



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년09월01일
 (11) 등록번호 10-1436146
 (24) 등록일자 2014년08월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 B01J 23/08 (2006.01) B01J 27/16 (2006.01)
 C07C 47/22 (2006.01) C07C 45/52 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0065713
 (22) 출원일자 2012년06월19일
 심사청구일자 2012년06월19일
 (65) 공개번호 10-2013-0142475
 (43) 공개일자 2013년12월30일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020110004872 A*
 US04381411 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 한국화학연구원
 대전광역시 유성구 가정로 141 (장동)
 (72) 발명자
 이정호
 대전광역시 유성구 어은로 57, 한빛아파트
 117-402
 김주남
 대전광역시 유성구 봉산로 39, 송강마을2단지
 205-1103
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 이진홍

(54) 발명의 명칭 **글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는데 사용되는 촉매계 및 이를 이용하여 아크롤레인을 제조하는 방법**

(57) 요약

본 발명은 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는데 사용되는 인듐인산염을 주성분으로 하는 촉매계 및 이를 이용하여 아크롤레인을 제조하는 방법에 관한 것으로, 본 발명의 촉매계는 하기 일반식 1로 표시되는 촉매 성분을 포함한다:

[일반식 1]



(여기서,

In : P의 몰비는 $x : y = 1 : 1\sim3$ 에서 선택되며;

a는 다른 원소에 결합된 산소의 양으로 그의 산화 상태에 상응된다).

(72) 발명자

신현관

대전광역시 유성구 어은로 57, 한빛아파트
128-1001

김형록

대전광역시 유성구 가정로 306-6, 대덕연구단지타
운하우스 6-207

특허청구의 범위

청구항 1

글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는데 사용되는 촉매계로, 하기 일반식 1로 표시되는 촉매 성분을 포함하는 촉매계:

[일반식 1]



(여기서,

$x : y = 1 : 1\sim 3$ 이며;

a 는 다른 원소에 결합된 산소의 양으로 그의 산화 상태에 상응된다).

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 촉매 성분이 금속 M 을 더 포함하고 하기 일반식 2로 표시되는, 촉매계:

[일반식 2]



(여기서,

M 은 알칼리 금속, 알칼리 토금속, Fe, Nb, Cu 및 Co로 구성된 군에서 선택되는 하나 이상의 금속을 나타내며;

$x : z = 1 : 0.1\sim 10$ 이며;

$(x+z) : y = 1 : 1\sim 3$ 이며;

a 는 다른 원소에 결합된 산소의 양으로 그의 산화 상태에 상응된다).

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 촉매계가 실리카, 알루미늄, 산화티탄, 실리콘 카바이드, 실리케이트, 보레이트 및 카보네이트로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 지지체를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 촉매계.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항의 촉매계를 사용하여, 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 방법이 수소 가스를 포함하는 반응기 내에서 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 반응기가 수증기, 산소 가스, 질소 가스, 이산화탄소 가스 및 불활성 가스로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 가스를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 반응기 내의 온도가 100 내지 500℃인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제 4 항에 있어서,

상기 방법이 액체상 또는 기체상에서 수행되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제 4 항에 있어서,

상기 촉매계를 2회 이상 반복해서 사용하는 것을 특징으로 하는 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는데 사용되는 신규한 촉매계에 관한 것이다.

[0002] 또한, 본 발명은 신규한 촉매계를 사용하여 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0003] 아크롤레인(acrolein)은 불포화알데하이드의 하나로, 화학식 $CH_2=CHCHO$ 인무색액체이다. 공기 중에서 쉽게 산화되고 장시간 보존하면 중합하여 수지상 물질로 변하며, 유기합성의 원료로 사용된다.

[0004] 이러한 아크롤레인의 제조는 프로필렌을 출발 원료로 하고 촉매를 사용하여 기상 산화하는 방법이 일반적인 공업적 제조법으로 채용되어 왔다. 그러나, 최근 화석 자원에 의존하지 않고 바이오 자원으로부터 연료나 유기 제품을 제조하는 방법이 요청되고 있으며, 그 중 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는 방법에 대한 연구가 지속적으로 되고 있다.

[0005] 이러한 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는 방법으로는 철인산염을 사용하여 제조하는 것이 일반적이며, 이러한 방법으로는 공개특허공보 제2010-0059891호, 공개특허공보 제2007-0104413호, 일본공개특허공보 특개평 6-211724호, 미국공개특허공보 제2011/0136954호 등의 특허 문헌 및, 문헌[Journal of Molecular Catalysis A Chemical 309 (2009), p71-78], 문헌[Catalysis Today 157 (2010), p351-358] 및 문헌[Applied Catalysis A: General Vol. 378 (2010), p11-18] 등의 일반 문헌에도 개시되어 있다.

[0006] 구체적으로 공개특허공보 제2010-0059891호에는 산소, 철과 인 등을 포함하는 철인산염인 촉매계를 사용하여 질소 환경하에서 글리세롤의 탈수에 의해 아크롤레인을 제조하는 방법을 개시하고 있다.

[0007] 또한, 공개특허공보 제2007-0104413호에는 280℃에서 40% 나피온(Nafion)/SiO₂에서 ZrO₂, 또는 TiO₂ 및 SnO₂를 사용하여 글리세롤의 탈수에 의해 아크롤레인을 제조하는 방법을 개시하고 있다.

[0008] 또한, 일본공개특허공보 특개평6-211724호에는 글리세린/물 혼합물을 액상 또는 기상 중에서 고체 촉매에 접촉시키는 반응을 통해 탈수 반응에 의해 글리세린으로부터 아크롤레인을 수득하는 방법을 개시하고 있다.

[0009] 또한, 미국공개특허공보 제2011/0136954호에는 산성 촉매하에 글리세롤 수용액으로부터 글리세롤을 탈수하여 아크롤레인 및 물의 혼합물을 제조하고, 이를 수세, 건조 분자 증류 및 활성화하여 회수하는 단계를 포함하는 아크롤레인의 제조 방법을 개시하고 있다.

[0010] 또한, 문헌[Journal of Molecular Catalysis A Chemical 309 (2009), p71-78]에는 100wt%의 PO₄, 15wt%의 H₃PO₄에 지지체를 x-Al₂O₃, TiO₂-Antas를 사용하여 글리세린으로부터 아크롤레인을 수득하는 방법을 개시하고 있다.

[0011] 그러나, 상기 방법에 의하더라도, 여전히 부생성물로서 히드록시프로판온, 프로판알데히드, 아세트알데히드, 아세톤 등이 아크롤레인과 함께 생성되고 있으며, 사용되는 촉매 역시 반복해서 사용할 경우 아크롤레인의 선택성이 현저하게 나빠지는 문제점이 존재한다.

[0012] 따라서, 부생성물의 생성을 억제시켜 목적하는 아크롤레인의 전환율 및 선택성을 보다 향상시키고, 반복 사용하더라도 아크롤레인 전환율 및 선택성이 유지되는 촉매계 및 아크롤레인을 제조하는 방법에 관하여 여전히 개발할 필요성이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 글리세롤로부터 아크롤레인의 선택성 및 전환율을 향상시키고, 반복 사용시에도 선택성 및 전환율이 유지되는 인듐인산염을 주성분으로 한 촉매계를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0014] 또한, 본 발명은 상기 촉매계를 사용하여 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은 하기와 같은 인듐인산염을 주성분으로하는 촉매계 및 이를 이용하여 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는 방법을 제공한다.

[0016] (1) 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는데 사용되는 촉매계로, 하기 일반식 1로 표시되는 촉매 성분을 포함하는 촉매계:

[0017] [일반식 1]



[0019] (여기서, In : P의 몰비는 $x:y = 1 : 1\sim3$ 에서 선택되며; a는 다른 원소에 결합된 산소의 양으로 그의 산화 상태에 상응된다).

[0020] (2) 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는데 사용되는 촉매계로, 하기 일반식 2로 표시되는 촉매 성분을 포함하는 촉매계:

[0021] [일반식 2]



[0023] (여기서, M은 알칼리금속, 알칼리토금속, Fe, Nb, Cu 및 Co로 구성된 군에서 선택되는 하나 이상의 금속을 나타내며; In : M의 몰비는 $x:z = 1 : 0.1\sim10$ 에서 선택되며; (In+M) : P의 몰비는 $(x+z):y = 1 : 1\sim3$ 에서 선택되며; a는 다른 원소에 결합된 산소의 양으로 그의 산화 상태에 상응된다).

[0024] (3) 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는 방법으로서, 상기 일반식 1 또는 2로 표시되는 촉매 성분을 포함하는 촉매계의 존재 하에서 수행되는 방법.

[0025] (4) 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는 방법으로서, 상기 일반식 1 또는 2로 표시되는 촉매 성분을 포함하는 촉매계의 존재하에서 수소 가스를 포함하는 반응기 내에서 수행되는 방법.

[0026] (5) 상기 일반식 1 또는 2로 표시되는 촉매 성분을 포함하는 촉매계를 2회 이상 반복해서 사용하는 것을 특징으로 하는 방법.

[0027] 본 발명의 인듐인산염 촉매계를 사용함으로써, 글리세롤로부터 아크롤레인의 선택성 및 전환율을 향상시키고, 장시간 또는 반복 사용시에도 아크롤레인의 선택성 및 전환율이 유지되는 효과를 가진다.

발명의 효과

[0028] 본 발명의 인듐인산염 촉매계를 사용함으로써, 글리세롤로부터 아크롤레인의 선택성 및 전환율을 향상시키고, 장시간 또는 반복 사용시에도 아크롤레인의 선택성 및 전환율이 유지되는 효과를 가진다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 이하 본 발명을 보다 상세히 설명한다.
- [0030] 본 발명에서 사용되는 촉매계는 글리세롤을 탈수시켜 아크롤레인을 제조할 때 사용되는 촉매계로서, 인듐인산염을 주성분으로 하는 촉매 성분을 포함하고 있다.
- [0031] 본 발명에서 사용되는 촉매 성분으로는 하기 일반식 1로 표시되는 촉매 성분이 바람직하다.
- [0032] [일반식 1]
- [0033] $In_xP_yO_a$
- [0034] 여기서,
- [0035] In : P의 몰비는 $x:y = 1 : 1\sim 3$ 에서 선택되며; a는 다른 원소에 결합된 산소의 양으로 그의 산화 상태에 상응되며, 바람직하게는 a는 1 내지 12의 값을 가진다.
- [0036] 또한, 본 발명에서 사용되는 촉매 성분으로는 필수 구성으로 인듐 및 인 이외에도 알칼리 금속, 알칼리 토금속, Fe, Nb, Cu 및 Co로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 금속 M을 더 포함할 수 있다. 여기서, 알칼리 금속은 Li, Na, K, Rb, Cs, Fr 등을 포함하고, 알칼리 토금속은 Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra 등을 포함한다.
- [0037] 이와 같이 2 이상의 금속 성분을 포함하는 촉매 성분으로는 하기 일반식 2로 표시되는 촉매 성분이 바람직하다.
- [0038] [일반식 2]
- [0039] $In_xM_zP_yO_a$
- [0040] 여기서,
- [0041] M은 알칼리금속, 알칼리토금속, Fe, Nb, Cu 및 Co로 구성된 군에서 선택되는 하나 이상의 금속을 나타내며; In : M의 몰비는 $x:z = 1 : 0.1\sim 10$ 에서 선택되며; (In+M) : P의 몰비 $(x+z) : y = 1 : 1\sim 3$ 에서 선택되며; a는 다른 원소에 결합된 산소의 양으로 그의 산화 상태에 상응되며, 바람직하게는 a는 1 내지 12의 값을 가진다.
- [0042] 본 발명의 촉매계는 지지체를 더 포함할 수 있으며, 바람직한 지지체로는 실리카, 알루미늄, 산화티탄, 실리콘 카바이드, 실리케이트, 보레이트, 카보네이트 등이 있으며, 보다 바람직한 지지체로는 알루미늄이다. 지지체는 단독으로 또는 둘 이상의 복합체나 혼합물로 사용될 수 있으며, 촉매 성분이 지지체에 담지됨으로써, 촉매 성분을 보다 유용하게 활용할 수 있다.
- [0043] 촉매 성분은 촉매계 전체의 중량의 30 내지 50중량%가 바람직하며, 지지체는 촉매계 전체의 중량의 50 내지 70중량%가 바람직하다.
- [0044] 촉매계의 형상으로는 특별한 제한은 없고 부정형인 과립이나 분말이어도 되지만, 기상 반응에 한해서는 필요에 따라 성형 보조제를 병용하여 구형체, 펠렛, 원통체, 막대 등으로 성형하여 사용할 수 있다. 또한, 성형한 촉매계의 크기는 10~500 mesh가 바람직하고, 20~50 mesh가 보다 바람직하다.
- [0045] 본 발명의 촉매계의 제조 방법에는 특별한 제한은 없다. 상기 배경기술에서 언급된 선행 문헌에 기재된 통상의 방법으로 본 발명의 촉매계의 제조가 가능하다.
- [0046] 본 발명은 상기 일반식 1 또는 일반식 2로 표시되는 촉매 성분을 포함하는 촉매계를 사용하여 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하는 방법을 제공한다.
- [0047] 본 발명의 방법은 특히 수소 가스를 포함하는 반응기 내에서 실시하는 것이 바람직하다. 수소 가스를 포함하는 반응기 내에서 제조할 경우 질소 분위기에서 제조할 경우에 비해 부산물의 생성을 줄임으로써 글리세롤 전환율 및 아크롤레인 선택도 등의 결과가 우수하다. 또한, 카본 침적 등이 생겨나지 않아 촉매 활성을 유지 시킴에 따라 촉매 수명 역시 길어지게 된다. 다만, 필요에 따라 반응기는 산소 가스, 질소 가스, 이산화탄소 가스 및 불활성 가스로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 가스를 더 포함 할 수 있다.
- [0048] 본 발명에 따른 방법은 기체상 또는 액체상에서 수행될 수 있으며, 기체상에서 적용되는 것이 보다 바람직하다. 반응을 기체 상에서 수행하는 경우, 고정상, 유동상, 순환 유동상, 이동상 등 여러 가지 반응기가 존재한다.

- [0049] 액체상에서 반응을 실시할 때에는 고체 촉매용의 일반적인 액상 반응기에서 실시할 수 있다. 글리세롤의 비점(290℃)과 아크롤레인의 비점(53℃)의 차이가 크기 때문에, 생산되는 아크롤레인의 연속적인 증류를 가능하게 하는 비교적 낮은 온도에서 운전하는 것이 바람직하다.
- [0050] 기체상 반응 및 액체상 반응에서의 반응기 내의 온도는 100 내지 500℃이나, 액체상 반응에서의 보다 바람직한 반응기 내의 온도는 150 내지 300℃이다. 고압에서는 기화된 글리세롤이 재액화될 우려가 있으며 또한 탄소 석출이 촉진되어 촉매의 수명이 짧아질 가능성이 있다.
- [0051] 반응물 중 글리세롤은 글리세롤 수용액 형태로 제공되는 것이 바람직하다. 글리세롤 수용액 중 글리세롤은 5 내지 90중량%의 범위가 바람직하고, 10 내지 50중량%의 범위가 보다 바람직하다. 글리세롤의 농도가 지나치게 높으면 글리세롤 에테르가 생성되거나 생성된 불포화 알데히드나 불포화 카르복실산과 글리세롤이 반응하는 문제점이 있으며, 또한 글리세롤을 기화시키기 위하여 많은 양의 에너지가 필요로 하기 때문에 바람직하지 않다.
- [0052] 본 발명에 따라 아크롤레인을 제조한 후에 사용된 촉매계는 재생하여 사용할 수 있다.
- [0053] 본 발명에 따른 아크롤레인의 제조 방법에서 반응기 내의 온도, 압력, 시간 등의 제조 조건은 반복적인 실험을 통한 최적의 조건을 실험적으로 구한 것으로써 각 조건의 상한이나 하한에 따른 문제점들은 고려하지 않았으며, 본 발명이 이루고자 하는 목적에 최적이라고 여겨지는 조건을 기재한 것으로 이해될 수 있다.
- [0054] 이하, 본 발명을 실시예를 이용하여 더욱 상세하게 설명한다. 그러나 하기 실시예는 본 발명을 예시하기 위한 것으로서 본 발명은 하기 실시예에 의해 한정되지 않고 다양하게 수정 및 변경될 수 있다.

[0055] [실시예]

[0056] 인듐인산염 촉매계의 제조

- [0057] 먼저, 탈이온수에 α-알루미나(α-Alumina) 15g을 분산시켰다. 다음으로 In(NO₃)₃·3H₂O 25.37g을 탈이온수에 녹인 용액(용액 A)과 85% H₃PO₄ 14.01g을 탈이온수에 녹인 용액(용액 B)을 준비한 후, 알루미나가 분산된 용액에 용액 B를 점적하여 공침 과정을 수행한 후, 1시간 동안 교반시켰다. 그 후, 교반된 용액에 용액 A를 추가로 점적한 후 1~2시간 동안 교반시키면서, 용액 중 대부분의 증류수를 증발시켰다. 이를 다시, 마이크로웨이브(Micro wave)로 건조시키고, 그 후 120℃에서 12시간 동안 건조시켰다. 건조된 케익을 분말화하고 타정법으로 성형하였다. 얻어진 성형체를 20~40mesh 크기로 분리시킨 후, 공기 분위기 하에서 400℃, 5시간 동안 소성시켜 인듐인산염 촉매계를 제조하였다.
- [0058] 상기와 동일한 조건 및 방법으로 In의 비율의 조정, 또는 Fe 및/또는 Li 성분을 추가하여 여러 촉매계를 제조하였으며, 이를 하기 표 1에 정리하였다.

표 1

[0059] 제조예 1	50% InPO ₄ / α-alumina (In/P 몰비 = 1:1.7)
제조예 2	50% InFePO ₄ / α-alumina (In/Fe/P 몰비 = 0.1:0.9:1.84)
제조예 3	50% InFePO ₄ / α-alumina (In/Fe/P 몰비 = 0.2:0.8:1.84)
제조예 4	50% InFePO ₄ / α-alumina (In/Fe/P 몰비 = 0.4:0.6:1.84)
제조예 6	50% LiInFePO ₄ / α-alumina (Li/In/Fe/P 몰비 = 0.05:0.2:0.8:1.84)

[0060] 실시예 1

- [0061] 상기 제조예 1의 촉매계인 InPO₄/ α-Alumina(In/P 몰비 = 1:1.7) 촉매계 4g을 1/2" 관형 반응기에 충전하고 5% 수소 분위기하에서 400℃에서 반응시켰다. 그 후, 250~300℃의 온도와, 상압에서 30중량%의 글리세롤 수용액을 질소(600ml/hr)와 함께 공급하면서 연속 반응을 수행하였다.
- [0062] 생성물은 가스 크로마토그래프에 의해 정량 분석을 실시하였다. 하기 수학적식 1 또는 2에 의해 글리세롤의 전환율(%) 및 생성물(아크롤레인 및 아세톤)의 선택성(%)을 산출하였다.

[0063] [수학식 1]

[0064] $\text{글리세롤의 전환율(\%)} = (\text{반응한 글리세롤 몰수} / \text{공급한 글리세롤 몰수}) \times 100$

[0065] [수학식 2]

[0066] $\text{생성물의 선택성(\%)} = (\text{생성물의 몰수} / \text{반응한 글리세롤 몰수}) \times 100$

[0067] 실시예 2 내지 6

[0068] 상기 제조예 2 내지 6의 촉매계를 사용한 것을 제외하고는 실시예 1에 기재된 방법과 동일한 방법으로 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하여, 시간에 따른 글리세롤의 전환율(%) 및 생성물(아크롤레인 및 아세트)의 선택성(%)을 산출하였다.

[0069] 아크롤레인의 전환율(%) 및 선택성(%) 결과

[0070] 상기 실시예 1 내지 6의 방법에 따라 수득된 아크롤레인의 전환율(%) 및 아크롤레인과 아세트의 선택성(%)을 하기 표 2에 정리하였다.

표 2

실시예	촉매 조성	반응 가스	반응시간 (Hr)	반응온도 (°C)	전환율(%)	선택성(%)	
						아크롤레인	아세트
실시예1	제조예1	수소	2	280	100	88.1	8.8
			24	300	100	84.1	11.6
실시예2	제조예2	수소	2	280	100	88.1	2.6
			24	300	99.4	83.5	12.5
			50	300	97.9	82.8	12.4
실시예3	제조예3	수소	2	280	86.6	94.2	0
			24	300	90.7	79.0	11.3
			50	300	100	85.2	11.8
실시예4	제조예4	수소	2	280	100	89.6	4.9
			24	300	100	86.4	9.4
			50	300	100	87.2	9.9
실시예5	제조예5	수소	2	280	100	94.5	1.2
			24	300	100	83.9	10.2

[0072] 상기 표 2를 통해, 본 발명의 촉매계를 사용할 경우 글리세롤로부터 높은 전환율(%)과 선택성(%)으로 아크롤레인을 수득할 수 있다는 것을 알 수 있다.

[0073] 또한, 반응 시간이 길어짐에도 아크롤레인의 전환율(%)과 선택성(%)이 유지됨을 알 수 있다.

[0074] 비교예 1 내지 3

[0075] 수소 분위기 대신 질소 분위기 하에서 제조한 것을 제외하고는, 상기 실시예 1 내지 3에 기재된 방법과 동일한 방법으로 제조예 1 내지 3의 촉매계를 사용하여 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조하고, 시간에 따른 글리세롤의 전환율(%) 및 생성물(아크롤레인 및 아세트)의 선택성(%)을 산출하였다.

[0076] 아크롤레인의 전환율(%) 및 선택성(%) 결과

[0077] 상기 비교예 1 내지 3의 방법에 따라 수득된 아크롤레인의 전환율(%) 및 아크롤레인과 아세트의 선택성(%)을 하기 표 3에 정리하였다.

표 3

[0078]

	촉매 조성	반응 가스	반응시간 (Hr)	반응온도 (°C)	전환율(%)	선택성(%)	
						아크롤레인	아세톤
비교예1	제조예1	질소	2	280	77.4	63.9	22.1
			50	300	96.0	68.4	21.5
비교예2	제조예2	질소	2	280	100	87.9	0
			50	280	95.5	64.4	13.7

[0079]

상기 표 2 및 3을 비교해보면, 동일한 촉매계를 사용한 경우라도 질소 분위기에 비해 수소 분위기에서 글리세롤로부터 아크롤레인을 제조할 경우 더 높은 아크롤레인 전환율(%)과 선택성(%)이 나타남을 알 수 있다.