



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0063960  
(43) 공개일자 2008년07월08일

(51) Int. Cl.

C01B 3/00 (2006.01) C12N 1/20 (2006.01)  
C02F 11/04 (2006.01) C12P 1/04 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0000606

(22) 출원일자 2007년01월03일  
심사청구일자 없음

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울 서대문구 신촌동 134 연세대학교

(72) 발명자

민병렬

서울 서대문구 대신동 84

김중표

경기 부천시 오정구 내동 289-8 성진그린타운 9동 301호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

조희원

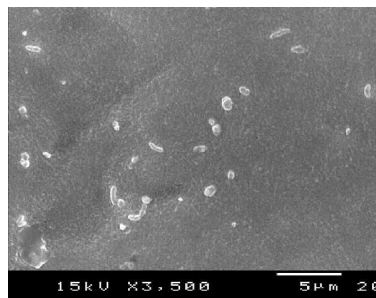
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 수소 제조용 미생물 담지 복합막 반응기 및 장치

(57) 요약

본 발명은 (1) 천연고분자 키토산, 용매 및 기공형성제를 통해 다공질의 키토산막을 제조하는 단계; (2) 상기 키토산 막에 실리콘을 코팅하여 기체투과가 가능한 막을 제조하는 단계; (3) 상기 단계(2)를 거친 막에 혐기성 미생물을 고정하여 막모듈을 조립하고 농산폐수 발효기에 장착하는 단계; (4) 발효된 농산폐수에서 막을 통해 수소를 분리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 수소제조용 미생물 담지 복합막 반응기 및 장치에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

**남궁현희**

서울 도봉구 창5동 현대1차아파트 101-803

**김중학**

서울 도봉구 쌍문3동 한양1차아파트 6-1106

**김희진**

서울 서초구 잠원동 한신아파트 4동 706호

**임세준**

서울 마포구 아현동 392-145

**홍현표**

서울 양천구 신정5동 보람아파트 105호

**최경준**

서울 구로구 신도림동 e편한세상대림4차아파트  
1101-2102

**김두리**

서울 노원구 상계7동 주공아파트 412-304

**고윤택**

서울 구로구 신도림동 e편한세상대림5차아파트

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

- (1) 천연고분자 키토산, 용매 및 기공형성제를 통해 다공질의 키토산막을 제조하는 단계;
- (2) 상기 키토산 막에 실리콘을 코팅하여 기체투과가 가능한 막을 제조하는 단계;
- (3) 상기 단계(2)를 거친 막에 혐기성 미생물을 고정하여 미생물 담지 복합막 반응기를 조립하고 농산 폐수 발효기에 장착하는 단계;
- (4) 농산폐수 발효에 의해 생성된 수소를 막을 통해 분리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 제조용 미생물 담지 복합막 반응기 및 장치

### 청구항 2

제 1항에 있어서, 용매는 천연고분자 키토산 및 기공형성제를 용이하게 녹일 수 있는 것으로서 아세트산, 구연산, 염산, 황산 등의 산종류를 포함하는 것을 특징으로 하는 수소 제조용 미생물 담지 복합막 반응기 및 장치

### 청구항 3

제 1항에 있어서, 천연고분자 키토산 분리막의 일측에 미생물이 담지될 수 있는 거대 기공을 형성하기 위한 기공형성제로서, 폴리에틸렌글리콜, 폴리비닐리덴피롤리돈 등의 수용성 고분자를 특징으로 하는 수소 제조용 미생물 담지 복합막 반응기 및 장치

## 명세서

### 발명의 상세한 설명

#### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <7> 본 발명은 혐기성 미생물의 고정화에 적합한 키토산막 제조법과 이 막을 이용하여 발효된 농산폐수로부터 생물학적인 방법으로 수소를 생산하는 공정에 관한 것이다.
- <8> 현재 우리나라는 국가 에너지의 97%를 수입에 의존하고 있으며, 특히 소비되는 에너지의 84%가 화석 연료로 심각한 환경오염을 일으키고 있어 에너지의 안정적 수급과 환경문제를 해결할 대체 에너지의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 따라서 최근에는 태양광을 이용하고, 화석 연료 사용을 최소화하며, 유기성 폐기물로부터 수소를 생산할 수 있는 생물학적인 방법을 이용하는 수소를 생산하는 연구가 활발히 진행되고 있다.
- <9> 발효를 통한 생물학적 수소생산은 유기성폐수의 재활용이라는 환경적 측면과 경제적 측면에서 효율적인 수소생산 방법으로 알려져 있다. 수소생산 박테리아는 빛이 없는 혐기 발효 조건에서 유기물을 이용하여 배양액 중에 각종 유기산, 유기용매를 축적하고 동시에 수소와 이산화탄소를 발생한다. 생성되는 발효산물의 종류와 비율은 초기 배양조건인 수소이온농도, 온도, 기질의 종류와 농도, 무기물의 농도 등에 영향을 받을 뿐만 아니라, 이미 발효과정에서 생성된 대사산물인 유기산과 유기용매에 의해서도 수소생성에 영향을 받는다. 클로스트리디움(Clostridium) 및 엔테로박터(Enterobacter) 속의 일부 미생물은 잘 알려진 혐기발효 수소생성 박테리아로서, 현재 이들을 이용한 수소생산에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.
- <10> 키토산은 폐수처리에서의 응집제, 식품, 화장품 용제, 의료용 인공피부, 수술용 봉합제, 막 등 다양한 용도로 사용되고 있는 천연고분자이다. 상술한 용도 중 키토산이 막재료로 사용되기 위해서는 기계적 성질이 우수해야하는데 이를 위해서 셀룰로오스, 폴리에틸렌옥사이드, 폴리비닐알코올과 혼합하는 방법(M. Zhang et al. Biomaterials 2002, vol 23, p. 2642), 글루타알데히드, 황산, 포르말데히드 등의 가교제를 이용하는 방법(R.Y. M. Huang et al., Membr. Sci. 1999, vol 160, p. 18)으로 키토산막의 기계적 성질을 향상시키는 방법이 연구되어왔다. 그러나 본 발명에서는 혐기성 미생물을 고정화하기 위해서는 충분한 기공형성과 강도향상이 수반되어야하는 바, 폴리에틸렌글리콜을 키토산과 혼합한 후 성형하고 추출하는 방법으로 기공을 형성하고 강도향상으로 위해 황산을 가교하는 방법을 선택하여 키토산막을 제조하였다.

<11> 미국특허 제 US 5,993,661호는 아세트산수용액에 키토산과 기공형성제를 함께 교반한 후, 막을 성형하고 다시 기공형성제를 추출함으로써 거대기공과 미세기공을 함께 형성하는 방법에 관한 것으로 기공형성제의 크기로 기공의 크기를 조절할 수 있다고 명시되어있다. 그러나 이 발명에서는 기계적 성질 향상에 대한 언급과 그로부터 제조된 막의 활용성이 명시되어 있지 않다.

<12> 그러므로 본 발명에서는 천연고분자인 키토산을 이용하여 다공질의 막을 제조하고 제조된 막에 기체투과가 가능한 실리콘을 코팅하여 연속적이며 효율적으로 유기성폐수 발효로부터 수소를 생산하도록 하고자 한다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<13> 이를 위하여 본 발명자들은 혐기성 미생물이 성장하기 적합하도록 기공형성제로 다공성 키토산막을 성형하고 상기 제조된 막의 황산 후처리를 통해 기계적 성질이 우수한 다공성 키토산막을 수득할 수 있음을 확인하였다. 또한 상기 제조된 막에 실리콘 코팅을 한 후, 혐기성 미생물과 농산폐수 유기물의 발효반응을 통해 발생한 수소를 효율적으로 분리할 수 있음을 확인하고 본 발명을 완성하기에 이르렀다.

<14> 본 발명은 한 관점으로 (1) 천연고분자 키토산, 용매 및 기공형성제를 통해 다공질의 키토산막을 제조하는 단계; (2) 상기 키토산 막에 실리콘을 코팅하여 기체투과가 가능한 막을 제조하는 단계; (3) 상기 단계 (2)를 거친 막에 혐기성 미생물을 고정하여 막모듈을 조립하고 농산폐수 발효기에 장착하는 단계; (4) 발표된 농산폐수에서 막을 통해 수소를 분리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는, 혐기성 미생물을 고정된 키토산막 제조 및 농산폐수발효를 통한 수소생산 방법에 관한 것이다.

### 발명의 구성 및 작용

<15> 본 발명은 (1) 천연고분자 키토산, 용매 및 기공형성제를 통해 다공질의 키토산막을 제조하는 단계;

<16> (2) 상기 키토산 막에 실리콘을 코팅하여 기체투과가 가능한 막을 제조하는 단계;

<17> (3) 상기 단계(2)를 거친 막에 혐기성 미생물을 고정하여 막모듈을 조립하고 농산폐수 발효기에 장착하는 단계;

<18> (4) 농산폐수 발효에 의해 생성된 수소를 막을 통해 분리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 혐기성 미생물을 고정된 키토산막 제조 및 농산폐수발효를 통한 수소생산 방법에 관한 것이다.

<19> 본 발명에서 키토산은 계와 새우 껍질을 가수분해하고 탈아세틸화(deacetylation) 하여 얻어진다. 키토산은 산에만 녹고, 물이나 알콜에는 녹지 않으며 용액은 점도가 매우 높다. 단백질이 존재하거나 수소이온농도가 높아지면 응집되는 성질이 있으며, 구조적으로 아미노기(-NH<sub>2</sub>)와 수산기를 화학적으로 변경하는 것이 가능하므로 다양한 물성을 갖는 여러 종류의 기능성 소재를 제조할 수 있는 장점을 지닌다.

<20> 본 발명에서는 용매로서 키토산막을 제조하는데 통상적으로 이용되는 용매를 이용할 수 있는데 예를 들면 젖산, 포름산, 아세트산 등의 유기산이나 약한 염산, 질산 등과 같은 무기산에도 용해된다.

<21> 또한, 본 발명에서는 기공형성제로 키토산과 잘 혼합되며 물에 쉽게 녹는 물질을 이용할 수 있다. 이때, 본 발명에서 기공형성제는 키토산의 다공질을 형성할 뿐만 아니라 잔류된 것과 키토산의 응력으로서 제조된 막의 기계적 성질을 증진시키는 역할을 하기 때문에 독성이 없는 물질을 사용하도록 한다. 이 발명에서는 폴리에틸렌글리콜(PEG)을 키토산과 함께 용매에 녹여 용액을 만든 후 막 성형과 상기 기공형성제의 추출을 통해 기공을 형성하도록 하였다.

<22> 본 발명에서 상기 과정을 통해 제조된 막의 기계적 성질을 향상시키기 위해 가교제를 통해 후처리를 할 수 있다. 가교제로는 통상 글루타알데히드, 황산, 포름알데히드를 사용할 수 있지만, 이에 제한되는 것은 아니다. 이 발명에서는 황산수용액의 후처리로 상기과정을 통해 제조된 다공성 키토산막의 기계적 성질을 증진시키도록 한다.

<23> 또한, 본 발명에서 발효반응으로 생산된 수소를 효율적으로 분리할 수 있도록 다공성 키토산막에 기체투과막의 역할을 할 수 있는 코팅제를 사용하도록 한다. 통상 수소분리가 가능한 막에는 폴리에틸렌테레프탈레이트(Polyethyleneterephthalate)와 폴리술폰(Polysulfone)막에 폴리디메틸실록산(Polydimethylsiloxane)을 박막형태로 도포한 막을 사용할 수 있다. 그러나 이러한 막들은 키토산막과의 접착이 어려운바 키토산과의 접착

력이 우수하고 공정이 간편하며 기체투과가 가능한 실리콘을 사용하도록 한다.

<24> 본 발명에서 다공성 키토산 막에 고정될 미생물은 혐기발효를 통해 수소를 생산할 수 있는 미생물을 선택하도록 한다. 혐기발효는 유기성 폐수의 수소생산에 효율적인 방법으로 이론적으로 글루코오스 1 몰당 12 몰의 수소를 수득할 수 있는 것으로 알려져 있다. 수소생산 클로스트리디움 및 엔테로박터 속의 일부 미생물은 잘 알려진 혐기발효 수소생성 박테리아이다.

<25> 본 발명에 따른 막 제조 방법의 단계 (1)은 천연고분자 키토산, 용매 및 기공형성제를 통해 다공질의 키토산막을 제조하는 단계이다. 이 단계에서 상기 고분자들은 3 중량% 아세트산수용액에 녹여진다. 이 때, 키토산은 아세트산수용액 전체 중량당 3.5 중량%를 포함하며, 기공형성제인 폴리에틸렌글리콜은 0 내지 1.75 중량%를 포함하도록 한다. 상기 고분자들이 혼합된 고분자 용액은 유리판에 캐스팅된 후, 섭씨 50도 건조오븐에서 10 분 동안 건조된다. 상기 과정을 통해 건조된 막은 3 중량% 수산화나트륨 수용액에서 30분간 상전이를 거치게 된다. 한편, 상기 과정을 통해 제조된 막을 섭씨 80 내지 90 도의 증류수에 3시간동안 담지하여 폴리에틸렌글리콜을 추출하는 과정을 거쳐 다공질의 키토산막이 수득된다. 한편, 0.5몰 황산은 폴리에틸렌글리콜을 추출한 다공질 키토산막을 가교하는 물질로 적합하다. 건조된 다공질 키토산막을 0.5 몰 황산에 30분간 담지함으로써 가교를 형성시킬 수 있다.

<26> 본 발명에 따른 막 제조 방법의 단계 (2)는 앞서 제조된 키토산 막에 실리콘을 코팅하여 기체투과가 가능한 막을 제조하는 단계이다. 즉, 키토산막에 고정된 혐기성 미생물과 유기성폐수의 발효반응으로 생성된 기체만 키토산막에 코팅된 실리콘을 통하여 투과되도록 하는 것이다.

<27> 본 발명의 단계 (3)은 상기 단계를 거친 막에 혐기성 미생물을 고정하여 막모듈을 조립하고 농산폐수 발효기에 장착하는 단계이다. 이때, 혐기성 미생물은 엠9(M9)의 조성을 갖는 액체배지에서 배양된다. 엠9의 배지 조성은 인산나트륨 7수화물( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 12.8 그램, 인산칼륨( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 3 그램, 염화나트륨( $\text{NaCl}$ ) 0.5 그램, 염화암모늄( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 1.0 그램, 글루코오스 4 그램이다. 한편, 앞서 제조한 막은 가로 7 센티미터, 세로 11 센티미터로 잘라져, 혐기성 미생물이 배양된 액체배지에 30분 동안 함침하면 다공질 키토산막의 기공에 혐기성 미생물이 흡착되어 고정된다. 이 막들은 막모듈에 장착되어 유기성폐수가 들어있는 발효반응기에 투입된다. 유기성폐수는 통상 농산과일폐수, 음식물 찌꺼기, 고농도 축산폐수를 사용할 수 있으나, 이 발명에서는 글루코오스 함량이 충분한 농산과일폐수를 이용하도록 한다. 통상 혐기성 미생물 중 엔테로박터 에어로진스 등은 pH 6에서 수소를 발생시키나 수소발생 이전 발생하는 유기산 등의 물질로 인한 pH 감소를 고려하여 농산과일폐수의 pH는 7이 되도록 하는 것이 적합하다. 이를 위해서는 수산화나트륨을 통한 pH 조절과 완충액을 사용하는 것이 바람직하다. 본 발명의 단계 (4)는 농산폐수 발효에 의해 생성된 수소를 막을 통해 분리하는 것이다. (4) 단계에 앞서, 완전히 밀봉된 발효기에 1시간동안 질소를 주입하여 혐기상태가 유지되도록 하는 것이 바람직하다. 상기 (3) 단계를 거친 농산폐수 발효반응기를 섭씨 37 도, 압반응조건으로 세팅된 배양기에 넣고 진공펌프를 이용하여 발효반응에 의해 생성된 수소를 실리콘 막을 통해 분리, 포집한다. 가스포집용기에는 수소가 유입되는 부분과 진공펌프가 연결되는 부분에 밸브를 달아 가스포집이 효율적으로 이뤄질 수 있도록 한다.

<28> 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 구체적으로 설명하기로 한다. 그러나 하기의 실시예는 오로지 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로 이들 실시예에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

<29> <실시예 1>

<30> 상온에서 3 중량% 아세트산수용액에 키토산 3.5 중량%, 폴리에틸렌글리콜 1.05 중량%를 투입한다. 상기 고분자들이 혼합된 고분자 용액을 1000 마이크로미터 캐스팅나이프를 유리판에 캐스팅 한 후, 섭씨 50 도 건조 오븐에서 10분 동안 건조한다. 상기 과정을 통해 건조된 막은 3 중량% 수산화나트륨 수용액에서 30분간 상전이를 거치게 된다. 한편, 상기 과정을 통해 제조된 막을 섭씨 80 내지 90 도의 증류수에 3시간동안 담지하여 폴리에틸렌글리콜을 추출하는 과정을 거쳐 다공질의 키토산막을 수득한다. 이어서 0.5 몰 황산에 건조된 다공질 키토산막을 30분간 담지함으로써 가교한다.

<31> 이렇게 제조된 다공질 키토산막의 기공의 모양, 크기 및 분포도 등을 확인하기 위하여 주사전자현미경으로 관찰하였고 그 결과를 도 1에 표면을, 도 2에 단면을 나타내었다. 도 1에 나타난 바와 같이 실시예 1에 따라 제조된 다공질 키토산막에는 4 내지 5마이크로미터 크기의 기공이 약 25%의 기공 형성도로 형성되었다.

<32> <실시예 2>

<33> 상온에서 3 중량% 아세트산수용액에 키토산 3.5 중량%, 폴리에틸렌글리콜 1.75 중량%를 투입한다. 상기

고분자들이 혼합된 고분자 용액을 1000 마이크로미터 캐스팅나이프로 유리판에 캐스팅 한 후, 섭씨 50 도 건조 오븐에서 10분 동안 건조한다. 상기 과정을 통해 건조된 막은 3 중량% 수산화나트륨 수용액에서 30분간 상전이를 거치게 된다. 한편, 상기 과정을 통해 제조된 막을 섭씨 80 내지 90 도의 증류수에 3시간동안 담지하여 폴리에틸렌글리콜을 추출하는 과정을 거쳐 다공질의 키토산막을 수득한다. 이어서 0.5 몰 황산에 건조된 다공질 키토산막을 30분간 담지함으로써 가교한다.

<34> 이렇게 제조된 다공질 키토산막의 기공의 모양, 크기 및 분포도 등을 확인하기 위하여 주사전자현미경으로 관찰하였고 그 결과를 그 결과를 도 3에 표면을 도 4에 단면을 나타내었다. 도 3에 나타난 바와 같이 실시예 2에 따라 제조된 다공질 키토산막에는 5 내지 7 $\mu$ m 크기의 기공이 약 62%의 기공 형성도로 형성되었다.

<35> <실시예 3>

<36> 상온에서 3 중량% 아세트산수용액에 키토산 3.5 중량%, 폴리에틸렌글리콜 2.45 중량%를 투입한다. 상기 고분자들이 혼합된 고분자 용액을 1000 마이크로미터 캐스팅나이프로 유리판에 캐스팅 한 후, 섭씨 50 도 건조 오븐에서 10분 동안 건조한다. 상기 과정을 통해 건조된 막은 3 중량% 수산화나트륨 수용액에서 30분간 상전이를 거치게 된다. 한편, 상기 과정을 통해 제조된 막을 섭씨 80 내지 90 도의 증류수에 3시간동안 담지하여 폴리에틸렌글리콜을 추출하는 과정을 거쳐 다공질의 키토산막을 수득한다. 이어서 0.5 몰 황산에 건조된 다공질 키토산막을 30분간 담지함으로써 가교한다. 이렇게 제조된 다공질 키토산막의 기공의 모양, 크기 및 분포도 등을 확인하기 위하여 주사전자현미경으로 관찰하였고 그 결과를 그 결과를 도 5에 표면을 도 6에 단면을 나타내었다. 도 5에 나타난 바와 같이 실시예 3에 따라 제조된 다공질 키토산막에는 5 내지 7 마이크로미터 크기의 기공이 약 75%의 기공 형성도로 형성되었다.

<37> <실시예 4>

<38> 전술한 실시예 1 내지 3로부터 혐기성 미생물의 한 종류인 엔테로박터 에어로진스가 충분히 고정화되고 기계적 성질이 충분한, 기공형성도가 62%인 실시예 2를 선택하여 실리콘을 코팅하여 기체투과가 가능한 막을 제조한다. 건조된 다공질 키토산막에 실리콘이 스며들지 않도록 하기 위해서는 건조가 빠른 실리콘 오일을 선택하여 50 마이크로미터로 빠르게 코팅하는 것이 바람직하다. 이렇게 제조된 실리콘으로 코팅된 다공질 키토산막의 기공의 모양, 크기 및 분포도 등을 확인하기 위하여 주사전자현미경으로 관찰하였고 그 결과를 그 결과를 도 7에 나타내었다.

<39> 도 7에 나타난 바와 같이 실시예 4에 따라 제조된 다공질 키토산막에는 기공이 형성되지 않았다.

<40> <실시예 5>

<41> 상기 과정을 거쳐 제조된 실리콘이 코팅된 다공질 키토산막에 혐기성 미생물인 엔테로박터 에어로진스를 고정하여 막모듈을 조립하고 농산폐수 발효기에 장착한다. 이때, 엔테로박터 에어로진스는 엠 9의 조성을 갖는 액체배지에서 배양된다. 한편, 앞서 제조한 막은 가로 7 센티미터, 세로 11 센티미터로 잘라져, 엔테로박터 에어로진스가 배양된 액체배지에 30분 동안 함침하면 다공질 키토산막의 기공에 엔테로박터 에어로진스가 흡착되어 고정된다. 이 막들은 막모듈에 장착되어 유기성폐수가 들어있는 발효반응기에 투입된다. 유기성폐수는 통상 농산과일폐수, 음식물 침출수, 고농도 축산폐수를 사용할 수 있으나, 이 발명에서는 글루코오스 함량이 충분한 농산과일폐수를 이용하도록 한다. 통상 엔테로박터 에어로진스는 pH 6에서 수소를 발생시키나 수소발생 이전 발생하는 유기산 등의 물질로 인한 pH 감소를 고려하여 농산과일폐수의 pH는 7이 되도록 하는 것이 적합하다. 이를 위해서는 수산화나트륨을 통한 pH 조절과 완충액을 사용하는 것이 바람직하다.

<42> 완전히 밀봉된 발효기에 1시간동안 질소를 주입하여 혐기상태가 유지되도록 한다. 이어 농산폐수 발효반응기를 섭씨 37 도, 암반응조건으로 세팅된 배양기에 넣고 진공펌프를 이용하여 발효반응에 의해 생성된 수소를 실리콘 막을 통해 분리, 포집한다. 가스포집용기에는 수소가 유입되는 부분과 진공펌프가 연결되는 부분에 밸브를 달아 효율적으로 가스를 포집할 수 있다.

<43> 도 8은 농산폐수 발효를 통해 수소분리가 가능한 막모듈과 막모듈이 장착된 발효반응장치의 개략도를 나타낸 것이다.

<44> 이 공정을 통해 이산화탄소, 부틸산, 아세트산, 메탄 등을 수득할 수 있었으며 이 가운데 약 20 부피%의 수소를 수득할 수 있었다. 발효를 통한 수소의 수득율은 발효를 시작한지 3일 되던 때 가장 높았으며 4일, 5일이 되면 거의 일정한 수득율이 유지되었다.

## 발명의 효과

<45>

본 발명을 통해 혐기성 미생물이 성장하기 적합하도록 기공형성제로 다공성 키토산막을 성형하고 상기 제조된 막의 황산 후처리를 통해 기계적 성질이 우수한 다공성 키토산막을 획득할 수 있다. 또한 상기 제조된 막에 실리콘 코팅을 한 후, 혐기성 미생물과 농산폐수 유기물의 발효반응을 통해 발생된 수소를 효율적으로 분리할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

<1>

도 1은 혐기성 미생물이 실리콘이 코팅된 다공성의 키토산막에 고정화된 후 발효된 농산폐수로부터 수소를 생산할 수 있도록 제작한 막모듈과 발효장치의 개략도를 나타낸 도면.

<2>

도 2는 본 발명의 한 양태에 따라 제조된 가교되지 않은 다공성 키토산막의 표면을 나타낸 사진.

<3>

도 3은 본 발명의 한 양태에 따라 제조된 가교되지 않은 다공성 키토산막의 단면을 나타낸 사진.

<4>

도 4는 본 발명의 한 양태에 따라 제조된 가교된 다공성 키토산막의 표면을 나타낸 사진.

<5>

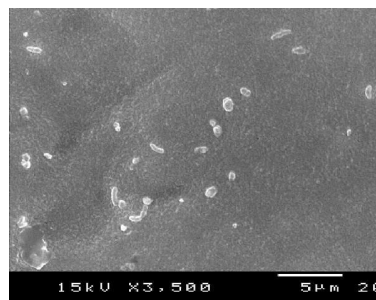
도 5는 본 발명의 한 양태에 따라 제조된 가교된 다공성 키토산막의 단면을 나타낸 사진.

<6>

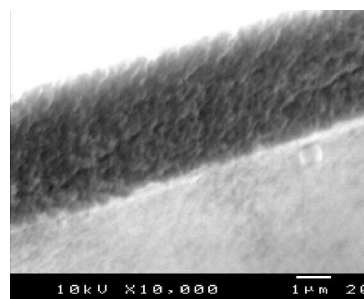
도 6은 본 발명의 한 양태에 따라 제조된 실리콘이 코팅된 키토산막의 표면을 나타낸 사진.

## 도면

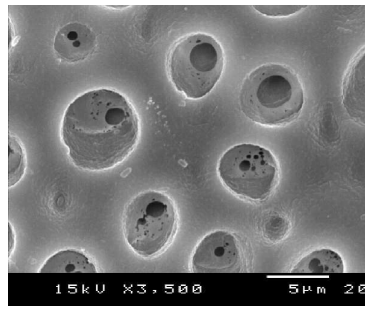
도면1



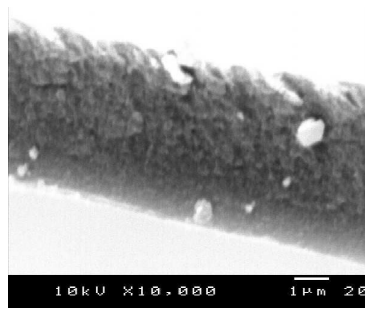
도면2



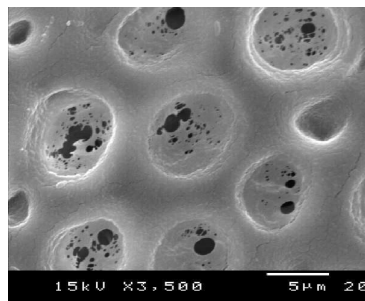
도면3



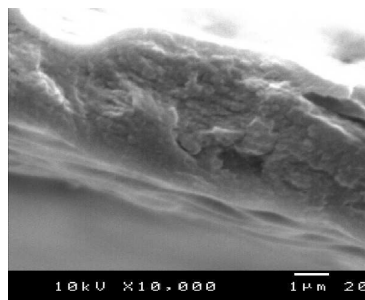
도면4



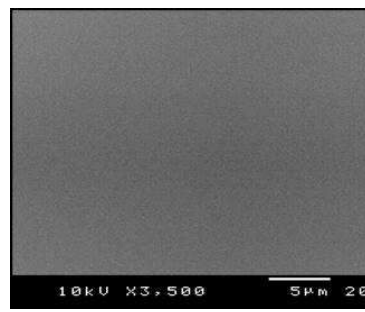
도면5



도면6



도면7



도면8

