

KOH/La₂O₃ 촉매상에서 Styrenated Phenol과 Ethylene Carbonate의 반응으로부터 Styrenated Phenol Alkoxyate의 합성

이승민 · 손석환 · 정성훈* · 광원봉* · 신은주** · 안호근 · 정민철[†]

순천대학교 공과대학 고분자·화학공학부, *(주)에스에프시, **순천대학교 공과대학 화학과
(2017년 10월 24일 접수, 2017년 11월 12일 심사, 2017년 11월 22일 채택)

Synthesis of Styrenated Phenol Alkoxyate from Styrenated Phenol with Ethylene Carbonate over KOH/La₂O₃ Catalyst

Seungmin Lee, Seokhwan Son, Sunghun Jung*, Wonbong Kwak*, Eun Ju Shin**, Hogeun Ahn, and Minchul Chung[†]

School of Polymer and Chemical Engineering, Suncheon National University, 235, Jungang-ro, Suncheon-si, Jeollanam-do
*SFC. Co., Ltd., 342-42, Yeosusandan 1-ro, Yeosu-si, Jeollanam-do

**Department of Chemistry, Suncheon National University, 235, Jungang-ro, Suncheon-si, Jeollanam-do
(Received October 24, 2017; Revised November 12, 2017; Accepted November 22, 2017)

초 록

Styrenated phenol alkoxyate (SP-A)는 일반적으로 균일계 염기 촉매 하에서 styrenated phenol (SP)과 ethylene oxide (EO)로부터 제조되어진다. 그러나, 취급이 용이하지 않은 EO를 사용하려면 고압반응장치를 이용한 반응공정 제어가 필요하다. 또한, 균일계 염기 촉매를 사용하면 반응종결 후에 잔존하는 염기를 제거하기 위한 중화공정이 필요하고, 촉매와 생성물의 분리가 어렵다는 문제점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 균일계 염기 촉매를 사용하지 않고 불균일계 염기 촉매를 사용하여 SP와 ethylene carbonate (EC)의 반응으로부터 제조된 SP-A에 대하여 보고하고자 한다. SP-A의 제조에 사용된 불균일계 염기 촉매는 KOH를 La₂O₃에 담지시킨 후, 소성하여 얻었다. 또한, EO 대신 EC를 사용함으로써 고압반응이 아닌 상압반응 조건에서 SP-A제조가 가능하였다. 합성된 SP-A의 평균 분자량 크기는 반응조건에 따라서 매우 다양하게 나타났다. KOH/La₂O₃촉매 하에서 제조된 SP-A의 평균 분자량 크기는 반응온도, 촉매의 첨가량 및 EC의 첨가량을 조절함으로써 임의로 조절이 가능하였다.

Abstract

Styrenated phenol alkoxyates (SP-A) were prepared from styrenated phenol (SP) and ethylene oxide (EO) under a homogeneous base catalyst. However, to use EO that is difficult to handle, a high-pressure reaction device capable of controlling the reaction process should be used. Additionally, when a homogeneous base catalyst is used, a neutralization process is required to remove residual bases after the reaction, and it is also difficult to separate the catalyst and the product. Therefore, in this study, we report the results of SP-A prepared from the reaction of SP and EC using only heterogeneous base catalysts. The heterogeneous base catalyst was obtained by supporting KOH on La₂O₃ and calcination. Using EC instead of EO, it was possible to produce SP-A under the atmospheric rather than high-pressure reaction condition. Average molecular weights of synthesized SP-A varied greatly depending on reaction conditions. The average molecular weight of SP-A prepared using the KOH/La₂O₃ catalyst could be controlled arbitrarily by controlling the reaction temperature and added catalyst and EC amounts.

Keywords: supported catalyst, styrenated phenol, alkoxyate, ethylene oxide, ethylene carbonate

1. 서 론

반도체 소자의 제조 공정 중에는 소자의 제조 시 영향을 줄 수 있는 입자나 오염물질을 제거하고 표면을 다른 불순물로부터 보호하기 위

한 표면 세척 공정이 필요하다. 특히, 최근 사용량이 급격히 증가하고 있는 액정표시장치의 제조공정에서 배향막 도포 공정은 액정의 배향성 및 성능을 결정하므로 기판의 청정상태가 매우 중요하다[1].

계면활성제는 한 분자 내에 친수기와 소수기를 가진 화합물로서 용액의 표면장력 저하, 습윤, 유화, 가용화, 분산 및 기포성 등의 특성을 지니며 분자 내의 친수성-소수성 그룹 사이의 상호작용에 의하여 일정한 질서를 갖게 되어 열역학적으로 안정된 콜로이드 상태의 초분자 결집체 형성이 가능하다[2]. 이러한 특성을 이용하여 반도체 소자의 제조 공정에서 표면 세척 공정에 널리 이용되고 있다.

[†] Corresponding Author: Suncheon National University,
School of Polymer and Chemical Engineering, 235, Jungang-ro, Suncheon-si,
Jeollanam-do
Tel: +82-61-752-2130 e-mail: mchung@suncheon.ac.kr

Table 1. Reaction Conditions of SP-A

	Reaction temperature (°C)	Amount of EC (eq)	Amount of catalyst (wt%)
Entry 1	170	1.0	5
Entry 2	170	5.0	5
Entry 3	170	12.3	5
Entry 4	170	14.0	5
Entry 5	170	30.0	5
Entry 6	110	12.3	5
Entry 7	130	12.3	5
Entry 8	150	12.3	5
Entry 9	170	12.3	0.5
Entry 10	170	12.3	1
Entry 11	170	12.3	3

(Reaction Time : 24 h, Catalyst : 600 °C Calcination 30 wt%-KOH/La₂O₃)

계면활성제 중 특히 alkoxyate화합물은 비이온성 계면활성제로서 전자재료용 현상액의 주 원료로 사용할 수 있다. 일반적으로 alkoxyate화합물의 제조방법은 염기 촉매 하에서 phenol과 epoxide가 반응하여 제조되어진다. Nie[3]는 NaOH 촉매 하에서 phenol과 epoxide를 고압반응 조건에서 반응시켜 alkoxyate가 95% 수율로 제조됨을 보고하였다. 또한, Wang 등[4]은 KOH 촉매 하에서 phenol과 epoxide를 고압반응 조건에서 반응시켜 alkoxyate가 제조되고, 반응조건을 달리하여 얻어진 생성물의 평균 분자량 크기가 조절되는 결과를 보고하였다.

그러나, ethylene oxide (EO)제품은 취급상 어려워 사용하기 위하여 정량적으로 제어 및 공급할 수 있는 고압 반응장치의 설계가 필요하다. 또한, 균일계 염기 촉매를 사용하면 반응 종결 후 잔존하는 촉매를 제거하기 위한 중화공정이 필요하고, 촉매와 생성물의 분리가 용이하지 않은 문제점이 있다[5,6].

본 연구는 styrenated phenol alkoxyate (SP-A)의 제조 시 촉매와 생성물의 분리가 용이하도록 불균일 촉매인 KOH/La₂O₃ 촉매를 이용하였다. 또한, SP-A를 상압 반응조건에서 제조하기 위하여 취급이 어려운 EO를 사용하지 않고, 고체 형태의 취급이 용이한 ethylene carbonate (EC)를 사용하였다. Styrenated phenol (SP) 대비 EC의 첨가량 (eq), 촉매의 첨가량 및 반응온도를 조절함으로써 얻고자하는 SP-A의 평균 분자량 크기는 임의로 조절이 가능하였다.

2. 실험

2.1. 실험재료 및 분석기기

본 실험에 사용된 La₂O₃ (Alfa Aesar, 99.9%), ethylene carbonate (Alfa Aesar, 99%), KOH (대정화학, 85%)는 구입 후 별도의 정제 없이 사용되었다. Yun 등[7]이 보고한 문헌에 따라 SO₄²⁻/ZrO₂ 촉매 하에서 phenol과 styrene의 반응으로부터 합성된 SP의 조성은 mono-styrenated phenol (MSP) 13.8%, di-styrenated phenol (DSP) 72.1% 및 tri-styrenated phenol (TSP) 14.1%의 조성으로 이루어져 있었다.

제조된 KOH/La₂O₃ 촉매는 Thermo Scientific사의 FT-IR (Nicolet iS5), Dong-il Shimadzu사의 X선 회절분석기(XRD-7000) 및 Proteckorea사의 BET (ASAP 2010 Micropore)로 분석되었고, 생성된 SP-A의 평균 분자량 크기는 Waters사의 GPC (515 HPLC pump WAT06989)를 이용하여 측정되었다.

2.2. 담지 촉매의 제조

200 mL 쉬링크 튜브에 아르곤 치환 후 KOH (106.94 mmol, 6 g)와 증류수 20 mL를 첨가하여 30 wt%의 KOH 수용액을 제조한다. 상온에서 10 min 동안 교반하고, La₂O₃ (30.69 mmol, 10 g)를 첨가하고 3 h 동안 교반하여 담지시킨다. 미반응된 KOH용액을 필터로 제거하고, 침전물을 150 °C에서 6 h 동안 건조시킨다. 건조된 촉매는 막자사발을 이용하여 분쇄하여 분말형태로 만든다. 그 후, 600 °C에서 6 h 동안 소성하여 KOH/La₂O₃ 촉매를 얻었다. 제조된 촉매는 사용하기 전까지 아르곤 기체 분위기 하의 데시케이터에 보관하였다[8-11].

2.3. Styrenated Phenol Alkoxyate (SP-A)의 합성

200 mL 쉬링크 튜브에 아르곤 치환 후 MSP 13.8%, DSP 72.1%, TSP 14.1%인 SP (10 mmol, 3.03 g)를 첨가하고, KOH/La₂O₃ (반응물 대비 5 wt%)와 EC (123 mmol, 10.83 g)를 첨가한다. 반응물이 담겨진 반응기에 환류장치를 설치하고 아르곤 기체 분위기하에서 반응온도, 반응물의 몰 비, 촉매의 첨가량 등을 조절하면서 24 h 동안 반응을 실시하였다. 자세한 반응조건은 Table 1에 나타내었다. 반응 시작 후, 10 min 뒤 CO₂ 기포가 생성되는 것이 관찰되었다. 반응 종결 후 필터를 사용하여 촉매를 제거하였고 아세톤을 첨가하여 용출된 침전물을 필터로 제거하였다. 진공 건조하여 갈색의 점성을 가진 액체를 얻었다. 얻어진 생성물은 GPC를 이용하여 평균 분자량 크기를 측정하였다[3,4,12,13].

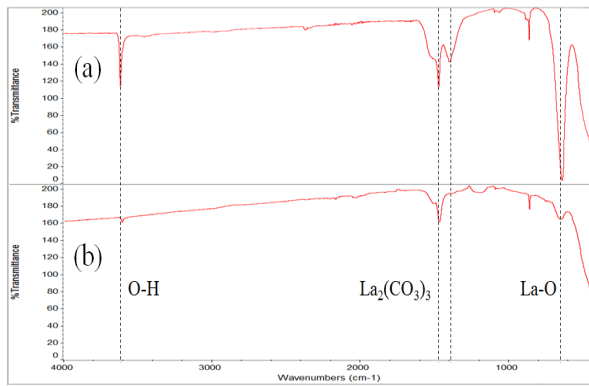
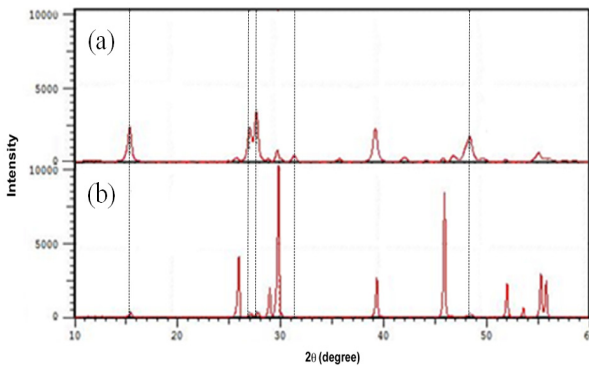
3. 결과 및 고찰

3.1. 촉매의 특성분석

Figure 1은 촉매의 화학적 특성을 알기 위해 30 wt%-KOH/La₂O₃ 담지촉매와 La₂O₃의 FT-IR측정 결과를 나타내었다. Feng 등[14]은 LaCl₃·7H₂O와 올레산의 반응으로부터 나노와이어 La(OH)₃의 제조에서 3612 및 646 cm⁻¹의 피크를 확인하였다. 또한, 3,612 cm⁻¹는 물리 흡착된 물 분자로 인한 O-H 신축 진동 피크이며, 646 cm⁻¹는 주변 공기의 수분과 반응하여 La₂O₃가 La(OH)₃으로 변형되어 나타난 La-O 피크로 보고하였다. Figure 1에 나타난 결과에서도 마찬가지로 3,608 및 634 cm⁻¹에서 피크가 관찰되었으며, 이는 J. Feng 등에 의하여 보고된 내용과 동일한 결과를 얻은 것으로 보인다. 또한, 1,463 및 1,388 cm⁻¹에서 새로운 피크가 관찰되었는데, 이는 Savage 등[15]이 보고한

Table 2. Effect of BET Surface Area of KOH/La₂O₃ Catalyst by Concentration of KOH Solution

Catalyst	Calcination temperature (°C)	BET surface area (m ² /g)
La ₂ O ₃	-	4.46
10 wt%-KOH/La ₂ O ₃	600	3.90
30 wt%-KOH/La ₂ O ₃	600	2.99
50 wt%-KOH/La ₂ O ₃	600	1.78
30 wt%-KOH/La ₂ O ₃	300	0.39
30 wt%-KOH/La ₂ O ₃	400	1.41
30 wt%-KOH/La ₂ O ₃	500	1.76

Figure 1. The FT-IR spectrum of catalyst ((a) : 600 °C calcination 30 wt%-KOH/La₂O₃, (b) : La₂O₃).Figure 2. XRD patterns of catalysts ((a) : 600 °C calcination 30 wt%-KOH/La₂O₃, (b) : La₂O₃).

La₂O₃에 대한 탄산염의 피크로 판단된다.

KOH/La₂O₃ 촉매의 FT-IR 측정 결과에서 La(OH)₃ 및 La₂(CO₃)₃의 피크가 관찰되는데, Klingenberg 등[16]은 La₂O₃가 주변 공기의 수분 및 CO₂와 반응하여 La(OH)₃ 및 La₂(CO₃)₃을 생성하기 때문인 것으로 보고하였다.

Table 2는 제조 조건을 달리하여 얻어진 촉매의 비표면적을 나타내었다. 촉매의 비표면적은 시료를 2 h 동안 150 °C 전처리 과정을 거친 후에 BET장치를 사용하여 측정되었다. Table 2에 나타난 것과 같이 첨가해준 KOH의 농도가 높아질수록 비표면적이 점차 줄어드는 경향을 보이며, 이는 담지용액의 농도가 높아질수록 KOH의 함량이 증가하게 되어 La₂O₃에 KOH담지가 많이 진행된 것으로 판단된다. 소성온도가 높아질수록 비표면적이 미미하게 증가하는 경향이 나타났고, 이

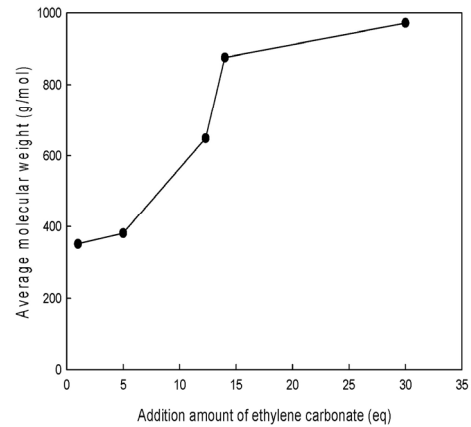


Figure 3. Average molecular weight change of SP-A as a function of the amount of EC (eq) added.

는 소성온도가 증가함에 따라 촉매 표면 담지성분들의 산화반응에 의해 비표면적이 증가한 것으로 판단된다.

Figure 2는 La₂O₃ 담체에 30 wt% KOH 수용액을 함침법으로 담지하여 제조된 KOH/La₂O₃ 촉매의 XRD 분석결과이다. Figure 2의 (a)에서는 (b)에서 관찰되지 않은 새로운 피크가 관찰되었다. Hu 등[17]은 La(OH)₃의 XRD 패턴이 2θ가 15.5, 27.5 및 48° 부근에서 관찰된다고 JCPDS 36-1481에 근거하여 보고하였다. Figure 2의 (a)에 나타난 결과에서도 C. Hu 등이 보고한 것과 동일한 XRD 패턴이 관찰되었는데, 이는 La(OH)₃의 피크로 판단된다. 또한, Mohamad 등[18]은 KOH가 XRD 패턴에서 30.9° 부근에서 관찰된다고 JCPDS 15-890에 근거하여 보고하였다. 본 실험에 사용된 KOH/La₂O₃ 촉매의 XRD 결과에서도 동일한 패턴이 관찰되었으며, 이는 KOH의 피크인 것으로 판단된다.

3.2. Styrenated Phenol Alkoxyate (SP-A)의 합성

SP-A는 다양한 반응조건 하에서 합성하였으며, 반응조건은 Table 1에 나타내었다. 촉매를 사용하지 않고 SP 혼합물과 EC를 반응시킨 결과 SP-A는 합성되지 않았다. KOH/La₂O₃ 담지 촉매를 이용하여 제조되어진 SP-A의 평균 분자량 크기는 GPC를 이용하여 측정되었다.

Figure 3은 반응온도 170 °C, 반응물 대비 촉매량 5 wt%, 반응시간 24 h의 반응조건에서 EC의 첨가량 변화에 따른 SP-A의 평균 분자량 크기와 관계의 관계를 나타내었다. Kinage 등[12] 및 Ziosi 등[19]은 KL Zeolite 등 여러 가지 불균일 염기촉매 상에서 phenol과 EC를 반응시켜 alkoxyate화합물이 제조됨을 보고하였다. 또한, 반응물의 phenol 대비 EC의 몰 비율이 증가할수록 생성물의 평균분자량 크기가 증가하는 경향을 확인하였다. 이는 첨가하는 EC의 당량이 증가함으로써

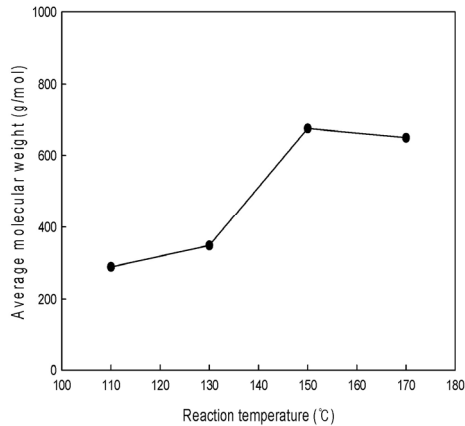


Figure 4. Average molecular weight change of SP-A as a function of reaction temperature.

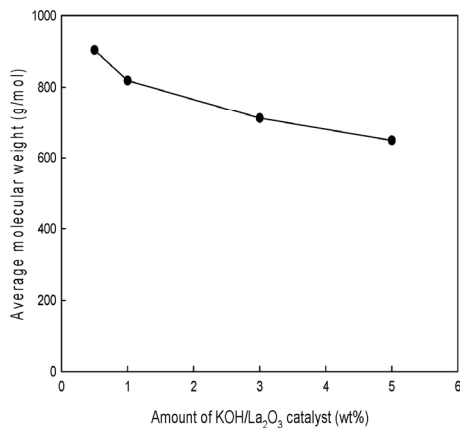


Figure 5. Average molecular weight change of SP-A as a function of addition amount of KOH/La₂O₃ catalyst.

에스테르 교환반응이 활발하게 일어나 평균 분자량 크기가 증가한 것으로 보인다. Figure 3에 나타난 결과에서도 첨가된 EC의 당량이 증가하면 생성물의 평균 분자량 크기는 증가하는 경향이 관찰되었는데, 이는 Kinage 등 및 Ziosi 등에 의해 보고된 내용과 유사한 결과를 얻은 것으로 보인다.

Figure 4는 반응시간 24 h, 반응물 대비 촉매량 5 wt%, SP 대비 EC의 첨가량 12.3 당량의 반응조건에서 반응온도 변화에 따른 SP-A의 평균 분자량 크기와와의 관계를 나타내었다. Ziosi 등[19]은 NaOH 촉매 하에서 phenol과 EC를 반응으로부터 2-phenoxy ethanol을 제조하였고, 높은 온도에서는 byproduct인 bis(2-phenoxyethyl) carbonate의 생성이 증가한다고 보고하였다. Figure 4에서는 반응온도 110~150 °C 사이에서는 온도가 증가할수록 평균 분자량 크기가 증가하는 경향을 보였지만, 170 °C에서는 평균 분자량 크기가 감소하였다. 이는, Ziosi 등이 보고한 내용과 유사한 결과로서 by-product의 생성으로 인하여 평균 분자량 크기가 작게 생성된 것으로 판단된다.

Figure 5는 반응시간 24 h, 반응온도 170 °C, SP 대비 EC의 첨가량 12.3 당량의 반응조건에서 촉매의 첨가량 변화에 따른 SP-A의 평균 분자량 크기와와의 관계를 나타내었다. Ziosi 등[19]은 NaOH 촉매 하에서 phenol과 EC의 반응으로부터 2-phenoxy ethanol의 합성에서 용매의 부재 하에 촉매의 첨가량이 증가하면 반응물 간의 접촉이 어려워

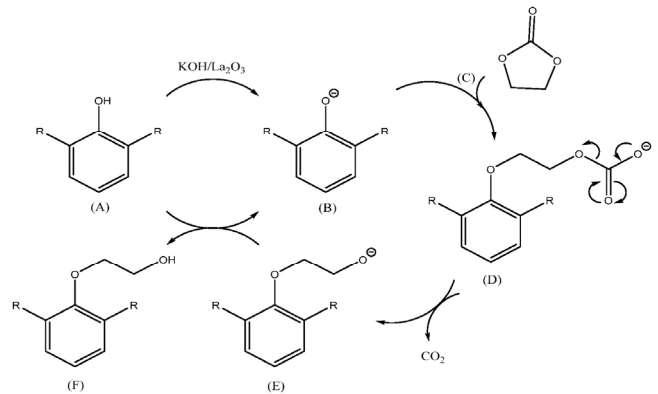


Figure 6. Proposed reaction mechanism of styrenated phenol alkoxylate (R = styryl).

반응속도가 느려진다고 보고하였다. 본 실험에서도 용매가 부재한 반응이기 때문에 촉매의 첨가량을 증가시키면 반응물간 접촉이 어려워 평균 분자량 크기가 감소되는 결과가 관찰되었다.

Ziosi 등[19]은 NaOH 촉매 하에서 phenol과 EC를 반응시켜 2-phenoxy ethanol의 합성에 대한 연구결과를 보고하였으며, 반응 메커니즘을 제시하였다. 또한, Ziosi 등이 제시한 반응 메커니즘과 본 연구 결과의 메커니즘이 동일하다고 판단된다. 본 연구 결과의 메커니즘을 Figure 6에 나타내었다. SP (A)는 KOH/La₂O₃ 촉매에 의해 탈수소화된 후(B), EC를 첨가하면(C) 친핵성 반응에 의해 부가생성물(D)이 형성된다. (D)는 CO₂ 손실로 인하여 강한 염기인 탈양성자 형태(E)로 전환되고, 초기의 수소와 반응하여 SP-A (F)가 제조된다. 그러나, 과량의 EC를 첨가할 경우에 탈양성자 형태(E)에서 다른 EC와 연속적으로 반응하여 C → D → E의 순으로 반복하여 평균 분자량 크기가 큰 SP-A의 제조가 가능하였다.

4. 결 론

본 연구는 불균일계 염기 촉매인 KOH/La₂O₃ 담지 촉매를 이용한 SP-A의 제조에서 반응온도, SP 대비 EC의 첨가량 및 촉매의 첨가량을 조절하며 반응을 실시하였다. EC의 첨가량이 증가하면 생성물인 SP-A의 평균 분자량 크기는 점차 증가하였고, 촉매의 첨가량이 감소할수록 평균 분자량 크기가 크게 생성되는 결과를 보였다. 또한, 취급이 어려운 EO대신 고체 형태의 취급이 용이한 EC를 사용함으로써 고압 반응장치를 사용하지 않고, 상압반응 조건 하에서 alkoxyate를 제조할 수 있었다. Alkoxyate의 제조 시 균일계 염기 촉매가 아닌 불균일계 염기 촉매인 KOH/La₂O₃ 담지 촉매를 사용함으로써 생성물과 촉매의 분리가 매우 용이하였고, 생성물인 SP-A의 평균 분자량 크기는 반응조건에 의해 임의로 조절할 수 있었다.

감 사

본 연구는 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업(NRF-2014H1C1A1066844)과 2015년 순천대학교 학술연구비 공모과제(2015-0137)로 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. H. B. Song, G. E. Ahn, B. M. Hwang, U. H. Lee, J. R. Kim, B. J. Jung, and B. H. Gang, Water-based cleaning liquid composition for electronic materials and cleaning method using the same, *Korean Patent* 101,571,753 (2015).
2. J. C. Lim, J. S. Park, D. S. Han, J. S. Kim, S. Lee, D. H. Mo, and J. S. Lee, A study on isoelectric point and softness of an ethylene oxide adducted amphoteric surfactant, *Appl. Chem. Eng.*, **6**, 521-528 (2012).
3. C. Nie, Method for preparing phenoxyethanol, *Chinese Patent* 104,926,618 (2015).
4. L. Wang and D. Qin, Method for producing alkoxylate through microchannel reactor, *Chinese Patent* 106,279,664 (2016).
5. I. Toshiaki and U. Yoshitaka, Process for producing high purity 2-phenoxyethanol reaction solution, *Japanese Patent* 143,075 (2004).
6. Klumpe and Marcus, Process for producing allyl alcohol alkoxylate, *Korean Patent* 100,005,856 (2014).
7. H. J. Yun, Y. H. Lee, S. H. Son, M. C. Chung, M. K. Jang, E. J. Shin, S. H. Jung, W. B. Kwak, W. J. Jeong, and H. G. Ahn, Preparation of styrenated phenol by alkylation of phenol with styrene over $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZrO}_2$ catalyst, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **17**, 2776-2779 (2017).
8. K. J. Kim and H. G. Ahn, Complete oxidation of toluene over bi-metallic Pt-Au catalysts supported on $\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, *Appl. Catal. B*, **91**, 308-318 (2009).
9. R. M. Pacia, S. W. Pyo, and Y. S. Ko, Synthesis and adsorption characteristics of guanidine-based CO_2 adsorbent, *Appl. Chem. Eng.*, **4**, 473-478 (2017).
10. K. W. Kim, S. M. Lee, and S. C. Hong, A study on characterization for catalytic oxidation of nitrogen monoxide over Mn/TiO_2 catalyst, *Appl. Chem. Eng.*, **5**, 474-480 (2014).
11. S. M. Lee, H. J. Choi, and S. C. Hong, The effect of oxygen in low temperature SCR over Mn/TiO_2 Catalyst, *Appl. Chem. Eng.*, **1**, 119-123 (2012).
12. A. K. Kinage, S. P. Gupte, R. K. Chaturvedi, and R. V. Chaudhari, Highly selective synthesis of mono-ethylene glycol phenyl ethers via hydroxyalkoxylation of phenols by cyclic carbonates using large pore zeolites, *Catal. Commun.*, **9**, 1649-1655 (2008).
13. J. Wu, J. Zhang, X. Wang, and L. Sun, A preparation method of polybenzene polyether succinate and its sulfonate, *Chinese Patent* 102875799 (2013).
14. J. Feng, X. Li, M. Wang, X. Zheng, J. Bai, L. Wang, and Y. Peng, One-pot, template-free synthesis of hydrophobic single-crystalline $\text{La}(\text{OH})_3$ nanowires with tunable size and their d^0 ferromagnetic properties, *RSC Adv.*, **5**, 16093-16100 (2015).
15. N. O. Savage, S. A. Akbar, and P. K. Dutta, Titanium dioxide based high temperature carbon monoxide selective sensor, *Sens. Actuators B*, **72**, 239-248 (2001).
16. B. Klingenberg and M. A. Vannice, NO adsorption and decomposition on La_2O_3 studied by driftes, *Appl. Catal. B*, **21**, 19-33 (1999).
17. C. Hu, H. Liu, W. Dong, Y. Zhang, G. Bao, C. Lao, and Z. L. Wang, $\text{La}(\text{OH})_3$ and La_2O_3 nanobelts-synthesis and physical properties, *Adv. Mater.*, **19**, 470-474 (2007).
18. A. A. Mohamad, N. S. Mohamed, M. Z. A. Yahya, R. Othman, S. Ramesh, Y. Alias, and A. K. Arof, Ionic conductivity studies of poly(vinyl alcohol) alkaline solid polymer electrolyte and its use in nickel-zinc cells, *Solid State Ion.*, **156**, 171-177 (2003).
19. P. Ziosi, T. Tabanelli, G. Fornasari, S. Cocchi, F. Cavani, and P. Righi, Carbonates as reactants for the production of fine chemicals: the synthesis of 2-phenoxyethanol, *Catal. Sci. Technol.*, **4**, 4386-4395 (2014).