



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년03월29일
 (11) 등록번호 10-1129508
 (24) 등록일자 2012년03월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 B01J 8/04 (2006.01) B01J 8/02 (2006.01)
 C10G 2/00 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2006-7026540
 (22) 출원일자(국제) 2005년05월24일
 심사청구일자 2010년05월10일
 (85) 번역문제출일자 2006년12월15일
 (65) 공개번호 10-2007-0022757
 (43) 공개일자 2007년02월27일
 (86) 국제출원번호 PCT/GB2005/050070
 (87) 국제공개번호 WO 2005/123883
 국제공개일자 2005년12월29일
 (30) 우선권주장
 0413400.3 2004년06월16일 영국(GB)
 (56) 선행기술조사문헌
 US20020143075 A1
 전체 청구항 수 : 총 8 항

(73) 특허권자
컴팩트지티엘 피엘씨
 영국, 옥스포드셔 오엑스14 1디와이, 아빙돈, 블랙랜즈 웨이 19
 (72) 발명자
보위 마이클 조셉
 영국 프레스턴 랭커셔 피알4 4제이제이 뉴 롱턴 발모랄 로드 17
 (74) 대리인
장훈

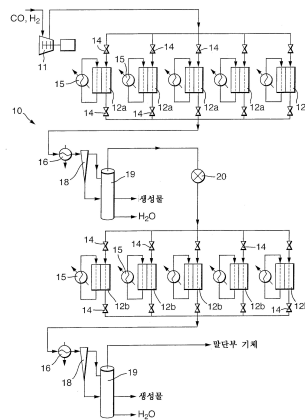
심사관 : 홍순철

(54) 발명의 명칭 피셔-트롭쉬 합성을 수행하기 위한 촉매 반응기 장치 및방법

(57) 요약

피셔-트롭쉬 합성은, 촉매 반응 채널 및 냉각 채널을 각각 규정하는 다수의 압축 촉매 반응기 모듈(12)을 사용하여 연속적인 2단계(여기서, 각 단계에 대한 반응기 모듈의 수는 동일하다)로 CO/H₂² 공급 기체에 대해 수행된다. 제1 단계에서의 기체 유동 속도는 75% 이하의 CO가 전환되도록 충분히 높다. 기체는 수증기를 제거하도록 연속 단계 사이에서 냉각(16)되고, 압력은 제2 단계가 실시되기 전에 감소(20)된다. 또한, 제2 단계의 반응 온도는, 75% 이하의 잔류 일산화탄소가 제2 단계 동안 전환되도록, 제1 단계보다 낮다. 따라서, 촉매에 대한 수증기의 유해한 효과가 억제되고, 반응기 장치(10)의 전체 성능은 당해 모듈 수를 동일하게 유지하면서 각 단계에서 모듈을 밀폐시킴으로써 조절할 수 있다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

각각 기체 투과성 촉매 구조인, 피셔-트롭쉬(Fischer-Tropsch) 합성용 유동 채널 및 이에 인접한, 열 전달 매질용 유동 채널을 규정하는 플레이트 적층체를 포함하는 다수의 압축 촉매 반응기 모듈을 사용하여 탄화수소 생성물을 생성하기 위해 일산화탄소와 수소를 포함하는 공급 기체에 대해 피셔-트롭쉬 합성을 수행하는 방법으로서,

피셔-트롭쉬 합성이, 반응 기체 유동이 평행하게 이루어지는 다수의 반응기 모듈에서 각각 수행되는 2개 이상의 연속 단계로 수행되고,

각각의 연속 단계에 대한 반응기 모듈의 수가 동일하며,

모든 반응기 모듈이 동일한 유동 채널을 제공하고,

제1 단계에서 75% 이하의 일산화탄소가 전환되도록 기체 유동 속도가 충분히 높고 온도는 충분히 낮으며, 기체가 연속 단계들 사이에서 냉각되어 수증기 및 일부 탄화수소 생성물을 응축시킨 다음, 제2 단계를 실시함을 특징으로 하는, 피셔-트롭쉬 합성을 수행하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 단계 및 상기 제2 단계 둘 다가 204 내지 225°C 범위의 온도에서 수행되는, 피셔-트롭쉬 합성을 수행하는 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 수증기가 26mol%를 초과하지 않는, 피셔-트롭쉬 합성을 수행하는 방법.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 적어도 제1 단계에서, 65% 이하의 일산화탄소가 전환되는, 피셔-트롭쉬 합성을 수행하는 방법.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서, 연속 단계들 사이의 압력 감소가 0.1MPa 내지 0.5MPa인, 피셔-트롭쉬 합성을 수행하는 방법.

청구항 6

각각 기체 투과성 촉매 구조인, 피셔-트롭쉬 합성용 유동 채널 및 이에 인접한, 열 전달 매질용 유동 채널을 규정하는 플레이트 적층체를 포함하는 다수의 압축 촉매 반응기 모듈을 포함하는, 탄화수소 생성물을 생성하기 위해 일산화탄소와 수소를 포함하는 공급 기체에 대해 피셔-트롭쉬 합성을 수행하기 위한 반응기 장치(plant)로서,

피셔-트롭쉬 합성이 각각의 연속 단계를 위한 동일한 수의 반응기 모듈을 사용하여 2개 이상의 연속 단계(여기서, 다수의 반응기 모듈은 각각의 단계에서 반응 기체 유동이 평행하게 이루어지도록 배열된다)로 발생되도록 반응기 모듈이 배열되어 있고, 모든 반응기 모듈이 동일한 유동 채널을 제공하며, 수증기 및 일부 탄화수소 생성물이 응축되도록 연속 단계 사이에 반응 기체를 냉각시키는 수단이 구비되어 있는, 반응기 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 각 단계에 대해 5개의 반응기 모듈이 존재하는 반응기 장치.

청구항 8

제6항 또는 제7항에 있어서, 각 반응기 모듈이 분리 밸브를 구비하여, 각 단계에서 반응에 사용된 반응기 모듈의 수가 공급 기체 유동 속도에 따라 조절될 수 있는 반응기 장치.

명세서

- [0001] 본 발명은 화학적 방법, 및 당해 방법의 수행에 사용하기 위한 촉매 반응기 장치에 관한 것이다.
- [0002] 국제 특허출원 제PCT/GB03/05198호(GTL Microsystems AG)에는, 피셔-트롭쉬 합성이 연속적인 2단계로 수행되고, 채널 수가 상이하거나 2단계에 대한 모듈 수가 상이할 수 있는 단일 반응기 모듈 속에서 당해 2단계가 수행되는 방법이 기재되어 있다. 이러한 방법의 개선된 실시방법이 본 발명에 이르러 밝혀졌다.
- [0003] 본 발명에 따르면, 각각 기체 투과성 촉매 구조인, 피셔-트롭쉬 합성용 유동 채널 및 이에 인접한, 열 전달 매질용 유동 채널을 규정하는 다수의 압축 촉매 반응기 모듈을 사용하여 탄화수소 생성물을 생성하기 위해 일산화탄소와 수소를 포함하는 공급 기체에 대해 피셔-트롭쉬 합성을 수행하는 방법으로서,
- [0004] 피셔-트롭쉬 합성이 2개 이상의 연속 단계들로 수행되고, 각각의 연속 단계에 대한 반응기 모듈의 수가 동일하며, 모든 반응기 모듈이 동일한 유동 채널을 제공하고, 제1 단계에서 75% 이하의 일산화탄소가 전환되도록 기체 유동 속도가 충분히 높고 온도는 충분히 낮으며, 기체가 연속 단계들 사이에서 냉각되어 수증기 및 일부 탄화수소 생성물을 응축시킨 다음, 제2 단계를 실시함을 특징으로 하는, 피셔-트롭쉬 합성을 수행하는 방법이 제공된다.
- [0005] 제2 단계에서의 온도 및 압력은 허용되는 수준의 C5+ 선택성 및 CO 전환율을 유지하도록 제1 단계의 온도 및 압력과 상이할 수 있다. 예를 들면, 제2 단계에서의 압력은 압력 손실의 결과로서 보다 낮을 수 있고, 이는 선택성을 감소시키며, 따라서 온도는 목적하는 선택성을 유지하기 위해 제1 단계와 비교하여 제2 단계에서 감소될 수 있다. 따라서, 본 발명의 방법은 연속 단계 사이에서 반응 기체의 압력을 감소시키고 제2 단계의 반응 온도를 제1 단계보다 저하시킬 수 있다. 본 발명의 방법은 85% 이하의 잔류 일산화탄소가 제2 단계 동안 전환되도록 실시할 수 있다.
- [0006] 바람직하게는, 제1 단계 및 제2 단계 둘 다에서 공간 속도는 1000/hr 초과, 바람직하게는 15000/hr 이하이다. 명백하게는, 제2 단계에서의 공간 속도는 제1 단계보다 낮는데, 이는 제1 단계 동안 액체로 전환되기 때문이다. 바람직하게는, 반응기는 당해 반응으로 생성된 수증기가 각 단계에서 26mol%를 초과하지 않도록 작동된다. 바람직하게는, 제1 단계에서는 65% 이하의 일산화탄소가 전환된다.
- [0007] 본 명세서에서 공간 속도는 반응기에 공급된 기체의 용적 유동 속도(STP로 측정함)를 반응기의 공급 용적으로 나눈 것으로 정의된다. 따라서, 반응기가 210℃ 및 압력 2.5MPa인 경우, 5000/hr의 공간 속도는 시간당 공급 용적의 약 354배 기체 유동(작동 조건에서)에 상응하므로, 약 10초의 체류 시간에 상응한다.
- [0008] 본 발명은 또한, 각각 기체 투과성 촉매 구조인, 피셔-트롭쉬 합성용 유동 채널 및 이에 인접한, 열 전달 매질용 유동 채널을 규정하는 다수의 압축 촉매 반응기 모듈을 포함하는, 피셔-트롭쉬 합성을 수행하기 위한 반응기 장치로서,
- [0009] 피셔-트롭쉬 합성이 각각의 연속 단계를 위한 동일한 수의 반응기 모듈을 사용하여 2개 이상의 연속 단계로 발생되도록 반응기 모듈이 배열되어 있고, 모든 반응기 모듈이 동일한 유동 채널을 제공하며, 수증기 및 일부 탄화수소 생성물이 응축되도록 연속 단계 사이에 반응 기체를 냉각시키는 수단이 구비되어 있는, 반응기 장치에 관한 것이다.
- [0010] 연속 단계 사이의 응축 단계는, 열 전달 표면 위의 왁스 침착을 방지하기 위해, 탄화수소 생성물의 운집에 따라 기체를 40 내지 100℃ 범위의 온도로 냉각시키는 것을 목적으로 한다.
- [0011] 바람직하게는, 합성 채널 속의 온도는 각 단계에서 190℃를 초과한다. 그러나, 약 204℃ 미만의 온도에서는 왁스(즉, 장쇄 생성물)를 형성하려는 경향이 커지고, 촉매 표면에 부착하려는 경향이 있으며, 이는 촉매로의 반응물 확산을 제한하고 반응 속도를 저하시킨다. 반대로, 약 225℃ 초과 온도에서는 반응이 단쇄 생성물, 따라서 보다 높은 비율의 메탄을 생성하려는 경향이 있다. 촉매 표면 위의 이러한 저분자량 물질은 촉매 표면으로의 반응물 확산을 보다 촉진시키고, 이는 반응 속도를 촉진시켜 보다 많은 열 및 보다 높은 온도를 생성한다. 따라서, 연속 단계에 대한 온도는 상이할 수 있지만, 바람직하게는 약 204 내지 225℃ 범위, 보다 바람직하게는 약 204 내지 210℃ 범위이어야 한다.
- [0012] 본 발명은 이제 첨부 도면을 참조로 하여 예시에 의해 추가로 및 보다 구체적으로 설명될 것이다.

- [0013] 도 1은 피셔-트롭쉬 합성을 실시하기 위한 반응기 장치의 흐름도를 나타낸다.
- [0014] 본 발명은, 메탄을 장쇄 탄화수소로 전환시키는 방법의 일부를 형성할 수 있는 피셔-트롭쉬 합성에 관한 것이다. 피셔-트롭쉬 합성은 일산화탄소와 수소와의 반응이며, 당해 기체 혼합물은, 예를 들면, 증기/메탄 개질에 의해 형성될 수 있다. 피셔-트롭쉬 합성에서는 기체를 반응시켜 장쇄 탄화수소를 형성하고, 이는 다음과 같다:
- [0015] $nCO + 2nH_2 \rightarrow (CH_2)_n + nH_2O$
- [0016] 상기 반응은 발열 반응이고, 통상 190 내지 350℃의 승온, 예를 들면, 210℃ 및 통상 2MPa 내지 4MPa의 승압, 예를 들면, 2.5MPa에서 칼륨 조촉매와 함께 철, 코발트 또는 발연 마그네타이트 등의 촉매의 존재하에 발생한다. 당해 반응에 의해 형성된 유기 화합물의 정확한 성질은 일산화탄소 대 수소의 비율 뿐만 아니라 온도, 압력 및 촉매에 따라 달라진다.
- [0017] 바람직한 촉매는 약 10 내지 40%(알루미나 중량과 비교한 중량 기준)의 코발트 및 루테튬/백금 조촉매와 함께 비표면적이 140 내지 450m²/g인 란탄 안정화 감마-알루미나 피복물(여기서, 조촉매는 코발트 중량의 0.01 내지 10%이다)을 포함한다. 또한, 촉매는 산화가돌리늄 등의 염기성 조촉매일 수도 있다. 촉매의 활성 및 선택성은 지지체에 대한 코발트 금속의 분산도에 따라 달라지고, 코발트 분산액의 최적 수준은 통상 0.1 내지 0.2 범위로 되어 코발트 금속 원자의 10 내지 20%가 표면에 존재한다. 분산도가 커질수록, 코발트 금속 결정자 크기는 명백하게 보다 작아져야 하며, 이는 통상 5 내지 15nm 범위이다. 이러한 크기의 코발트 입자는 고도의 촉매 활성을 제공하지만, 수증기의 존재하에 산화될 수도 있으며, 이는 촉매 활성의 현저한 감소를 유도한다. 당해 산화의 정도는 촉매 입자에 인접하는 수소 및 수증기의 비율 및 이들의 온도에 따라 달라지고, 보다 높은 온도와 보다 높은 비율의 수증기는 둘 다 산화 정도를 증가시킨다.
- [0018] 피셔-트롭쉬 반응기 장치에서 사용하기에 적합한 반응기 모듈은, 반응 채널 및 당해 반응 채널 중의 기체 투과성 촉매 구조(예를 들면, 주름진 호일, 펠트 또는 메쉬)와 교호하는 냉각제 채널을 규정하는 플레이트 적층체를 포함한다. 당해 플레이트는 평탄할 수 있고, 채널은 홈(groove)에 의해 규정되며, 달리는 당해 플레이트 중의 일부는 채널을 규정하도록 주름지거나 성 모양으로 되어 있다. 플레이트는 통상 확산 결합 또는 납땜에 의해 함께 결합되고, 반응 기체 및 냉각제에 적합한 헤더(header)가 구비되어 있다. 예를 들면, 촉매 물질로 함침된 세라믹 피복물로 피복한 두께 50μm의 주름진 FeCr 합금 호일을 반응 채널에 삽입시킨 다음 헤더를 부착시키고, 촉매가 소비되면 대체할 수 있다. 실제 반응기 장치에 있어서, 모든 반응기 모듈은 동일한 구조와 크기인 것이 바람직하고, 따라서 반응기 모듈은 동일하다. 실제로, 표준화의 한 가지 이점은 반응기 장치의 자본 비용을 감소시킬 수 있다는 점이다.
- [0019] 이제 도 1을 참조하면, 피셔-트롭쉬 반응기 장치(10)는 압축기(11)를 통해 2.1MPa의 압력에서 공급된 일산화탄소와 수소의 기체 유동을 수용한다. 당해 반응기 장치는 10개의 동일한 반응기 모듈, 유동물을 평행하게 하고 제1 단계를 구성하는 5개의 모듈(12a), 및 유동물을 평행하게 하고 제2 단계를 구성하는 또 다른 5개의 모듈(12b)을 포함한다. 밸브(14)는 각 모듈(12a 또는 12b)를 통한 유동을 작동 또는 중단시킬 수 있고, 모듈(12a 또는 12b)을 단리시킬 수 있다.
- [0020] 제1 단계와 제2 단계 사이에서 기체 혼합물은 수증기와 장쇄 탄화수소를 응축시키도록 배열된 열 교환기(16)를 통과하고, 따라서 이들을 유동 기체로부터 제거한다. 이어서, 냉각 기체 혼합물은 분리기, 예를 들면, 사이클론 분리기(18)를 통과한 다음, 3개 상(즉, 물, 탄화수소 및 미반응 기체)을 분리하는 분리 챔버(19)를 통과한다. 기체는, 제2 단계에서의 반응 압력이 통상 1.6 내지 2.0MPa 범위의 압력으로 감소될 수 있도록, 압력 감소 밸브(20)를 통해 반응기 장치(10)의 제2 단계를 통과한다.
- [0021] 반응 온도는 각 모듈(12) 중의 냉각제 채널에 냉각제를 제공함으로써 조정되고, 여기서 각 경우의 냉각제는 각각의 열 교환기(15)를 통해 재순환된다. 냉각제의 유동 속도는, 모듈(12)을 통한 통과로 냉각제 온도가 10℃ 이하로 변화되도록 조절된다. 제2 단계에서의 반응 온도는 제1 단계의 온도보다 낮게 조절될 수 있다. 이는 도시된 바와 같이 각 모듈(12a 또는 12b)에 대해 상이한 냉각제 회로(15)를 사용하여 달성할 수 있다. 또는, 동일한 냉각제를 두 단계를 통해 연속적으로 제공할 수도 있지만, 이의 온도는 제1 단계와 후속 단계 사이에서 감소된다. 바람직하게는, 제2 단계에서의 반응 온도는 제1 단계의 온도보다 낮은 약 5℃ 또는 10℃이다.
- [0022] 제2 단계 후, 기체 유동은 수증기 및 장쇄 탄화수소를 응축시키도록 배열된 또 다른 열 교환기(16)를 통과한다. 이어서, 냉각 기체 혼합물을 분리기, 예를 들면, 제2 사이클론 분리기(18), 및 이어서 3개의 상(즉, 물, 탄화수

소 및 미반응 기체)을 분리하는 제2 분리 챔버(19)에 통과시킨다. 생성된 말단부 기체는 통상 수소가 농후하고, 발광할 수 있거나, 이를 사용하여 촉매 연소 공정용 연료 또는 기체 터빈용 연료를 제공할 수 있다 (도시하지 않음).

[0023] 반응기 장치(10)의 사용에 있어서, 일산화탄소와 수소의 혼합물은, 예를 들면, 2.1MPa의 압력에서 제1 단계 반응기 모듈(12a)에 공급되고, 여기서 피셔-트롭쉬 합성이 발생한다. 냉각제는 각 모듈(12)에서 냉각제 채널을 통해 병류로 유동하여 소정 밸브에서 각 반응기 모듈(12a) 중의 온도를 205℃ 내지 220℃ 범위로 유지하고, 여기서 당해 온도는 반응기 채널의 길이를 따라 +/- 5℃ 이하로 상이하다. 실제로, 냉각제는 연속하는 횡단 도관을 따라 S자형 경로를 따를 수 있고, S자형 경로는 병류 유동에 근접한다. 당해 목적은 반응기(10) 전체에 걸쳐 등은 조건에 접근시키기 위한 것이며, 이는 반응 채널로부터 배출구를 향해 유동 채널을 차단하는 왁스(즉, 매우 장쇄의 탄화수소)의 위험을 최소화하는 이점을 갖는다. 반응기 모듈(12a)에서 반응 기체의 유동 속도(공간 속도)는 4000 내지 7000/hr, 예를 들면, 약 6500/hr 범위이고, 이는 당해 기체가 제1 반응기로부터 배출되는 시점까지 일산화탄소의 전환율을 35 내지 70% 범위로 되게 한다.

[0024] 수증기(및 일부 장쇄 탄화수소)는 열 교환기(16)를 통한 통과로 응축되고, 임의의 액체 소적은 분리기(18) 및 챔버(19)를 통과시킴으로써 기상으로부터 제거된다. 이는 제2 단계로 유동하는 기체 혼합물 중의 수증기 분압을 현저히 감소시킨다.

[0025] 잔류 기체는 제2 단계의 반응기 모듈(12b)에 공급하기 전에 밸브(20)에 의해 압력이 감소될 수 있다. 모듈(12b)에서, 기체에는 다시 피셔-트롭쉬 합성이 실시되지만, 냉각제 온도는, 제1 단계의 온도보다 몇도 낮은, 예를 들면, 약 5 내지 10℃ 낮은 각 모듈(12b) 속의 온도를 유지하도록 정렬된다. 현저한 비율의 기체가 제1 단계 모듈(12a)를 통한 통과로 탄화수소화물로 되었기 때문에, 공간 속도는 불가피하게 제2 단계에서 저하되고, 통상적으로 2000 내지 4000/hr의 범위일 수 있음은 자명할 것이다. 그럼에도 불구하고, 모듈(12b)에서 압력을 감소시키고 반응 온도를 저하시킴으로써(제1 단계의 것들과 비교하여), 모듈(12b)의 통과에 따른 일산화탄소의 전환율 및 C5+에 대한 선택성이 유지되어, CO의 총 전환율이 85%(제2 단계와 비교하여) 초과이고 C5+에 대한 전체 선택성이 75 내지 95% 범위로 유지된다. 예를 들면, 제1 단계에서의 전환율은 40%로서 약 11% 수증기를 생성할 수 있고, 제2 단계에서의 전환율은 82%(잔류하는 CO 기준)로서 약 25% 수증기를 제공할 수 있다.

[0026] 제2 단계 모듈(12b)에 도달하기 전에 분리기(18) 및 챔버(19)의 통과에 따르는 수증기 및 비점이 보다 낮은 탄화수소의 제거는 수증기의 분압을 저하시켜 촉매의 산화를 억제시킬 뿐만 아니라, 촉매 구조체 위에 액체 층을 형성할 수 있는 탄화수소를 적어도 일부 제거하는 이점이 있다. 이러한 액체 층은 기체 혼합물과 촉매 입자의 접촉을 억제시키고, 촉매 입자로부터 생성물 탄화수소의 확산을 억제시키며, 이에 의해 탄화수소 액체의 제거는 이들 확산 저항을 최소화한다.

[0027] 공급 기체 유동 속도가 저하되는 경우, 반응 조건(즉, 공간 속도, 온도 및 압력)은 밸브(14)를 사용하여 각 단계에서 동일한 수의 모듈(12a 및 12b)을 밀폐시킴으로써 각 단계에서 실질적으로 일정하게 유지할 수 있다. 사용되는 제1 단계 반응기 모듈(12a)의 수는 사용되는 제2 단계 반응기 모듈(12b)의 수와 항상 동일해야 한다. 따라서, 반응기 장치(10)는 작동 조건에서의 현저한 변화 없이 이의 설계 성능의 20%까지 성능 저하가 감소될 수 있다. 이는, 피셔-트롭쉬 모듈 속의 작동 조건을 방해하지 않고서, 시간 경과에 따라 천연 기체의 공급 변화에 부합되도록 당해 공정을 변화시킬 수 있고, 과도하게 낮은 공간 속도는 CO의 과전환 및 결과적으로 높은 수증기 분압을 유도하기 때문에 상기 방해는 촉매 손상을 유도할 수 있으며, 당해 촉매는 수증기의 존재하에 세라믹 지지체와의 비가역적 반응 또는 산화를 겪을 수 있다.

[0028] 본 발명은, 당해 방법이 상응하게 증가된 수의 내부 단계 냉각 및 분리 장치와 함께 3개 이상의 피셔-트롭쉬 반응 단계를 제공하도록 배열될 수 있기 때문에, 2단계 방법으로 제한되지 않음은 명백할 것이다. 예를 들면, 각각 5개의 반응기 모듈(12)을 갖는 4개의 연속 단계도 있을 수 있고, 더 많은 단계도 존재할 수 있기 때문에, 어느 하나의 단계에서의 전환율이 20%와 같이 보다 낮은 값으로 제한될 수 있지만 반응기 장치로부터는 우수한 전체 전환율을 획득할 수 있다. 이러한 보다 낮은 값의 전환율은 촉매가 노출되는 수증기의 농도를 추가로 감소시키고, 결과적으로 보다 활성의 촉매를 사용할 수 있으며(이는 상승된 수증기 압력으로부터의 손상에 더욱 감수성이다), 보다 높은 공간 속도를 사용할 수 있다. 추가로, 압력은 연속 단계 사이에서 증가시킬 수도 있다 (위에 기재되어 있는 바와 같이 감소시키는 대신에).

도면

도면1

