



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0023082
(43) 공개일자 2016년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B01D 69/08 (2006.01) B01D 63/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0108882

(22) 출원일자 2014년08월21일

심사청구일자 2014년08월21일

(71) 출원인

광주과학기술원

광주광역시 북구 첨단과기로 123 (오룡동)

(72) 발명자

장인섭

광주광역시 북구 첨단과기로 123 광주과학기술원
환경공학부(오룡동)

야신 모하매드

광주광역시 북구 첨단과기로 광주과학기술원 환경
공학부(오룡동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인충현

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 중공사막 모듈 및 이를 포함하는 기액 물질 전달 장치

(57) 요약

본 발명에 따르면, 종래 기술의 가동설비 부분과 배양액 순환장치 부분을 생략함으로써, 에너지 필요량을 낮추면서도 특히 일산화탄소 발효에서 높은 기액 물질 전달을 보일 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 기액 물질 전달 장치를 사용하는 경우, PVDF 막을 사용한 종래 기술에 비해 비생물적(abiotic) 조건에서 일산화 물질 전달율이 현저하게 향상될 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

박신영

광주광역시 북구 첨단과기로 123 광주과학기술원
환경공학부(오룡동)

정예슬

광주광역시 북구 첨단과기로 123 환경공학부 광주
과학기술원(오룡동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 GM07310

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 경희대학교 산학협력단

연구사업명 기술혁신사업

연구과제명 메탄 및 syngas의 상온 상압에서의 알코올 전환기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2013.12.01 ~ 2014.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

(a) 관통구가 있는 마개, (b) 상기 관통구를 관통하는 복수 개 중공사막을 포함하는 중공사막 모듈로서,
상기 복수 개 중공사막의 제1 끝단은 실링되어 있고,
상기 마개의 하단에서 상기 복수 개 중공사막의 제2 끝단까지의 부분은 외부 면이 실링되어 있으며,
상기 복수 개 중공사막의 상기 제2 끝단은 개방되어 있는 것을 특징으로 하는 중공사막 모듈.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 중공사막 모듈은 튜브를 추가로 포함하고,
상기 튜브는 상기 마개의 하단에서 상기 제2 끝단까지 부분을 둘러싸고 있으며,
상기 마개의 하단에서 상기 제2 끝단까지 부분은 상기 복수 개 중공사막 사이의 공간 및 상기 중공사막과 상기 튜브 사이의 공간이 실링되어 있는 것을 특징으로 하는 중공사막 모듈.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 중공사막의 재질은 폴리피닐렌디플루오라이드(PVDF), 폴리스타이렌(PS), 폴리에테르술폰(PES), 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리프로필렌(PP), 복합 중공사(CHF) 중에서 선택되고;
상기 마개의 재질은 실리콘 고무, 실리콘 고무, 부틸 고무, 네오펜 고무, 고니트릴 고무 중에서 선택되며;
상기 튜브의 재질은 폴리우레탄(PU), 테프론(PTFE), 실리콘(silicone) 중에서 선택되는 것을 특징으로 하는 중공사막 모듈.

청구항 4

제1항에 있어서, (상기 마개의 상단에서 상기 제1 끝단까지의 길이) / (상기 마개의 하단에서 상기 제2 끝단까지의 길이)의 비율은 1 내지 20인 것을 특징으로 하는 중공사막 모듈.

청구항 5

중공사막 모듈 및 기액 반응기를 포함하는 기액 물질 전달 장치로서,
상기 중공사막 모듈은 (a) 관통구가 있는 마개, (b) 상기 관통구를 관통하는 복수 개 중공사막을 포함하고,
상기 복수 개 중공사막의 제1 끝단은 실링되어 있고,
상기 마개의 하단에서 상기 복수 개 중공사막의 제2 끝단까지의 부분은 외부 면이 실링되어 있으며,
상기 복수 개 중공사막의 상기 제2 끝단은 개방되어 있으며,
상기 기액 반응기는 기체 투입구 및 기체 배출구를 포함하고,
상기 기체 투입구는 상기 마개가 끼워져 있고,
상기 기체 배출구의 상기 마개 상단에는 배출관이 끼워져 있고,
상기 마개의 상단에서 상기 제1 끝단까지 부분은 상기 기액 반응기 내부에 위치하고,
상기 마개의 하단에서 상기 제2 끝단까지 부분은 상기 기액 반응기 외부에 위치하는 것을 특징으로 하는 기액 물질 전달 장치.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 기액 반응기는 1개 이상의 액체 투입구 및 1개 이상의 액체 배출구를 추가로 포함하는 것

을 특징으로 하는 기액 물질 전달 장치.

청구항 7

제5항 또는 제6항에 있어서, 상기 중공사막 모듈은 튜브를 추가로 포함하고,

상기 튜브는 상기 마개의 하단에서 상기 제2 끝단까지 부분을 둘러싸고 있으며,

상기 마개의 하단에서 상기 제2 끝단까지 부분은 상기 복수 개 중공사막 사이의 공간 및 상기 중공사막과 상기 튜브 사이의 공간이 실링되어 있는 것을 특징으로 하는 중공사막 모듈.

청구항 8

제5항 또는 제6항에 있어서, 상기 중공사막의 재질은 폴리피닐렌디플루오라이드(PVDF), 폴리스타이렌(PS), 폴리에테르술폰(PES), 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리프로필렌(PP), 복합 중공사(CHF) 중에서 선택되고;

상기 마개의 재질은 실리콘 고무, 실리콘 고무, 부틸 고무, 네오프렌 고무, 고니트릴 고무 중에서 선택되며;

상기 튜브의 재질은 폴리우레탄(PU), 테프론(PTFE), 실리콘(silicone) 중에서 선택되는 것을 특징으로 하는 중공사막 모듈.

청구항 9

제5항 또는 제6항에 있어서, (상기 마개의 상단에서 상기 제1 끝단까지의 길이) / (상기 마개의 하단에서 상기 제2 끝단까지의 길이)의 비율은 1 내지 20인 것을 특징으로 하는 중공사막 모듈.

청구항 10

(a) 복수 개 중공사막의 제1 끝단을 실링하는 단계,

(b) 상기 복수 개 중공사막을 관통구가 있는 마개의 상기 관통구에 통과시키는 단계,

(c) 상기 복수 개 중공사막의 다른 한쪽 끝 부분에 양쪽 개방된 튜브를 씌워 상기 마개의 아래 부분과 닿도록 한 후 상기 튜브 내에 실링제로 충전하여 경화시키는 단계,

(d) 상기 복수 개 중공사막의 상기 다른 한쪽 끝 부분을 길이 방향과 수직으로 절단하여 상기 복수 개 중공사막에 개방단을 형성시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 중공사막 모듈 제조방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 중공사막 모듈 및 이를 포함하는 기액 물질 전달 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 기액 물질 전달율을 향상시키기 위해 채택되는 다양한 전략에는 기액 계면의 면적을 높이는 방법, 다양하게 반응기 구조를 변화시키는 방법(Munasinghe and Khanal 2010), 독창적인 임펠러 디자인(Ungerman and Heindel 2007), 유체 흐름 패턴의 개선(Kumaresan and Joshi 2006), 교반 시간과 속도를 변화시키는 방법(Birch and Ahmed 1996), 그리고 마이크로 버블 분산기(dispersers)를 사용하는 방법(Kaster, Michelsen et al. 1990; Bredwell and Worden 1998; Worden and Bredwell 1998; Bredwell, Srivastava et al. 1999) 등이 있다.

[0003] 이와 같은 방법 중 대부분은 물질 전달을 위한 계면 표면적을 높이고, 부피 대비 교반기의 파워를 높여 버블 조개짐을 더욱 증가시키게 된다.

[0004] 그러나, 이러한 방법은 높은 에너지 비용으로 인해 상업적 스케일로는 채택될 수 없는 문제가 있다. 더욱이 배양기 내의 높은 압력 때문에 미생물이 손상될 수 있다는 우려가 있다(Bredwell, Srivastava et al. 1999).

[0005] 에너지 효율적인 물질 전달을 달성하기 위해서, 대안적인 바이오반응기 구조가 합성가스 발효(syngas fermentation)에 대해 연구되어 왔다(Bredwell, Srivastava et al. 1999; Munasinghe and Khanal 2010; Munasinghe and Khanal 2010). 이들 조사에서는 기액 부피 물질 전달 지수(volumetric mass transfer

coefficient)를 예측함으로써 이러한 반응기 내부의 물질 전달 효율이 반응기 내 유체역학적 조건을 통해 관찰되었다(k_La).

[0006] 이러한 반응기 중에는, 연속 교반 탱크 반응기(continuous stirred tank reactors, CSTR)가 높은 k_La 값을 보여주었으나, 높은 임펠러 회전 속도를 필요로 하여 많은 양의 에너지가 소모되게 된다(Bredwell, Srivastava et al. 1999). 높은 임펠러 속도는 큰 버블을 더욱 유리한 표면/부피 비율을 가지는 작은 버블로 효율적으로 쪼갤 수 있다. 작은 버블은 추가로 더욱 낮은 부양 속도(rise velocities)를 갖게 되므로, 액체와 접촉하는 시간이 더욱 길어진다.

[0007] 이와 같이, 마이크로버블 분산에서는, 극도로 작고 계면활성제에 의해 안정화된 버블이 높은 전단 영역에서 생성되어, k_La 값을 높일 수 있는 더욱 에너지 효율적인 방법을 제공하게 된다(Bredwell, Srivastava et al. 1999). 다만 비록 CSTR은 현재 널리 사용되는 반응기이지만 기본적으로 미생물(microbial)에 적용하기에는 적당하지 않은 한계를 지닌다.

[0008] 이는 합성가스 발효를 상업적으로 수행함에 있어 기질과 미생물 사이의 물질 전달을 높여야 하지만, 대형 반응기의 경우에는 교반기의 파워-부피 비율과 임펠러의 회전 속도를 높이는 데 과도한 동력 비용이 요구되므로 경제적으로 타당하지 않다(Bredwell, Srivastava et al. 1999).

[0009] 또한 미생물 생장을 위해서 필요한 기액 물질 전달을 제공하기 위해 요구되는 교반의 정도는 전단력에 민감한 미생물(shear sensitive microorganisms)에 손상을 줄 수도 있다(Chisti 1989).

[0010] CSTR은 또한, 짧은 수력학적 체류 시간에서 낮은 바이오매스 농도와 바이오매스의 배양 도중 세포가 계속 배양계 밖으로 유출되어 시간이 경과되면서 배양기 안의 세포 농도가 낮아지는 현상(wash out 현상)으로 인하여 성능에 제한이 있으며, 탱크의 직경이 증가함에 따라서 교반 탱크는 종종 저조한 교반 성능을 보이게 되는데, 이는 혼합과 물질 전달에서 보이는 불균일성이 반응 속도와 선택도에 심각한 차이를 유발할 수 있는 다중상(multiphase reaction) 반응에 대해서 더욱 그러하다.

[0011] 현재까지 기액 물질 전달의 용도로 PVDF 막을 사용한 것은 Zhao 등이 유일하며(Zhao, Haddad et al. 2013), 이들은 1.36 h^{-1} 의 k_La 값을 보고하고 있으나, 이러한 값은 본 발명과 비교하여 현저히 낮은 수준에 불과하여, 이에 대한 큰 폭의 개선의 필요하다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0012] (비특허문헌 0001) Birch, D. and N. Ahmed (1996). "Gas sparging in vessels agitated by mixed flow impellers." Powder Technology 88: 3-38.
- (비특허문헌 0002) Bredwell, M. D., P. Srivastava, et al. (1999). "Reactor design issues for synthesis-gas fermentations." Biotechnology Progress 15(5): 834-844.
- (비특허문헌 0003) Bredwell, M. D. and R. M. Worden (1998). "Mass-Transfer Properties of Microbubbles. 1. Experimental Studies." Biotechnol. Prog.14: 31-38.
- (비특허문헌 0004) Chisti, M. Y. (1989). Airlift Bioreactors, Elsevier Science Publishing Co., Inc.
- (비특허문헌 0005) Kaster, J. A., D. L. Michelsen, et al. (1990). "Increased Oxygen Transfer in a yeast fermentation Using a Microbubble Dispersion." Applied Biochemistry and Biotechnology 24(25): 169-484.
- (비특허문헌 0006) Kumaresan, T. and J. B. Joshi (2006). "Effect of impeller design on the flow pattern and mixing in stirred tanks." Chemical Engineering Journal 115(3): 173-193.
- (비특허문헌 0007) Munasinghe, P. C. and S. K. Khanal (2010). "Biomass-derived syngas fermentation into biofuels: Opportunities and challenges." Bioresource Technology 101(13): 5013-5022.
- (비특허문헌 0008) Munasinghe, P. C. and S. K. Khanal (2010). "Syngas fermentation to biofuel: Evaluation of carbon monoxide mass transfer coefficient (k_La) in different reactor configurations."

Biotechnology Progress26(6): 1616-1621.

(비특허문헌 0009) Ungerman, A. J. and T. J. Heindel (2007). "Carbon monoxide mass transfer for syngas fermentation in a stirred tank reactor with dual impeller configurations." Biotechnol. Prog.23: 613-620.

(비특허문헌 0010) Wang, J. and W. Wan (2009). "Factors influencing fermentative hydrogen production: A review." International Journal of Hydrogen Energy34(2): 799-811.

(비특허문헌 0011) Worden, R. M. and M. D. Bredwell (1998). "Mass-Transfer Properties of Microbubbles. 2. Analysis Using a Dynamic Model" Biotechnol. Prog.14: 39-46.

(비특허문헌 0012) Zhao, Y., M. Haddad, et al. (2013). "Performance of a Carboxydotherrmus hydrogenofomans-immobilizing membrane reactor for syngas upgrading into hydrogen." InternationalJournal of Hydrogen Energy38(5): 2167-2175.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명은 위와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여, 종래 기술의 가동설비부분과 배양액 순환장치 부분을 생략함으로써, 에너지 필요량을 낮추면서도 특히 일산화탄소 발효에서 높은 기액 물질 전달을 보일 수 있는 기액 물질 전달 장치가 제공하고자 한다.
- [0014] 또한, 본 발명은 PVDF 막을 사용한 종래 기술에서 가동부(moving part)를 생략하면서도 일산화탄소 물질 전달율이 현저하게 향상될 수 있는 기액 물질 전달 장치를 제공함과 동시에 미생물의 성장과 산물 생산이 가능한 단순 구조(독립형 단일 구조)의 중공사막 생물 반응기를 제공한다.
- [0015] 또한, 본 발명은 가압을 위한 추가적인 가동장치 없이 반응기 내의 상층 공간부분(headspace)의 압력을 증가시켜 낮은 공급 압력에서도 높은 포화 용존 일산화탄소 값을 확보할 수 있는 기액 물질 전달 장치를 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0016] 본 발명의 일 측면에 따르면, (a) 관통구가 있는 마개, (b) 상기 관통구를 관통하는 복수 개 중공사막을 포함하는 중공사막 모듈로서, 상기 복수 개 중공사막의 제1 끝단은 실링되어 있고, 상기 마개의 하단에서 상기 복수 개 중공사막의 제2 끝단까지의 부분은 외부 면이 실링되어 있으며, 상기 복수 개 중공사막의 상기 제2 끝단은 개방되어 있는 것을 특징으로 하는 중공사막 모듈이 제공된다.
- [0017] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 상기 중공사막 모듈 및 기액 반응기를 포함하는 기액 물질 전달 장치로서, 상기 기액 반응기는 기체 투입구 및 기체 배출구를 포함하고, 상기 기체 투입구는 상기 마개가 끼워져 있고, 상기 마개의 상단에서 상기 제1 끝단까지 부분은 상기 기액 반응기 내부에 위치하고 상기 기체 배출구의 상기 마개 상단에는 배출관이 끼워져 있으며, 상기 마개의 하단에서 상기 제2 끝단까지 부분은 상기 기액 반응기 외부에 위치하는 것을 특징으로 하는 기액 물질 전달 장치가 제공된다.
- [0018] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면, (a) 복수 개 중공사막의 제1 끝단을 실링하는 단계, (b) 상기 복수 개 중공사막을 관통구가 있는 마개의 상기 관통구에 통과시키는 단계, (c) 상기 복수 개 중공사막의 다른 한쪽 끝 부분에 양쪽 개방된 튜브를 씌워 상기 마개의 아래 부분과 당도록 한 후 상기 튜브 내에 실링제로 충전하여 경화시키는 단계, (d) 상기 복수 개 중공사막의 상기 다른 한쪽 끝 부분을 길이 방향과 수직으로 절단하여 상기 복수 개 중공사막에 개방단을 형성시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 중공사막 모듈 제조방법이 제공된다.

발명의 효과

- [0019] 본 발명의 여러 구현예에 따르면, 본 발명에 따르면, 종래 기술의 가동설비 부분과 배양액 순환장치 부분을 생략함으로써, 에너지 필요량을 낮추면서도 특히 일산화탄소 발효에서 높은 기액 물질 전달을 보일 수 있다.
- [0020] 본 발명에 따른 기액 물질 전달 장치를 사용하는 경우, PVDF 막을 사용한 종래 기술에 비해 비생물적(abiotic) 조건에서 일산화 물질 전달율이 현저하게 향상될 수 있으며 미생물의 성장과 산물 생산이 가능한 단순 구조의

중공사막 생물 반응기로도 활용될 수 있다.

[0021] 본 발명의 또 다른 구현예에 따르면 추가적인 가동장치 없이 작은 직경의 배출관을 이용해 배출량/유입량의 비율을 높임으로써 반응기 내부에서 가압 환경을 보이면서 낮은 공급 압력에서도 높은 포화 용존 일산화탄소 값을 보일 수 있다.

[0022] 본 발명은 특히 합성가스 처리시설, 기액 반응기, 바이오매스(non-food)의 기체화 처리 시설(예: 당분 발효를 통한 연료 및 화합물 생산 시설) 등에 활용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 일 구현예에 따른 중공사막 모듈이 제조과정을 나타낸 사진이다.

도 2는 본 발명의 일 구현예에 따른 기액 물질 전달 장치에 대한 개략도이다. 여기서 GR은 기체 레귤레이터, DPG는 디지털 압력 게이지, OVC는 상부(overhead) 증기 포집부를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 본 발명의 일 측면은 (a) 관통구가 있는 막개, (b) 상기 관통구를 관통하는 복수 개 중공사막을 포함하는 중공사막 모듈에 관한 것이다.

[0025] 이때, 상기 복수 개 중공사막의 제1 끝단은 실링되어 있고, 상기 막개의 하단에서 상기 복수 개 중공사막의 제2 끝단까지의 부분은 외부 면이 실링되어 있으며, 상기 복수 개 중공사막의 상기 제2 끝단은 개방되어 있게 된다.

[0026] 일반적으로 중공사막은 내강(lumen)을 포함하는 다공성 막으로서 내부에 길이 방향으로 비어 있는 터널을 포함하는 구조를 가진다. 한쪽 끝단이 실링되어 있다는 의미는 내강을 통해 막을 관통하여 기체가 투과될 수는 있도록 막 외부 면은 전혀 실링되지 않고, 다만 길이 방향의 내부 터널을 통해서 기체가 빠져나가는 것을 차단할 수 있도록 내부 터널 끝 부분만 막혀있도록 실링되어 있다는 의미이다.

[0027] 일 구현예에 따르면, 상기 중공사막 모듈은 튜브를 추가로 포함하고, 상기 튜브는 상기 막개의 하단에서 상기 제2 끝단까지 부분을 둘러싸고 있으며, 상기 막개의 하단에서 상기 제2 끝단까지 부분은 상기 복수 개 중공사막 사이의 공간 및 상기 중공사막과 상기 튜브 사이의 공간이 실링되어 있다.

[0028] 즉, 상기 막개를 중심으로 그 관통구를 통과한 중공사막의 윗 부분과 아랫 부분으로 나누어볼 때 윗 부분의 끝단은 위와 같이 내부 터널이 막히도록 실링되어 있고, 아랫 부분은 상기 막개의 하단에서 중공사막의 끝단까지의 부분은 기체가 내부 터널을 통해서만 이동할 수 있고 내강을 통해 막을 관통해서 밖으로 투과되지는 않도록 막의 외부면이 막혀있도록 실링되어 있게 된다.

[0029] 다른 구현예에 따르면, 상기 중공사막의 재료의 예에는 폴리피닐렌디플루오라이드(PVDF), 폴리스타이렌(PS), 폴리에테르술폰(PES), 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리프로필렌(PP), 복합 중공사(CHF)가 포함되나, 이에 한정되지 않는다. 또한, 상기 막개의 재료의 예에는 실리콘 고무, 부틸 고무, 네오프렌 고무, 고니트릴 고무가 포함되며 이에 한정되지 않으나 가스투과성이 낮은 재료로 한정된다. 또한, 상기 튜브의 재료의 예에는 폴리우레탄(PU), 테프론(PTFE), 실리콘(silicone)이 포함되나, 이에 한정되지 않는다.

[0030] 또 다른 구현예에 따르면, (상기 막개의 상단에서 상기 제1 끝단까지의 길이) / (상기 막개의 하단에서 상기 제2 끝단까지의 길이)의 비율은 1 내지 20일 수 있다.

[0031] 상기 비율이 1 미만인 경우에는 좁은 기체 배출 영역으로 인해 배출 기체가 액체 내에서 다시 멎쳐지고 결과적으로 기액 물질 전달율이 크게 저하될 수 있어 바람직하지 않고, 상기 비율이 20을 초과하는 경우에는 상단과 하단에서 배출되는 기체의 물질율이 달라져 기액 물질 전달 없이 배출되는 기체의 양이 급증하여 원료 기체 사용량이 크게 증가할 수 있어 바람직하지 않다.

[0032] 본 발명의 다른 측면은 중공사막 모듈 및 기액 반응기를 포함하는 기액 물질 전달 장치에 관한 것이다.

[0033] 상기 중공사막 모듈은 (a) 관통구가 있는 막개, (b) 상기 관통구를 관통하는 복수 개 중공사막을 포함하고, 상기 복수 개 중공사막의 제1 끝단은 실링되어 있고, 상기 막개의 하단에서 상기 복수 개 중공사막의 제2 끝단까지의 부분은 외부 면이 실링되어 있으며, 상기 복수 개 중공사막의 상기 제2 끝단은 개방되어 있으며, 그 외에도 본 발명의 여러 구현예에 따른 중공사막 모듈일 수 있다.

[0034] 또한, 상기 기액 반응기는 기체 투입구 및 기체 배출구를 포함하는데, 상기 기체 투입구는 상기 막개가 끼워져

있어, 상기 마개의 상단에서 상기 제1 끝단까지 부분은 상기 기액 반응기 내부에 위치하고, 상기 마개의 하단에서 상기 제2 끝단까지 부분은 상기 기액 반응기 외부에 위치하게 된다.

[0035] 본 발명에서 기액 반응기란 기체와 액체 간 물질 전달 또는 그에 수반되는 물리적 또는 화학적 현상이 내부에서 발생할 수 있는 반응기를 의미하고, 반드시 화학반응이 일어나는 반응기만을 의미하는 것은 아니다.

[0036] 상기 제2 끝단은 기체 공급기와 연결되어 있어, 공급된 기체는 제2 끝단을 통해 중공사막의 내부 터널을 거쳐 기액 반응기 내로 이동하고, 내강을 거쳐 막의 공극을 통해 투과되어 나와 기액 반응기 내에 채워져 있는 액체와 만나게 된다.

[0037] 일 구현예에 따르면, 상기 기액 반응기는 1개 이상의 액체 투입구 및 1개 이상의 액체 배출구를 추가로 포함할 수 있다.

[0038] 즉, 기체가 투입되고 배출되는 중간에 연속적으로 또는 간헐적으로 액체를 투입하고 배출시킬 수 있도록, 상기 기액 반응기는 액체의 투입구와 배출구를 각각 1개 이상 포함할 수도 있다.

[0039] 본 발명의 또 다른 측면은 (a) 복수 개 중공사막의 제1 끝단을 실링하는 단계, (b) 상기 복수 개 중공사막을 관통구가 있는 마개의 상기 관통구에 통과시키는 단계, (c) 상기 복수 개 중공사막의 다른 한쪽 끝 부분에 양쪽 개방된 튜브를 씌워 상기 마개의 아래 부분과 닿도록 한 후 상기 튜브 내에 실링제로 충전하여 경화시키는 단계, (d) 상기 복수 개 중공사막의 상기 다른 한쪽 끝 부분을 길이 방향과 수직으로 절단하여 상기 복수 개 중공사막에 개방단을 형성시키는 단계를 포함하는 중공사막 모듈 제조방법에 관한 것이다.

[0040] 본 발명의 또 다른 측면에 따르면 상기 기액 반응기 내부에 위치한 상기 마개의 상단에서 기체 배출구는 둥근 형태의 작은 직경(10^{-4} 내지 10^{-2} mm, 바람직하게는 5×10^{-4} 내지 5×10^{-3} mm, 가장 바람직하게는 10^{-3} mm)을 가진 배출관을 이용하여 추가적인 가동 장치 없이 배출량/유입량의 비율을 높임으로써 반응기 내부에 가압 환경을 제공하여 높은 포화 용존 일산화탄소 값을 확보할 수 있다.

[0041] 이하에서, 본 발명의 여러 측면 및 다양한 구현예에 대해 도면을 참조하여 더욱 구체적으로 살펴보도록 한다.

[0042] 우선, 본 발명은 중공사막 다발을 포함하는 기액 물질 전달용 모듈 및 이를 포함하는 기액 물질 전달 장치에 관한 것으로서, 기액 반응 장치, 특히 합성가스 또는 메탄 기체를 상온 상압에서 알코올 등으로 전환하기 위한 반응 장치로 사용될 수 있다.

[0043] 본 발명에 따른 기액 물질 전달 장치는 비한정적으로 도 2와 같은 구조를 가질 수 있고, 특히 기체 주입부 역할을 하는 중공사막 다발 포함 모듈은 비한정적으로 도 1과 같은 구조를 가질 수 있다.

[0044] 도 1의 구조를 구체적으로 살펴보면, 한 다발을 형성하는 여러 개의 중공사막을 고무 스톱퍼(stopper)를 관통하도록 구성시키고, 고무 스톱퍼 아래 부분의 중공사막은 개방단으로 그대로 두는 한편, 고무 스톱퍼 상부를 관통해서 나온 부분의 끝은 실링된 폐쇄단으로 구성한다.

[0045] 이를 통해서, 고무 스톱퍼 아래 부분의 개방단을 통해 중공사막으로 들어간 기체가 중공사막의 실링된 폐쇄단이 아닌 중공사막 표면의 공극(내강, lumen)을 통해서 배출되므로, 매우 균일하게 액상으로 기체를 배출시킬 수 있다는 장점이 있다.

[0046] 이하에서는 실시예 등을 통해 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 하며, 다만 이하에 실시예 등에 의해 본 발명의 범위와 내용이 축소되거나 제한되어 해석될 수 없다. 또한, 이하의 실시예를 포함한 본 발명의 개시 내용에 기초한다면, 구체적으로 실험 결과가 제시되지 않은 본 발명을 통상의 기술자가 용이하게 실시할 수 있음은 명백하다.

[0047] 실시예

[0048] 실시예 1a: 중공사 모듈 제조

[0049] 15개의 마이크로포러스 PVDF 중공사막(0.1 μ m 포어 사이즈, 1.2 mm OD, 0.7 mm ID, ECONITY사 제품)을 사용하였다. 모듈 제조는 도 1에 제시한 방법으로 진행되었으며, 필요한 수의 중공사막을 원하는 길이로 자르고, 한쪽 끝을 에폭시와 경화제 혼합액(M, ITW, Devcon)으로 실링하였다(도 1의 1번). 에폭시와 경화제는 사용 직전

동일한 양으로 완전히 혼합하였다. 다른 쪽에는 중공사막을 서로 합하고 나서, 길이 방향이 아닌 두께 방향으로 기체가 막을 관통할 수 없도록 중공사막 다발의 외부에 M을 적용하여 외부 공극을 완전하게 밀폐시켰다(도 1의 2번). 위 상단과 하단의 에폭시 처리된 영역 사이에는 기체 투과 작용을 위해 남겨두었다. 실리콘 고무 스톱퍼(도 1의 3번)를 중공사막 다발의 홀더로 사용하였다. 실리콘 고무 스톱퍼를 통과한 중공사막 다발을 모아주는 potting의 역할(도 1의 4번)을 위해 투명한 폴리우레탄 튜브(16 mm OD, 12 mm ID, KPC, Korea Pneumatic, South Korea)를 사용하였다. 바닥의 폴리우레탄 튜브를 다시 M으로 충전시켜서(도 1의 5번), 기체가 중공사막 내강(lumen)을 통해서만 통과되도록 하였다. M을 완전하게 충전시키고 나서 충분한 시간을 두고 폴리우레탄 튜브 내 M이 완전히 경화될 수 있도록 하였다(도 1의 6번). 폴리우레탄 튜브와 중공사막 다발을 날카로운 커터로 절단하여 중공사막의 하단부가 개방단이 되도록 하였다(도 1의 7번). 개방단의 모습(도 1의 8번)과 최종 중공사막 모듈의 모습(도 1의 9번)도 제공되었다.

[0050] 이때, 상단의 실링된 부분과 실리콘 고무 스톱퍼 상단 사이에 위치한 중공사막 부분(외부 면이 실링 처리되지 않은 부분)의 길이는 195 mm이었고(유효 면적은 A_s), 절단 후 폴리우레탄 내부에 모여진 중공사막의 길이는 50 mm이었다.

[0051] 실시예 1b: 전체 장치 구성

[0052] 전체 반응기 구조는 도 2에 제시한 바와 같다. 중공사막 바이오 반응기(hollow fiber membrane bioreactor, HFMBR)는 0.5 L (VL) 반응기 내 400 mL 탈이온수에 침지시켰다. 물 순환 탱크(Jeio Tech., VTRC-620)를 사용하여 자켓화된 글래스 셀을 통해 물을 계속해서 순환시킴으로써 반응기 내부를 원하는 온도로 유지하였다(37 °C). 부틸 러버 스톱퍼(Bellco Glass, Inc.)를 사용하여 반응기 포트를 실링하여 반응기 내부로 산소가 통과되지 않도록 하였다. 반응기 내부에 단단하게 클램프로 고정된 실리콘 스톱퍼를 이용하여 반응기의 상부와 하부를 차단시켰다. 디지털 압력 게이지(Cole-Palmer instrument Co., WZ-68935-18)를 이용하여 기체 흐름을 조절하고 정확한 CO 압력을 조절하였다. 한 방향 흐름을 유지하기 위하여 질소 라인에 체크 밸브를 설치하였다. 실린더에서 반응기로 기체 공급을 위해 Marprene tubing(Watson-Marlow Pumps Group)을 사용하였다. 상부 증기(overhead vapours)를 반응기 밖에 설치된 250 mL 파이렉스 유리병에 포집하였다. 폐가스는 반응기 상부의 실리콘 스톱퍼를 관통하는 스테인리스 강관을 통해 배출되게 설치하였으며 폐가스 배출구는 fume hood의 배출 배관과 직접 연결하였다.

[0053] 이렇게 제조된 장치의 A_s/V_L 은 27.5 m^{-1} 이었고, 막 투과 부분과 내강 통과 부분의 길이의 비율(Lu/Ld)은 $3.9(=195/50)$ 이었으며, 내강 관통 압력은 37.23 kPa로 조절하였다. 그 결과 k_La 는 63.72 h^{-1} 로 측정되었다.

[0054] 실시예 2 내지 6

[0055] 실시예 2 내지 6에서는 내강 관통 압력만 37.23, 68.94, 93.76 kPa로 각각 바꾸는 것 외에는 실시예 1과 동일하게 실험을 진행하였다. 그 결과 k_La 는 각각 63.72, 88.56, 135.72 h^{-1} 로 측정되었다.

[0056] 실시예 7 내지 11

[0057] 실시예 7 내지 11에서는 A_s/V_L 의 값을 27.5, 45.9, 62.5 m^{-1} 로 각각 변화시키는 것 외에는 실시예 1과 동일하게 실험을 진행하였다. 그 결과 k_La 는 각각 63.72, 102.96, 155.16 h^{-1} 로 측정되었다.

[0058] 비교예 1

[0059] 실시예 1과 같이 진행을 하되, 폴리우레탄 튜브를 두지 않고, 중공사막을 합하여 외면 실링한 후 길이 방향에 수직하게 절단하여 개방단을 형성하여 실험을 진행하였다.

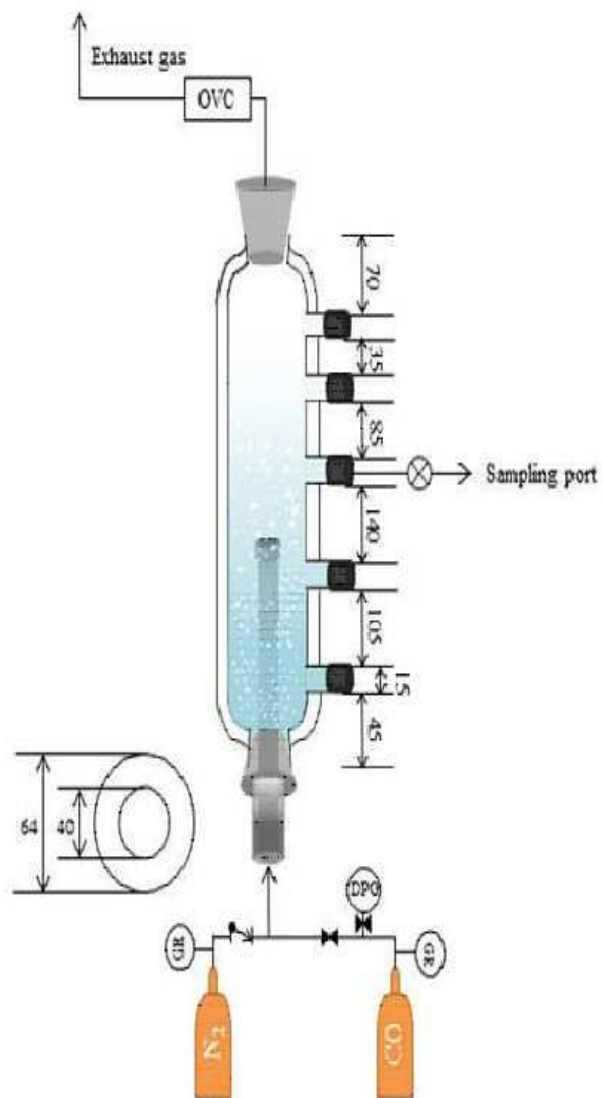
[0060] 그 결과, 초기 k_La 값은 67.2 h^{-1} 로 높게 유지되었으나, 상기 실시예 1 내지 11의 k_La 값이 최소 72 시간 동안 3% 범위 내로 유지되는 반면, 비교예 1에서는 72 시간 후 34% 가량 k_La 값이 떨어지는 내구성 문제를 확인하였다.

도면

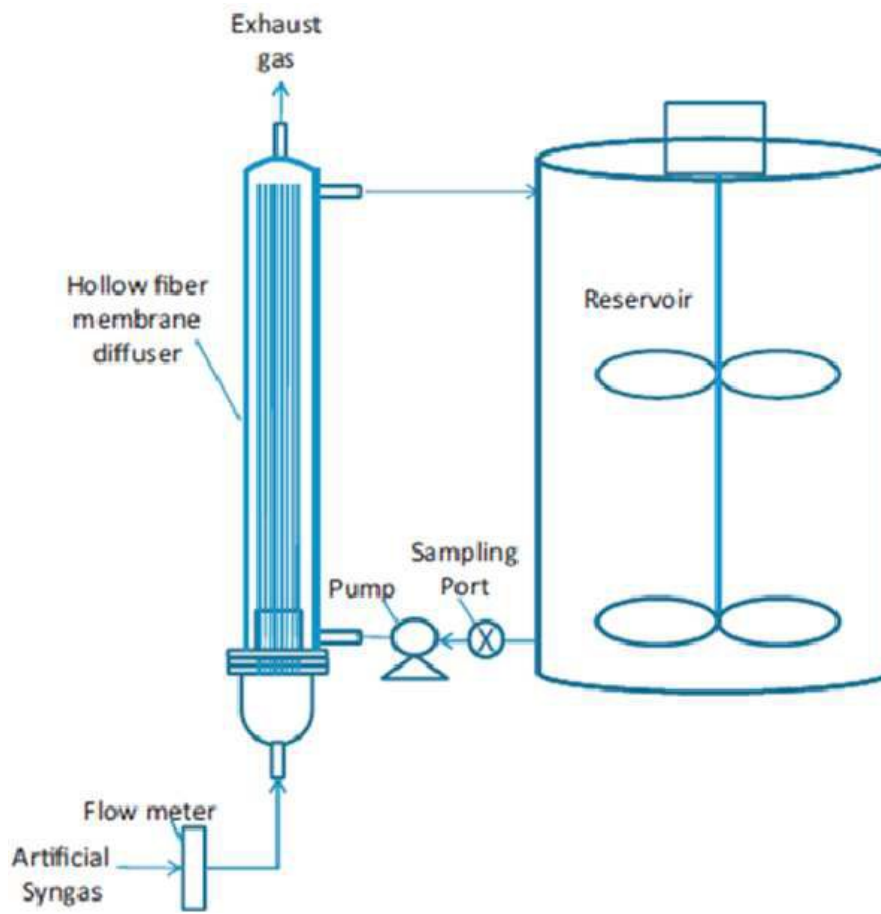
도면1



도면2



도면3



도면4

