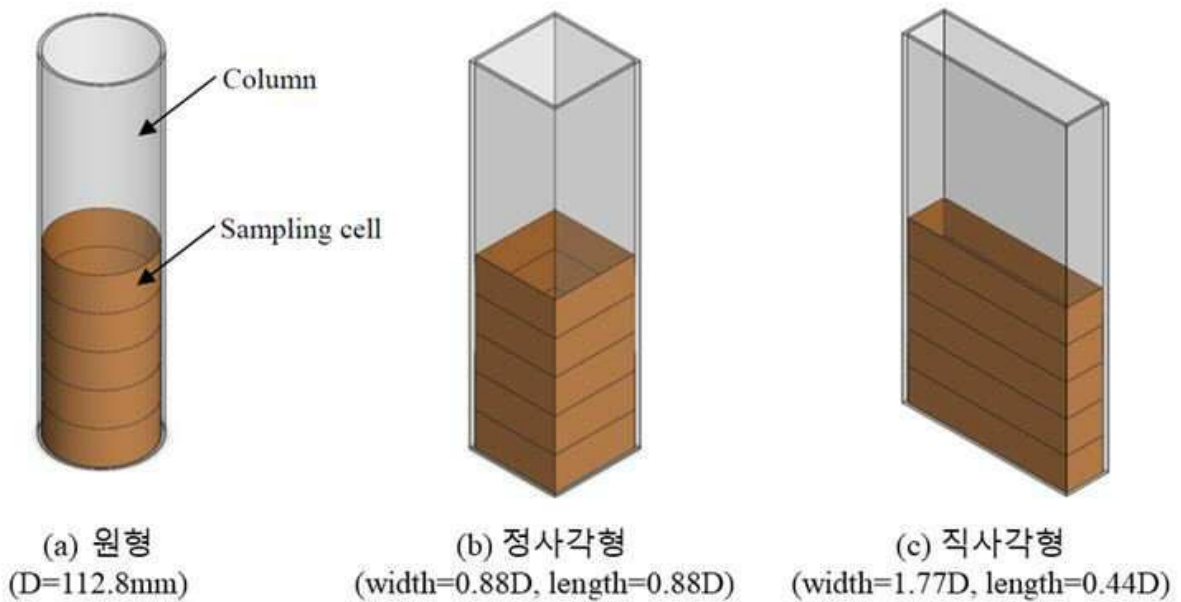
도면1



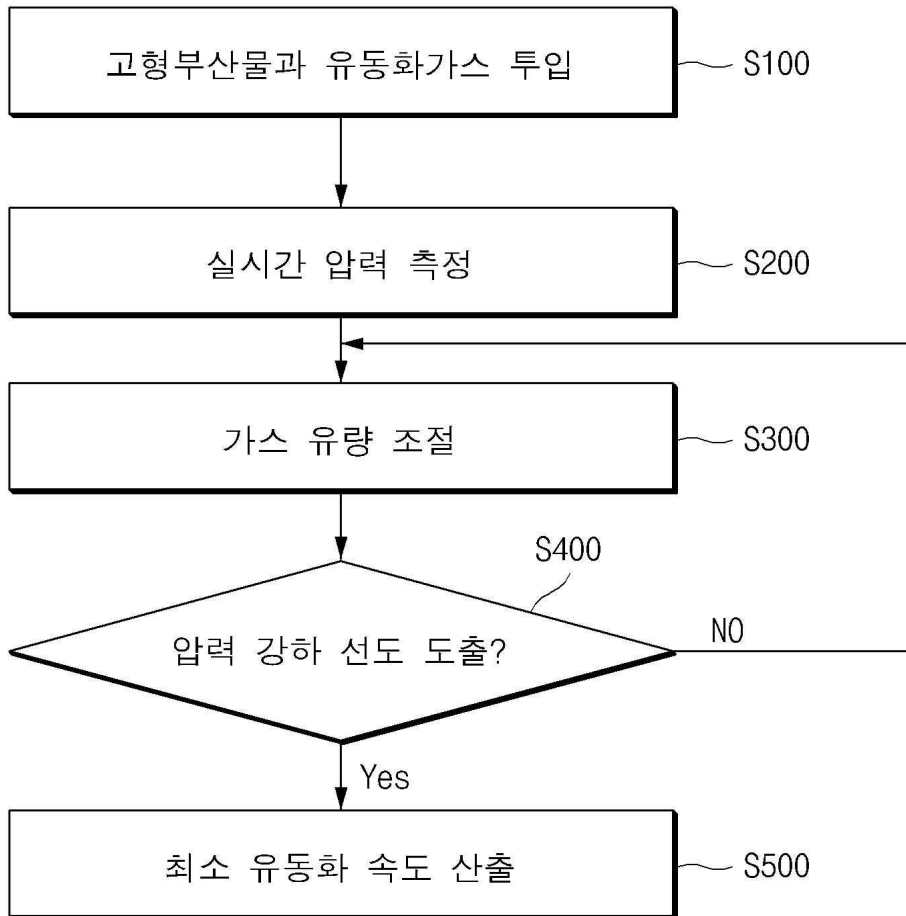
도면2



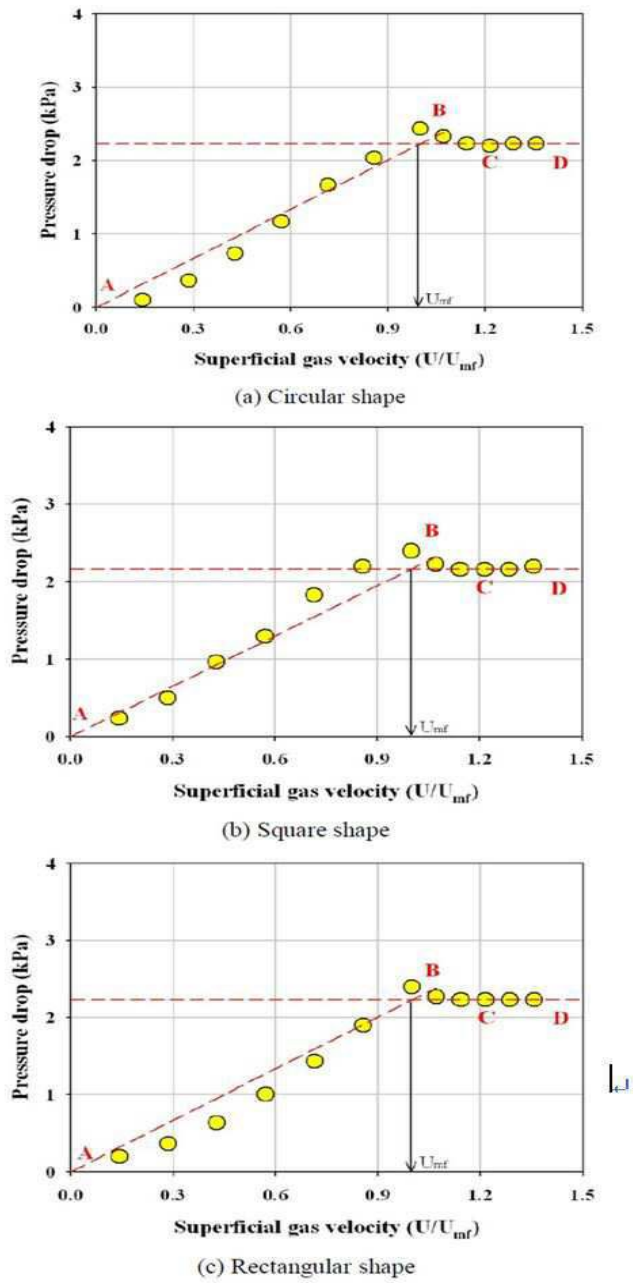
도면3



도면4



도면5



도면6

