

FCC 폐촉매로부터 Ce, Nd 및 V의 분리 회수 프로세스

전 성 균 · 양 증 규* · 김 중 화* · 이 성 식

동아대학교 화학공학과, *창원대학교 공업화학과
(1997년 5월 13일 접수, 1997년 6월 27일 채택)

Separation and Recovery of Ce, Nd and V from Spent FCC Catalyst

Sung Kyun Jeon, Jong Gyu Yang*, Jong Hwa Kim*, and Sung Sik Lee

Department of Chemical Engineering, Dong-A University, Pusan 604-020, Korea

*Department of Chemical Tech., Chang-Won National University, Chang-Won 641-773, Korea

(Received May 13, 1997, Accepted June 27, 1997)

요 약 : 석유화학공업에서 사용된 유동접촉분해(FCC) 폐촉매의 주성분은 Si와 Al이며, 그외에 Fe, Zn, Ti 등의 기본금속과 알칼리금속 및 Ce, Nd, Ni, V 등의 희유금속이 함유되어 있다. 0.25 mol/dm^3 - H_2SO_4 를 침출제로 폐촉매를 침출하였을 때 Ce가 640, Nd가 310, 그리고 V가 450 mg/dm^3 함유된 pH 1.0의 침출액을 얻었고, 아미노인산형 킬레이트수지에 의하여 Ce와 Nd를 선택흡착시킨 후, 4.0 mol/dm^3 -HCl로 용리시켜 1.2 g/dm^3 의 Ce와 0.75 g/dm^3 의 Nd 농축액을 얻었다. 농축액을 다시 옥살산 침전 및 공기산화법으로 처리하여 Ce와 Nd의 분리가 가능하였으며, 염소이온 공존하에 추출제 TOPO를 이용한 용매추출법으로 V와 Al을 각각 분리시켜, FCC 폐촉매로부터 순도가 99%인 Ce, Nd 및 V의 분리정제가 가능하였다.

Abstract : The major constituents in spent FCC catalysts are Si, Al, Fe, Ti, alkali metals and some others. The spent catalyst is also composed small amounts of rare metals such as Ce, Nd, Ni and V. The selective adsorption and concentration of Ce and Nd from the leaching solution of spent FCC catalysts with sulfuric acid(0.25 mol/dm^3) were carried out by the column method with a chelate resin having a functional group of aminophosphoric acid type. Ce and Nd were separated from eluate liquor containing Al, Nd and V by the precipitation process with oxalic acid. Vanadium is purified from chloride ion coexistence by solvent extraction, employing tri-n-octyl phosphine oxide as extractant with Al in the raffinate solution. Rare metals with the purity of 99 percent were obtained from the spent FCC catalyst.

1. 서 론

석유정제, 석유화학, 고분자중합, 유지가공, 의약, 식품제조, 무기화학 그리고 공해방지 등 많은 분야에서 촉매의 사용이 증가하고 있다. 이와같은 촉매의 재료에는 백금, 팔라듐 등의 귀금속 또는 니켈, 코발트, 몰리브덴, 바나듐 등과 같은 희유금속이 많이 이용되고 있다. 우리나라에서는 연간 1억달러 이상의 촉매를 수입에 의존하고 있으며, 그 양이 날로 증가하고 있다[1]. 따라서 이들 촉매를 사용한 후의 폐촉매의 양도 크게 증가하고 있다. 자원이 부족한 우리나라에서는 폐촉매 등과 같은 산업폐기물로부터 유가금속의 리사이클링은 희유금속의 안정 공급에 크게 기여할 수 있다. 국내에서는 1992년 12월 자원 재활용에 관한 법률이 시행되었으며, 최근에는 환경보존과 자원 재활용에 대한 관심이 사회적으로 널리 인식되고 있다. 자원리사이클링은 환경보전 뿐만 아니라, 자원의 유효이용이라는 경

제적인 관점에서도 대단히 중요한 과제이며, 현재 이를 위한 많은 연구가 진행 중이다[2-6]. 일반적으로 석유화학공업에서 촉매를 이용한 접촉분해반응(Fluid catalytic cracking; FCC)은 촉매표면의 고체상점에서 카르보늄이온 중간체를 가볍게 분해, 환원, 이성화, 탈수소 그리고 탈수소축합 등의 반응이 진행된다[7].

석유제품수요의 경질화와 원유의 중질화에 대하여 감압경유 이외에 상압잔유, 감압잔유, 탈황잔유 등을 원료유로서 LPG, 가솔린 등을 생산하는 유동접촉분해 장치에 사용되는 촉매는 합성 실리카알루미나를 기재로서 제올라이트를 5~20 wt% 함유하고 있다. 촉매의 내수열성을 높이기 위하여 제올라이트 중의 알칼리금속이온을 양이온 또는 희토류 음이온으로 이온교환한 초안정 Y형 제올라이트가 주로 이용되고 있다[8]. 촉매에 첨가된 제올라이트 때문에 많은량의 희토류금속 및 희유금속이 함유되어 있다. 그러나 이들 FCC 폐촉매로부터 유가금속의

회수에 관한 연구는 알려져 있지 않으므로 많은 연구가 필요하다.

본 연구는 석유화학공업에 사용된 촉매가 촉매독으로 인해 활성을 잃어 폐기되는 FCC 폐촉매 중에 함유된 금속의 성분을 조사하고, 이 중에서 함유된 희유금속을 선택침출, 흡착탈착, 침전용해 및 용매추출법으로 분리농축 및 정제실험하여, FCC 폐촉매로부터 저농도 희유금속의 분리회수를 위한 기초자료 및 프로세스를 개발하고자 한다.

2. 실험

2.1. 시약 및 시료

시료는 석유화학공업의 FCC 공정에서 사용되는 폐촉매를 사용하였으며, 폐촉매의 용해를 위한 침출제로는 증류수, 염산 및 황산을 각각 사용하였다. 흡착실험을 위하여 사용한 이온교환수지는 각종의 시판 수지에 대한 예비실험으로부터 회토류 금속에 대하여 선택성이 높은 킬레이트수지로서 住友化學工業(株)제인 아미노인산형의 관능기를 가진 킬레이트수지 MC-95를 이용하였다. 추출실험에 사용한 추출제는 TOPO(tri-n-octylphosphine oxide)를 케로신에 희석하여 사용하였다. 그 밖에 사용된 각종 시약은 일본 和光純藥(株)제 특급시약을 각각 사용하였다.

2.2. 실험 방법

2.2.1. FCC 폐촉매의 전량분석

FCC 폐촉매 중의 함유 원소의 전량분석은 Sato 등[11]의 방법으로 폐촉매 0.2g을 테프론용기 내장 스테인레스제 분해용기(Uniseal Decomposition Vessels사, 깊이 105mm, 내경 56mm)에서 질산(13.5N) 및 불화수소산(46% 함량)을 각각 2cm³을 가하여 용기를 밀봉하여 30분간 방치 후, 건조기 중에서 110℃로 1시간 건조하였다. 2시간 정도 방냉한 후, 플루오르이온의 마스크를 위하여 4wt%-붕산 수용액을 25cm³ 첨가하여 다시 100℃에서 1시간 건조하였다. 방냉 후, 원심 분리(3000rpm, 10min)하여 미용해 잔사와 용액을 분리하고, 용액 중의 각 금속이온의 농도를 측정하였다.

2.2.2. 침출실험

FCC 폐촉매 500g을 침출제인 물, 황산 또는 염산 1.0dm³에 각각 가하여 실온에서 3시간 침출 반응시킨 후, 원심분리(3000rpm, 10min)하여 미용해 잔사와 용액을 분리하고, 흡인여과(여과지 No. 5C)하여 얻은 용액을 침출액으로 사용하였다.

2.2.3. 농축실험

수지의 흡착(이온교환)특성을 회분식과 칼럼법으로 조사하였다. 회분식에 의한 평형흡착실험은 습윤수지 0.4g과 금속농도가 100mg/dm³을 함유한 수용액에 HCl-glycine 완충액[12]으로 pH를 조절한 후, 30cm³을 25 ± 0.1℃의 항온진탕기에서 4시간 집적시켰다. 평형에 도달시킨 후, 수지를 분리하고 수용액 중의 금속이온 농도를 분석하였다. 수지에 흡착된 금속이온의 평형 흡착량은 공급수용액과 평형 도달 후의 용액과의 농도차로부터 결정하였다.

한편, 칼럼에 의한 연속 흡착실험은 침출액을 NaOH로 pH를 조절하고, Na₂S에 의한 Fe의 환원 등 전처리한 것을 공급액으로 하여 내경 1.0cm, 높이 80cm의 유리필터가 부착된 유리칼럼에 수지를 40cm 충전하였다. 공간속도 S.V. = 1.0hr⁻¹로 조절한 후, 금속을 함유하고 있는 침출액을 칼럼 상부에서 공급하고, 일정시간 간격으로 칼럼 하부로부터 유출액의 금속농도를 각각 분석하였다. 수지에 흡착된 금속이온을 4.0mol/dm³-HCl을 용리제로하여 칼럼 상부에서 공급하여 금속이온을 용리시켰다.

2.2.4. 침전 용해법 및 용매추출법에 의한 분리 정제

V와 Al이 공존된 Ce와 Nd는 옥살산에 의한 옥살산회토류를 침전시켜 분리시켰다. 이때 옥살산은 금속의 당량비의 3배량을 첨가하고 NaOH로 pH 1로 조절한 다음 실온에서 약 1시간 방치한 후, 아스피레이터로 흡인여과(GF/B)하여 고액을 분리하고 얻어진 침전을 수세하여 옥살산염의 침전물을 얻었다.

또한, 회토류금속의 상호 분리를 위하여 옥살산염의 침전물을 도가니 중에서 4시간 소성한 후, 1.0mol/dm³-HNO₃로 재용해하여 그 조성을 분석하였다. 잔사는 수세한 후, 진한 질산을 가하고, 3시간 가열하여 침출액의 조성을 분석하였다.

한편, 옥살산침전물을 분리한 혼합액으로부터 용매추출법을 이용하여 Al과 V를 분리하였다. 수용상은 염화물이온 농도가 2.9~6.2mol/dm³ 염화리튬으로 조절하였으며, 유기상은 추출제 TOPO를 케로신으로 0.0025~0.02mol/dm³으로 희석한 것을 사용하였다. O/A = 1로서 삼각플라스크에 넣고 25 ± 0.1℃의 항온진탕기에서 3시간 진탕한 후, 평형에 도달시켰다. 추출 후 유기상을 1.0mol/dm³-HCl로서 역추출하여 금속농도를 분석하였다.

금속의 정량에는 ICAP 발광분석기(Japan Jarrel-Ash제, model ICAP-575) 및 원자흡광법(Japan Jarrel-Ash제, model 880 Mark II)를 이용하였다. 수용액 중의 수소이온 농도는 Orion research사의 pH meter로서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. FCC 폐촉매의 전량분석

FCC 폐촉매의 전량분석 결과는 Table 1과 같이 주성분은 담체 성분인 Si와 Al이었으며, Fe, Zn, Ti 등의 기본금속과 알칼리금속 및 Ce, Nd, Ni, V 등의 희유금속이 함유되어 있었다.

Table 1. Constituents of Spent Catalyst

[ug/g-solid]

Al	130000	Ni	130	Ta	110
Ca	640	P	420	Ti	4900
Ce	2500	Pb	190	V	2200
Fe	6000	Pd	200	W	6300
K	490	Pt	220	Zn	1300
Mg	160	Sb	470	Zr	130
Na	2400	Se	330		
Nd	1100	Si	340000		

희유금속인 Ce와 V 등은 주성분으로 있는 Al과 Si와 비교하면 약 0.1~2% 밖에 되지 않지만, Pb와 Zn과 같은 기본금속보다 많아서 유망한 2차자원으로 이용할 수 있음을 알 수 있다.

3.2. FCC 폐촉매의 침출특성

여러농도의 황산 또는 염산을 사용하여 FCC 폐촉매를 침출 실험한 결과 침출액의 조성은 Table 2와 같다.

1.0 mol/dm³이상의 농도에서는 산의 종류에 관계없이 Ce, Nd 및 V가 함유량의 20% 이상 효과적으로 침출되어 본 연구에서는 희유금속으로서 중요성이 높은 희토류원소인 Ce, Nd, V 및 Al을 회수하는 것을 목적으로 하였다. Ce, Nd 그리고 Al의 침출율에 대한 산농도에 대한 영향은 침출액 중의 Ce과 Nd의 경우, 산농도 0.5 mol/dm³이상에서는 거의 일정하지만, Al의 경우는 산농도가 증가하면 침출량이 증가하였다. 그러나 다음의 농축단계에서 기능성수지를 사용할 경우 일반적으로 Al, Fe(III) 등의 기본금속에 대하여 선택성을 가지므로 이것을 고려하여 침출액 중의 Al의 용출량이 적은 산의 농도는 0.5 mol/dm³이 최적농도임을 알았다. 염산에 의한 침출은 황산의 경우보다 전금속에 대해 효율적으로 침출되지만 그 차이는 희토류금속에 대해서는 극히 적다. 그러나 염산의 경우 부식성이 크기 때문에 황산이 오히려 효과적이다. 이때 0.5 mol/dm³-H₂SO₄를 침출제로 하여 얻어진 침출액의 pH는 1.0이었다.

Table 2. Concentration of metals in leach liquor from spent FCC catalyst. (S/L=1/2, at room temp. for 3 hr) [mg/dm³]

Leachant	H ₂ O			H ₂ SO ₄			HCl		
	Conc. (mol/dm ³)	-	0.5	1.5	2.5	1	3	5	
Al	5.0	3600	3900	6300	3800	4400	7400		
Ca	11	47	54	17	47	51	61		
Ce	1.2	520	540	640	530	590	830		
Fe	0.3	180	190	160	180	200	240		
K	61	36	49	44	44	46	41		
Mg	2.4	15	16	10	17	16	21		
Na	4200	240	350	140	300	340	250		
Nd	1.2	300	330	310	290	330	410		
Ni	<0.1	10	11	5.8	10	11	15		
P	<1.0	34	55	78	10	25	54		
Pb	1.0	3.4	4.0	4.2	6.2	6.6	8.2		
Pd	1.2	1.5	1.6	3.6	1.6	1.9	3.0		
Pt	<1.0	1.4	1.6	1.4	1.6	1.8	3.0		
Sb	23	3.6	6.0	9.0	8.0	84	250		
Se	2.2	7.0	8.5	8.8	7.2	8.4	14		
Si	260	440	240	540	390	160	74		
Ta	<1.0	<1.0	1.2	1.6	1.0	1.2	2.0		
Ti	0.08	6.9	11	14	6.7	8.4	8.4		
V	130	410	430	450	430	420	460		
W	1.0	2.6	3.2	3.4	2.8	3.2	4.7		
Zn	12	3.4	3.6	5.6	5.4	3.2	4.3		
Zr	<0.1	3.0	5.4	8.3	0.5	1.7	4.0		

3.3. 흡착특성

희토류금속의 이온교환 농축에는 Ce과 Nd의 선택성에 대한 수지의 흡착특성을 회분식으로 예비 실험하여 아미노인산형 킬레이트수지 MC-95가 선택성이 뛰어난 것을 알 수 있었다. 아미노인산형 킬레이트수지에 대한 단일용액의 Ce(III), Nd(III), V(IV), Fe(II), Fe(III) 및 Al(III)의 평형흡착에 대한 pH의존성을 회분식으로 조사하여 Fig. 1에 나타내었다.

Ce, Nd 및 V는 pH가 증가함에 따라 흡착량이 증가 하였으며, Al은 거의 일정한 흡착량을 나타내었다. Fe(III)은 pH가 증가함에 따라 흡착이 감소하였다. 이것은 아미노인산형 킬레이트수지 MC-95가 음이온 교환에 의하여 금속을 흡착하기 때문이다. 또한 pH=1.0 이하에서는 Fe(II)는 흡착되지 않지만, pH가 1.0보다 크게된다면 Fe(II)의 흡착은 급격히 증가한다. 아미노인산형 수지 MC-95에서는 흡착한 Fe이온의 용리는 쉽지 않으므로 Fe이온이 수지에 흡착되는 것을 방지하기 위하여 Fe(III)을 Fe(II)으로 환원하고, pH를 1.0이하로 하면 Fe의 흡착을 억제할 수 있어 희유금속의 선택흡착이 가능하였다.

3.4. 희토류금속의 선택적 농축

FCC 폐촉매의 침출액으로부터 Ce와 Nd를 칼럼실험에 의하여 분리농축하였다. 0.25 mol/dm³-H₂SO₄를 침출제로한 침출액의 pH가 1.0이므로 pH는 조절 없이, 환원제인 Na₂S를 첨가하여 Fe를 환원시킨 다음 아미노인산형 킬레이트수지를 충전한 칼럼에 통액하여 그 유출액의 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

통액량 Ce는 5.0, Nd는 6.0, 그리고 V는 7.0 m³/m³-resin까지 공급액 중 거의 전량이 각각 흡착되었다. Fe는 미량이지만 흡착되었다. 이는 칼럼조작 중에 공기산화에 의하여 철의 환원이 충분하게 되지 않았기 때문인 것으로 생각된다. 또한, Al은 공급액 중의 농도가 높기 때문에 통액량 2.0 m³/m³-resin까지

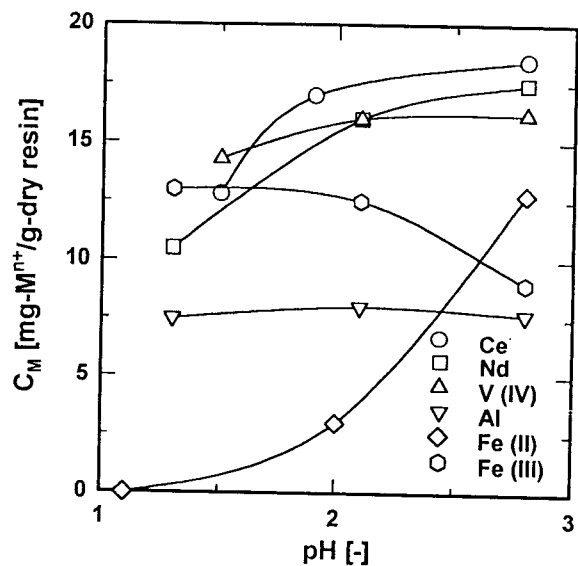


Fig. 1. Effect of pH on equilibrium adsorption of metal ions with aminophosphoric acid chelate resin ([Mⁿ⁺]_i = 100 mg/dm³, [resin] = 0.4 g-wet resin in 30 cm³-soln., at 25 °C, for 4 hr).

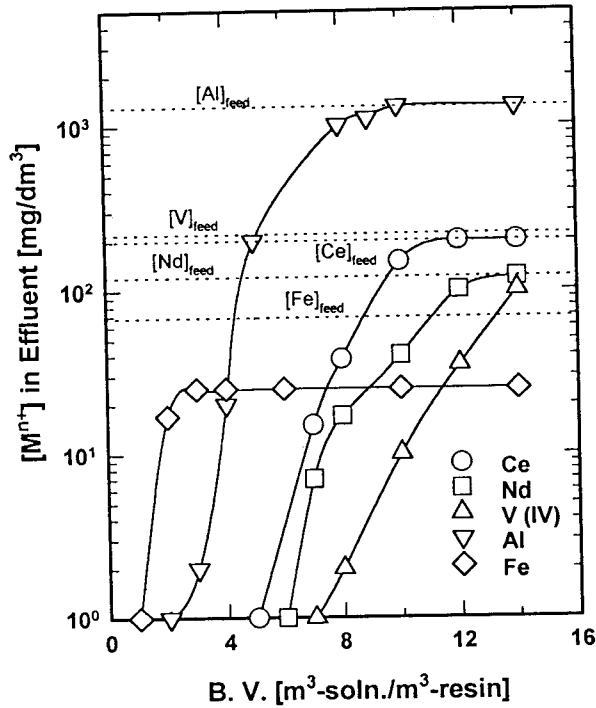


Fig. 2. Adsorption of solution passed through the column packed with aminophosphoric acid chelate resin ([Leachant]: 0.25 mol/dm³-H₂SO₄, pH_F = 1.0, S.V. = 1.0h⁻¹).

Table 3. Concentration of Metals in Leach Liquor Feed to the Column and Eluate (Feed S.V. = 1.0hr⁻¹, Eluate S.V. = 2.0hr⁻¹) [mg/dm³]

Condition	Metals	Al	Ce	Fe	Nd	V
Leach liquor (0.5 mol/dm ³ -H ₂ SO ₄)		3600	520	180	300	410
Feed to column (leach liquor + Na ₂ S, pH=1)		1300	200	68	120	220
Eluate (eluent : 4 mol/dm ³ -HCl)		460	1200	4.2	750	1100
Eluate (eluent : 5 mol/dm ³ -H ₂ SO ₄)		920	390	2.3	230	690

흡착되었다. 모든 금속의 흡착은 15.0 m³/m³-resin까지의 통액에서 완료되었다. 이때 Ce와 Nd의 흡착량은 각각 1.9 g/dm³-resin, 1.3 g/dm³-resin이었으며, V은 3.0 g/dm³-resin이었다. 또한, Al은 침출액 중의 농도가 높기 때문에 흡착량은 12 g/dm³-resin이었으며, Fe는 0.36 g/dm³-resin이었다.

흡착된 금속이온들을 칼럼에서 4.0 mol/dm³-HCl 또는 5.0 mol/dm³-H₂SO₄을 이용하여 용리시킨 결과 Table 3과 같다.

금속의 흡착량과 용리량을 비교하면 4.0 mol/dm³-HCl을 용리제로 하였을 경우, Ce 및 Nd는 각각 1.2 g/dm³, 0.76 g/dm³으로 농축되었다. 용리제가 5.0 mol/dm³-H₂SO₄경우, Ce과 Nd는

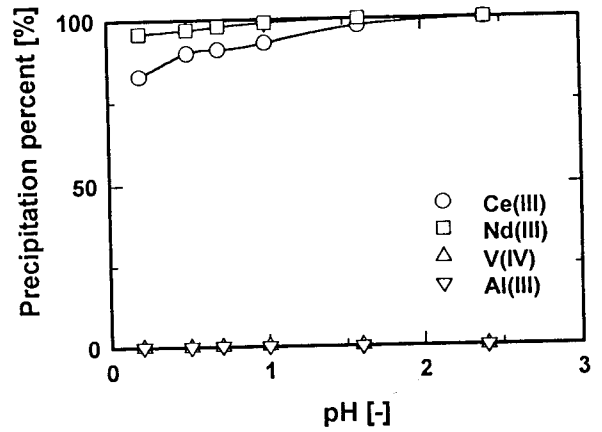


Fig. 3. Effect of pH on the precipitation percentage of metal ions.

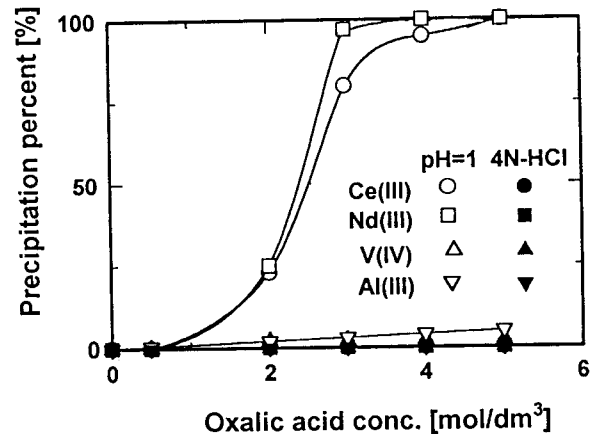


Fig. 4. Effect of concentration of oxalic acid on the precipitation percentage.

각각 0.39 g/dm³과 0.23 g/dm³으로서 4.0 mol/dm³-HCl의 용리액 보다 약 1/3 정도 용리되었다.

3.5. 침전용해법에 의한 Ce과 Nd의 정제

칼럼에 충전된 수지를 통과한 용리액에는 Table 3과 같이 불순물로서 V과 Al을 함유하고 있으므로 분별침전으로 Ce과 Nd를 정제하였다. 먼저 희토류금속의 옥살산염의 용해도가 낮은 것을 이용하여 제 1단계로서 Ce과 Nd를 Al과 V으로부터 분리하기 위하여 옥살산을 첨가하여 pH변화에 대한 침전율을 Fig. 3에 나타내었다.

pH 1이상에서 Ce와 Nd는 모두 95% 이상 옥살산희토류 침전이 생성되나, V과 Al은 침전이 생성되지 않아 침전법으로 분리가 가능함을 알 수 있었다. Fig. 4는 pH 1 또는 4N-HCl 존재하에서 첨가된 옥살산농도가 희토류의 옥살산침전에 미치는 영향을 실험한 결과이다.

염산이 존재할 경우 침전이 형성되지 않으나 pH 1에서는 옥살산을 Ce, Nd의 양분비에 3배를 가할 경우, Al과 V으로부터 Ce와 Nd의 순도가 99.8%의 옥살산침전물을 얻을 수 있었다.

한편, 얻어진 옥살산희토류인 Ce₂(C₂O₄)₃와 Nd₂(C₂O₄)₃의 침전혼합물의 분리를 위하여 옥살산을 기화제거 시키고, 또한

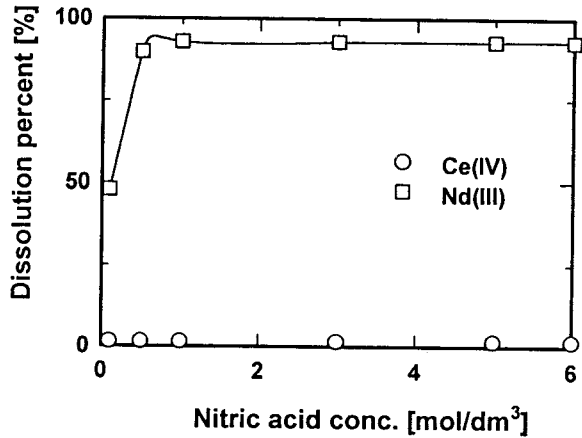


Fig. 5. Effect of concentration of nitric acid on the dissolution percentage of cerium and neodymium.

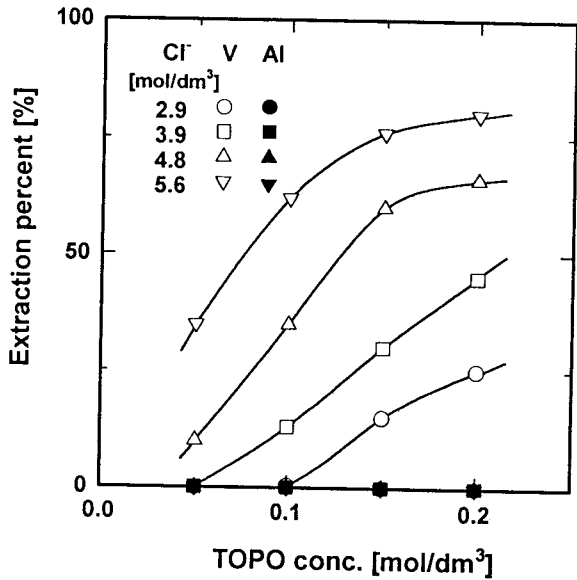


Fig. 6. Effect of concentration of extractant TOPO on the extraction percent of vanadium and aluminium with various chloride ion.

Ce(III)을 Ce(IV)로 공기산화시키기 위하여 도가니 중에서 4시간 가열한 후, 얻어진 $Ce(OH)_4$ 과 $Nd(OH)_3$ 의 혼합물을 질산의 농도변화에 따른 Ce(IV) 및 Nd(III)의 재용해율의 결과를 Fig. 5에 제시하였다.

농도가 0.5 mol/dm^3 이상의 질산에 의하여 Nd가 93%가 용해되고 Ce는 전혀 용해되지 않으므로 순도가 99%이상의 Ce와 Nd를 분리할 수 있었다. 이상의 결과로부터 FCC 폐촉매에 함유된 Ce와 Nd는 각각 순도 99% 이상으로 68%, 74%를 회수할 수 있었다.

3.6. 용매추출법에 의한 Al과 V의 분리 및 정제

옥살산침전법에 의한 Ce 및 Nd를 분리하고 난 여액으로부터 용매추출법에 의한 Al 및 V를 분리정제하였다. Fig. 6은 추출제 TOPO의 농도와 수용상 중의 염화물이온에 대한 Al과 V의

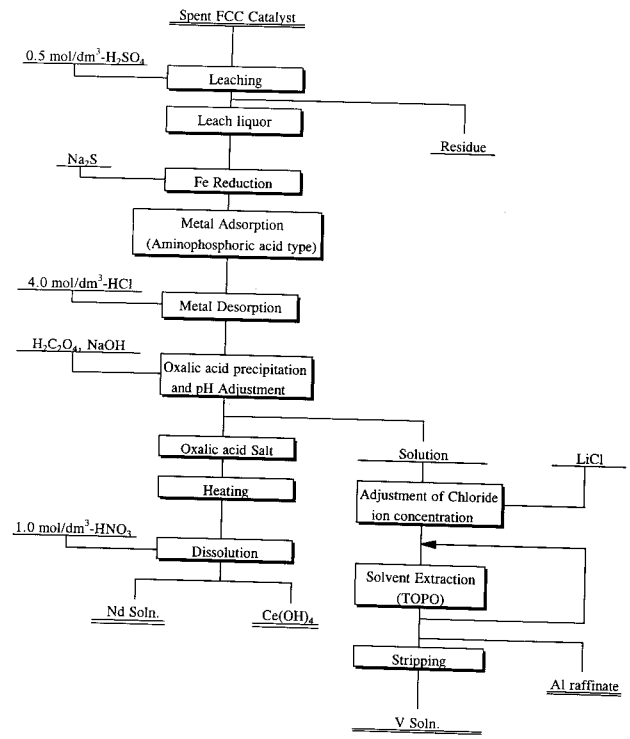


Fig. 7. Flow-chart of process for recovery of rare metals from spent FCC catalyst.

추출율을 실험한 결과이다.

추출제의 농도 및 염화물이온의 농도가 증가함에 따라 V의 추출율은 증가하나, 염화물의 농도가 높으면 추출 후 상분리가 잘 일어나지 않는다. 추출제의 농도가 0.15 mol/dm^3 , 수상 중의 염소이온농도가 5.6 mol/dm^3 에서 TOPO에 의하여 순도 99%인 V가 77% 추출되었으나, Al은 전혀 추출되지 않아 분리가 가능하였다. 이상의 결과로부터 FCC 폐촉매에 함유된 V는 순도 99% 이상으로서 58%를 회수할 수 있었다.

3.7. 분리·회수 프로세스

지금까지 실험한 결과에서 폐촉매로부터 Ce, Nd 및 V의 분리회수 프로세스를 Fig. 7과 같이 합성하였다.

4. 결 론

석유화학공업에 사용된 FCC 폐촉매로부터 희유금속을 회수하는 프로세스를 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) FCC 폐촉매의 주성분은 Si와 Al이었으며 Fe, Zn, Ti 등의 기본 및 알칼리금속 그리고 Ce, Nd, Ni 및 V 등의 희유금속이 함유되어 있어 재자원화가 가능하다.
- 2) $0.5 \text{ mol/dm}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ 에 의하여 FCC 폐촉매 중 Ce가 640 mg/dm^3 , Nd가 310 mg/dm^3 및 V이 450 mg/dm^3 으로 각각 침출되었다.
- 3) FCC 폐촉매 황산침출액을 아미노인산형 킬레이트수지 흡착 및 $4.0 \text{ mol/dm}^3 \text{ HCl}$ 에 의하여 용리시킨 결과 Ce는 1.2 g/dm^3 , Nd는 0.75 g/dm^3 으로 각각 농축되었다.
- 4) 옥살산침전법으로 Al과 V와 공존된 Ce 및 Nd를, 공기산

화 및 HNO₃에 의한 재용해법으로 Ce와 Nd를 각각 분리시킬 수 있었다.

5) 염소이온 공존하에 TOPO를 이용한 용매추출법으로 V와 Al의 분리가 가능하였다.

6) FCC 폐촉매 중에 함유되어 있는 순도가 99%인 Ce 68%, Nd 74% 그리고 V 58%가 회수 가능한 공정도를 합성하여 제시하였다.

참 고 문 헌

1. 백행남, 한국화학연구소 연구보고서, "촉매관련 사전조사 연구", 61(1991).
2. Y. Mizutani, Y. Hirashima, Y. Makiyama, and T. Shirahase, "Recovery of Mo and V from Spent Desulfurizing Catalyst", *Kagaku Kogaku Symp. Series*, **31**, 36(1992).
3. S. Toda, "Recovery of Molybdenum and Vanadium from Spent Desulfurizing Catalyst", *Shigen Sozai Gakkaishi*, **105**, 265(1989).
4. 學田榮一, 金鍾和: "廢棄物からレアメタルズを回收するプロセス", *ケミカルエンジニアリング*, **39**, 33(1994), 駒澤 勳: "廢觸媒からの金屬有價物の回收プロセス", *ibid.*, **39**, 19(1994).
5. A. J. Chaudhary, J. D. Donaldson, S. C. Boddington, and S. M. Grimes, "Heavy Metals in the Environment. Part II: A Hydrochloric acid Leaching process for the Recovery of Nickel value from a Spent Catalyst", *Hydrometallurgy*, **34**, 137(1993).
6. 김종화, 양종규, 이성식 : 자원리싸이클링, **4**, 2(1995).
7. J. S. Magee, *Fluid catalytic cracking science and technology*, 154(1993).
8. 八嶋建明, "觸媒講座 第7卷 (工業觸媒反應編) 基本工業觸媒反應", *日本觸媒學會*, 108(1985).
9. Topp, N. E., "希土類元素의 化學", 鹽川二郎, 足立吟也(共譯), *化學同人*(1974).
10. 野口 勝, *日本資源處理技術*, **35**, 108(1988).
11. Sato, K., *Energy and Environment Laboratory Report*, No. 283051(1984).
12. 青山 忠, *分析化學便覽*, 305(1987).