

디메틸포름아마이드 추출에 의한 폐플라스틱 열분해유 유분의 품질향상

김수진

청운대학교 화학공학과
(2018년 12월 2일 접수, 2018년 12월 23일 심사, 2018년 12월 23일 채택)

Quality Improvement of Pyrolysis Oil Fraction of Waste Plastic by Dimethylformamide Extraction

Su Jin Kim

Department of Chemical Engineering, Chungwoon University, Inchen 22100, Korea
(Received December 2, 2018; Revised December 23, 2018; Accepted December 23, 2018)

초 록

폐플라스틱 열분해유(WPPO) 유분의 품질향상의 일환으로 WPPO 유분 중에 함유된 파라핀 성분의 회수를 디메틸포름아마이드(DMF) 평형추출에 의해 검토했다. 원료로서는 WPPO를 단증류하여 회수한 유출온도 120~350 °C의 유분을, 용매로서는 DMF 수용액을 각각 사용했다. 초기 용매 중의 물의 질량분율($y_{w,0}$)이 증가할수록 추잔유 중의 파라핀 성분(C_{12} , C_{14} , C_{16} , C_{18})의 농도는 감소했으나, 초기 용매/원료의 질량비($(S/F)_0$)의 증가는 역으로 추잔유 중의 파라핀 성분의 농도를 증가시켰다. $(S/F)_0 = 10$ 에서 회수된 추잔유 중의 C_{12} , C_{14} , C_{16} , C_{18} 파라핀 성분의 농도는 원료의 농도에 비해 약 1.37, 2.00, 2.46, 3.13배 각각 높았다. 또한 $y_{w,0}$ 의 증가와 $(S/F)_0$ 의 감소는 파라핀 성분의 회수율(추잔유 중의 잔류율)을 급격히 증가시켰다. 본 연구를 통해 회수한 추잔유는 신재생에너지로 사용이 가능할 것이라 기대된다.

Abstract

As a part of improving the quality for the fraction of the waste plastics pyrolysis oil (WPPO), the recovery of paraffin components contained in the fraction was investigated by dimethylformamide (DMF) equilibrium extraction. The fraction of a distilling temperature of 120~350 °C recovered from WPPO by the simple distillation and the aqueous solution of DMF were used as a raw material and solvent, respectively. The concentrations of paraffin components (C_{12} , C_{14} , C_{16} and C_{18}) contained in the raffinate decreased by increasing the mass fraction of water in the solvent at an initial state ($y_{w,0}$), whereas, the concentrations of paraffin components contained in the raffinate increased by increasing the mass ratio of the solvent to the feed at an initial state $(S/F)_0$. The concentrations of C_{12} , C_{14} , C_{16} and C_{18} paraffin components present in the raffinate recovered at $(S/F)_0 = 10$ were about 1.37, 2.0, 2.46 and 3.16 times higher than those of the raw materials, respectively. Recovery rates (residue rates present in raffinate) of paraffin components rapidly increased with increasing $y_{w,0}$, and decreasing $(S/F)_0$. The raffinate recovered through this study was expected to be used as a renewable energy.

Keywords: Waste plastic, Pyrolysis oil fraction, DMF equilibrium extraction, Paraffin recovery, Raffinate

1. 서 론

폐플라스틱 제품의 효율적 처리는 전 세계적으로 대두되고 있는 심각한 환경오염과 자원고갈 등의 문제를 다소 해결할 수 있다는 측면에서 그 의미가 매우 크다. 폐플라스틱의 처리법 중 현재 가장 보편화되어 있는 방법으로는 매립과 소각을 들 수 있지만, 매립과 소각을 통한 처리는 각종 환경문제를 유발함으로써 폐플라스틱의 처리에 대한 궁극적인 방법이 되지 못하는 것으로 인식되어, 최근에는 친환경적인

과 동시에 자원의 재활용이 가능하다는 관점에서 폐플라스틱 제품의 효율적 처리법의 하나로서 고온 열분해법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

폴리에틸렌(PE), 폴리프로필렌(PP), 폴리비닐클로라이드(PVC)와 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET) 등의 혼합 폐플라스틱 열분해유(WPPO) 중에는 파라핀, 올레핀, 방향족과 산 성분 등이 함유되어 있다. 지금까지 연료유로서의 사용을 목적으로 고품질의 WPPO를 생산하기 위한 열분해 및 열분해/축매분해 반응 등에 대한 연구[2-6]와 시판 연료와의 비교를 통한 WPPO의 신재생에너지로의 이용 가능성을 검토한 연구[7]는 국내·외에서 다수 보고되고 있지만, 저급 WPPO를 증류하여 회수한 유분을 원료로 사용하여 품질향상을 검토한 연구는 지금까지 거의 찾아볼 수 없다[1].

Figure 1(a)에 제시한 국내 시판 자동차 경유에 약 60~70% 함유된

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

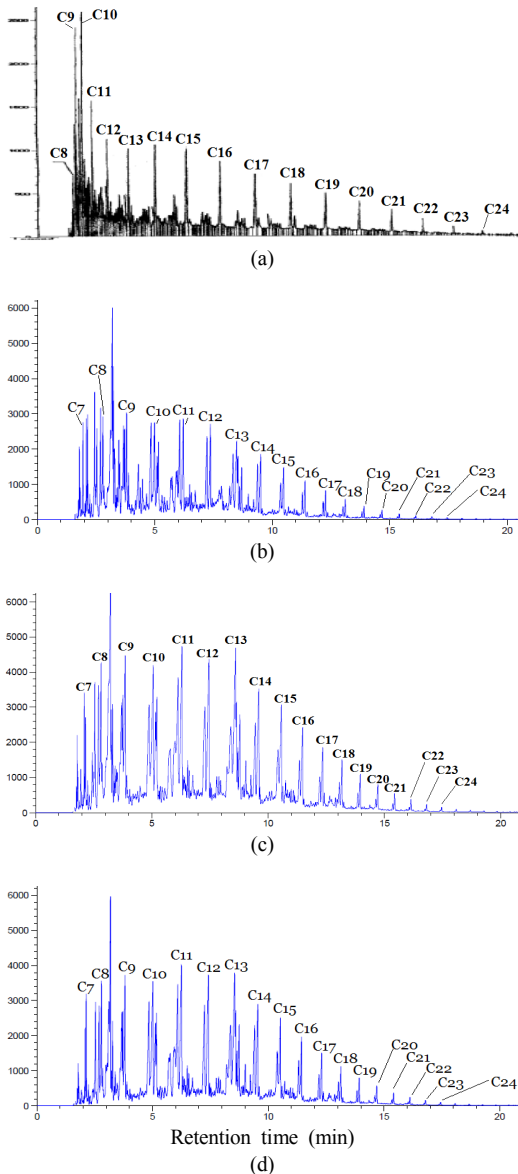


Figure 1. Gas chromatogram of (a) commercial automobile light gas oil[1], (b) feed (fraction of WPPO recovered through simple distillation) [1], (c) raffinate (without solvent) recovered at $y_{w,0} = 0$, $(S/F)_0 = 3$, $T = 28$ °C, and (d) raffinate (without solvent) recovered at $y_{w,0} = 0.03$, $(S/F)_0 = 10$, $T = 28$ °C.

파라핀 성분(C₈-C₂₄)을 참고하여 시판 경유급과 유사한 제품생산을 목표로 한 저급 WPPO 유분의 품질향상을 검토하기 위해서는, 우선 석유계 및 타르계의 탈방향족에 상업적으로 널리 사용되어지고 있는 용매추출[8-11], 유화 액막[12,13] 등과 같은 방법에 의해 저급 WPPO 유분 중에 함유된 파라핀 성분(C₇-C₂₄)과 기타 성분 간의 분리를 우선적으로 검토해 볼 필요가 있다.

지금까지 저자는 WPPO 유분의 품질향상의 일환으로 원료로서 4종류(PE, PP, PVC, PET)의 혼합 WPPO를 단증류하여 회수한 유분(유출 온도 120~350 °C)을, 용매로서 디메틸포름아미드(DMF) 수용액을 각각 사용하여 일정한 실험조건(액-액 접촉시간 $t = 72$ h, 초기 용매 중의 물의 질량분율 $y_{w,0} = 0.03$, 초기 용매/원료의 질량비 $(S/F)_0 = 1$, 평형추출 조작온도 $T = 28$ °C)하에서 회분 병류 4회 평형추출을 행해

Table 1. Material System and Experimental Conditions

System	
Feed	Fraction* of waste plastic pyrolysis oil (WPPO)
Solvent	Aqueous solution of dimethylformamide (DMF)
Experimental conditions	
Liquid - liquid contact time, t (h)	72
Mass fraction of water in solvent at initial, $y_{w,0}$ (-)	0-0.06
Mass ratio of solvent to feed at initial, $(S/F)_0$ (-)	1-10
Operation temperature, T (°C)	28

* Fraction (distilling temperature: 120-350 °C) of WPPO recovered through simple distillation.

저급 WPPO 유분 중에 함유된 파라핀 성분의 회수를 검토한 결과를 보고했다[1].

본 연구는, 전보와 동일한 원료(저급 WPPO 유분)와 용매(DMF 수용액)를 사용하여 액-액 평형추출을 행해 원료 중에 함유된 파라핀 성분의 회수에 미치는 추출 실험인자($y_{w,0}$, $(S/F)_0$)와 조건의 영향을 검토했다. 또한 본 연구를 통해 회수한 최종 제품(추진상을 물로 세정하여 DMF를 제거한 추진유)의 신재생에너지로의 활용 가능성을 검토했다.

2. 실험

2.1. 실험 재료[1]

WPPO (열분해 원료: PE, PP, PVC와 PET의 혼합 폐플라스틱, 반응기: 회분 열분해로, 반응온도: 430~550 °C)는 오메가에너지(주)로부터 제공받았다. DMF (무수, $\geq 99.8\%$ 순도), 파라핀 성분 C₈ (옥탄, $\geq 99.7\%$ 순도), C₉ (노난, 무수, $\geq 99\%$ 순도), C₁₀ (데칸, $\geq 99.8\%$ 순도), C₁₂ (도데칸, $\geq 99.8\%$ 순도), C₁₄(테트라데칸, $\geq 99.5\%$ 순도)와 C₁₆ (헥사데칸, $\geq 99.8\%$ 순도)는 시그마 알드리치에서 구입했다.

2.2. 실험방법

먼저 증류수의 혼합에 의해 규정농도의 용매를 작성했다. 일정량의 원료와 용매를 투입한 500 mL의 삼각플라스크를 실험온도로 유지시켜 놓은 진동 고온조 속에 넣어 72 h 동안 진동시켜 액-액 평형에 도달시켰다. 평형에 도달된 후에 진동을 정지, 정치시켜 추진상과 추출상을 500 mL의 분액깔때기를 사용하여 분취한 후 각 상의 질량을 측정했다. DMF의 가스크로마토그램과 추진유와 추출유의 그것은 중복되기 때문에, 20 mL의 추진상과 추출상에 20 mL의 증류수를 각각 첨가해서 1 h 동안 교반하여 2상에 혼입된 DMF를 제거한 후에 분석했다. 2상의 분석에는 불꽃 이온화 검출기(FID)가 장착된 GC (Agilent Technologies사, 6890N) 및 컬럼[J & W사의 DB-1HT (Length: 30 m, I. D.: 0.32 mm, Film: 0.1 μ m)]을 사용했다. 각 샘플의 GC 분석은 캐리어 가스 N₂ (유속 2.2 mL/min), 주입부 온도 300 °C, 샘플량 1 μ L, 분할비 20 : 1, 초기온도 40 °C (유지시간 1 min), 승온속도 12 °C/min, 최종온도 350 °C의 조건으로 수행했다[1].

2.3. 물질계 및 실험조건

Table 1에 실험에 사용된 물질계와 실험조건을 나타냈다. 평형추출 실험은 원료로서는 전술한 바와 같이 오메가에너지(주)로부터 제공받은 WPPO를 단증류하여 회수한 유분(유출온도: 120~350 °C)을, 용매로서는 DMF 수용액을 각각 사용했다. t 와 T 를 일정하게 유지시켜,

$y_{w,0}$ 와 $(S/F)_0$ 를 변화시켰다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원료(WPPO 유분)의 GC 분석[1]

원료로 사용한 WPPO 유분의 GC 분석 결과, 200종류 이상의 성분이 함유된 원료에는 파라핀, 올레핀, 방향족과 산 성분 등이 함유되어 있다. Figure 1(b)에 원료의 가스크로마토그램과 동정된 18종류의 파라핀 성분의 탄소수(C_7 - C_{24})를 나타냈다. 상기 동정된 18종류의 파라핀 성분은 가스크로마토그램에 나타난 피크의 패턴, 원료의 GC mass 분석 결과와 시그마 알드리치에서 구입한 6종류(C_8 , C_9 , C_{10} , C_{12} , C_{14} , C_{16})의 파라핀 성분의 표준시약을 소량 투입하여 분석한 결과와 일치했다. 극소량 존재하는 C_{21} - C_{24} 의 파라핀 성분에 대한 농도는 제외하고 원료 중에 함유된 C_7 - C_{20} 의 파라핀 성분 각각의 농도는 약 0.04~2.77%의 범위였다. 본 연구에서는 원료에 함유된 파라핀 성분 각각에 대한 정확한 정량이 곤란한 관계로 가스크로마토그램에 나타난 피크의 면적 %를 파라핀 성분 각각의 농도로 취급했다[1]. 본 연구의 원료에 함유된 파라핀 성분(C_7 - C_{24})은 Figure 1(a)의 시판 자동차 경유에 함유된 그것(C_8 - C_{24})과 거의 일치했다.

3.2. 평형추출

Figure 2(a)~(e)에 파라핀 성분 i ($i = C_{12}, C_{14}, C_{16}, C_{18}$)의 회수율(추출상을 물로 세정하여 DMF를 제거한 추출유 중에 함유된 파라핀 성분 i 의 잔류율) $Y_{R,i}$, 추출유의 회수율 Y_R , 파라핀 성분 i 의 농도 증가율 CI_i , 추출상과 추출상의 밀도 ρ 와 추출유의 색상에 미치는 $y_{w,0}$ 의 영향을 각각 나타냈다. $Y_{R,i}$, Y_R 와 CI_i 는 다음과 같이 정의하여 각각 산출했다.

$$Y_{R,i} = \frac{R \times x_i}{R_0 \times x_{i,0}} \times 100\% \quad (1)$$

$$Y_R = \frac{R}{R_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$CI_i = \frac{x_i}{x_{i,0}} \times 100\% \quad (3)$$

여기서 R_0 와 R 는 각각 추출조작 전의 원료의 질량과 추출조작 후에 회수된 추출유의 질량을, $x_{i,0}$ 와 x_i 는 각각 추출조작 전의 초기($t = 0$ s) 원료 중의 파라핀 성분 i 의 질량분율과 추출조작 후에 회수된 추출유 중의 파라핀 성분 i 의 질량분율을 나타낸다.

Figure 2(a)는 $y_{w,0}$ 가 증가함에 따라 용매에 대한 파라핀 성분 i 의 용해도가 감소하여 $Y_{R,i}$ 가 급격히 증가하는 경향을 보였다. 동일한 $y_{w,0}$ 에서, 파라핀 성분의 탄소수가 클수록 용매에 대한 용해도가 적어지기 때문에 $Y_{R,i}$ 는 증가했다. $y_{w,0} = 0$ 에서의 파라핀 성분 C_{12} , C_{14} , C_{16} 과 C_{18} 의 $Y_{R,i}$ 는 각각 약 42.7, 53.7, 60.5%와 66.9%를 보였으나, $y_{w,0} = 0.06$ 에서의 $Y_{R,i}$ 는 각각 약 75.5, 87.1, 93.1%와 100%를 보였다. C_{18} 파라핀 성분의 $Y_{R,i}$ 가 $y_{w,0} = 0.06$ 에서 100%인 것을 감안할 때, 원료 중에 함유된 C_{18} 이상의 파라핀 성분은 $y_{w,0} = 0.06$ 에서 회수한 추출유에 100% 잔류함을 알 수 있었다.

Figure 2(b)로부터 Y_R 는 $y_{w,0} = 0$ 에서 약 38%를 보였으나, $y_{w,0}$ 의 증가는 원료 중에 함유된 전체 파라핀 성분과 파라핀 성분 이외(방향족

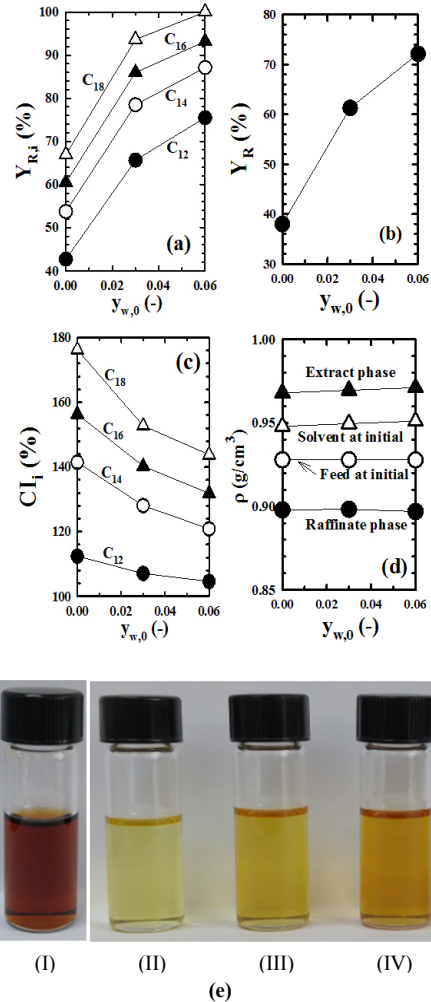


Figure 2. Effect of mass fraction of water in solvent at initial ($y_{w,0}$) for (a) recovery rate of paraffin component i present in raffinate ($Y_{R,i}$), (b) recovery rate of raffinate (Y_R), (c) increase rate in concentration of paraffin component i (CI_i), (d) density (ρ) of raffinate phase, extract phase, solvent and feed at initial, and (e) color of raffinate. (I) of (e): feed, (II) of (e): $y_{w,0} = 0$, (III) of (e): $y_{w,0} = 0.03$, and (IV) of (e): $y_{w,0} = 0.06$. Experimental conditions: $(S/F)_0 = 3$, $T = 28$ °C.

성분 등)의 전체 성분의 용해도를 감소시킴으로 인해 급격히 증가하여 $y_{w,0} = 0.06$ 에서는 약 72.2%를 보였다.

$y_{w,0} = 0$ 에서 회수한 추출유를 분석한 결과를 Figure 1(c)에 나타냈다. 추출유를 가스크로마토그램은 원료[Figure 1(b)]의 그것과 매우 다름을 알 수 있었다. 추출조작으로 인해 원료 중의 방향족 성분 등이 다량 추출되어 파라핀 성분의 피크는 현저히 높아져 추출유 중의 파라핀 성분의 농도가 증가되었음을 알 수 있었다. $y_{w,0} = 0$ 에서 회수한 추출유 중의 C_{12} , C_{14} , C_{16} 과 C_{18} 파라핀 성분의 농도는 원료 중의 농도에 비해 약 1.12, 1.42, 1.56과 1.76배 각각 증가되었음을 Figure 2(c)에 제시한 CI_i 을 통해 확인할 수 있었다.

추출조작에 있어서, 2상(추출상, 추출상)의 밀도차는 처리속도를 좌우하는 중요한 하나의 요소이다. Figure 2(d)에는 2상의 밀도 외에 원료(0.928 g/cm³)와 용매(0.948~0.951 g/cm³)의 밀도도 동시에 제시했다. 추출상과 추출상의 밀도는 $y_{w,0}$ 에 관계없이 거의 일정한 약 0.9 g/cm³과 약 0.97 g/cm³를 각각 보였다. 이들 2상의 밀도차는 추출조작

이전의 2상(원료와 용매)의 그것에 비해 약 3~3.5배 증가했다. 이는 파라핀 성분의 밀도가 방향족과 산 성분 등의 밀도보다 적을 것으로 예상되어 추출조작으로 인해 원료 중의 방향족과 산 성분 등이 파라핀 성분에 비해 추출상으로 더 많이 추출되었기 때문이라고 생각된다. 이로부터, DMF 추출에 의한 처리속도의 향상이 기대되었다.

$y_{w,0}$ 에 따른 추잔유의 색에 대한 변화를 언급하면, Figure 2(e)에 나타난 바와 같이 $y_{w,0}$ 가 감소할수록 추잔유의 색이 옅어져 $y_{w,0} = 0$ 에서는 매우 옅은 노란색으로 변화하여 옅은 노란색을 보이는 시판 자동차 경유의 색과 거의 유사했다(원료는 짙은 흑갈색). $y_{w,0} = 0$ 에서 나타난 추잔유의 색은 파라핀 성분이 거의 무색인 것을 감안하면, $y_{w,0}$ 가 감소할수록 추잔유 중의 파라핀의 농도가 높아지고 있는 것을 재확인할 수 있었다. 또한 경유는 저온상태에서 왁싱화 현상이 발생할 수 있으므로 본 연구의 원료와 $y_{w,0} = 0$ 에서 얻어진 추잔유를 $-25\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 24 h 방치하여 왁싱화 현상의 발생 유·무를 확인한 결과, 원료에서는 왁싱화 현상이 나타났으나, 추잔유에서는 전혀 나타나지 않았다.

Figure 3(a)~(e)에 $Y_{R,i}$, Y_R , Cl_i , ρ 와 추잔유의 색상에 미치는 $(S/F)_0$ 의 영향을 각각 나타냈다. Figure 3(a)는 $(S/F)_0$ 가 증가함에 따라 추출상으로 추출되어지는 파라핀 성분 i 의 추출량이 증가하여 식 (1)에 의해 산출한 $Y_{R,i}$ 가 급격히 감소함을 보였다. $(S/F)_0 = 1$ 에서의 파라핀 성분 C_{12} , C_{14} , C_{16} 과 C_{18} 의 $Y_{R,i}$ 는 각각 약 84.9, 96.1, 100%와 100%를 보였으나, $(S/F)_0 = 10$ 에서의 $Y_{R,i}$ 는 각각 약 32.5, 47.6, 58.4%와 74.4%를 보였다. C_{16} 과 C_{18} 파라핀 성분의 $Y_{R,i}$ 가 $(S/F)_0 = 1$ 에서 100%인 것을 감안할 때, 원료 중에 함유된 C_{16} 이상의 파라핀 성분은 $(S/F)_0 = 1$ 에서 회수한 추잔유에 100% 잔류함을 알 수 있었다.

Figure 3(b)로부터 식 (2)에 의해 산출한 Y_R 은 $(S/F)_0 = 1$ 에서 약 81%를 보였으나, $(S/F)_0$ 의 증가는 원료 중에 함유된 전체 파라핀 성분과 파라핀 성분 이외(방향족 성분 등)의 전체 성분의 추출량을 증가시킴으로 인해 급격히 감소하여 $(S/F)_0 = 10$ 에서는 약 23.8%의 매우 낮은 값을 보임을 알 수 있었다.

Figure 1(d)에 $(S/F)_0 = 10$ 에서 회수한 추잔유를 분석한 결과를 나타냈다. 추잔유의 가스크로마토그램은 원료[Figure 1(b)]의 가스크로마토그램과 매우 달랐다. 추출조작으로 인해 파라핀 성분의 피크는 현격히 높아져 추잔유 중의 파라핀 성분의 농도가 현격히 증가되었음을 알 수 있었다. $(S/F)_0 = 10$ 에서 회수한 추잔유 중의 C_{12} , C_{14} , C_{16} 과 C_{18} 파라핀 성분의 농도는 원료 중의 농도에 비해 약 1.37, 2.00, 2.46과 3.13배 각각 증가되었음을 식 (3)에 의해 산출한 Cl_i 을 제시한 Figure 3(c)로부터 확인할 수 있었다.

Figure 3(d)로부터 추잔상과 추출상의 밀도에 미치는 $(S/F)_0$ 의 영향은 인정할 수 없었다. 이들 2상의 밀도차는 추출조작 이전의 2상(원료와 용매)의 그것에 비해 약 3배 증가하여 DMF 추출에 의한 처리속도의 향상이 기대되었다.

Figure 3(e)는 $(S/F)_0$ 가 증가함에 따라 추잔유의 색이 옅어져 $(S/F)_0 = 10$ 에서는 매우 옅은 노란색으로 변화하여 옅은 노란색을 보이는 시판 자동차 경유의 색과 유사함을 보였다. $(S/F)_0$ 가 증가할수록 추잔유 중의 파라핀의 농도가 높아지고 있는 것을 재확인할 수 있었다. $(S/F)_0 = 10$ 에서 얻어진 추잔유를 전술한 바와 동일하게 $-25\text{ }^\circ\text{C}$ 에서 24 h 방치하여 왁싱화 현상의 발생 유·무를 확인한 결과, 왁싱화 현상이 나타나지 않았다.

상술한 $y_{w,0}$ 와 $(S/F)_0$ 에 따른 $Y_{R,i}$, Y_R , Cl_i , 추출상과 추잔상의 밀도차, 추잔유의 색과 왁싱화 현상의 발생 유·무에 대한 검토 결과를 종합해 볼 때, 본 연구의 DMF 추출은 WPP0 유분의 품질향상법의 하나로 기대되었다. 물론, 본 연구를 통해 얻어진 추잔유에 대한 최종평가

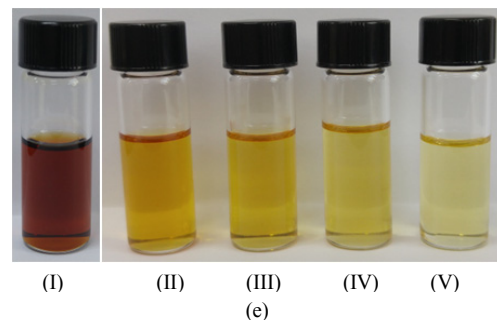
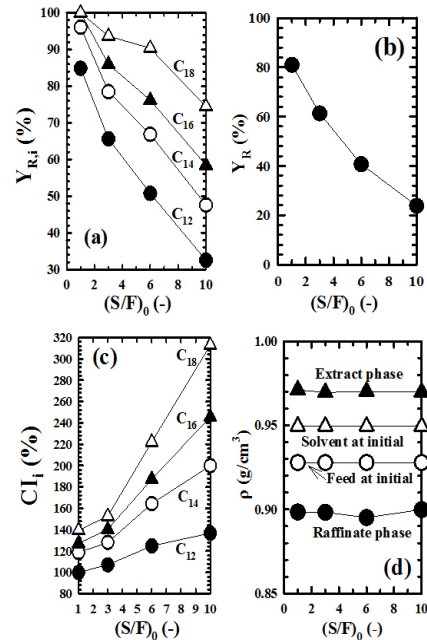


Figure 3. Effect of mass ratio of solvent to feed at initial $[(S/F)_0]$ for (a) recovery rate of paraffin component i present in raffinate ($Y_{R,i}$), (b) recovery rate of raffinate (Y_R), (c) increase rate in concentration of paraffin component i (Cl_i), (d) density (ρ) of raffinate phase, extract phase, solvent and feed at initial, and (e) color of raffinate. (I) of (e): feed, (II) of (e): $(S/F)_0 = 1$, (III) of (e): $(S/F)_0 = 3$, (IV) of (e): $(S/F)_0 = 6$, and (V) of (e): $(S/F)_0 = 10$. Experimental conditions: $y_{w,0} = 0.03$, $T = 28\text{ }^\circ\text{C}$.

는 추후에 행할 석유품질검사법에 준한 품질평가를 통해 보다 세밀하게 이루어져야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

저급 WPP0 유분(유출온도 $120\sim 350\text{ }^\circ\text{C}$)의 품질향상의 일환으로 WPP0 유분 중에 함유된 파라핀 성분의 회수에 미치는 DMF 추출 실험인자와 조건의 영향을 검토한 결과, 다음의 결론을 얻었다.

1. $y_{w,0}$ 가 증가할수록 추잔유 중의 C_{12} , C_{14} , C_{16} , C_{18} 파라핀 성분의 농도는 감소했으나, $(S/F)_0$ 의 증가는 역으로 추잔유 중의 C_{12} , C_{14} , C_{16} , C_{18} 파라핀 성분의 농도를 증가시켰다. $(S/F)_0 = 10$ 에서 회수된 추잔유 중의 C_{12} , C_{14} , C_{16} , C_{18} 파라핀 성분의 농도는 원료의 농도에 비해 약 1.37, 2.00, 2.46, 3.13배 각각 높았다.

2. $y_{w,0}$ 의 증가와 $(S/F)_0$ 의 감소는 $Y_{R,i}$ 를 급격히 증가시켰다. 또한 동

일한 실험조건에서 탄소수가 큰 파라핀 성분일수록 $Y_{R,i}$ 가 높았다.

3. 추출상과 추잔상의 밀도차는 추출조작 이전의 밀도차에 비해 약 3배 이상 증가하여 DMF 추출에 의한 처리속도의 향상이 기대되었다.

4. $y_{w,0}$ 와 $(S/F)_0$ 에 따른 $Y_{R,i}$, Y_R , Cl_i , 추출상과 추잔상의 밀도차, 추잔유의 색과 왁싱화 현상의 발생 유·무에 대한 검토 결과를 종합해 볼 때, 본 연구의 DMF 추출은 WPPO 유분의 품질향상법의 하나로 기대되었으며, 또한 본 연구를 통해 회수한 추잔유는 신재생에너지로 사용이 가능할 것이라 기대되었다.

References

1. H. C. Kang, S. S. Shin, D. H. Kim, and S. J. Kim, Recovery of paraffin components from pyrolysis oil fraction of waste plastic by batch cocurrent 4 stages equilibrium extraction, *Appl. Chem. Eng.*, **29**, 630-634 (2018).
2. D. C. Kim and J. K. Woo, Effect of thermal and catalytic decomposition conditions on decomposition lapse time and oil quality in plastic wastes into fuel oil, *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **26**, 1232-1237 (2004).
3. Y. H. Seo, A role of antioxidant in the plastic-derived pyrolysis oil for the stabilization of oil composition, *J. Korean Soc. Environ. Adm.*, **9**, 331-339 (2003).
4. K. H. Lee, N. S. Noh, D. H. Shin, and Y. H. Seo, Comparison of plastics types for catalytic degradation of waste plastics into liquid product with FCC catalyst, *Polym. Degrad. Stab.*, **78**, 539-544 (2002).
5. K. Murata, Y. Hirano, Y. Sakata, and M. A. Uddin, Basic study on a continuous flow reactor for thermal degradation of polymers, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **65**, 71-90 (2002).
6. R. Moliner, M. Lazaro, and I. Suelves., Valorization of lube oil waste by pyrolysis, *Energy Fuels*, **11**, 1165-1170 (1997).
7. C. G. Phae, Y. S. Kim, C. H. Jo, and U. S. Pyoun, Assessment of practical use of recycling oil from the pyrolysis of mixed waste plastics, *J. Energy Eng.*, **14**, 159-166 (2005).
8. S. J. Kim, S. C. Kim, and J. Kawasaki, Separation and recovery of bicyclic aromatic components in the light cycle oil, *Sep. Sci. Technol.*, **38**, 179-199 (2003).
9. H. C. Kang and S. J. Kim, Comparison of methanol with formamide on separation of nitrogen heterocyclic compounds from model coal tar fraction by batch cocurrent multistage equilibrium extraction, *Polycycl. Aromat. Compd.*, **36**, 745-757 (2016).
10. 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, *Appl. Chem. Eng.*, **18**, 168-172 (2007).
11. 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).
12. 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).
13. S. J. Kim and S. C. Kim, Separation of valuable bicyclic aromatic components from light cycle oil by an emulsion liquid membrane, *Sep. Sci. Technol.*, **39**, 1093-1109 (2004).