

용매 추출법에 의한 분해경유중의 방향족 분리 - 추출상중의 방향족의 역추출 -

김수진·김덕현

충남산업대학교 공업화학과
(1997년 8월 7일 접수, 1997년 11월 7일 채택)

Separation of Aromatics in Light Cycle Oil by Solvent Extraction - Re-extraction of Aromatics in Extract Phase -

Su Jin Kim and Duk-Hyun Kim

Department of Industrial Chemistry, Chungnam Sanup University, Hongsung 350-800, Korea
(Received August 7, 1997, Accepted November 7, 1997)

요약 : 접촉분해경유(LCO)와 dimethylsulfoxide(DMSO)수용액의 평형추출로부터 얻어진 추출상을 원료로 사용한 역추출에 의해 추출상중의 방향족의 회수를 검토했다. 역추출 용매의 선정에 위해, Benzene, Toluene, m-Xylene(mX), n-Hexane(Hx)과 n-Octane(Ot)을 용매로 사용하여 추출상-용매간의 분배평형을 측정된 결과, 추출상중의 방향족의 회수면에서 Hx이 가장 적절한 용매이었다. 또, Hx을 용매로 사용하여 평형 역추출을 행해 방향족의 회수에 대한 조작인자의 영향을 검토했다. 방향족에 대한 분배계수는 용매/원료(추출상) 질량비(S/F)(S/F)를 변화시켜 얻어진 추산상 혹은 추출상중의 질량분율)에 관계없이 일정했으나 수율은 S/F가 증가함에 따라 증가했다. 조작온도는 방향족의 분배계수와 수율에 영향을 미치지 못했다. 나프탈렌류 성분(탄소수:10~12)간에는 탄소수가 많을수록 분배계수 및 수율이 컸다. 또한, 회분 교환조를 사용하여 역추출을 행해 방향족 성분의 물질이동 속도를 측정했다.

Abstract : Recovery of aromatics in extract phase which was obtained by batch equilibrium extraction between light cycle oil(LCO) and dimethylsulfoxide(DMSO) solution as solvent was investigated by re-extraction. To select the most suitable re-extraction solvent for recovery of aromatics in extract phase, distribution equilibrium was measured between extract phase and solvents. The solvents used were benzene(B), toluene(T), m-Xylene(mX), n-hexane(Hx) and n-Octane(Ot). From the distribution coefficients and yields of aromatics, Hx seemed to be the most suitable. Furthermore, effects of operation parameters for re-extraction of aromatics in the extract phase were studied by batch equilibrium re-extraction with Hx as solvent. Yields of aromatics were found to increase with increasing solvent/feed (extract phase) mass ratio(S/F), while distribution coefficients of aromatics were fixed irrespective of S/F used. Operating temperature did not affect distribution coefficients and yields of aromatics. Distribution coefficients and yields of naphthalene group(carbon number : 10 ~ 12) increased with increasing carbon number. Mass transfer rates of aromatics were also measured with a batch stirred vessel.

1. 서 론

지금까지 저자[1-4] 등은 추출-증류-정석의 조합에 의해 접촉분해경유(Light Cycle Oil : 이후 LCO로 약기)중에 함유된 고부가가치 성분 중의 하나인 2,6-dimethylnaphthalene(이후 2,6-DMNA로 약기)의 분리를 검토해 왔으나, 본 연구의 추출조작에 있어 추출용매로 사용된 dimethylsulfoxide(이후 DMSO로 약기)의 비점(189℃)이 추출유(이후 EM으로 약기)의 그것(185~350℃)과 중복되기 때문에 증류만에 의해서는 추출상 중의 EM을 회수하기 곤란하다. 따라서, LCO의 탈방향족에 DMSO

수용액을 용매로 사용한 추출법을 적용하기 위해서는 제2의 용매를 사용하여 추출상으로부터 EM을 역추출할 필요가 있다.

석유제품중의 방향족 분리의 주류를 접하는 용제추출법의 대부분은 naphtha, gasoline 등과 같이 비교적 저비점 중간유분의 탈방향족을 보고[5-8]하고 있지만, LCO와 같은 비교적 고비점 중간유분의 탈방향족에 대한 연구는 저비점 중간유분의 탈방향족에 사용되는 용제와 EM간의 비점이 중복되기 때문에 증류만으로는 용제와 EM간의 분리가 곤란하여 거의 찾아볼 수 없다. 용제추출에 의한 고비점 중간유분의 탈방향족을 언급한 보고에는 furfural, furfuryl alcohol과 물의 혼합물을 LCO중에 함유된

방향족의 추출용제로, xylene과 naphtha 혼합물을 추출상에 함유된 EM의 회수를 위한 역추출 용제로 사용한 redex법[9]이 있으나, 이 법은 추진유의 세탄가 향상을 주목적인 연구이었기 때문에 역추출에 의한 추출상중의 EM의 회수에 대한 실험적 검토는 대단히 미흡하다. 따라서, 저자 등은 LCO와 추출용매(DMSO수용액)간의 평형추출에서 얻어진 추출상을 원료로 사용하여 역추출을 행해 추출상중의 EM의 회수를 검토했다. 먼저, 회분 평형 역추출에 의해 추출상중의 EM의 회수를 검토했다. 이 검토를 위하여, 먼저 역추출 용매와 EM의 비점면에서 탄소수 9이하의 방향족 성분과 탄소수 8이하의 파라핀 성분을 용매로 사용하여 2액상의 형성 가능성을 검토했으며, 또 2액상이 형성된 용매와 추출상간의 분배평형을 측정하여 추출상중에 함유된 EM의 회수율의 관점에서 역추출 용매로 적합한 용매를 선정했다. 다음으로, 선정된 용매를 사용하여 회분 평형 역추출을 행해, EM 및 각 나프탈렌류 성분(나프탈렌류: 탄소수 10~12)간의 분배계수 등에 미치는 실험조작인자의 영향을 검토했다. 다음으로, 회분교반조를 사용하여 역추출을 행해 각 성분의 물질이동속도를 측정했다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 추출(평형추출)

역추출 조작의 원료를 작성하기 위해, 소정량의 LCO와 calfischer 수분계(京都電子工業製: MKC-3P)를 사용하여 미리 일정 함유량으로 제조해 놓은 용매(DMSO수용액)를 500 ml의 삼각플라스크에 넣어, 이 플라스크를 실험온도로 유지시켜 놓은 진동 고온조 속에 넣어 소정시간 진동시켜 평형에 도달시켰다. 평형 도달 후 진동을 중지, 정치시켜 추진상과 추출상을 분액로-드를 사용하여 분산시켰다. 이렇게 얻어진 추출상을 역추출 조작의 원료로 사용했다.

DMSO의 gas chromatogram과 EM의 그것은 중복되기 때문에, 20 ml의 EM에 120 ml의 증류수와 20 ml의 헥산을 첨가해서 1시간 동안 교반하여 EM를 헥산상으로 역추출했다. 이렇게 얻어진 EM을 포함하는 헥산상을 분석해서 EM의 조성을 결정했다. 또, 추진상에 대해서도 상기와 같은 이유로 10 ml의 추진상에 10 ml의 증류수를 첨가해서 1시간 동안 교반하여 추진상중에 혼합된 DMSO를 제거한 후 분석했다.

양상의 분석에는 불꽃 이온화 검출기(flame ionization detector: FID)가 장치된 gas chromatograph (鳥津製作所製: capillary column ULBON HR-1)를 사용했다. Table 1에 평형추출에 사용된 물질계 및 실험조건을 나타냈다.

2.2. 역추출

2.2.1. 평형 역추출

소정량의 추출상과 용매를 상술한 평형추출과 동일한 방법으로 평형에 도달시킨 후, 추진상과 추출상을 분취했다. 용매/원료 질량비(S/F)를 변화시켜 서로 다른 평형상태를 얻었다.

2.2.2. 회분 교반조에 의한 역추출

원료와 용매의 접촉장치로서는 내경 8 cm, 높이 8 cm의 원통형 glass계 교반조를 사용했다. impeller는 six-flatblade turbine

Table 1. Systems and Experimental Conditions of Batch Equilibrium Extraction

System	
Feed	: LCO
Solvent	: Dimethylsulfoxide + Water
Feed/solvent mass ratio, [-]	1
Operating temperature, [°C]	30
Operating time, [h]	48
Mass fraction of water in solvent at initial, [-]	0.03

Table 2. Systems and Experimental Conditions of Re-extraction

Batch Equilibrium Re-extraction	
Systems	
Feed	: Extract phase*
Solvent	: 1) Aromatics(Benzene(B), Toluene(T), m-Xylene(mX)) 2) Paraffins(n-Hexane(Hx), n-Octane(Ot))
Conditions	
Operating time, t[h]	48
Operating temperature, T[°C]	18~40
Solvent/feed mass ratio, S/F[-]	0.296~5.56
Re-extraction with Batch Stirred Vessel	
Systems	
Feed	: Extract phase*
Solvent	: n-Hexane
Conditions	
Operating time, t[s]	2~120
Operating temperature, T[°C]	30
Rate of impeller, N[s ⁻¹]	6.67
Solvent/feed mass ratio, S/F[-]	0.296
Volume of liquid, [m ³]	4×10 ⁻⁴

* : Extract phase obtained by batch equilibrium extraction between LCO and DMSO solution.

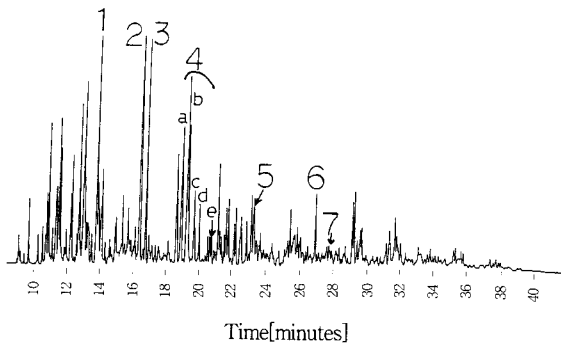
type으로서, 그 위치를 중심 축상에서 액심의 중간 높이에 설치했다. 또, 교반장치 본체의 외부에 설치한 jacket에 항온수를 순환시켜 조내의 온도를 일정하게 유지시켰다.

소정량의 역추출 용매를 교반조에 넣어서 실험온도에 도달시킨 후, 실험온도로 유지시켜 놓은 원료의 소정량을 첨가해서 소정의 교반속도로 교반을 개시했다. 소정의 시간이 경과한 후 교반을 중지, 정치해 추진상과 추출상을 분취했다. 이와 같은 조작을 실험개시시부터 다른 조작시간까지 되풀이해서 행해 각 성분에 대한 조성의 경시변화를 얻었다. 평형 및 회분 교반조를 이용한 역추출 조작으로부터 회수된 양상의 분석방법 및 분석장치는 상기의 평형추출과 동일하다. 평형 및 회분 교반조를 이용한 역추출에 사용된 물질계 및 실험조건을 Table 2에 나타냈다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 역추출 원료의 Gas Chromatogram

Fig. 1에 역추출 조작의 원료 중에 함유된 EM의 Gas Chro-



Legend

- 1 : Naphthalene, 2 : 2-Methylnaphthalene, 3 : 1-Methylnaphthalene,
- 4 : a mixture of 10 isomers of Dimethylnaphthalene
 - a : 2,6- and 2,7-Dimethylnaphthalene
 - b : 1,7-, 1,3- and 1,6-Dimethylnaphthalene
 - c : 1,4-, 2,3- and 1,5-Dimethylnaphthalene
 - d : 1,2-Dimethylnaphthalene
 - e : 1,8-Dimethylnaphthalene
- 5 : Hexadecane, 6 : Phenanthrene, 7 : Anthracene

Fig. 1. Gas chromatogram of re-extraction feed.

Table 3. Composition of Feed* for Re-extraction

Component		mass fraction
Naphthalene	C ₁₀ H ₈	0.005200
2-Methylnaphthalene	C ₁₁ H ₁₀	0.016900
1-Methylnaphthalene	C ₁₁ H ₁₀	0.004427
a mixture of 9 isomers of DMNA**	C ₁₂ H ₁₂	0.013367
a : 2,6- and 2,7-DMNA mixture		0.003710
b : 1,7-, 1,3- and 1,6-DMNA mixture		0.006600
c : 1,4-, 2,3- and 1,5-DMNA mixture		0.001924
d : 1,2-DMNA		0.001133

Weight fraction of extracted mixture in extract phase : 0.175
 * : Extract phase obtained by batch equilibrium extraction
 ** : Dimethylnaphthalene

matogram과 동정된 탄화수소의 성분명을 나타냈다. 10종류의 구조 이성질체가 존재하는 dimethylnaphthalene(이후 DMNA로 약기)은 5개의 봉우리로 나타났지만, 원료 중의 1,8-dimethylnaphthalene(이후 1,8-DMNA로 약기)의 함유량은 매우 적어 정량이 곤란했다. 따라서 본 연구에서는 1,8-DMNA를 제외한 4개의 봉우리의 농도를 합쳐서 한 성분(DMNA 이성체 혼합물 : 이후 DMNAs로 약기)으로 취급했다. Table 3에 정량된 EM 및 각 나프탈렌류 성분의 조성을 나타냈다. EM의 gas chromatogram에 있어서 파라핀 성분과 방향족 성분간의 봉우리의 중복으로 인하여 EM중에 함유된 파라핀분의 함유량을 측정하기는 곤란했지만, 본 추출실험 조건에서는 LCO중에 함유된 탄소수 11이상의 파라핀 성분은 거의 추출되지 않는다는 것이 전보[1-3]에서 확인되었다. 따라서, 원료중의 EM의 함유량(17.5%)은 EM을 전부 방향족으로 가장한 값이다.

3.2. 평형 역추출

3.2.1. 역추출 용매 비교

Benzene(이하 B로 약기), Toluene(이하 T로 약기), m-Xylene

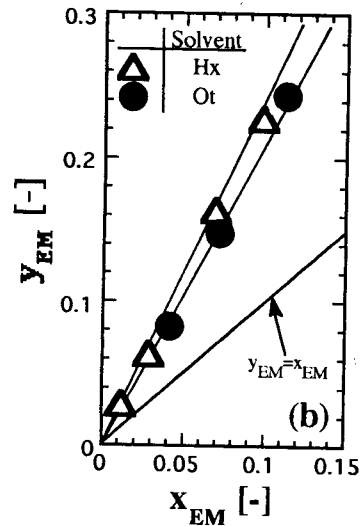
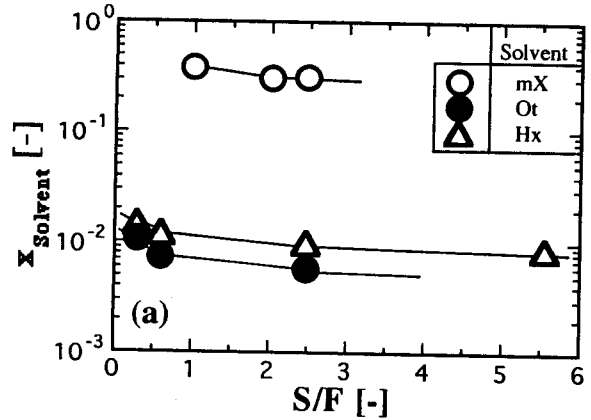


Fig. 2. Solvent comparison.

(a) for mass fraction of solvent in raffinate phase, (b) for distribution coefficient of extracted mixture. T=30°C
 EM : extracted mixture, mX : m-Xylene,
 Ot : N-Octane, Hx : n-Hexane

(이하 mX로 약기), n-Hexane(이하 Hx로 약기)과 n-Octane(이하 Ot로 약기)을 용매로 사용하여 2액상의 형성 가능성을 검토한 결과, B와 T를 사용한 경우에 있어서는 본 연구의 실험조건 전범위내에서, mX를 사용한 경우에는 S/F가 1이하에서는 2액상이 형성되지 않았다.

2액상이 형성된 Hx, Ot와 mX(S/F > 1)를 용매로 사용한 역추출로부터 얻어진 S/F에 따른 추산상중의 각 용매의 질량분율(X_{solvent})과 S/F의 관계를 Fig. 2(a)에 나타냈다. X_{solvent}는 mX, Hx, Ot의 순으로 감소되었다. 이 경향은, 동족(방향족-방향족, 파라핀-파라핀)탄화수소 성분간에는 탄소수가 많을수록 특정 용매에 대한 용해도가 적어지며, 방향족-파라핀간에는 방향족의 탄소수에서 파라핀의 그것을 뺀 값이 약 4인 경우에는 방향족과 파라핀의 용해도는 거의 동일하나 방향족의 탄소수에서 파라핀의 그것을 뺀 값이 4보다 작아지면 방향족의 용해도가 파라핀의 그것보다 커지므로 역추출 원료에 대한 각 용매의 용해도를 반영한 것으로 생각된다. 즉, 파라핀 성분간에 있어서는

Hx의 탄소수가 Ot의 그것에 비해 2개 작으므로 역추출 원료에 대한 Hx의 용해도는 Ot의 그것에 비해 크며, 또한 방향족 성분인 mX의 탄소수에서 파라핀 성분인 Hx의 탄소수를 뺀 값은 2이므로 역추출 원료에 대한 mX의 용해도가 Hx의 그것보다 클 것으로 생각된다. mX를 사용한 경우에 있어서는 S/F에 관계없이 추산상 중에 mX가 약 40% 함유되어 있었다. 이 결과로부터 증류에 의한 추산상으로부터의 역추출 용매의 회수를 고려할 때 mX는 Hx와 Ot에 비해 경제적으로 불리한 용매로 생각되었다.

각 성분((Naphthalene(이하 NA로 약기), 2-methylnaphthalene(이하 2MNA으로 약기), 1-methylnaphthalene(이하 1MNA으로 약기), DMNAs) 혹은, 한 성분으로 취급한 EM) i의 분배계수 m_i ($i = NA, 2MNA, 1MNA, DMNAs, EM$)은 다음의 식으로 정의하여 산출했다.

$$m_i = y_i / x_i \quad (1)$$

여기서 y_i 와 x_i 는 각각 역추출 조작 후의 추출상 및 추산상중의 성분 i의 질량분율을 나타낸다. m_{EM} 에 대한 Hx와 Ot의 비교결과를 Fig. 2(b)에 나타냈다. 용매에 관계없이 x_{EM} 과 y_{EM} 의 plot은 일직선상에 놓여 m_{EM} 은 일정한 값을 나타냈다. m_{EM} 에 대해 사용된 용매를 비교하면 Ot보다 Hx를 사용한 경우에 있어 약간 큰 값을 나타냈다. 이 결과로부터, EM과의 비점차 및 역추출 원료 중에 함유된 EM의 회수를 고려할 때 Hx이 Ot보다 적절한 용매로 생각되었다.

3.2.2. n-Hexane에 의한 회분 평형역추출

본 절에서는 Hx를 용매로 사용하여 평형 역추출을 행해 역추출 원료중의 EM의 회수에 대한 실험 조작인자의 영향을 검토했다.

m_i 와 각 성분 i의 수율 Y_i 에 미치는 S/F의 영향을 검토한 결과를 Fig. 3(a), (b)에 나타냈다. Y_i 는 다음의 식으로써 정의하여 산출했다.

$$Y_i = (E \cdot y_i) / (F \cdot y_{i,0}) \quad (2)$$

여기서 E, F는 각각 평형 역추출 후의 추출상 및 역추출 원료의 질량을, 그리고 $y_i, y_{i,0}$ 는 각각 평형 역추출 후의 추출상 및 역추출 원료중의 성분 i의 질량분율을 나타낸다. m_i 는 S/F(S/F를 변화시켜 얻어진 각 성분의 추산상 혹은 추출상중의 질량분율)에 관계없이 거의 일정한 값을 나타냈다. 전보[1-3]의 LCO중의 방향족 추출에서 추출용매(DMSO수용액)에 용해되기 어려웠던 탄소수가 많은 나프탈렌류 성분일수록 역추출되기 쉬운 경향을 나타내어 나프탈렌류 성분의 분배계수는 추출조작의 결과와 반대로 NA, 1MNA, 2MNA, DMNAs의 순으로 커졌다. Y_i 는 S/F가 증가함에 따라서 증가되는 추출조작의 일반적인 경향을 나타냈으며, 나프탈렌류 성분간에 있어서는 탄소수가 클수록 높은 회수율을 나타냈다. EM의 수율과 각 나프탈렌류 성분의 그것을 비교함으로써 EM중에서는 탄소수가 13이상의 방향족 성분도 다량 함유되어 있다는 것을 예상할 수 있다.

Y_{EM} 에 미치는 S/F의 영향을 고려하여 적절한 S/F를 결정할 필요가 있다. 역추출 용매의 단위체적당 EM의 회수율을 생

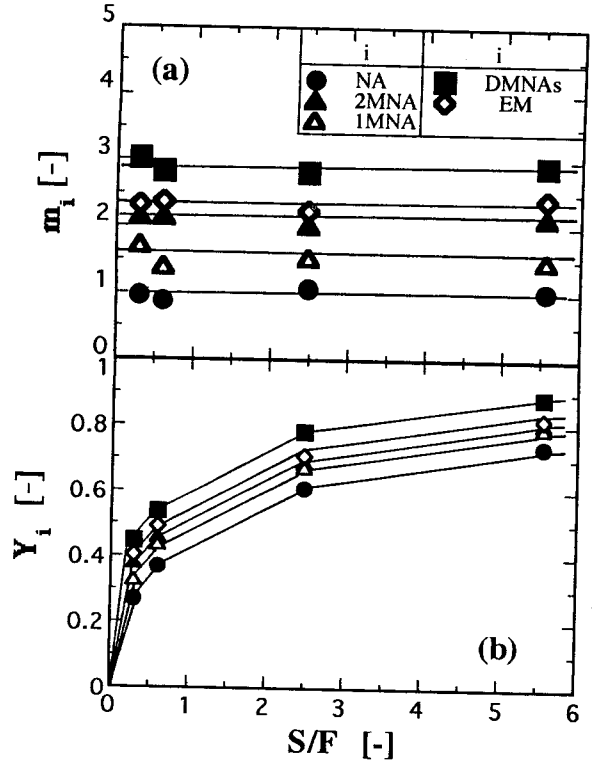


Fig. 3. Effects solvent/feed mass ratio (a) for distribution coefficient, (b) for yield. (keys are shown in Fig. 3 (a)) T=30°C

NA : naphthalene, 2MNA : 2-methylnaphthalene, 1MNA : 1-methylnaphthalene, DMNAs : a mixture of 9 isomers of dimethylnaphthalene

각할 때, 본 연구에서 검토된 S/F에 있어서는 S/F = 0.296으로 고정시킨 역추출이 유리할 것으로 생각되었다.

Fig. 4(a), (b)에 m_i 와 Y_i 에 대한 조작온도(T)의 영향을 각각 나타냈다. m_i 와 Y_i 는 T에 무관한 결과를 보여, 실온에서의 역추출 조작에 의해, 역추출 원료(추출상)중에 함유된 EM의 회수가 가능함을 나타냈다.

3.3. 회분 교반조에 의한 역추출

본 연구의 실험조건에 있어서 원료는 분산상, 용매가 연속상이었다.

추출속도의 검토를 위해, Fig. 5(a)에 각 성분의 수율의 경시변화를 나타냈다. Y_i 는 10초 이내의 단시간에 일정치(평형수율)에 도달하여 추출속도가 대단히 빠름을 알 수 있다. 따라서, 회분 교반조를 이용한 추출속도의 검토를 위해서는 양상의 접촉시간을 10초 이하로 한 추출실험을 행할 필요가 있다.

본 연구와 같이 분산상에서 연속상으로 방향족이 이동할 경우, Vermeulen[10]에 의한 성분 i에 대한 분산상측 물질이동계수 k_{di} 의 실험식과 Barker[11]등에 의한 연속상측 물질이동계수 k_{ci} 의 그것이 본 연구에 적용된다고 가정하여 이들 값을 계산한 결과, k_{di} 가 k_{ci} 보다 약 2배 컸고 또 상기의 분배평형에서 얻어진 m_i 는 1에서 3까지의 범위를 나타냈기 때문에 연속상 저항은 분산상 저항의 0.5에서 1.5배로 견적되었다. 따라서, EM 및 각

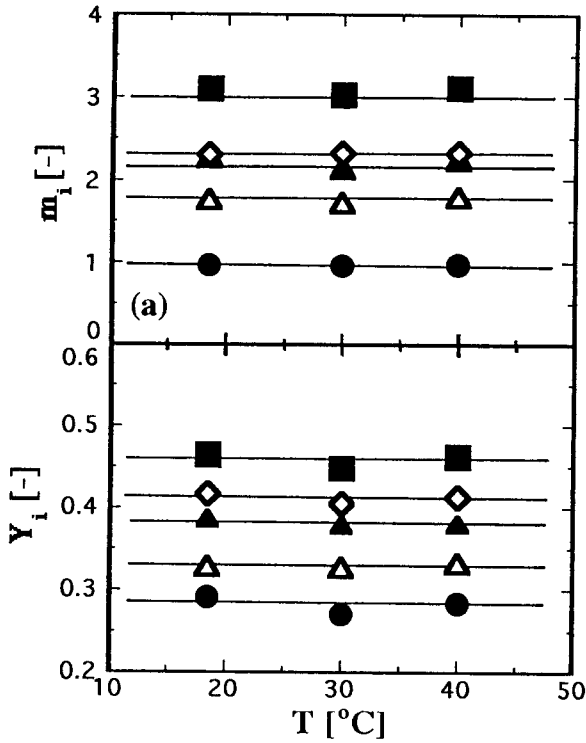


Fig. 4. Effects of Operating Temperature on (a) distribution coefficient, (b) yield. (keys are shown in Fig. 3(a)) S/F = 0.296

나프탈렌류 성분의 물질이동에는 이들 두 저항을 동시에 고려해야 하므로 k_{di} 혹은 k_{ci} 의 계산은 복잡해져, 이들 계산법이 급후의 검토과제 중의 하나로 남는다.

연속상 물질이동에 착목하면, 소정의 교반시간에 대한 성분 i 의 이동속도식은

$$d(E \cdot y_i)/dt = K_{c,i} \cdot a \cdot V \cdot (y_i^* - y_i) \quad (3)$$

식 (3)내의 역추출 조작후의 연속상 질량, 연속상 조성기준의 총괄 물질이동계수 $K_{c,i}$, 비표면적 a 와 연속상측 계면에서의 성분 i 의 조성 $y_i^* (= m_i \cdot x_i)$ 는 일정하다고 가정하여 적분하면,

$$\ln(y_i^* - y_i)/(y_i^* - y_{i,0}) = -K_{c,i} \cdot a \cdot V \cdot (1/E) \cdot t \quad (4)$$

Fig. 5(b)에 $t = 2-5$ sec간의 교반에 의해 얻어진 성분 i (= DMNAs, EM)에 대한 $(y_i^* - y_i)/(y_i^* - y_{i,0})$ 와 교반시간 t 의 관계를 나타냈다. EM과 DMNAs에 대한 plot는 직선을 나타내어 식 (4)의 타당성이 확인되었다. 그림에는 생략했으나, 나프탈렌류 성분간에 있어서는 탄소수가 많은 성분일수록 탄소수가 적은 성분에 비해 약간 빠른 추출속도를 나타냈다. 탄소수가 12인 DMNAs는 $t = 5$ sec에 90%의 평형도달을 나타냈다. 또한, Calderbank[12] 등의 실험식으로부터 구한 비표면적 $a (= 7.51 \times 10^3 \text{ m}^{-1})$ 를 사용하여 식(4)로부터 계산된 NA, 2MNA, 1MNA, DMNAs, EM의 K_c 는 각각 0.0163, 0.0145, 0.141, 0.0135, 0.0148 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었다.

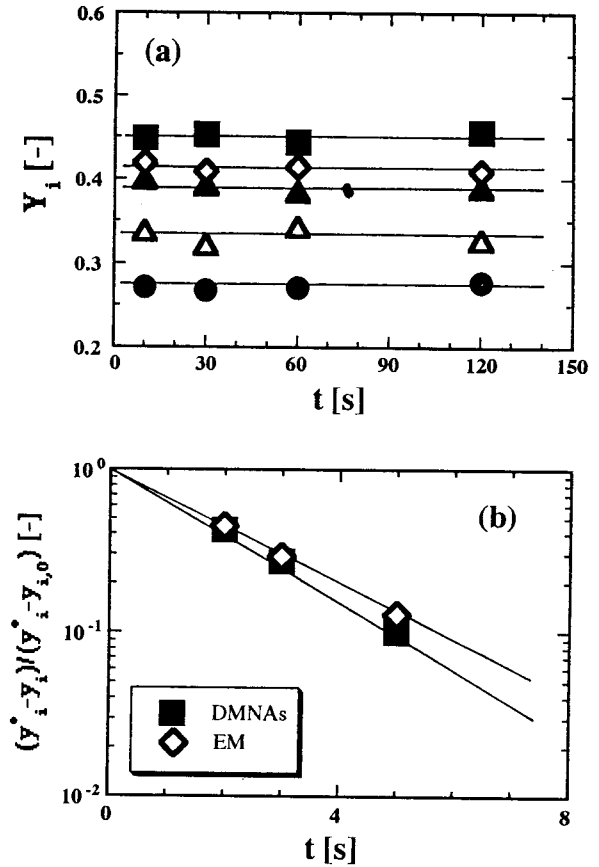


Fig. 5. Time courses. (a) of yield obtained with batch stirred vessel. (keys are shown in Fig. 3(a)) (b) of $(y_i^* - y_i)/(y_i^* - y_{i,0})$ obtained with batch stirred vessel. T = 30°C, S/F = 0.296, N = 6.67s⁻¹

4. 결 론

평형 및 회분 교반조에 의해 LCO와 DMSO수용액의 평형추출로부터 얻어진 추출상중의 방향족의 역추출을 검토한 결과, 다음의 결론을 얻었다.

1) 추출상을 역추출 원료로, Benzene, Toluene, m-Xylene, n-Hexane과 n-Octane을 역추출 용매로 사용하여 2액상의 형성 가능성을 검토한 결과, n-Hexane, n-Octane과 m-Xylene (S/F > 1)을 사용한 경우에 있어 2액상이 형성되었다.

2) n-Hexane, n-Octane과 m-Xylene(S/F > 1)을 역추출 용매로 사용하여 추출상-용매간의 분배평형을 측정할 결과, n-Hexane이 추출상 중의 방향족의 회수면에서 가장 적절한 용매이었다.

3) n-Hexane를 용매로서 평형 역추출을 행해 방향족의 회수에 대한 조작인자의 영향을 검토한 결과, 방향족의 분배계수는 S/F를 변화시켜 얻어진 추출상 혹은 추출상중의 질량분율에 관계없이 일정했으나, 수율은 S/F가 증가함에 따라 증가했다. 방향족의 분배계수와 수율은 조작온도에 관계없이 일정했다. 나프탈렌류 성분간에 있어서는 탄소수가 많은 성분일수록 분배계수 및 수율이 컸다.

4) 회분 교반조를 사용하여 추출상중의 방향족을 역추출한 결과, 90%의 평형도달율이 5초간의 교반에 의해 얻어졌다.

감 사

본 연구는 1997년 충남산업대학교 교내 연구비에 의하여 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드림과 아울러, 본 연구의 수행에 있어 접촉분해경유를 제공하여 주신 이데미쯔 홍산 주식회사에 감사드립니다.

사 용 기 호

a	: specific interfacial area between solvent and re-extraction feed	[m ⁻¹]
E	: mass of extract phase(continuous phase) obtained by re-extraction	[kg]
F	: mass of re-extraction feed	[kg]
K	: over-all mass transfer coefficient	[kg · m ⁻² · s ⁻¹]
k	: individual phase mass transfer coefficient	[kg · m ⁻² · s ⁻¹]
m	: equilibrium distribution coefficient	[-]
N	: rate of impeller	[s ⁻¹]
S	: mass of re-extraction solvent	[kg]
T	: operating temperture	[°C]
t	: operating time	[s]
V	: volume of stirring vessel	[m ³]
x	: mass fraction in raffinate phase obtained by re-extraction	[-]
Y	: yield defined by Eq.(2)	[-]
y	: mass fraction in extract phase(continuous phase) obtained by-extraction or mass fraction in re-extracion feed	[-]
y*	: mass fraction of continuous phase in equilibrium with a certain mass fraction of raffinate phase	[-]

하첨자

B : Benzene

c	: continuous phase
DMNAs	: a mixture of 9 isomers of dimethyl naphthalene
d	: dispersed phase
Hx	: n-Hexene
i	: component i
mX	: m-xylene
NA	: naphthalene
Ot	: n-octane
EM	: extracted mixture
T	: toluene
0	: at initial (t = 0)
1MNA	: 1-methylnaphthalene
2MNA	: 2-methylnaphthalene

참 고 문 헌

1. S. J. Kim, R. Egashira and J. Kawasaki, The Third Korea-Japan symposium on Separation Technology, 595 (1993).
2. S. J. Kim, R. Egashira and J. Kawasaki, *Sekiyu Gakkaishi*, **38**, 114(1995).
3. S. J. Kim, S. C. Kim and J. Kawasaki, *J. Korean Ind. & Eng. Chem.*, **7**, 162(1996).
4. S. J. Kim, S. C. Kim and J. Kawasaki, *J. Korean Ind. & Eng. Chem.*, **7**, 869(1996).
5. G. H. Deal, Jr., H. D. Evans, E. D. Oliver and M. N. Papadopoulos, *Petroleum Refiner*, **38**, 185(1959).
6. E. Guccione, *Chem. Eng.*, **73**, 78(1966).
7. B. Choffe, C. Raimbault, F. P. Navarre and M. Lucas, *Hydrocarbon Processing*, **45**, 188(1966).
8. D. Read, *Petrol. Processing*, **7**, 839(1952).
9. A. L. Benham, M. A. Plummer and K. W. Robinson, *Hydrocarbon Processing*, **46**, 134(1967).
10. Vermeulen, T., *Ind. Eng. Chem.*, **45**, 1664(1953).
11. Barker, J. J., Treybal, R. E., *AIChE J.*, **6**, 289(1960).
12. Calderbank, P. H., *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, **36**, 443 (1958).