



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0035804
(43) 공개일자 2018년04월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C08G 18/00 (2006.01) *C08G 18/16* (2006.01)
C08G 18/28 (2006.01) *C08G 18/76* (2006.01)
C08J 3/075 (2006.01) *C08G 101/00* (2006.01)

(52) CPC특허분류
C08G 18/003 (2013.01)
C08G 18/16 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-7002427
 (22) 출원일자(국제) 2016년06월20일
 심사청구일자 없음
 (85) 번역문제출일자 2018년01월25일
 (86) 국제출원번호 PCT/EP2016/064177
 (87) 국제공개번호 WO 2017/016755
 국제공개일자 2017년02월02일

(30) 우선권주장
 15178682.9 2015년07월28일
 유럽특허청(EPO)(EP)

(71) 출원인
헨켈 아게 운트 코. 카게아아
 독일 40589 뒤셀도르프 헨켈스트라쎄 67
헨켈 아이피 앤드 홀딩 게엠베하
 독일 40589 뒤셀도르프 헨켈스트라쎄 67

(72) 발명자
롬바 우게트 미켈
 스페인 50017 사라고사 칼레 미켈 라보르데타 37
 5넘버디
가르두노 페레스 호안
 스페인 08041 바르셀로나 람블라 데 볼라르트 85
 넘버1 넘버6
 (뒷면에 계속)

(74) 대리인
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **이소시아네이트 및 시클릭 에테르 중합체 네트워크 기반의 유기 에어로겔**

(57) 요약

본 발명은 용매의 존재 하에 2 이상의 관능성을 갖는 이소시아네이트 화합물 및 2 이상의 관능성을 갖는 시클릭 에테르 화합물을 반응시켜 수득한 유기 에어로겔에 관한 것이다. 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 양호한 단열 및 양호한 기계적 특성을 제공한다.

(52) CPC특허분류

C08G 18/283 (2013.01)
C08G 18/7657 (2013.01)
C08J 3/075 (2013.01)
C08G 2101/0091 (2013.01)
C08J 2205/026 (2013.01)

(72) 발명자

토레스 카노 엘리사베트

스페인 08022 바르셀로나 파세이그 산트 헤르바시
오 87 1넘버4에이

살리 푸아드

스페인 08195 바르셀로나 카레르 다르헨티나 23 산
트 쿠가트 델 바예스

바사가나스 투론 세르히

스페인 17800 히로나 올로트 카레르 이그나시 루비
오 8

사칼리데 아스타

스페인 43130 타라고나 아르키텍테 후을 블로케 8
에스칼레라 5 5넘버2에이

명세서

청구범위

청구항 1

용매의 존재 하에 2 이상의 관능성 (functionality) 을 갖는 이소시아네이트 화합물 및 2 이상의 관능성을 갖는 시클릭 에테르 화합물을 반응시켜 수득한, 유기 에어로겔.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 이소시아네이트 화합물 및 상기 시클릭 에테르 화합물이 촉매의 존재 하에 반응하는, 유기 에어로겔.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 이소시아네이트 화합물이 2 내지 6, 바람직하게는 2 내지 3 의 관능성을 갖는, 유기 에어로겔.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 시클릭 에테르 화합물이 2 내지 6, 바람직하게는 2 내지 4 의 관능성을 갖는, 유기 에어로겔.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 이소시아네이트 화합물이 방향족 이소시아네이트 화합물 또는 지방족 이소시아네이트 화합물인, 유기 에어로겔.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 시클릭 에테르 화합물이 에폭시 화합물 또는 옥세탄 화합물인, 유기 에어로겔.

청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 있어서, 에폭시/옥세탄기 대 이소시아네이트기의 비가 18:1 - 1:15, 바람직하게는 5:1 - 1:5 인, 유기 에어로겔.

청구항 8

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 용매가 극성 용매, 바람직하게는 극성 비양성자성 용매인, 유기 에어로겔.

청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 촉매가 알킬 아민, 방향족 아민, 이미다졸 유도체, 아자 화합물, 구아니딘 유도체 및 아미딘으로 이루어지는 군에서 선택되는, 유기 에어로겔.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 유기 에어로겔이 용액의 초기 고체 함량을 기준으로 3 내지 30%, 바람직하게는 5 내지 20% 의 고체 함량을 갖는, 유기 에어로겔.

청구항 11

제 1 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 유기 에어로겔이 75 mW/m·K 미만, 바람직하게는 55 mW/m·K 미만, 보다 바람직하게는 50 mW/m·K 미만, 보다 더 바람직하게는 45 mW/m·K 미만의 열 전도도를 갖는, 유기 에어로겔.

청구항 12

하기 단계를 포함하는, 제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 따른 유기 에어로겔의 제조 방법:

- 1) 시클릭 에테르 화합물을 용매에 용해하고 이소시아네이트 화합물을 첨가하고 혼합하는 단계,
- 2) 존재하는 경우, 촉매를 첨가하고, 혼합하는 단계;
- 3) 혼합물을 정치시켜 겔을 형성시키는 단계;
- 4) 상기 겔을 용매로 세척하는 단계; 및
- 5) 상기 겔을 초임계 또는 상온 건조에 의해 건조시키는 단계.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 겔을 형성시키기 위해 실온 내지 180°C 의 온도를 단계 3) 에서 적용하고, 바람직하게는 실온 내지 150°C 의 온도를 적용하는, 유기 에어로겔의 제조 방법.

청구항 14

제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 따른 유기 에어로겔을 포함하는 단열재 또는 흡음재.

청구항 15

단열재 또는 흡음재로서의 제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 따른 유기 에어로겔의 용도.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 용매의 존재 하에 2 이상의 관능성을 갖는 이소시아네이트 화합물 및 2 이상의 관능성 (functionality) 을 갖는 시클릭 에테르 화합물을 반응시켜 수득한 유기 에어로겔에 관한 것이다. 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 양호한 단열 및 양호한 기계적 특성을 제공한다.

배경 기술

[0002] 에어로겔은 기체에 대한 기공-충전 용매를 통상 초임계 유체로 교환함으로써 건조 습윤-겔로부터 유래한 나노입자의 3 차원, 저밀도 어셈블리이다. 이들 수단에 의해, 증발로 인한 용매에 의해 발휘된 모세관력이 최소화되고, 큰 내부 보이드 공간 (void space) 을 갖는 구조가 이루어진다. 이들 물질의 높은 다공성은, 에어로겔이 단열 적용물에 대한 매우 흥미로운 물질이 되게 하는, 그의 매우 낮은 열 전도도의 이유이다.

[0003] 시장에서의 흔한 단열재와 비교하여, 에어로겔은 매우 낮은 열 전도도를 갖는 경량 물질이다. 따라서, 에어로겔은 기체상으로부터의 임의 원인 제공 (contribution) 제거 및 그의 나노구조로 인해 양호한 절연체로 공지되어 있다. 따라서, 유사한 절연 특성을 얻으면서 절연층의 두께가 감소될 수 있다. 에어로겔은 공기가 채워져 있고, 더욱이 노화되지 않기 때문에 환경 친화적이다.

[0004] 단열은 에너지 절약 및 비용 감소를 위해 수많은 상이한 적용에서 중요하다. 이러한 적용의 예는 건설, 수송 및 산업이다. 일부 적용을 위해, 열 전달을 감소시키기 위하여 두꺼운 절연 패널을 사용할 수 있다. 그러나, 다른 적용은 크기 제한으로 인해 더 얇은 절연 패널/층을 필요로 할 수 있다. 얇은 절연 패널/층에 대해, 물질의 열 전도도는 더 두꺼운 절연 패널/층과 동일한 절연 특성을 얻기 위하여 매우 낮아야만 한다. 추가적으로, 일부 경우에서 및 적용에 따라, 높은 기계적 특성이 또한 요구될 수 있다.

[0005] 대부분의 공지된 에어로겔은 주로 실리카 기반의 무기 에어로겔이다. 그의 높은 단열 특성에도 불구하고, 취약성 및 불량한 기계적 특성으로 인해 느린 상업화가 관찰된다. 그의 낮은 기계적 특성은 일반적으로 명확한 좁은 반입자 넥 (narrow antiparticle neck) 으로 인한 것이다. 이러한 취약성은 상이한 방법에 의해 극복될 수 있다. 예를 들어, 에어로겔과 유기 중합체를 가교하거나 얇은 정각 (conformal) 중합체의 후-겔화 캐스팅에 의해, 예비형성된 습윤-겔 나노구조의 전체 내부 다공성 표면에 코팅이 이루어진다.

[0006] 한편, 상이한 유기 에어로겔은 또한 문헌에 기재되어 있다. 이들 물질은 일반적으로, 이후 건조되어 다공성 물질이 수득되는 겔이 산출되도록, 용액 중 단량체의 가교에 의해 형성된 상이한 성질의 중합체성 네트워크를

기반으로 한다.

- [0007] 문헌에 기재된 첫 번째 유기 에어로겔은 페놀-포름알데히드 수지를 기반으로 하였는데, 이는 또한 열분해에 의해 탄소 에어로겔을 제조하는데 사용될 수 있다. 다른 중요한 유기 에어로겔은 다관능성 이소시아네이트를 사용하여 제조된 물질을 기반으로 한다. 이들 단량체는 폴리이미드 에어로겔 (무수물과의 반응에 의해), 폴리아미드 에어로겔 (카르복실산과의 반응에 의해), 폴리우레탄 에어로겔 (히드록실화 화합물과의 반응에 의해), 폴리카르보디이미드 에어로겔 또는 폴리우레아 에어로겔 (촉매로서 물과 또는 아미노화 화합물과의 반응에 의해) 을 제조하는데 사용될 수 있다.
- [0008] 무기 에어로겔, 예컨대 실리카 기반 에어로겔은 가장 전통적인 유형을 나타내며 최상의 단일 성능을 제공한다. 그러나, 이들 물질은 깨지기 쉬우며 먼지가 많고 공기 매개되기 쉽고 (easy air-borne), 따라서 기계적 응력을 견딜 수 없다. 이로 인해, 때때로 이들은 유해 물질로서 분류된다. 또한, 이들의 취성으로 인해, 기계적 특성이 필요한 일부 적용에 적합하지 않다.
- [0009] 한편, 유기 에어로겔은 강건하고 기계적으로 안정하여, 많은 적용에 이롭다. 그러나, 이들 물질 중 일부는 또한 결점을 가질 수 있다.
- [0010] 상이한 중합체성 네트워크가 유기 에어로겔의 제조를 위해 기재되어 있다. 레조르시놀-포름알데히드 네트워크 기반의 에어로겔은 깨지기 쉽고 그의 경화 과정이 오래 걸려 (5 일까지), 산업적 규모 제조에 대한 결점을 초래한다. 한편, 이소시아네이트기 기반의 유기 에어로겔은 더 빠른 경화 과정을 가지며 그의 기계적 특성은 이소시아네이트 모이어티를 갖는 반응 관능성 기, 뿐 아니라 단량체 및/또는 올리고머 화학 구조 (즉, 관능성 수, 방향족 또는 지방족 성질, 입체 장애 등) 에 따라 변형될 수 있다.
- [0011] 선행 기술은 광범위한 이소시아네이트 화학 기반 에어로겔을 개시하고 있다. 이소시아네이트 모이어티는 히드록실화 화합물과 반응하여 폴리우레탄 에어로겔이 수득되고; 아민 또는 물과 반응하여 폴리우레아 에어로겔이 수득되고; 무수물과 반응하여 폴리이미드 에어로겔이 수득되고; 카르복실산과 반응하여 폴리아미드 에어로겔이 수득된다. 대부분의 경우, 다관능성 단량체는 통상 더 높은 기계적 특성을 초래하는 가교도 증가에 사용되어야만 한다. 중합체성 이소시아네이트 네트워크가 형성되도록 하는 이소시아네이트기의 삼량체화가 또한 기재되어 있다.
- [0012] 폴리이소시아네이트 기반 경질 발포체 (rigid foam), 예컨대 폴리우레탄 및 폴리이소시아네이트 발포체가 당 업계에 공지되어 있으며 예를 들어 냉장 저장 장치의 구성에서 단일 매질로서 사용된다. 이들 발포체는 일반적으로 발포체의 존재 하에 제조된다. 경질 발포체의 단일 특성은 셀 크기 및 셀 함량물의 (즉, 발포체 제조에 사용된 발포체의) 열 전도도를 포함하는 수많은 인자에 따라 좌우된다. 가장 흔한 발포체는 수소염화불화탄소, 수소불화탄소 및 시클로알켄이다. 이들 발포체가 염화불화탄소보다 더 허용가능함에도 불구하고, 이들은 하등한 단열을 제공한다.
- [0013] 이소시아네이트 및 아민 기반의 폴리우레아 에어로겔은 이들의 기계적 안정성 및/또는 압축 강도 뿐 아니라 열 전도도로 인해 모든 적용에 대해 만족스럽지 않다. 또한, 겔화 시간이 종종 지나치게 길다. 더욱이, 선행 기술은 이소시아네이트와 아미노기 사이의 높은 반응 속도의 결과로서 이러한 종류의 물질과 연관된 혼합 결점의 존재를 언급하고 있다. 이는 불균일하고 불만족스러운 특성을 갖는 에어로겔을 초래한다.
- [0014] 올리고머성 이소시아네이트 및 고분자량 폴리올의 반응에 의해 수득한 폴리우레탄 에어로겔은 이용가능성 및 비용 면에 있어서 일부 이점을 갖지만, 에어로겔 관점으로부터, 이들은 일부 불리한 점을 갖는다. 문헌에서 제시된 상대적 용해도의 중요성을 고려하면, 상-분리가 시약에 대한 생성물의 전체적 용해도 증가로 인해 지연되어, 더 큰 콜로이드성 입자가 수득될 것이다. 결과적으로, 표면-대-부피 비는 상대적으로 낮을 것으로 예측되어, 낮은 표면적 물질을 초래한다. 일반적으로, 올리고머성 출발 물질은 나노입자의 표면에 낮은 관능기 밀도를 산출해야 하고, 따라서 입자간 가교가 또한 절충되어야 하며, 생성 에어로겔이 기계적으로 약한 것으로 예측된다.
- [0015] 따라서, 기계적으로 강건하면서 양호한 단열 특성을 제공하는 유기 에어로겔이 여전히 필요하다.

발명의 내용

[0016] **발명의 개요**

[0017] 본 발명은 용매의 존재 하에 2 이상의 관능성을 갖는 이소시아네이트 화합물 및 2 이상의 관능성을 갖는 시클릭

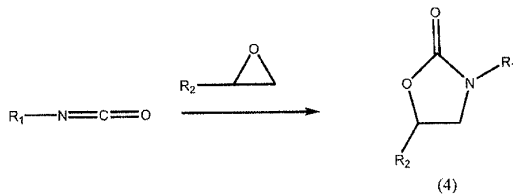
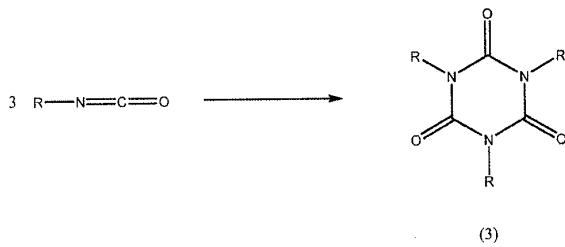
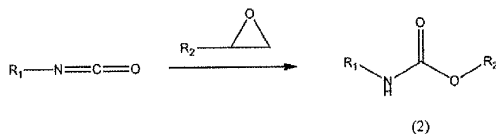
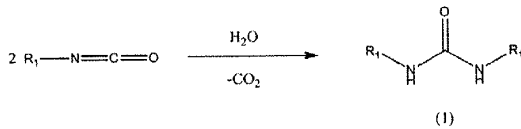
에테르 화합물을 반응시켜 수득한 유기 에어로겔에 관한 것이다.

- [0018] 본 발명은 또한 하기 단계를 포함하는, 본 발명에 따른 유기 에어로겔의 제조 방법에 관한 것이다: 1) 시클릭 에테르 화합물을 용매에 용해하고 이소시아네이트 화합물을 첨가하고 혼합하는 단계; 2) 존재한다면, 촉매를 첨가하고, 혼합하는 단계; 3) 혼합물을 정치시켜 겔을 형성시키는 단계; 4) 상기 겔을 용매로 세척하는 단계; 및 5) 상기 겔을 초임계 또는 상온 건조에 의해 건조시키는 단계.
- [0019] 본 발명은 또한 본 발명에 따른 유기 에어로겔을 포함하는 단열재 또는 흡음재 (acoustic material) 를 포함한다.
- [0020] 또한, 본 발명은 단열재 또는 흡음재로서의 본 발명에 따른 유기 에어로겔의 용도를 포함한다.
- [0021] **발명의 상세한 설명**
- [0022] 하기 구절에서 본 발명을 보다 상세히 기재한다. 이렇게 기재된 각각의 양태는, 명백히 반대로 나타내지 않는 한, 임의의 다른 양태(들) 와 조합될 수 있다. 특히, 바람직하거나 유리한 것으로 나타낸 임의의 특성은 바람직하거나 유리한 것으로 나타낸 임의의 다른 특성(들) 과 조합될 수 있다.
- [0023] 본 발명의 맥락에서, 사용한 용어는 맥락에서 다르게 쓰이지 않는 한, 하기 정의에 따라 이해될 것이다.
- [0024] 본원에서 사용한 바와 같이, 단수형 표현은 맥락에서 명백히 다르게 쓰이지 않는 한, 단수 및 복수 대상물 모두를 포함한다.
- [0025] 본원에서 사용한 바와 같은 용어 "포함하는", "포함하다" 및 "~로 구성된" 은 "비롯하는", "비롯하다" 또는 "함유하는" 또는 "함유하다" 와 동의어이고, 포괄적이거나 개방형이며, 추가적인, 열거되지 않은 구성원, 요소 또는 방법 단계를 배제하지 않는다.
- [0026] 수치적 종료점의 열거는 열거된 종료점 뿐 아니라 각각의 범위 내에 포함된 모든 수 및 분수를 포함한다.
- [0027] 본원에 언급된 모든 백분율, 부, 비율 등은 다르게 나타내지 않는 한 중량을 기준으로 한다.
- [0028] 양, 농도 또는 기타 값 또는 매개변수가 범위, 바람직한 범위, 또는 바람직한 상한치 및 바람직한 하한치의 형태로 표현되는 경우, 수득한 범위가 맥락에 있어서 명백히 언급되는지 여부를 고려하지 않고, 임의의 상한 또는 바람직한 값을 임의의 하한 또는 바람직한 값과 조합하여 수득한 임의의 범위가 구체적으로 개시되는 것으로서 이해되어야 한다.
- [0029] 본 명세서에 인용된 모든 참고문헌은 그의 전체가 본원에 참조로 포함된다.
- [0030] 다르게 정의하지 않는 한, 기술적 및 과학적 용어를 포함하는, 발명을 개시하는데 사용한 모든 용어는 본 발명이 속하는 기술분야에서의 통상의 지식 중 하나에 의해 흔히 이해되는 바와 같은 의미를 갖는다. 추가 안내에 의하여, 본 발명의 교시를 더 잘 이해하기 위해 용어 정의가 포함된다.
- [0031] 본 발명은 용매의 존재 하 및 촉매의 존재 또는 부재 하 이소시아네이트 및 시클릭 에테르 기의 단량체 및/또는 올리고머의 반응에 의해 형성된 새로운 중합체성 네트워크를 기반으로 하는 신규 유기 에어로겔의 개발에 관한 것이다. 이들 기는 상이한 메커니즘에 의해 서로 반응하여, 용매의 존재 하에 겔화하는 고도로 가교된 중합체성 네트워크가 수득될 수 있다. 초임계 또는 상온 조건에서 건조시킨 후, 10 내지 100 나노미터 범위의 기공 크기를 갖는 경량 에어로겔이 수득된다. 매우 낮은 열 전도도 값이 높은 기계적 특성과 조합으로 나타나는데, 이는 매우 다공성인 물질을 수득하기에 가장 어려운 특성을 나타낸다.
- [0032] 본 발명은 용매의 존재 하에 2 이상의 관능성을 갖는 이소시아네이트 화합물 및 2 이상의 관능성을 갖는 시클릭 에테르 화합물을 반응시켜 수득한 유기 에어로겔에 관한 것이다.
- [0033] 용어 '에어로겔' 은 본원에서, 겔이 겔의 액체 성분을 대체하는, 겔에서 유래한 합성 다공성, 저밀도 물질을 의미한다. 그의 다공성 및 밀도로 인해, 이들 물질은 일반적으로 낮은 열 전도도를 나타낸다.
- [0034] 용어 '겔' 은 본원에서, 정상 상태에 있을 때 흐름을 나타내지 않는, 실질적으로 희석 가교계를 갖는 고체, 젤리형 연결 물질을 의미한다.
- [0035] 본 발명은 용매의 존재 하 이소시아네이트 화합물 및 시클릭 에테르 화합물을 반응시켜 수득한 유기 에어로겔에 관한 것이다. 이소시아네이트와 시클릭 에테르 기의 반응은, 시클릭 에테르 수지의 중합 메커니즘으로 인해

높은 가교도를 갖는 하이브리드 중합체성 네트워크가 제조되게 한다. 높은 가교도는 더 낮은 가교도를 갖는 물질과 비교하여 더 낮은 기공 크기 및 더 양호한 기계적 특성을 초래한다. 이들 관능기의 반응성을 고려하면, 생성 에어로겔은 상이한 연결성을 가질 수 있다.

[0036] 이소시아네이트와 에폭시드 사이의 주요 반응을 대표예로서 모식도 1에서 설명한다. 우레아 (1)은 이소시아네이트와 물 사이의 반응에서 형성된다. 우레탄 (2)은 에폭시드 개환 후 이소시아네이트와 알콕시드 사이의 반응에서 취득된다. 이소시아네이트의 삼량체화는 이소시아누레이트 (3)의 형성을 초래한다. 옥사졸리돈 (4)은 고온에서 이소시아네이트와 에폭시 사이의 반응으로부터 취득된다.

[0037] 모식도 1



[0038]

[0039] 따라서, 생성 나노다공성 네트워크는 더 적은 정도로 폴리우레아 (1) 뿐 아니라 폴리우레탄 (2), 폴리이소시아누레이트 (3) 및 폴리옥사졸리돈 (4)를 포함할 수 있다. 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 덜 가교된 에어로겔보다 높은 가교도, 더 낮은 기공 크기 및 더 양호한 기계적 특성을 갖는다.

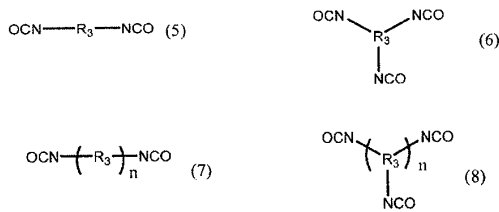
[0040] 한 구현예에서, 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 용매의 존재 하에 2 이상의 관능성을 갖는 이소시아네이트 화합물 및 2 이상의 관능성을 갖는 시클릭 에테르 화합물을 반응시켜 취득된다.

[0041] 또 다른 구현예에서, 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 용매 및 촉매의 존재 하에 2 이상의 관능성을 갖는 이소시아네이트 화합물 및 2 이상의 관능성을 갖는 시클릭 에테르 화합물을 반응시켜 취득된다.

[0042] 본 발명에서 사용하기에 적합한 이소시아네이트 화합물은 2 이상의 관능성을 갖는다. 바람직하게는, 상기 이소시아네이트 화합물은 2 내지 6의 관능성, 보다 바람직하게는 2 내지 3의 관능성을 갖는다. 용어 '관능성'은 본원에서 화합물 중 이소시아네이트기의 수를 의미한다.

[0043] 본 발명에서 사용하기에 적합한 이소시아네이트 화합물은 방향족 이소시아네이트 화합물 또는 지방족 이소시아네이트 화합물이다.

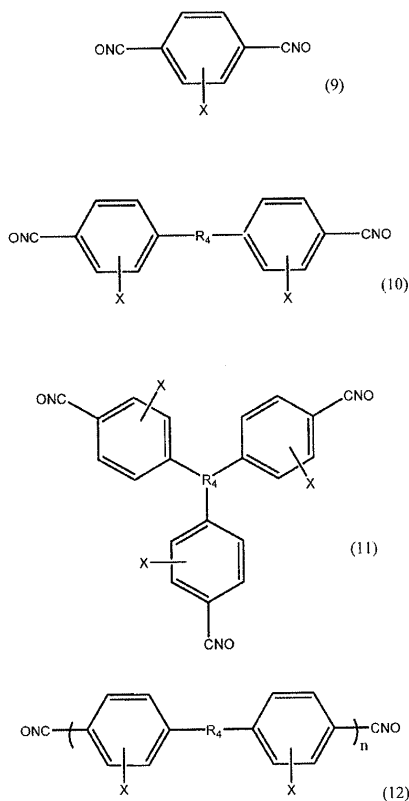
[0044] 적합한 지방족 이소시아네이트 화합물 (5) - (8) 의 예는:



[0045]

[0046] 이며, 식 중에서 R_3 은 단일 결합된 O, S, CO, SO_2 , $\text{O}_3\text{P}=\text{S}$, 치환 또는 미치환 C1-C30 알킬기, 치환 또는 미치환 C3-C30 시클로알킬기, 치환 또는 미치환 아릴기, 치환 또는 미치환 C7-C30 알킬아릴기, 치환 또는 미치환 C3-C30 헤테로시클로알킬기 및 치환 또는 미치환 C1-C30 헤테로알킬기 및 이의 조합으로 이루어지는 군에서 선택되고; 정수 n 은 1 내지 30 이다.

[0047] 본 발명에서 사용하기에 적합한 방향족 이소시아네이트 화합물 (9) - (12) 의 예는:



[0048]

[0049] 이며, 식 중에서 X 는 치환기 또는 상이한 치환기를 나타내고, 수소, 할로젠 및 선형 또는 분지형 C1-C6 알킬기 (2-위치, 3-위치 또는 4-위치에서 그의 각각의 페닐 고리에 부착됨), 및 그의 각각의 이성질체로 이루어지는 군에서 독립적으로 선택되고, R_4 는 단일 결합된 O, S, CO, SO_2 , $\text{O}_3\text{P}=\text{S}$, 치환 또는 미치환 C1-C30 알킬기, 치환 또는 미치환 C3-C30 시클로알킬기, 치환 또는 미치환 아릴기, 치환 또는 미치환 C7-C30 알킬아릴기, 치환 또는 미치환 C3 내지 C30 헤테로시클로알킬기 및 치환 또는 미치환 C1-C30 헤테로알킬기 및 이의 조합으로 이루어지는 군에서 선택되고; 정수 n 은 1 내지 30 이다.

[0050] 바람직하게는, 이소시아네이트 화합물은 1,3,5-트리스(6-이소시아나토헥실)-1,3,5-트리아지난-2,4,6-트리온, 메틸렌 디페닐 디이소시아네이트 (MDI), 1-[비스(4-이소시아나토페닐)메틸]-4-이소시아나토벤젠, 2,4-디이소시아나토-1-메틸-벤젠 (TDI), 5-이소시아나토-1-(이소시아나토페닐)-1,3,3-트리메틸-시클로헥산 (IPDI), 1,6-디이소시아나토헥산 (HDI), 이의 이성질체, 이의 올리고머 및 이의 혼합물로 이루어지는 군에서 선택된다.

[0051] 본 발명에서 사용하기에 적합한 시판 이소시아네이트는 예를 들어, 비제한적으로, Desmodur RE, Desmodur L75, Desmodur N3300, Desmodur N3200, Desmodur HL, Desmodur IL 및 Desmodur RFE (모두 Bayer사로부터 이용가능); Polurene KC 및 Polurene HR (Sapici사제) 이다.

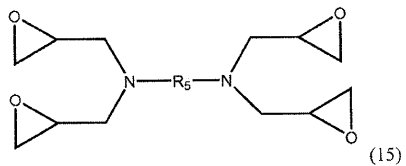
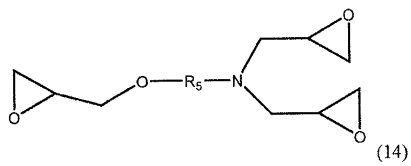
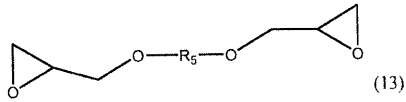
[0052] 바람직하게는, 이소시아네이트 화합물은 반응 혼합물 (용매 포함) 의 총 중량의 0.5 내지 25 중량%, 보다 바람직하게는 2 내지 20 중량% 로 반응 혼합물에 존재한다.

[0053] 본 발명에서 사용하기에 적합한 시클릭 에테르 화합물은 2 이상의 관능성을 갖는다. 바람직하게는 상기 시클릭 에테르 화합물은 2 내지 6, 보다 바람직하게는 2 내지 4 의 관능성을 갖는다. 용어 '관능성' 은 본원에서 화합물 중 시클릭 에테르기의 수를 의미한다.

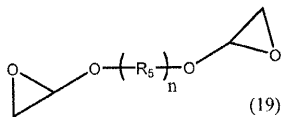
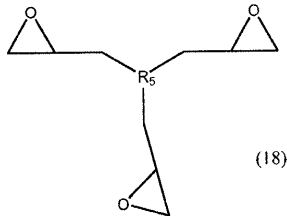
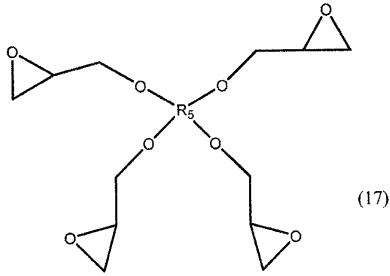
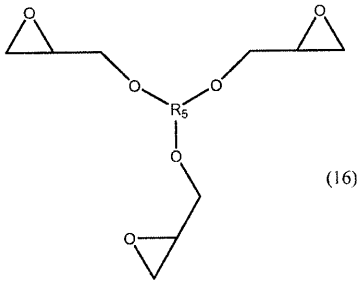
[0054] 바람직하게는, 시클릭 에테르 화합물은 반응 혼합물 (용매 포함) 의 총 중량의 0.5 내지 25 중량%, 보다 바람직하게는 2 내지 20 중량% 로 반응 혼합물에 존재한다.

[0055] 바람직하게는, 본 발명에 사용하기 위한 시클릭 에테르 화합물은 에폭시 화합물 또는 옥세탄 화합물이다.

[0056] 본 발명에서 사용하기에 적합한 에폭시 화합물 (13) - (19) 의 예는:



[0057]



[0058]

[0059]

이며, 식 중에서 R_5 는 치환 또는 미치환 C1-C30 알킬기, 치환 또는 미치환 C3-C30 시클로알킬기, 치환 또는 미치환 아릴기, 치환 또는 미치환 C7-C30 알킬아릴기, 치환 또는 미치환 C3-C30 헤테로시클로알킬기 및 치환 또는 미치환 C1-C30 헤테로알킬기로 이루어지는 군에서 선택되고; n 은 정수 1 내지 30 이다.

[0060]

바람직하게는, 에폭시 화합물은 N,N-디글리시딜-4-글리시딜옥시안일린, 페놀 노볼락 에폭시 수지, 1,1,2,2-테트라키스(히드록시페닐)에탄의 테트라글리시딜 에테르, N,N,N',N'-테트라글리시딜-4,4'-메틸렌비스벤젠아민 및 이의 혼합물로 이루어지는 군에서 선택된다.

[0061]

이들 에폭시 화합물은 열 전도도와 기계적 특성 사이의 양호한 절충을 제공하므로, 바람직하다.

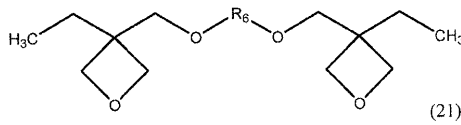
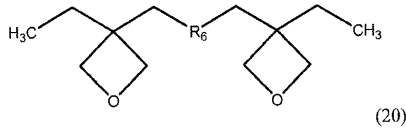
[0062]

본 발명에서 사용하기에 적합한 시판 에폭시 화합물은 비제한적으로, CVC Thermoset resins 로부터의 1,4 부탄 디올 디글리시딜 에테르 (Erisys™ GE21), 시클로헥산디메탄올 디글리시딜 에테르 (Erisys™ GE22), 에틸렌 글리콜 디글리시딜 에테르 (Erisys™ EDGE), 디프로필렌 글리콜 디글리시딜 에테르 (Erisys™ GE23), 1,6 헥산디올 디글리시딜 에테르 (Erisys™ GE25), 트리메틸올프로판 트리글리시딜 에테르 (Erisys™ GE30), 폴리글리세롤-3-폴리글리시딜 에테르 (Erisys™ GE38), 소르비톨 글리시딜 에테르-지방족 다관능성 에폭시 수지 (Erisys™ GE60), 페놀 노볼락 에폭시 수지 (Epalloy™ 8220, 8230, 8240, 8250, 8280, 8330, 8350, 8370); Huntsman 으로부터의 1,1,2,2-테트라키스(히드록시페닐)에탄의 테트라글리시딜 에테르 (Araldite® XB-4399-3), N,N,N',N'-테트라글리시딜-4,4'-메틸렌비스벤젠아민 (Araldite® MY720), 트리스-(히드록실 페닐) 메탄-기반 에폭시 수지 (Tactix® 742), 메타-아미노페놀의 트리글리시딜 에테르 (Araldite® MY0610, MY0600), 파라-아미

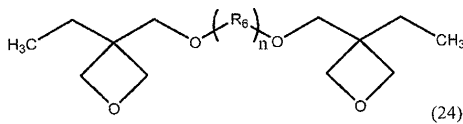
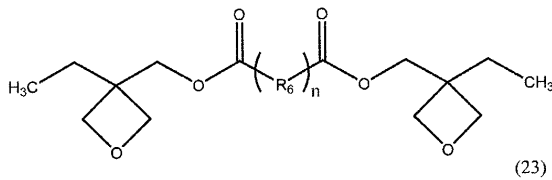
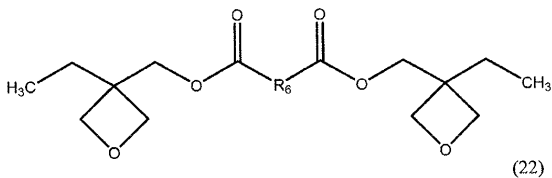
노페놀의 트리글리시딜 에테르 (Araldite® MY0510, MY0500), 비스페놀-A 기반 에폭시 수지 (Araldite® GY6004, GY6005, GY9513, GY9580, GY9613, GY9615, GT6243, GT4248, GT6097, GT7072, Tactix® 123) 및 페놀 노볼락 에폭시 수지 (Araldite EPN 1179, 1180); Dow Chemical로부터의 비스페놀-A 기반 에폭시 수지 (D.E.R.TM 317, 330, 331, 332, 337, 362, 383) 및 폴리프로필렌 글리콜 에폭시 (D.E.R.TM 732, 736), 페놀 노볼락 에폭시 수지 (D.E.N.TM 425, 431, 438, 439, 440) 를 포함한다.

[0063] 바람직하게는, 에폭시 화합물은 반응 혼합물 (용매 포함) 의 총 중량의 0.5 내지 25 중량%, 보다 바람직하게는 2 내지 20 중량% 로 반응 혼합물에 존재한다.

[0064] 본 발명에서 사용하기에 적합한 옥세탄 화합물 (20) - (24) 의 예는:



[0065]



[0066]

[0067] 이며, 식 중에서 R₆ 은 치환 또는 미치환 C1-C30 알킬기, 치환 또는 미치환 C3-C30 시클로알킬기, 치환 또는 미치환 아릴기, 치환 또는 미치환 C7-C30 알킬아릴기, 치환 또는 미치환 C3-C30 헤테로시클로알킬기 및 치환 또는 미치환 C1-C30 헤테로알킬기로 이루어지는 군에서 선택되고; n 은 정수 1 내지 30 이다.

[0068] 바람직하게는, 옥세탄 화합물은 1,4-비스[(3-에틸-3-옥세타닐메톡시)메틸]벤젠 및 비스[1-에틸(3-옥세타닐)]메틸 에테르로 이루어지는 군에서 선택된다.

[0069] 이들 옥세탄 화합물은 열 전도도와 기계적 특성 사이의 양호한 절충을 제공하므로, 바람직하다.

[0070] 본 발명에서 사용하기에 적합한 시판 옥세탄 화합물은 비제한적으로, 1,4-비스[(3-에틸-3-옥세타닐메톡시)메틸]벤젠 (Eternacoll OXBP), 비스[(3-에틸-3-옥세타닐)메틸]테레프탈레이트 (Eternacoll OXTP), 비스[1-에틸(3-옥세타닐)]메틸 에테르 (Aron OXT 221) 및 1,4-비스[(3-에틸-3-옥세타닐메톡시) 메틸]벤젠 (Aron OXT 121) (Toagosei America INC. 로부터의 것) 을 포함한다.

[0071] 바람직하게는, 옥세탄 화합물은 반응 혼합물 (용매 포함) 의 총 중량의 0.5 내지 25 중량%, 보다 바람직하게는 2 내지 20 중량% 로 반응 혼합물에 존재한다.

- [0072] 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 용매의 존재 하에 수득된다.
- [0073] 본 발명에서 사용하기에 적합한 용매는 극성 용매, 바람직하게는 극성 비양성자성 용매이다.
- [0074] 극성 비양성자성 용매가, H-결합 내로 공여될 수 있는 수소 원자를 갖지 않으므로, 바람직하다. 따라서, 친핵성 부가 반응에 관여하는 음이온은 용매화물이 아니며, 반응하는데 저해되지 않는다.
- [0075] 본 발명에서 사용하기에 적합한 용매의 예는 디메틸아세트아미드 (DMAc), 디메틸포름아미드 (DMF), 테트라히드로푸란 (THF), 1-메틸-2-피롤리딘 (NMP), 디메틸 술폭시드 (DMSO), 아세토니트릴, 에틸 아세테이트, 아세톤, 메틸 에틸 케톤 (MEK), 메틸 이소부틸 케톤 (MIBK) 및 이의 혼합물이다.
- [0076] 한 매우 바람직한 구현예에서, 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 용매 및 촉매의 존재 하에 2 이상의 관능성을 갖는 이소시아네이트 화합물 및 2 이상의 관능성을 갖는 시클릭 에테르 화합물을 반응시켜 수득된다.
- [0077] 본 발명에서 사용하기에 적합한 촉매는 알킬 아민, 방향족 아민, 이미다졸 유도체, 아자 화합물, 구아니딘 유도체 및 아미딘으로 이루어지는 군에서 선택된다.
- [0078] 적합한 촉매는 트리에틸아민, 트리메틸아민, 벤질디메틸아민 (DMBA), *N,N*-디메틸-1-페닐메탄아민, 1,4-디아자바이시클로[2.2.2]옥탄, 2-에틸-4-메틸이미다졸, 2-페닐이미다졸, 2-메틸이미다졸, 1-메틸이미다졸, 4,4'-메틸렌-비스(2-에틸-5-메틸이미다졸), 3,4,6,7,8,9-헥사히드로-2*H*-피리미도[1,2-*a*]피리미딘, 2,3,4,6,7,8,9,10-옥타히드로피리미도 [1,2-*a*]아제핀, 1,8-디아자바이시클로[5.4.0]운데크-7-엔 (DBU), 1,5,7-트리아자바이시클로[4.4.0]데크-5-엔 (TBD), 1,4-디아자바이시클로[2.2.2]옥탄, 1,5-디아자바이시클로[4.3.0]논-5-엔, 퀴놀리딘 및 이의 혼합물로 이루어지는 군에서 선택될 수 있다.
- [0079] 바람직하게는 상기 촉매는 벤질디메틸아민 (DMBA), 1,5,7-트리아자바이시클로[4.4.0]데크-5-엔 (TBD), 1,8-디아자바이시클로[5.4.0]운데크-7-엔 (DBU), 1,4-디아자바이시클로[2.2.2]옥탄, 트리에틸아민으로 이루어지는 군에서 선택된다.
- [0080] 상술한 바람직한 촉매가, 더 빠른 겔화를 제공하며 그를 위해 더 낮은 온도를 필요로 하므로, 바람직하다.
- [0081] 촉매는 용매를 포함하는 반응 혼합물의 100 부 당 0 내지 10 부 (parts per hundred parts of the reaction mixture) (phr), 바람직하게는 2.5 내지 10 phr 로 첨가된다.
- [0082] 에어로겔 성능이 약 7 phr 의 촉매에서 정체기에 도달하며 더 높은 촉매 함량이 이 지점 초과에서 어떠한 특성도 개선시키지 않기 때문에, 2.5 내지 10 phr 의 범위가 바람직하다.
- [0083] 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 유기, 무기 또는 유기 및 무기 충전제의 조합 및 섬유를 추가로 포함할 수 있다.
- [0084] 높은 에폭시 함량은 낮은 열 전도도를 제공하고; 한편, 높은 이소시아네이트 함량은 보다 양호한 기계적 특성을 제공한다. 출원인은 놀랍게도, 에폭시/옥세탄기 대 이소시아네이트기의 비가 18:1 - 1:15 인 경우, 낮은 열 전도도 및 양호한 기계적 특성이 제공될 수 있다는 것을 발견하였다. 바람직하게는, 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 에폭시/옥세탄기 대 이소시아네이트기의 비가 18:1 - 1:15, 보다 바람직하게는 5:1 - 1:5 이다.
- [0085] 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 용액의 초기 고체 함량을 기준으로 3 내지 30%, 바람직하게는 5 내지 20% 의 고체 함량을 갖는다.
- [0086] 단열 특성과 기계적 특성 사이에 양호한 절충이 제공되므로, 5 내지 20% 범위의 고체 함량이 바람직하다. 높은 고체 함량은 높은 기계적 특성을 제공하지만; 높은 고체 함량은 불량한 단열 특성을 제공한다. 한편, 낮은 고체 함량은 더 낮은 열 전도도를 제공하지만, 기계적 특성은 이상적이지 않다.
- [0087] 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 75 mW/m·K 미만, 바람직하게는 55 mW/m·K 미만, 보다 바람직하게는 50 mW/m·K 미만, 보다 바람직하게는 45 mW/m·K 미만의 열 전도도를 갖는다. 열 전도도는 하기 기재한 시험 방법에 따라 측정된다.
- [0088] **확산성 센서 방법**
- [0089] 이 방법에서, 확산성 센서를 사용하여 열 전도도를 측정한다. 이 방법에서, 열원 및 측정 센서는 장치의 동일측에 있다. 센서는, 물질 전체에 걸쳐 센서로부터 확산되는 열을 측정한다. 이 방법은 실험실 규모

시험에 적절하다.

[0090] 정상 상태 (Steady-state) 조건계 방법

[0091] 이 방법에서 열 전도도는 정상 상태 조건계를 사용하여 측정된다. 이 방법에서, 샘플은 열원과 열 싱크 (heat sink) 사이에 끼워진다. 온도는 한쪽에서 상승하고, 열이 물질을 통해 흐르고, 다른 쪽에서의 온도가 일정해지고 나면, 열속 (heat flux) 및 온도 차이 둘 모두가 공지되며, 열 전도도가 측정될 수 있다.

[0092] 본 발명에 따른 유기 에어로겔의 제조를 위해, 여러 양태가 고려되어야 한다. 관능성의 화학량론적 비, 초기 고체 함량, (존재한다면) 촉매의 양 및 유형, 용매의 유형, 겔화 시간 및 온도는 물질의 최종 특성에 영향을 주는 중요한 인자이다. 최상의 특성 조합을 갖는 물질을 수득하기 위해 이러한 종류의 중합체의 합성을 제어하는데 있어서의 어려움은, 이소시아네이트-시클릭 에테르 기반 배합물에서 발생할 수 있는 다양한 가능한 반응 (모식도 1) 사이의 경쟁에 있다.

[0093] 한 구현예에서, 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 하기 단계를 포함하는 방법에 따라 제조된다:

[0094] 1) 시클릭 에테르 화합물을 용매에 용해시키고, 이소시아네이트 화합물을 첨가하고 혼합하는 단계,

[0095] 2) 존재하는 경우, 촉매를 첨가하고, 혼합하는 단계;

[0096] 3) 혼합물을 정치시켜 겔을 형성시키는 단계;

[0097] 4) 상기 겔을 용매로 세척하는 단계; 및

[0098] 5) 상기 겔을 초임계 건조 또는 상온 건조에 의해 건조시키는 단계.

[0099] 반응 혼합물을 밀폐된 용기에서 제조한다.

[0100] 겔화 단계 3) 은 사전 설정 시간 및 온도로, 오븐에서 실행된다. 바람직하게는, 온도는 단계 3) 에서 적용되고, 보다 바람직하게는 겔이 형성되는 동안 실온 내지 180°C 의 온도가 적용되고, 가장 바람직하게는 실온 내지 150°C 의 온도가 적용된다.

[0101] 180°C 보다 더 높은 온도는 매우 높은 비등점을 갖는 용매의 사용을 필요로 하므로, 실온 내지 180°C 의 온도가 바람직하다.

[0102] 겔화 시간은 바람직하게는 1 내지 24 시간, 바람직하게는 1 내지 15 시간, 보다 바람직하게는 1 내지 5 시간이다.

[0103] 세척 시간은 바람직하게는 18 시간 내지 72 시간, 바람직하게는 24 시간 내지 48 시간이다.

[0104] 단계 3) 의 습윤 겔의 용매는 겔화 후 1 회 이상 변화한다. 세척 단계는 점진적으로, 그리고 필요시, 건조 방법을 위한 바람직한 용매에 대해 수행된다. 습윤 겔이 적절한 용매 중에 남고 나면, 이는 초임계 (CO₂) 또는 상온 조건에서 건조되어 최종 에어로겔 물질이 수득된다.

[0105] 한 구현예에서, 세척 단계는 하기와 같이 점진적으로 수행된다: 1) DMAc/아세톤 3:1; 2) DMAc/아세톤 1:1; 3) DMAc/아세톤 1:3; 및 4) 아세톤. 또 다른 구현예에서, 모든 4 개 세척 단계는 아세톤으로 수행된다. 용매가 아세톤에 의해 완전히 대체되고 나면, 겔은 초임계 (CO₂) 또는 상온 조건에서 건조되어 최종 에어로겔 물질이 수득된다.

[0106] 물질의 초임계 상태는, 그의 액체 또는 기체상이 구별하기 어렵게 되면 도달된다. 물질이 이러한 상으로 접어드는 압력 및 온도는 임계점으로 지칭된다. 이러한 상에서, 유체는 낮은 점도의 기체를 나타내어, 더 높은 밀도의 액체를 유지시킨다. 이는 기체와 같이 고체를 통해 삼출되고 액체와 같이 물질을 용해할 수 있다. 에어로겔을 고려하여, 습윤 겔 기공 내부의 액체가 초임계 상에 도달하고 나면, 그의 분자는 모세관 응력을 생성시키는 필요한 표면 장력을 생성하기에 충분한 분자간 힘을 갖지 않는다. 따라서, 용매는 건조될 수 있어, 겔 네트워크의 가능한 붕괴 및 수축을 최소화시킨다.

[0107] 초임계 조건에서의 건조 방법은 겔 중 용매를 CO₂ 또는 그의 초임계 상태의 다른 적합한 용매로 교환함으로써 수행된다. 이로 인해, 나노미터 기공에서의 증발 동안 용매에 의해 발휘된 모세관력은 최소화되고 겔 바디 (gel body) 의 수축이 감소될 수 있다.

[0108] 대안적으로, 습윤 겔은 대기 조건에서 건조될 수 있는데, 이때 용매는 실온에서 증발한다. 그러나, 액체가 기공으로부터 증발함에 따라, 이는 계면 에너지 사이의 차이로 인해 겔로 다시 물러나는 메니스커스 (meniscus) 를 생성시킬 수 있다. 이는 수축에 의해 반응하는, 겔 상에 모세관 응력을 생성시킬 수 있다. 이들 힘이 충분히 높은 경우, 이들은 심지어 전체 구조의 붕괴 또는 크래킹을 초래할 수 있다. 그러나, 이러한 현상을 최소화시키는 상이한 가능성이 존재한다. 한 실제적 해결책은 액체와 기공 사이의 계면 에너지를 최소화시키기 위한 낮은 표면 장력을 갖는 용매의 사용을 포함한다. 불행하게도, 모든 용매가 겔화를 초래하는 것은 아닌데, 이것은 일부 경우가 겔 형성에 필요한 초기 용매와 건조 방법에 가장 적절한 두 번째 용매 사이의 용매 교환을 필요로 할 것임을 의미한다. 핵산은 그의 표면 장력이 종래의 용매 중에서 가장 낮은 것 중 하나이므로, 통상 상온 건조를 위한 편리한 용매로서 사용된다.

[0109] 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 적합한 섬유 또는 충전제 조성물 (천연 또는 합성) (유기, 무기 화합물 또는 둘 모두의 화합물을 기반으로 할 수 있음) 에 의해 보장될 수 있다.

[0110] 한 구현에는 본 발명에 따른 유기 에어로겔을 포함하는 단열재 또는 흡음재를 포함한다.

[0111] 본 발명은 또한 단열재 또는 흡음재로서의 본 발명에 따른 유기 에어로겔의 용도를 포함한다.

[0112] 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 항공기, 우주선, 파이프라인, 대형 선박 (tanker) 및 현재 사용한 폼 패널 (foam panel) 및 기타 폼 생성물 (foam product) 을 교체하는 해양선, 자동차 배터리 하우징 및 언더 후드 라이너 (under hood liner), 램프, 탱크 및 박스를 비롯한 냉각 패키징 기술, 자켓 및 신발류 및 텐트와 같은 상이한 적용물에서의 단열에 사용될 수 있다.

[0113] 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 또한 경량, 강도, 원하는 형상으로 형성될 능력 및 우수한 단열 특성으로 인해 건설 재료에서 사용될 수 있다.

[0114] 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 또한 한제 (cryogen) 의 저장에 사용될 수 있다.

[0115] 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 또한 높은 오일 흡수율로 인해 유출된 기름의 수거를 위한 흡착제로서 사용될 수 있다.

[0116] 본 발명에 따른 유기 에어로겔은 또한 충격-흡수 매질로서 안전 및 보호 장비에 사용될 수 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0117] 실시예

[0118] 실시예 1

[0119] 이소시아네이트/에폭시 에어로겔을 단량체 메틸리딘트리-p-페닐렌 트라이소시아네이트 (Desmodur RE) (Bayer사제), 및 N,N-디글리시딜-4-글리시딜옥시아닐린 (Araldite MY0510) (Huntsman사제) 로부터 제조하였다.

[0120] 1.02 g (3.68 mmol) 의 Araldite MY0510 을, 300 rpm 에서 교반하면서 15.06 ml 의 N,N-디메틸아세트아미드 (DMAc) 와 함께 용기에 넣었다. 생성 슬러리를 300 rpm 에서, 5 분 동안 실온 (20℃) 에서 교반하였다. 이후, Desmodur RE 를 에폭시에 대하여 등가비 1:1 로 첨가하였다. 이를 위해, 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 4.94 ml (3.68 mmol) 의 Desmodur RE 용액을 첨가하였다. 이후, 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 0.62 ml (4.16 mmol) 의 N,N-디메틸벤질아민 (DMBA) 을 첨가하였다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 10 중량% 였다. 반응 혼합물을 밀봉된 몰드에 붓고, 오븐에서 80℃ 에서 180 분 동안 가열하였다. 갈색 겔을 수득하였다.

[0121] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였는데, 각각의 단계 지속기간은 24 시간이었고, 각각의 단계에 대해 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0122] 이후, 수득한 물질을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0123] 열 전도도를 상세한 설명에서 기재한 시험 방법에 따라 열 확산성 센서로 측정하였다.

[0124] 압축 영 모듈러스를 Instron 3366 (ASTM D1621) 으로 측정하였다.

[0125] 실시예에서 사용한 벤치마킹 폴리우레탄 에어로겔을, US20140147607 A1 20 페이지, 단락 [0162] 에서의 설명에

따라 내부 제조하였다.

[0126] 결과를 표 1 에 요약한다.

[0127] 표 1.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	초기 고체 함량 (중량%)	열 전도도 (mW/m·K)	압축 영 모듈러스 (MPa)
벤치마킹 에어로겔 - US20140147607 A1 20 페이지, [0162] 에 따라 제조	0.159	10	41	0.57
이소시아네이트/에폭시 에어로겔	0.204	10	41	6.48

[0128]

[0129] 본 발명에 따른 이소시아네이트/에폭시 에어로겔은 문헌에서 기재된 일부 에어로겔과 비교하여 더 양호한 기계적 특성을 갖는다.

[0130] 실시예 2

[0131] 이소시아네이트/에폭시 에어로겔을 단량체 메틸리딘트리-p-페닐렌 트리이소시아네이트 (Desmodur RE) (Bayer사제) 및 폴리(에틸렌 글리콜) 디글리시딜 에테르 (PEG-DGE) (Sigma-Aldrich사제) 로부터 제조하였다.

[0132] 4.77 g (9.54 mmol) 의 PEG-DGE 를, 300 rpm 에서 교반하면서 51.46 ml 의 N,N-디메틸아세트아미드 (DMAc) 와 함께 용기에 넣었다. 생성 슬러리를 300 rpm 에서 5 분 동안 실온 (20℃) 에서 교반하였다. 이후, Desmodur RE 를 등가비 1:1 로 첨가하였다. 이를 위해, 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 8.53 ml (6.27 mmol) 의 Desmodur RE 용액을 첨가하였다. 이후, 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 1.06 ml (7.14 mmol) 의 N,N-디메틸벤질아민 (DMBA) 을 첨가하였다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 10 중량% 였다. 반응 혼합물을 밀봉된 몰드에 붓고, 오븐에서 80℃ 에서 180 분 동안 가열하였다. 갈색 겔을 수득하였다.

[0133] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였는데, 각각의 단계 지속기간은 24 시간이었고, 각각의 단계에 대해 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0134] 물질을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0135] 압축 영 모듈러스를 Instron 3366 (ASTM D1621) 으로 측정하였다.

[0136] 결과를 표 2 에 요약한다.

[0137] 표 2.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	초기 고체 함량 (중량%)	열 전도도 (mW/m·K)	압축 영 모듈러스 (MPa)
벤치마킹 에어로겔 - US20140147607 A1 20 페이지, [0162] 에 따라 제조	0.159	10	41	0.57
이소시아네이트/에폭시 에어로겔	0.180	10	38	2.66

[0138]

[0139] 본 발명에 따른 이소시아네이트/에폭시 에어로겔은 문헌에서 기재된 에어로겔과 비교하여 더 양호한 열 전도도를 갖는다.

[0140] 실시예 3

[0141] 이소시아네이트/에폭시 에어로겔을 단량체 메틸리딘트리-p-페닐렌 트리이소시아네이트 (Desmodur RE) (Bayer사제), 및 Erisys GE 60 (CVC Thermoset resins사제) 으로부터 제조하였다.

[0142] 4.83 g (4.83 mmol) 의 Erisys GE60 을, 300 rpm 에서 교반하면서 52 ml 의 N,N-디메틸아세트아미드 (DMAc) 와 함께 용기에 넣었다. 생성 슬러리를 300 rpm 에서 5 분 동안 실온 (20℃) 에서 교반하였다. 이후, Desmodur RE 를 1:1.5 이소시아네이트/에폭시 등가비로 첨가하였다. 이를 위해, 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 8.33 ml (6.21 mmol) 의 Desmodur RE 용액을 첨가하였다. 이후, 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 1.03 ml (6.94 mmol) 의 N,N-디메틸벤질아민 (DMBA) 을 첨가하였다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 10 중량% 였다. 반응 혼합물을 밀봉된 몰드에 붓고, 오븐에서 80℃ 에서 180 분 동안 가열하였다. 갈색 겔을 수득하였다.

[0143] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였는데, 각각의 단계 지속기간은 24 시간이었고, 각각의 단계에 대해 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0144] 수득한 물질을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0145] 결과를 표 3 에서 조합한다.

[0146] 표 3.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	초기 고체 함량 (중량%)	이소시아네이트/ 에폭시 비	열 전도도* (mW/m·K)	압축 영 모듈러스** (MPa)
이소시아네이트/에폭시 에어로겔	0.435	10	1/3	49	10.50

[0147]

[0148] 실시예 4

[0149] 이소시아네이트/에폭시 에어로겔을 단량체 메틸리딘트리-p-페닐렌 트리이소시아네이트 (Desmodur RE) (Bayer Corporation사제), 및 폴리(에틸렌 글리콜) 디글리시딜 에테르 (PEG-DGE) (Sigma-Aldrich사제) 로부터 제조하

였다.

[0150] 2.88 g (5.76 mmol) 의 PEG-DGE 를, 300 rpm 에서 교반하면서 44 ml 의 *N,N*-디메틸아세트아미드 (DMAc) 와 함께 용기에 넣었다. 생성 슬러리를 300 rpm 에서 5 분 동안 실온 (20℃) 에서 교반하였다. 이후, Desmodur RE 를 3:1 이소시아네이트/에폭시 등가비로 첨가하였다. 이를 위해, 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 15.45 ml (11.52 mmol) 의 Desmodur RE 용액을 첨가하였다. 이후, 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 1.38 ml (9.9 mmol) 의 트리에틸아민 (Et₃N) 을 첨가하였다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 10 중량% 였다.

반응 혼합물을 밀봉된 몰드에 붓고, 오븐에서 120℃ 에서 60 분 동안 가열하였다. 갈색 겔을 수득하였다.

[0151] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였는데, 각각의 단계 지속시간은 24 시간이었고, 각각의 단계에 대해 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0152] 실시예 5

[0153] 4.93 g (17.8 mmol) 의 Araldite MY0510 을, 300 rpm 에서 교반하면서 52 ml 의 *N,N*-디메틸아세트아미드 (DMAc) 와 함께 용기에 넣었다. 생성 슬러리를 300 rpm 에서 5 분 동안 실온 (20℃) 에서 교반하였다. 이후, Desmodur RE 를 1:3 이소시아네이트/에폭시 등가비로 첨가하였다. 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 7.95 ml (5.91 mmol) 의 Desmodur RE 용액을 첨가하였다. 이후, 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 0.99 ml (6.67 mmol) 의 *N,N*-디메틸벤질아민 (DMBA) 을 첨가하였다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 10 중량% 였다.

반응 혼합물을 밀봉된 몰드에 붓고, 오븐에서 150℃ 에서 60 분 동안 가열하였다. 갈색 겔을 수득하였다.

[0154] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였는데, 각각의 단계 지속시간은 24 시간이었고, 각각의 단계에서 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0155] 물질을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0156] 열 전도도를 상기 상세한 설명에서 기재한 방법에 따라 열 확산성 센서로 측정하였다.

[0157] 직선 수축은 하기 방정식에 의해 계산된 단일 치수에서의 감소로서 정의될 수 있다:

$$\text{직선 수축}(\%) = \frac{\text{초기 길이} - \text{최종 길이}}{\text{초기 길이}} * 100$$

[0158] 결과를 표 4 에서 조합한다.

[0160] 표 4.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	직선 수축 (%)	열 전도도* (mW/m·K)
이소시아네이트/에폭시 에어로겔	0.157	3	37

[0161] Desmodur RE 및 Araldite MY0510 으로 제조된 에어로겔의 FTIR 스펙트럼은, 옥사졸리돈 고리의 형성으로 인해 1750 cm⁻¹ 에서 밴드를 나타내었다. 우레탄 (1700 cm⁻¹) 도, 이소시아누레이트 고리 (1680 cm⁻¹) 도 이 온도에서 형성되지 않았다. ATR Golden Gate 약세사리를 갖는 FTIR Tensor 27 분광광도계 (Bruker사제) 를 사용하여 FTIR 스펙트럼을 수득하였다.

[0163] 실시예 6

[0164] 4.77 g (9.54 mmol) 의 PEG-DGE 를, 300 rpm 에서 교반하면서 51.46 ml 의 *N,N*-디메틸아세트아미드 (DMAc) 와 함께 용기에 넣었다. 생성 슬러리를 300 rpm 에서 5 분 동안 실온 (20℃) 에서 교반하였다. 이후,

Desmodur RE 를 등가비 1:1 로 첨가하였다. 이를 위해, 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 8.53 ml (6.27 mmol) 의 Desmodur RE 용액을 첨가하였다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 10 중량% 였다. 반응 혼합물을 밀봉된 몰드에 붓고, 오븐에서 80°C 에서 180 분 동안 가열하였다. 갈색 겔을 수득하였다.

[0165] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였는데, 각각의 단계 지속기간은 24 시간이었고, 각각의 단계에 대해 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0166] 물질을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0167] 결과를 표 5 에 조합한다.

[0168] 표 5.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	직선 수축 (%)	열 전도도* (mW/m·K)
이소시아네이트/에폭시 에어로겔	0.102	45	78

[0169]

[0170] 실시예 7

[0171] 1.20 g (3.3 mmol) 의 Aron 옥세탄 OXTP 를 실온 (20°C) 에서 15.36 ml 의 N,N-디메틸아세트아미드 (DMAc) 에 용해하고, 1 g (2.2 mmol) 의 Desmodur RE 를 3:2 이소시아네이트/옥세탄 등가비로 첨가하였다. 이후, 300 rpm 에서 교반하면서 0.12 ml (0.79 mmol) 의 N,N-디메틸벤질아민 (DMBA) 을 첨가하였다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 10 중량% 였다. 반응 혼합물을 밀봉된 몰드에 붓고, 오븐에서 80°C 에서 300 분 동안 가열하였다. 백색 겔을 수득하였다.

[0172] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였는데, 각각의 단계 지속기간은 24 시간이었고, 각각의 단계에 대해 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0173] 물질을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0174] 결과를 표 6 에서 조합한다.

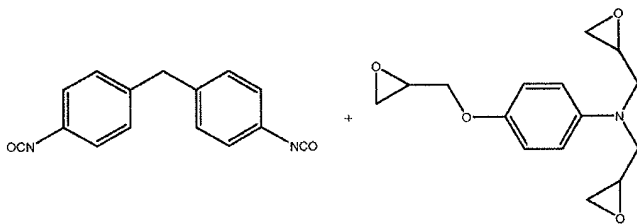
[0175] 표 6.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	직선 수축 (%)	열 전도도* (mW/m·K)
이소시아네이트/옥세탄 에어로겔	0.120	18	39

[0176]

[0177] 실시예 8

[0178] 이소시아네이트/에폭시 에어로겔을 단량체 4,4'-메틸렌 디페닐 디이소시아네이트 (MDI) (Sigma-Aldrich사제), 및 N,N-디글리시딜-4-글리시딜옥시아닐린, Araldite MY0510 (Huntsman사제) 로부터 제조하였다.



[0179]

[0180] 1.29 g (4.65 mmol) 의 Araldite MY0510 을, 300 rpm 에서 교반하면서 25 ml 의 N,N-디메틸아세트아미드

(DMAc) 와 함께 용기에 첨가하였다. 생성 슬러리를 300 rpm 에서 5 분 동안 실온 (20℃) 에서 교반하였다.

이후, MDI 를 1:1 이소시아네이트/에폭시 비로 첨가하고 - 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 1.59 g (6.36 mmol) 의 MDI 를 첨가하였다. 이후, 300 rpm 에서 교반하면서 0.58 ml (3.91 mmol) 의 N,N-디메틸벤질아민 (DMBA) 을 첨가하였다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 10 중량% 였다. 반응 혼합물을 이후 밀봉된 몰드에 붓고, 오븐 내에서 80℃ 에서 180 분 동안 가열하였다. 갈색 겔을 수득하였다.

[0181] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였다. 각각의 세척 사이클은 24 시간이었고, 각각의 세척 사이클에서 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0182] 수득한 겔을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0183] 결과를 표 7 에서 조합한다.

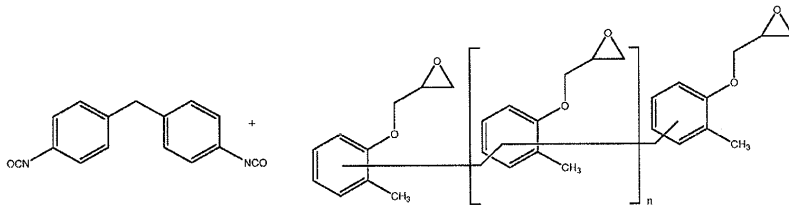
[0184] 표 7.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	직선 수축 (%)
이소시아네이트/ 에폭시 에어로겔	0.517	37

[0185]

[0186] 실시예 9

[0187] 이소시아네이트/에폭시 에어로겔을 4,4'-메틸렌 디페닐 디이소시아네이트 (MDI) 및 폴리[(o-크레실 글리시딜 에테르)-코-포름알데히드] Mn-1050 (둘 모두 Sigma-Aldrich사제) 으로부터 제조하였다.



[0188]

[0189] 1.84 g (1.75 mmol) 의 폴리[(o-크레실 글리시딜 에테르)-코-포름알데히드] 를, 300 rpm 에서 교반하면서 25 ml 의 N,N-디메틸아세트아미드 (DMAc) 와 함께 용기에 첨가하였다. 생성 슬러리를 300 rpm 에서 5 분 동안 실온 (20℃) 에서 교반하였다. 이후, MDI 를 1:1 이소시아네이트/에폭시 비로 첨가하고 - 300 rpm 에서 교반을 지속하면서 1.03 g (4.12 mmol) 의 MDI 를 첨가하였다. 이후, 300 rpm 에서 교반하면서 0.57 ml (3.84 mmol) 의 N,N-디메틸벤질아민 (DMBA) 을 첨가하였다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 10 중량% 였다. 반응 혼합물을 이후 밀봉된 몰드에 붓고, 오븐 내에서 180 분 동안 80℃ 에서 가열하였다. 갈색 겔을 수득하였다.

[0190] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였다. 각각의 세척 사이클은 24 시간이었고, 각각의 세척 사이클에서 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0191] 수득한 겔을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0192] 결과를 표 8 에서 조합한다.

[0193] 표 8

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	직선 수축 (%)
이소시아네이트/ 에폭시 에어로겔	0.914	40

[0194]

[0195] 실시예 10

[0196] 이소시아네이트/에폭시 에어로겔을 단량체 polurene KC (Sapici사제) 및 비스페놀 A 디글리시딜 에테르 (Sigma-Aldrich사제) 로부터 제조하였다.

[0197] 비스페놀 A 디글리시딜 에테르 (2.47 g, 7.3 mmol) 를 20 ml 의 N,N-디메틸아세트아미드 (DMAc) 에 용해하고 Polurene KC 를 첨가하였다 (6.65 g, 부틸 아세테이트 중 순수 KC 3.33 g 함유, 2.1 mmol). 두 번째 용액을, 1.58 ml 의 DMAc 에 1,5,7-트리아자바이시클로[4.4.0]데크-5-엔 (0.057 g, 0.04 mmol) 을 용해하여 제조하였다. 용액 모두를 혼합하고 밀봉된 몰드에 붓고 실온에서 2 시간 동안 두었다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 20 중량% 였고 등가비 1:1 이었다.

[0198] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였다. 각각의 세척 사이클은 24 시간이었고, 각각의 세척 사이클에서 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0199] 수득한 겔을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0200] 열 전도도를 상세한 설명에서 기재한 시험 방법에 따라 열 확산성 센서로 측정하였다. 압축 영 모듈러스를 Instron 3366 (ASTM D1621) 으로 측정하였다. 결과를 표 9 에서 조합한다.

[0201] 표 9.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	직선 수축 (%)	열 전도도 (mW/m·K)
이소시아네이트/ 에폭시 에어로겔	0.497	34	54

[0202]

[0203] 실시예 11

[0204] 이소시아네이트/에폭시 에어로겔을, 단량체 Polurene KC (Sapici사제) 및 폴리[(*o*-크레실 글리시딜 에테르)-*co*-포름알데히드] (Sigma-Aldrich사제) (관능성 6 및 4.8) 로부터 제조하였다.

[0205] 제 1 용액에 대해, 폴리[(*o*-크레실 글리시딜 에테르)-*co*-포름알데히드] (2.70 g, 2.5 mmol) 를 20 ml 의 N,N-디메틸아세트아미드 (DMAc) 에 용해하고, 이후 Polurene KC 를 첨가하였다 (6.30 g, 부틸 아세테이트 중 순수 KC 3.15 g 함유, 2.0 mmol). 제 2 용액을, 1,5,7-트리아자바이시클로[4.4.0]데크-5-엔 (0.058 g, 0.04 mmol) 을 1.60 ml 의 DMAc 에 용해하여 제조하였다. 두 용액 모두를 혼합하고 밀봉된 몰드에 붓고, 실온에서 2 시간 동안 두었다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 20 중량% 이고 등가비 1:1 이었다.

[0206] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였다. 각각의 세척 사이클은 24 시간이었고, 각각의 세척 사이클에서 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0207] 수득한 겔을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0208] 열 전도도를 상세한 설명에 기재한 시험 방법에 따라 열 확산성 센서로 측정하였다. 압축 영 모듈러스를 Instron 3366 (ASTM D1621) 으로 측정하였다. 결과를 표 10 에 조합한다.

[0209] 표 10.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	직선 수축 (%)	열 전도도 (mW/m·K)
이소시아네이트/ 에폭시 에어로겔	0.474	29	62

[0210]

[0211] 실시예 12

[0212] 이소시아네이트/옥세탄 에어로겔을 단량체 Polurene KC (Sapici사제) 및 4,4'-비스[(3-에틸-3-옥세타닐)메톡시메틸]바이페닐 (OXBP) (Toagosei America INC사제) 로부터 제조하였다.

[0213] 제 1 용액에 대해, OXBP (1.70 g, 4.1 mmol) 를 10 ml 의 N,N-디메틸아세트아미드 (DMAc) 에 용해하고

Polurene KC 를 첨가하였다 (4.35 g, 부틸 아세테이트 중 순수 KC 2.18 g 함유, 1.4 mmol). 제 2 용액을, 1,5,7-트리아자바이시클로[4.4.0]데크-5-엔 (0.038 g, 0.03 mmol) 을 4.18 ml 의 DMAc 에 용해하여 제조하였다. 두 용액 모두를 혼합하고 밀봉된 몰드에 붓고, 실온에서 5 시간 동안 두었다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 20 중량% 였다.

[0214] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였다. 각각의 세척 사이클은 24 시간이었고, 각각의 세척 사이클에서 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0215] 수득한 겔을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0216] 열 전도도를 상세한 설명에서 기재한 시험 방법에 따라 열 확산성 센서로 측정하였다. 압축 영 모듈러스를 Instron 3366 (ASTM D1621) 으로 측정하였다. 결과를 표 11 에 조합한다.

[0217] 표 11.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	직선 수축 (%)	열 전도도 (mW/m·K)	영 모듈러스 (MPa)
이소시아네이트 /옥세탄 에어로겔	0.490	35	73	64

[0218]

[0219] 실시예 13

[0220] 이소시아네이트/옥세탄 에어로겔을 단량체 Polurene HR (Sapici사제) 및 비스[1-에틸(3-옥세타닐)]메틸 에테르 (OXT-221) (Toagosei America INC사제) 로부터 제조하였다.

[0221] 제 1 용액에 대해 OXT-221 (1.13 g, 5.3 mmol) 을 10 ml 의 N,N-디메틸아세트아미드 (DMAc) 에 용해하고 Polurene HR 을 첨가하였다 (5.55 g, 부틸 아세테이트 중 순수 HR 2.77 g 함유, 2.7 mmol). 제 2 용액을, 1,5,7-트리아자바이시클로[4.4.0]데크-5-엔 (0.039 g, 0.03 mmol) 을 3.64 ml 의 DMAc 에 용해하여 제조하였다. 두 용액 모두를 혼합하고 밀봉된 몰드에 붓고, 실온에서 24 시간 동안 두었다. 용액의 최종 고체 함량은 대략 20 중량% 였다.

[0222] 생성 겔을 아세톤 1:3 DMAc, 아세톤 1:1 DMAc, 아세톤 3:1 DMAc 및 아세톤의 혼합물로 단계적으로 세척하였다. 각각의 세척 사이클은 24 시간이었고, 각각의 세척 사이클에서 겔 부피의 3 배로 용매를 사용하였다.

[0223] 수득한 겔을 초임계 이산화탄소를 사용하여 초임계 건조에 의해 건조시켰다.

[0224] 열 전도도를 상세한 설명에 기재한 시험 방법에 따라 열 확산성 센서로 측정하였다. 압축 영 모듈러스를 Instron 3366 (ASTM D1621) 으로 측정하였다. 결과를 표 12 에 조합한다.

[0225] 표 12.

에어로겔	밀도 (g/cm ³)	직선 수축 (%)	열 전도도 (mW/m·K)	영 모듈러스 (MPa)
이소시아네이트 /옥세탄 에어로겔	0.488	33	68	43

[0226]

[0227] 본 발명에 따른 이소시아네이트/에폭시 에어로겔은 0.1 내지 0.3 g/cm³ 범위의 밀도 및 0.2 MPa 내지 64 MPa 까지의 압축 모듈러스를 나타낸다. 에어로겔의 열 전도도를 확산성 방법에 의해 측정할 수 있는데, 33 내지 73 mW/m·K 범위의 열 전도도를 나타낸다.