

용매 추출에 의한 조제 메틸나프탈렌유에 함유된 함 질소화합물의 저감에 관한 실험적 연구(I): 5성분계 모델 조제 메틸나프탈렌유에 함유된 함 질소화합물의 저감

강호철 · 김수진*,†

한국화학연구원 환경자원연구센터, *청운대학교 화학공학과
(2022년 5월 25일 접수, 2022년 6월 28일 수정, 2022년 6월 28일 채택)

Experimental Study on Reduction of Nitrogen-Containing Compounds Contained in Crude Methylnaphthalene Oil by Solvent Extraction (I): Reduction of Nitrogen-Containing Compounds Contained in Model Crude Methylnaphthalene Oil of 5 Components System

Ho-Cheol Kang and Su Jin Kim*,†

Environmental Resources Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 34114, Korea

*Department of Chemical Engineering, Chungwoon University, Incheon 22100, Korea

(Received May 25, 2022; Revised June 28, 2022; Accepted June 28, 2022)

초 록

용매 추출에 의해 5성분계 모델 조제 메틸나프탈렌유(CMNO)에 함유된 함 질소화합물(NC)의 저감을 실험적으로 검토했다. 원료로서는 3종류의 NC [퀴놀린(QU), 이소퀴놀린(IQU), 인돌(IN)]과 2종류의 2환 방향족화합물[1-메틸나프탈렌(1MNA), 2-메틸나프탈렌(2MNA)]로 구성된 5성분계 모델 CMNO를, 용매로서는 포름아미드 수용액을 각각 사용했다. 초기 용매에 함유된 물의 체적분율($y_{w,0}$)의 증가는 NC의 분배계수와 수율을 급격히 감소시켰으나, 역으로 2MNA를 기준한 NC의 선택도를 증가시켰으며 용매/원료의 체적분율(S/F)의 증가는 NC의 분배계수, 수율과 선택도를 동시에 증가시켰다. 일정한 조건($y_{w,0} = 0.1$, S/F = 1, 평형온도 303 K)하에서 얻어진 QU, IQU와 IN의 수율은 30%, 31%와 40%를, 선택도는 15, 15, 20을 각각 보였다. 우수한 NC의 수율과 선택도로부터 본 연구의 포름아미드 추출법은 모델 CMNO에 함유된 NC의 저감법으로 기대되었다.

Abstract

The reduction of nitrogen-containing compounds (NC) containing the model crude methylnaphthalene oil (CMNO) of 5 compounds system was experimentally studied by solvent extraction. The model CMNO consisting of 3 kinds of NC including quinolone (QU), iso-quinoline (IQU), indole(IN) and 2 kinds of bicyclic aromatic compounds such as 1-methylnaphthalene (1MNA), 2-methylnaphthalene (2MNA) as raw materials, as well as the aqueous solution of formamide as a solvent, were used. The increase in the volume fraction of water to the solvent at the initial state ($y_{w,0}$) sharply decreased, but the distribution coefficient and the yield of NC conversely increased the selectivity of NC based on 2MNA, and an increase in the volume fraction of solvent to feed (S/F) simultaneously increased the distribution coefficient, yield and selectivity of NC. The yields of QU, IQU and IN under constant conditions ($y_{w,0} = 0.1$, S/F = 1, equilibrium temperature 303 K) were 30%, 31% and 10%, respectively, and selectivity was 15, 15 and 20, respectively. From the excellent yield and selectivity of NC, the formamide extraction method of this study was expected as a method for reducing the NC contained in the model CMNO.

Keywords: Coal tar, Crude methylnaphthalene oil, Nitrogen-containing compounds, Formamide extraction, Distribution equilibrium

1. 서 론

Figure 1[1]에 나타낸 바와 같이 콜타르의 증류로부터 유출된 나프탈렌유(bp 483-533 K)의 증류 잔사유인 조제 메틸나프탈렌유(CMNO) 중에는 퀴놀린(QU), 이소퀴놀린(IQU), 인돌(IN)과 같은 유용한 함 질소화합물(NC)이 다량 함유되어 있다. 이들 NC의 유도체들은 마취제, 항고혈압제, 항진균제, 살균제, 혈관확장제 등과 같은 의약, 자스민과

† Corresponding Author: Chungwoon University
Department of Chemical Engineering, Incheon 22100, Korea
Tel: +82-82-32-770-8187 e-mail: sujkim@chungwoon.ac.kr

같은 향료, 염료, pH 지시약 등의 제조에 유용하게 활용되고 있다 [2-8]. 한편, 위에서 언급한 NC는 대기오염의 원인이 되고 불쾌한 냄새가 나기 때문에 CMNO에 함유된 바람직하지 않은 불순물이다 [1,2,8]. 현재 QU 및 0.1% 이상의 QU를 함유한 혼합물은 유해화학물질로 분류되고 있다. 따라서 약 1.4%의 QU를 함유한 CMNO는 유해화학물질로 운송 및 취급 등에 많은 제약이 따른다[2]. 이와 같은 관점에서 CMNO에 함유된 NC의 저감화를 통한 CMNO의 품질향상, 품질향상과정을 통해 회수된 메틸나프탈렌이 다량 함유된 추잔유의 모델 산업에의 활용과 추출유 중에 함유된 IN과 같은 유용 성분의 고순도 정제가 가능하게 되면, 자원의 재활용이라는 관점에서 그 의미가 매우 크다고 할 수 있다.

지금까지 CMNO 및 흡수유와 같은 콜타르의 증류 부산물 중에 함유된 NC의 조분리는 주로 산과 염기 물질을 사용한 반응추출에 의해 이루어지고 있다[1-3]. 콜타르의 증류 부산물에 함유된 NC를 조분리하기 위한 반응추출은 공정이 복잡하고, 용매의 회수 및 재활용 또한 매우 어렵다. 따라서 보다 간단하고 효율적인 화학적 조분리법의 개발이 필요하다[2,3].

현재 콜타르의 증류 부산물 중에 함유된 NC의 조분리는 위에서 언급한 산 및 염기 물질을 사용한 반응추출, 유기용매 추출[2-5,7-9], 이온성 액체를 사용한 추출[10-12], 포집 착물화[13,14], 흡착[15], 액막 투과[6]와 초임계 추출[1,16] 등의 분리법에 의해 연구되고 있다. Egashira[3,4], Ukegawa[8] 및 Kodera[9]는 메탄올 수용액을 용매로 사용하여 흡수유에 함유된 NC의 조분리를 보고했지만, 이 메탄올 추출은 NC의 낮은 선택성으로 인해 분리의 관점에서 만족스럽지 못하다.

저자 등은 이전 연구[2,5,7]에서 CMNO와 유사한 성분과 조성으로 구성된 흡수유를 원료로, 포름아미드 수용액을 용매로 각각 사용하여 분배평형을 행해 NC의 분배계수와 2-메틸나프탈렌(2MNA)을 기준한 NC의 선택도의 밸런스 측면에서 메탄올 추출에 비해 포름아미드 추출이 유리한 분리방법을 보고했다.

본 연구는 콜타르 산업체에서 생산된 CMNO에 함유된 NC의 조분리에 대한 포름아미드 추출의 기초 정보를 축적하기 위한 목적으로, 우선 3종류의 NC(QU, IQU, IN)와 2종류의 2환 방향족화합물[BAC; 2MNA, 1-메틸나프탈렌(1MNA)]으로 구성된 5성분계 모델 CMNO를 제조하여 모델원료와 포름아미드 수용액 간의 분배평형을 행해 모델 CMNO에 함유된 NC의 저감을 검토했다.

2. 실험

2.1. 실험방법

먼저 포름아미드에 증류수를 혼합하여 규정농도의 용매를 작성했다. 일정량의 원료(모델 CMNO)와 용매(포름아미드 수용액)를 투입한 250 ml의 삼각플라스크를 실험온도로 유지시켜 놓은 진동 고온조에 넣어 진동을 개시했다. 일정한 시간이 경과한 후에 진동을 중지, 정치시켜 분-액 로드를 사용하여 추잔상과 추출상을 분취한 후에 각 상의 질량을 측정했다. 분취한 소량의 추잔상과 추출상에 아세톤을 각각 첨가한 후, 각 샘플을 GC분석하여 각 상의 조성을 결정했다. 분석에는 불꽃 이온화 검출기(FID)가 장착된 GC [휴렛팩커드사, HP 6890: 캐필러리 컬럼, HP-1 (30 m x 0.25 mm I.D.)]를 사용했다. 각 샘플의 GC분석은 캐리어 가스 N₂ (유속 1 mL/min), 주입부 온도 523 K, 샘플량 1 μL, 분할비 40 : 1, 초기온도 393 K (유지시간 3 min), 승온속도 8 K/min, 최종온도 593 K (유지시간 3 min)의 조건으로 행했다.

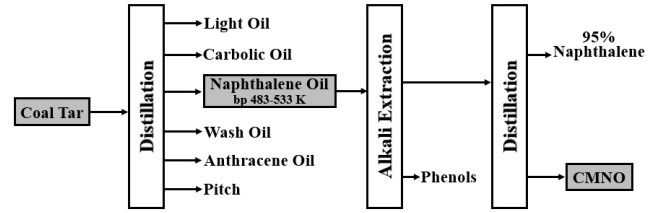


Figure 1. Production scheme of crude methylnaphthalene oil (CMNO)[1].

Table 1. System and Experimental Conditions

System	
Feed	model CMNO*
Solvent	aqueous solution of formamide
Experimental conditions	
Liquid-liquid contacting time, t (h)	24 ~ 96
Operation temperature, T (K)	303
Volume fraction of water to solvent in initial state, y _{w,0} (-)	0.1 ~ 0.2
Volume fraction of solvent to feed, S/F (-)	1 ~ 19

*: model crude methylnaphthalene oil of 5 components system

Table 2. Composition of Model CMNO

Component	Composition (wt%)
Quinoline (QU, C ₉ H ₇ N)	9.75
Iso-quinoline (IQU, C ₉ H ₇ N)	9.86
Indole (IN, C ₈ H ₇ N)	9.13
2-Methylnaphthalene (2-MN, C ₁₁ H ₁₀)	35.03
1-Methylnaphthalene (1-MN, C ₁₁ H ₁₀)	35.05
Others	1.18

2.2. 물질계 및 실험조건

Table 1에 본 연구에 사용한 물질계와 실험조건을 각각 나타냈다. 원료로서는 3종류의 NC (QU, IQU, IN)와 2종류의 BAC (2MNA, 1MNA)으로 구성된 5성분계 모델 CMNO (조성은 Table 2 참조)를, 용매로서는 포름아미드 수용액을 각각 사용했다. 모델원료의 제조는 98 wt% 이상의 Aldrich 상용시약 5성분을 각각 구입하여 추가로 정제하지 않고 그대로 사용했다. 본 연구의 분배평형실험은 온도(T)를 일정하게 유지시켜 액-액 접촉시간(t), 초기 용매 중에 함유된 물의 체적분율(y_{w,0}), 용매/원료(모델 CMNO)의 체적분율(S/F)을 각각 변화시켰다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 정의식

분배 평형조작 후의 추잔유의 잔존율(RR), 성분 i의 분배계수(m_i)와 수율(Y_i) 및 2MNA를 기준한 성분 i의 선택도(β_{i,2MNA})는 다음의 식에 의해 산출했다[6,8,9].

$$RR = R/R_0 \times 100\% \quad (1)$$

$$m_i = y_i / x_i \quad (2)$$

$$Y_i = (E \times y_i) / (R_0 \times x_{i,0}) \times 100\% \quad (3)$$

$$\beta_{i,2MNA} = m_i / m_{2MNA} \quad (4)$$

여기서 R₀는 분배평형 조작 전(t = 0 s)의 모델원료의 질량을, R과

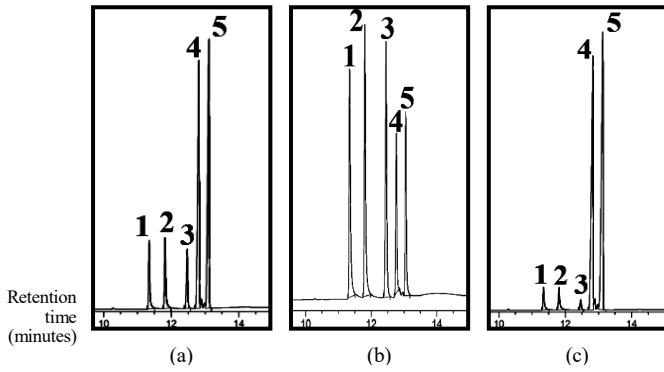


Figure 2. Gas chromatograms of (a) model CMNO, (b) extract phase and (c) raffinate phase. Peak number; 1: quinoline (QU), 2: iso-quinoline (IQU), 3: indole (IN), 4: 2-methylnaphthalene (2MNA), 5: 1-methylnaphthalene (1MNA). Experimental conditions: $y_{w,0} = 0.1$, $S/F = 9$, $T = 303$ K.

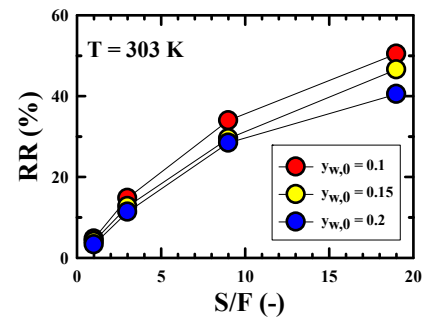


Figure 3. Change of residual rate of raffinate oil (RR) according to volume fraction of water to solvent in initial state ($y_{w,0}$) and volume fraction of solvent to feed (S/F).

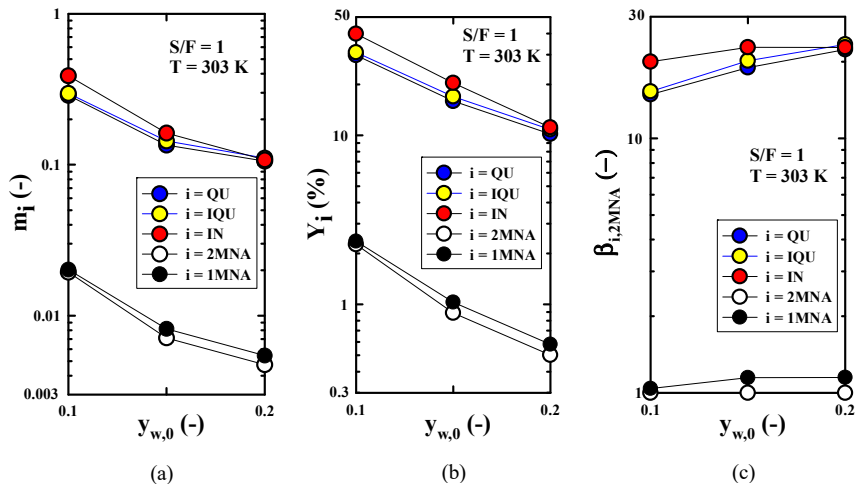


Figure 4. Effect of volume fraction of water to solvent in initial state ($y_{w,0}$) on (a) distribution coefficient (m_i), (b) yield (Y_i) and (c) selectivity based on 2-methylnaphthalene ($\beta_{i,2MNA}$), of component i .

E는 분배평형 조작 후에 회수한 추잔상과 추출상의 질량을 각각 나타낸다. $x_{i,0}$ 는 분배평형 조작 전($t = 0$ s)의 추잔상(모델원료) 중에 함유된 성분 i 의 질량분율을, x_i 와 y_i 는 각각 분배평형 조작 후에 회수한 추잔상과 추출상 중에 함유된 성분 i 의 질량분율을 나타낸다.

본 연구의 분배평형으로부터 얻어진 실측치의 건전성을 확인하기 위하여, 성분 i 의 이동량에 대한 물질수지관계를 식 (5)에 의해 검토했다.

$$R \times x_i = R_0 \times x_{i,0} + E_0 \times y_{i,0} - E \times y_i \quad (5)$$

여기서 E_0 와 $y_{i,0}$ 는 각각 분배평형 조작 전($t = 0$ s)의 추출상의 질량과 추출상 중의 성분 i 의 질량분율을 나타낸다.

추출상 조성의 분석결과를 이용해서 얻어진 추잔상 중의 성분 i 의 질량($R \times x_i$)과 추잔상 조성의 분석결과를 사용해서 얻어진 그것($R \times x_i$)을 비교한 결과, 양자는 $\pm 3\%$ 정도 이내로 일치하여 본 연구의 실측치는 비교적 건전하다고 판단했다. 또한, 실측치의 재현성 조사를 위해 동일한 실험조건으로 2~3회 되풀이해서 분배평형실험을 행한 결과, 추잔상 혹은 추출상 중의 성분 i 에 대한 질량변화는 $\pm 5\%$ 이내로 비교적 양호한 결과를 보였다.

3.2. 모델원료의 가스크로마토그램

본 연구에 사용된 5성분계 모델원료의 가스크로마토그램과 표준시약을 사용하여 동정한 성분명을 Figure 2(a)에 나타냈다. 피크 번호 1, 2와 3이 본 연구의 농도 저감 목적성분인 3종류의 NC (QU, IQU, IN)를 각각 나타낸다.

3.3. 분배평형

평형도달시간의 확인을 위해서 일정한 실험조건하에서의 액-액 접촉($t = 24, 48, 72, 96$ h)을 통해 회수한 추출상과 추잔상을 각각 분석한 결과, $t = 72$ h, 96 h에서 회수된 2상의 조성이 거의 동일했다. 따라서 본 연구에 사용된 계의 평형 도달시간은 72 h 이내에 존재함을 알 수 있었다. 이로부터 본 연구에서 행한 전체 분배평형 실험은 $t = 72$ h 동안 액-액 접촉시켰다.

Figure 3에 RR에 미치는 $y_{w,0}$ 와 S/F 의 영향을 동시에 나타냈다. $y_{w,0}$ 가 증가함에 따라 추출상의 극성이 증가하여 RR은 감소되었으나, S/F 의 증가는 역으로 RR을 증가시키는 일반적인 용매추출의 경향을 보였다. $1 < S/F < 19$ 의 범위에서 $y_{w,0} = 0.1$ 의 경우 약 $4.7\% < RR < 50.4\%$ 를, $y_{w,0} = 0.2$ 의 경우 $3.3\% < RR < 40.5\%$ 의 범위를 보였다.

$y_{w,0}$ 가 m_i , Y_i 와 $\beta_{i,2MNA}$ 에 미치는 영향을 Figure 4(a)-(c)에 각각 나

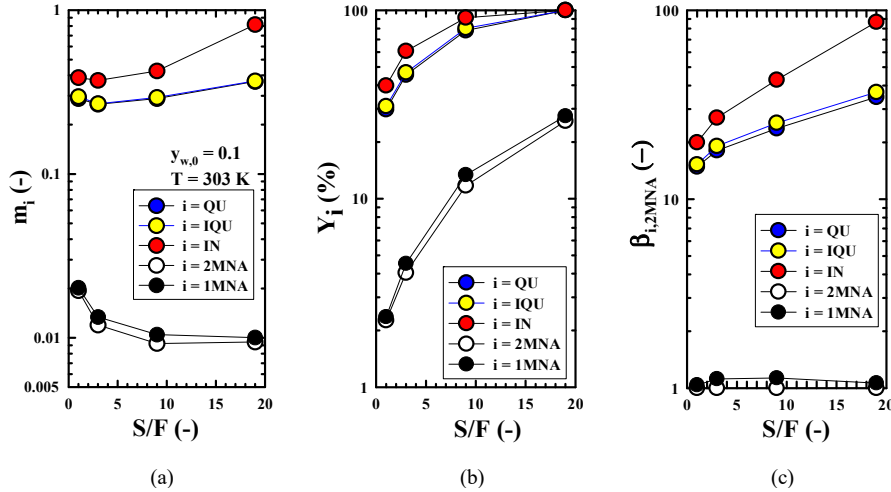


Figure 5. Effect of volume fraction of solvent to feed (S/F) on (a) distribution coefficient (m_i), (b) yield (Y_i) and (c) selectivity based on 2-methylnaphthalene ($\beta_{i,2MNA}$), of component i .

타냈다. $y_{w,0}$ 의 증가는 m_i 와 Y_i 를 급격히 감소시켰는데, 이는 $y_{w,0}$ 가 증가함에 따라 추출상의 극성이 증가하여 생긴 결과라고 사료된다. 각 성분의 극성을 반영하여 3종류의 NC의 m_i 와 Y_i 는 2종류의 BAC의 그것보다 훨씬 컸다. 3종류의 NC의 $\beta_{i,2MNA}$ 는, 역으로 $y_{w,0}$ 가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. m_i 와 Y_i 는 포름아미드 수용액에 대한 각 성분의 극성을 반영하여 $IN > QU = IQU > 1MNA > 2MNA$, $\beta_{i,2MNA}$ 는 $IN > QU = IQU > 1MNA$ 의 순서를 나타냈다. m_{QU} 와 m_{IQU} 및 m_{1MNA} 와 m_{2MNA} 로부터 포름아미드 추출에 의한 QU와 IQU 및 2MNA와 1MNA 간의 분리는 곤란함을 알 수 있었다. S/F = 1과 T = 303 K의 분배평형 조건하의 $0.1 < y_{w,0} < 0.2$ 의 범위에서, NC의 m_i , Y_i 와 $\beta_{i,2MNA}$ 는 $0.11 < m_i < 0.39$, $10\% < Y_i < 40\%$ 와 $15 < \beta_{i,2MNA} < 23.4$ 를 각각 나타냈다. $y_{w,0}$ 에 따른 NC의 m_i 와 $\beta_{i,2MNA}$ 의 밸런스를 고려할 때, 포름아미드 수용액을 용매로 사용한 모델 CMNO 중의 NC의 저감화에는 $y_{w,0} = 0.1$ 인 추출이 경제적으로 유리할 것으로 판단되었다.

Figure 5(a)-(c)에 S/F가 m_i , Y_i 와 $\beta_{i,2MNA}$ 에 미치는 영향을 각각 나타냈다. S/F가 증가함에 따라 NC의 m_i , Y_i 와 $\beta_{i,2MNA}$ 가 동시에 증가하는 경향을 나타냈는데, 이는 S/F의 변화는 용질과 용매사이의 용해능의 변화와 같은 화학적 변화를 일으켜 생겨난 경향으로 사료된다[5]. $y_{w,0} = 0.1$ 과 T = 303 K의 분배평형 조건하의 $1 < S/F < 19$ 의 범위에서, NC의 m_i , Y_i 와 $\beta_{i,2MNA}$ 는 $0.27 < m_i < 0.82$, $30\% < Y_i < 100\%$ 와 $14.9 < \beta_{i,2MNA} < 86.7$ 를 각각 나타냈다. NC의 m_i 와 $\beta_{i,2MNA}$ 의 밸런스를 고려할 때, 포름아미드 수용액을 용매로 사용한 모델 CMNO 중의 NC의 저감화에는 S/F = 1이 경제적으로 유리할 것으로 판단되었다.

일정한 조건($y_{w,0} = 0.1$, S/F = 9, T = 303 K)하의 분배평형에 의해 회수된 추출상과 추산상의 가스크로마토그램을 Figure 2(b)와 (c)에 각각 나타냈다. Figure 2(b)의 추출상의 가스크로마토그램을 Figure 2(a)의 모델 원료의 그것과 비교했을 때, 포름아미드 추출에 의해 3종류의 NC가 다량 추출되어 각 NC 성분의 피크 높이가 매우 증가했지만, 2종류의 BAC의 피크 높이는 상당히 감소하였음을 알 수 있었으나, 역으로 Figure 2(c)의 추산상의 가스크로마토그램은 3종류의 NC가 다량 추출되어짐에 따라 추산상 중의 각 NC 성분의 피크 높이가 매우 감소하여 모델 원료의 가스크로마토그램과 매우 닮음을 보였다. 이로부터 모델 원료 중에 함유된 NC의 저감에 미치는 포름아미드 추

출의 영향을 재차 확인할 수 있었다.

모델 CMNO 중에 함유된 NC의 저감에 미치는 분배평형 조건의 영향을 검토한 본 연구의 결과로부터, 포름아미드 수용액을 사용한 추출법은 모델 CMNO 중의 NC의 저감화를 위한 하나의 유용한 방법이라고 사료된다.

급후, 저자 등은 5성분계 모델 CMNO를 이용한 본 연구의 결과를 활용하여 콜타르 업체로부터 생산된 CMNO를 원료로, 포름아미드 수용액을 용매로 각각 사용한 분배평형의 실험결과를 보고하고자 한다.

4. 결 론

현재 CMNO 중에 함유된 NC의 조분리에 산과 염기 물질을 사용한 반응추출법이 적용되고 있으나, 오늘날에는 보다 간단하고 효율적인 분리법의 개발이 요구되고 있다. 이러한 관점에서, 본 연구는 5성분계 모델 CMNO를 원료로, 포름아미드 수용액을 용매로 사용한 용매추출에 의해 모델 CMNO에 함유된 NC의 저감을 실험적으로 수행하였다. 본 연구에서 적용한 모델 CMNO에 함유된 NC의 저감법인 포름아미드 추출법은 모델 CMNO의 NC를 줄이는 데 매우 효과적인 결과를 보여 지금까지 적용되고 있는 반응추출법의 대안으로 기대되었다.

감 사

본 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R111A3061492).

References

1. K. Sakanishi, H. Obata, I. Mochida, and T. Sakaki, Removal and recovery of quinoline bases from methylnaphthalene oil in a semi-continuous supercritical CO₂ separation apparatus with a fixed bed of supported aluminum sulfate, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **34**, 4118-4124 (1995).
2. S. J. Kim, Upgrading of wash oil through reduction of nitrogen-containing compounds, *Processes*, **9**, 1869-1877 (2021).

3. R. Egashira and M. Nagai, Separation of nitrogen heterocyclic compounds contained in coal tar absorption oil fraction by solvent extraction, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, **43**, 339-345 (2000).
4. R. Egashira and C. Salim, Solvent extraction of nitrogen heterocyclic compounds contained in coal tar absorption oil fraction - improvement of separation performance by addition of aluminum chloride to solvent-, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, **44**, 178-182 (2001).
5. S. J. Kim and Y. J. Chun, Separation of nitrogen heterocyclic compounds from model coal tar fraction by solvent extraction, *Sep. Sci. Technol.*, **40**, 2095-2109 (2005).
6. S. J. Kim, H. C. Kang, Y. S. Kim, and H. J. Jeong, Liquid membrane permeation of nitrogen heterocyclic compounds contained in model coal tar fraction, *Bull. Korean Chem. Soc.*, **31**, 1143-1148 (2010).
7. S. J. Kim, Y. J. Chun, and H. J. Jeong, Separation and recovery of indole from model coal tar fraction by batch cocurrent 5 stages equilibrium extraction, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **18**, 168-172 (2007).
8. K. Ukegawa, A. Matsumura, Y. Kodera, T. Kondo, T. Nakayama, H. Tanabe, S. Yoshida, and Y. Mito, Solvent extraction of nitrogen compounds from a coal tar fraction (Part I) Effect of extraction conditions on the extraction rate and the selectivities of nitrogen compounds, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, **33**, 250-254 (1990).
9. Y. Kodera, K. Ukegawa, Y. Mito, M. Komoto, E. Ishikawa, and T. Nagayama, Solvent extraction of nitrogen compounds from coal liquids, *Fuel*, **70**, 765-769 (1991).
10. D. Xu, M. Zhang, J. Gao, L. Zhang, S. Zhou, and Y. Wang, Separation of heterocyclic nitrogen compounds from coal tar fractions via ionic liquids: COSMO-SAC screening and experimental study, *Chem. Eng. Commun.*, **206**, 1199-1217 (2019).
11. T. Jiao, X. Zhuang, H. He, L. Zhao, C. Li, H. Chen, and S. Zhang, An ionic liquid extraction process for the separation of indole from wash oil, *Green Chem.*, **17**, 3783-3790 (2015).
12. L. Zhang, D. Xu, J. Gao, S. Zhou, L. Zhao, and Z. Zhang, Extraction and mechanism for the separation of neutral *N*-compounds from coal tar by ionic liquids, *Fuel*, **194**, 27-35 (2017).
13. I. Uemasu, Effect of methanol-water mixture solvent on concentration of indole in coal tar using β -cyclodextrin as complexing agent, *J. Jpn. Petrol. Inst.*, **34**, 371-374 (1991).
14. I. Uemasu and T. Nakayama, Concentration of indole in coal tar using α -cyclodextrin as the host for inclusion complexation, *J. Includ. Phenom. Mol.*, **7**, 327-331 (1989).
15. I. Mochida, Y. Q. Fei, and K. Sakanishi, Capture and recovery of basic nitrogen species in coal tar pitch, using nickel sulfate as adsorbent, *Chem. Lett.*, 515-518 (1990).
16. K. Sakanishi, H. Obata, I. Mochida, and T. Sakaki, Capture and recovery of indole from methylnaphthalene oil in a continuous supercritical CO₂ extraction apparatus over a fixed bed of anion-exchange resin, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **35**, 335-337 (1996).

Authors

Ho-Cheol Kang; Ph.D., Environmental Resources Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeon 34114, Korea; hckang@kriect.re.kr

Su Jin Kim; Ph.D., Professor, Department of Chemical Engineering, Chungwoon University, Incheon 22100, Korea; sujikim@chungwoon.ac.kr