

백금 스크랩으로부터 아민산백금용액 제조 및 Soot Oxidation 특성

최 승 훈

서남대학교 생명화학공학과

Preparation of Platinum Amine Complex Solution from Pt Scrap and its Catalytic Activity of Soot Oxidation

§Seung Hoon Choi

Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Seonam University

요 약

본 연구에서는 디스플레이 산업의 백금 폐스크랩을 용해, 용매추출을 통하여 백금족 성분을 효율적으로 추출하고, 추출된 백금 용액을 디젤자동차 배가스 정화촉매용 전구체 용액으로서 제조하고, 그 촉매활성을 실험하였다. 용액화학적 이론 연구를 통하여 백금 화학종의 수용액상 거동을 조사하였고, 화학종들의 존재영역 및 거동을 근거로 추출 및 분리 가능방안을 수립하였다. 전기화학적 방법에 의해 폐스크랩을 용해시킴으로써, 용해시간 단축 및 추출효율을 높였으며, 로듐 성분을 분리 제거, TBP에 의한 용매추출, 염산에 의한 탈거 공정을 거쳐 Pt-Chloride-H₂O 계 백금용액을 용액을 제조하고, 이 용액을 원료로 액상 아민화 반응을 통해 아민산 백금용액을 제조한 다음, 카본블랙의 연소반응에 대한 촉매 활성을 실험함으로써, 백금족 폐스크랩으로부터 고부가 백금족 화합물의 제조가능성을 연구하였다.

주제어 : 백금 폐스크랩, 용매추출, 촉매전구체, 아민산 백금용액, 카본 산화반응

Abstract

Effective extraction of platinum group elements by dissolving waste platinum scrap from the display industry and solvent extraction, was studied. The extracted platinum solution was prepared as a precursor solution for diesel automotive exhaust gas purification catalyst and its catalytic activity was tested. The behavior of aqueous species of platinum was investigated through solution chemistry and based on the existence and behavior of these chemical species, the possibility of extraction and separation was established. By dissolving waste scrap by electrochemical method, the dissolution time of scrap was shortened and the extraction efficiency was increased. Through separation and removal of rhodium component, solvent extraction by TBP, and stripping by hydrochloric acid, Pt-Chloride-H₂O solution was prepared. And then, an platinum amine complex solution through amination reaction with this solution as a raw material was prepared. The possibility of producing high-value platinum compounds from platinum group waste scrap was investigated by preparing platinum amine complex solution and then examining the catalytic activity with this amine precursor on the combustion reaction of carbon black.

Key words : Pt scrap, solvent extraction, catalyst precursor, platinum amine complex solution, carbon oxidation

· Received : June 5, 2018 · Revised : June 12, 2018 · Accepted : June 15, 2018

§ Corresponding Author : Seung Hoon Choi (E-mail: shchois@empas.com)

Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Seonam University, 7-111 Pyung-chon gil, Song-ak myon, Asan, Chungnam 31556, Korea

© The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

백금족 화합물(platinum group metal)은 귀금속 및 합금 재료로서의 가치 뿐만 아니라, 그의 물리적, 전자적 특성으로 내화학적, 고온 안전성, 우수한 전기적 특성을 지녔고, 특히 여러 화학반응에 대한 우수한 촉매 성능을 갖고 있어 석유화학공정과 자동차 배가스 정화 장치에 촉매로서의 활용이 날로 증가하고 있다^{1,2)}.

전 세계적으로 특정지역에만 매장된 백금족금속 광물의 한계를 극복하기 위하여 백금족 금속을 함유한 2차 자원으로부터 백금족 금속을 회수하는 기술은 국가적으로 백금족 자원의 확보와 첨단산업의 필수 자원 확보면에서 중요하다. 백금족 금속의 회수에 대해서 많은 연구와 개발이 이루어졌는데, 백금족 금속을 회수하는 방법은 건식법과 습식법으로 구별되지만, 석유화학공정이나 자동차 배가스정화장치에서 회수되는 촉매는 백금족 금속의 함량이 미량인 점, 에너지비용의 절감, 여러 백금족 금속의 분리 등 차원에서 습식법을 적용하여 고순도 백금족 금속을 회수하는 것이 효율적이다³⁻⁵⁾.

습식법에 의한 백금족 원소의 분리, 정제에는 화학침전, 결정화, 용매추출 등의 여러 공정이 있으나, 자원으로부터 추출량, 분리도, 생산성, 반복적인 작업 등의 이유로 대부분 용매추출법을 적용하고 있다. 용매추출법

으로 백금족 금속들이 함께 분리 추출되는데, 백금족 금속간의 분리정제도, 각 원소들을 선택적으로 추출하는 방법이나, 원소들을 그룹으로 추출한 뒤 선택적으로 탈거하여 분리하는 방법으로 구별된다⁶⁻¹⁰⁾.

한편 석유화학공정이나 자동차 배가스 정제장치의 촉매는 반응에 활성을 지닌 주촉매(active metal)를 단독으로 사용하는 경우도 있지만, 대부분 변형제(modifier)와 혼합하여 제조되는데, 변형제는 제 2촉매, 조촉매(promotor), 담체(carrier) 혹은 지지체(support) 등으로 구성된다. 촉매의 제조공정은 초기습윤법(incipient wetness), 함침법(impregnation), 공침법(co-precipitation) 등 여러 방법이 있지만, 일반적으로 주촉매의 전구체 화합물(precursor)를 분말, 모노리스(monolith), 금속 매트 등의 지지체에 담지시키고, 조촉매 및 여러 기능성 물질이 함유되도록 한 다음, 산화, 환원과정을 거쳐 제조된다^{11,12)}.

촉매 제조용 백금족 원소의 전구체 물질은 물에 대한 용해도가 큰 물질을 사용하여 농도(함침량) 조절이 용이하도록 하고, 여러 번에 걸쳐 침윤/담지시키도록 하는데, 백금의 주요 전구체는 $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$, $Pt(NH_3)_6Cl_4$, $Pt(NH_4)_2Cl_6$, $Pt(acac)_2$, K_2PtCl_4 , $Pt(NH_3)_4(NO_3)_2$, $Pt(NH_3)_4Cl_2$, $Pt(NH_3)_4(OH)_2$ 등이다. Uchisawa 등^{13,14)}은 여러 Pt 전구체 화합물을 대상으로 Carbon 산화반

Table 1. Platinum compound precursors compound and its catalytic activities on CO oxidation^{13,14)}

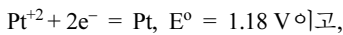
Support	Pt precursor	Pt dispersion CO/Pt	Initial temp. (°C)	Peak temp. (°C)	Final temp. (°C)	CO sel. (%)
SiO ₂	None	-	567	661	675	39
SiO ₂	Pt(NH ₃) ₄ (OH) ₂	0.13	247	312	461	0.5
	H ₂ PtCl ₆ ·6H ₂ O	0.08	267	325	470	0.9
	Pt(NH ₃) ₄ (NO ₃) ₂	0.12	292	410	535	0.6
	Pt(NH ₃) ₄ Cl ₂	0.03	329	519	578	0.6
Al ₂ O ₃	Pt(NH ₃) ₄ (OH) ₂	0.06	343	460	531	0.7
	H ₂ PtCl ₆ ·6H ₂ O	0.65	377	487	546	0.6
	Pt(NH ₃) ₄ (NO ₃) ₂	0.10	346	469	539	0.5
	Pt(NH ₃) ₄ Cl ₂	0.08	349	465	535	0.4
ZrO ₂	Pt(NH ₃) ₄ (OH) ₂	0.47	320	435	517	0.5
	H ₂ PtCl ₆ ·6H ₂ O	0.84	387	478	553	0.5
	Pt(NH ₃) ₄ (NO ₃) ₂	0.34	283	4.8	494	0.6
	Pt(NH ₃) ₄ Cl ₂	0.37	365	458	540	0.6

응에 대한 촉매특성을 비교하였는데, 그 대표적인 성능 결과를 Table 1에 나타내었다.

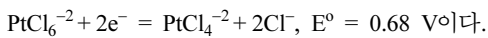
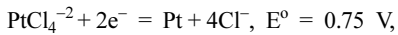
따라서 본 연구에서는 가전/전자제품 디스플레이용 평판유리 제조공장에서 용융도가니로 쓰이는 백금도가니의 스크랩에서 백금족 성분을 추출하기 위하여, 펄스크랩을 용해, 용매추출, 탈거 공정을 거쳐 주요 백금족 원소가 함유된 용액을 제조하고, 이 용액을 원료로 하여 아민산 백금용액을 제조한 다음, 카본블랙의 연소반응에 대한 촉매 활성을 실험함으로써, 백금족 펄스크랩으로부터 고부가 백금족 화합물의 제조가능성을 연구하였다.

2. 백금의 용액화학적 이론

백금 금속의 반전지반응의 표준전위는



염소이온이 포함된 수용액에서는 반전지반응의 표준전위는



백금의 회수에 있어서, 용해 및 침출공정에 산화제를 포함한 염산(aqua regia), 또는 Cl₂ 가스 등이 사용되게 되는데, 이는 안정적인 착물인 PtCl₄⁻²임을 형성하기 위함이고, Pt/PtCl₄⁻²의 표준전위인 0.75 V 보다 큰 환원전위를 갖는 산화제를 사용하는 것이다.

Pt-Cl-H₂O 계에서의 백금원소 및 백금 이온종에 대하여 수소이온농도에 대한 화학중간의 평형농도를 계산하

여 그 상관관계를 알 수 있는 선도를 Fig. 1에 나타내었다. Baghalha 등(2009)에 의하면 주된 이온종은 PtCl₆⁻²와 PtCl₄⁻²이며, 이들 이온종이 pH 6 이하에서와 전위값이 0.5~1.5 V에서 안정적이고, pH 6 이상의 넓은 범위에 걸쳐 백금산화물이 존재하는 것으로 보고되었고, 로조 등(2011)은 HCl 산성용액에서 염화착물은 약 1.0 V의 전위와 pH = 0 조건에서 PtCl₆⁻²와 PtCl₄⁻²을 형성하고 있다고 연구한 바 있으며, 본 연구 결과 일치하는 것을 알 수 있었다.

또한 Pt-Cl-K-H₂O 계의 평형 전극전위에 대해서 수소이온농도의 영향을 조사하여 Eh-pH 선도로써 Fig. 2에 나타내었다. 이 Eh-pH 선도를 통해 백금원소 및 백금이온종의 산화/환원특성을 알 수 있다.

그림에 나타난 바와 같이 PtCl₆⁻²와 PtCl₄⁻²의 평형 전극전위 경계선은 Eh = 0.68이고, PtCl₆⁻²가 pH 3.9 이상에서 산화되어 PtO₂(IV)로 존재하며, pH = 7.4부터 PtCl₆⁻²는 서서히 사라지게 되어, pH = 10에서는 거의 존재하지 않는다. 산소 발생(O₂ evolution) 평형전위과 수소 발생(H₂ evolution) 평형전위 경계사이에서 PtO₂(IV)는 PtO(II)로 환원될 수 있다. 용매추출 및 탈거를 통해 얻어진 H₂PtCl₆는 KOH, NaOH 등에 의해 수산화반응을 통해 H₂Pt(OH)₆, 또는 PtO₂·4H₂O로 생성된다.

Pt의 전자오비탈은 36[Xe] 4f¹⁴5s²5p⁶5d⁹6s¹으로서, 백금의 산화수상태는 0, +2, +4, +5로 존재할 수 있으며, 주로 +2와 +4를 이루고 있고, 낮은 산화수상태일수록 더 소프트한 Lewis acidic 거동을 보여 리간드와 강하게 결합하는 특성이 있다. 따라서 백금 착물이온을 적절한 산화제, 환원제로서 산화, 환원시킴으로써 안정적 이온형태를 변화시키고, NO₃⁻, NH₃, OH⁻ 등의 리

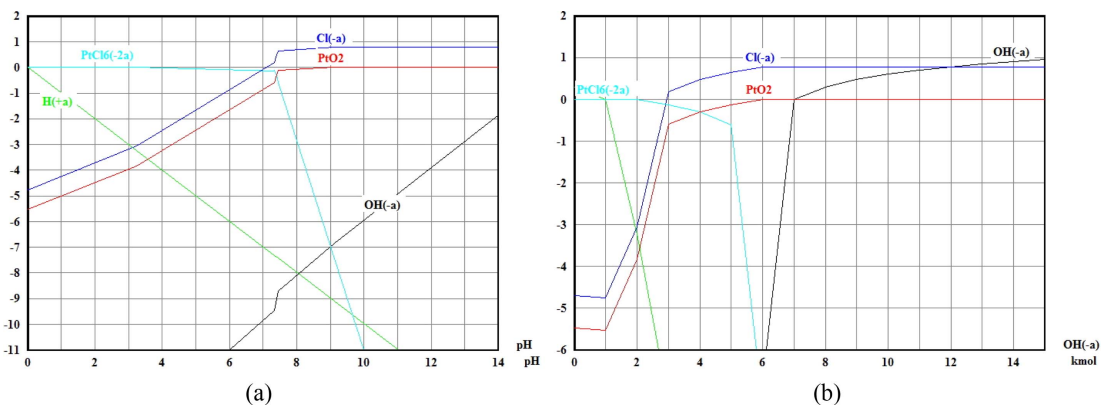


Fig. 1. Equilibrium compositions of Pt-Cl-H₂O system.

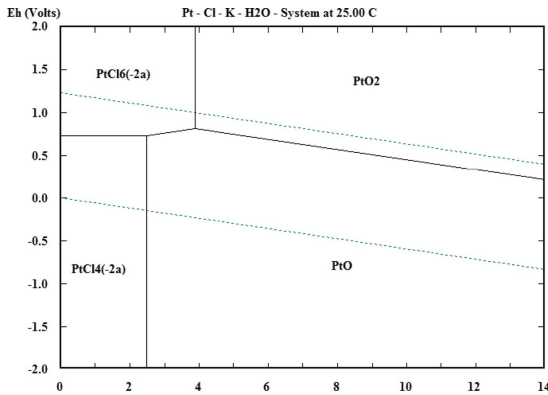


Fig. 2. Eh-pH diagram of Pt-Cl-K-H₂O system.

간드로 치환하여 염소를 치환시킨 백금 착화합물을 제조할 수 있다.

3. 실험 및 방법

3.1. 백금 폐스크랩으로부터 백금족 원소의 용해 및 용매추출

로튬이 함유된 Pt 스크랩은 Table 2와 같은 원소성분을 함유하고 있으며, 이 스크랩을 전기화학적 침출장치를 통해 용해시켰다. 일정량의 질산이 산화제로 고정 첨가된 상태에서 전해질로서 1~10 M 농도의 염산을 사용하고, 4~9 V 교류를 인가하며 0~400 rpm의 회전수로 교반시키면서 용해되도록 하였다. 백금족 원소의 용해 침출율에 대해서 염산용액의 농도변화, 인가전압의 변화, 회전수의 변화 등의 실험변수 영향을 고찰하여 최적의 조건하에서 용해된 백금용액을 제조하였다¹⁵⁾.

스크랩을 용해시킨 백금 용액에는 로튬이 함께 용해되어 있으므로 NaOH 30%를 가해 로튬을 수산화로튬 결정으로 여과 분리시키고, 여과액에 TBP (Tri-butyl phosphate)을 가하여 Pt 성분을 선택적으로 추출하였다. 희석제로 kerosine을 사용하여 추출용매를 40%로 제조하였고, 일정시간 교반을 하며 백금을 추출하였다. 염산 용액을 사용하여 TBP용매로부터 Pt 성분을 탈거(stripping)하여 Pt수용액을 제조하였고, 그 화학성분표를 Table 3에 나타내었다.

3.2. 백금 수용액내 백금의 산화수 상태

백금을 용해, 추출시킨 용액(extracted) 중에는 통상 d-와 f-전자오비탈을 갖은 원소들처럼 +1, +2, +3, +4,

Table 2. Chemical composition of Pt waste scraps from display glass industry

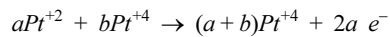
(unit : ppm, except for Pt, Pd)

Elements	Pt only	Rh 10% contained	Rh 10% contained
Pt	99.86%	89.41%	79.52%
Rh	1,281	10.13%	19.78%
Au	-	101	1,226
Pd	17	1,446	67
Ir	14	1,298	44
Ru	7	1,418	1
Ag	8	1	60
Cu	28	67	2,656
Fe	32	175	1,427
Ni	6	13	1,169
B	-	5	4
Ca	1	5	3
Al	5	5	12
Co	-	6	3
Cr	4	4	8
Si	2	7	7
Sn	22	1	312
W	3	2	
Zn	10	5	18

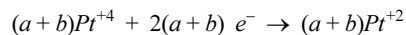
+5 등 다양한 이온이 존재하는데, 여러 원자가전자를 갖는 백금 용액에 대해서 다음과 같은 화학분석 방법에 의하여 평균 원자가(average of oxidation state)을 계산할 수 있다¹⁶⁾.

예를 들어, 백금 화학종이 +2와 +4의 원자가전자를 갖고 있을 경우에, 아래 Fig. 3에서 보는 바와 같이 산화와 환원을 통하여 평균 원자를 산출하게 된다.

1차적으로 전체를 산화시키면



이 되고, 그다음 2차적으로 전체를 환원시키면



이 된다. 이 때, 백금의 평균 원자가전자(Av)는 아래의 식에 의해서 결정된다.

Table 3. Chemical composition of Pt waste scraps from display glass industry

(unit : ppm, except for Pt)

Elements	solution by solvent extracted/stripped	amine platinic complex solution
Pt	99.5%	16.33%
Rh	-	-
Pd	16.8	4.16
Ag		0.6
Cu	76.2	0.83
Fe	183	2.85
Ni	-	0.22
B	-	1.0
Ca	215	11.99
Al	34.7	2.8
Cr	-	0.83
Si	-	3.6
Sn	18.4	2.84
Zn	35.7	0.72

$$A_v = \frac{2a+4b}{a+b} = \frac{4a+4b-2a}{a+b}$$

$$= 4 - \frac{2a}{a+b}$$

$$= 4 - \frac{\text{산화제의 몰수}}{\text{환원제의 몰수}}$$

$$= 4 - \frac{\text{산화제의 적정부피}}{\text{환원제의 적정부피}}$$

(단, 산화제와 환원제의 몰농도가 같을 경우)

1차 전체 산화과정에서 투입되는 산화제의 양은 농도를 정확히 아는 표준용액을 사용하여 적정곡선(titration curve)를 그려서 투입되는 산화제의 몰수를 측정한다.

3.3. 아민산 백금용액의 촉매 파우더 성능실험

아민산 백금용액을 전구체로 하여 제조한 촉매 파우더에 대해서 CO, HC 산화 반응의 촉매활성을 평가하기 위하여 직경 15 mm의 quartz 반응기를 사용하였다.

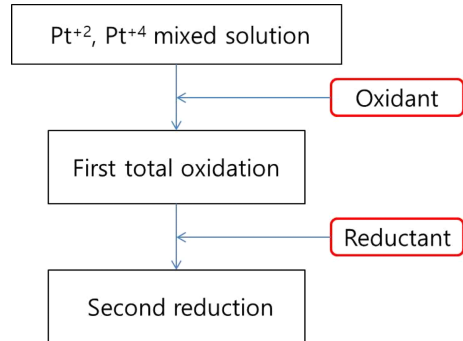


Fig. 3. Determination of oxidation state average by volumetric titration method.

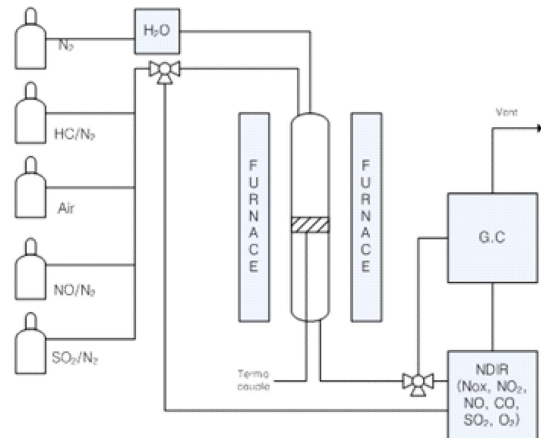


Fig. 4. Schematic diagram of experiments for catalytic activities of CO, HC, NO oxidation.

또한 촉매는 30~50 mesh의 일정한 크기의 촉매를 분취하여, 300°C에서 1시간 동안 수소분위기에서 환원처리 한 후에 실험을 진행하였다. 촉매의 활성을 평가하기 위한 실험 장치 개략도 사진을 Fig. 4에 나타내었고, Fig. 4에서 보는 것과 같이, 반응기를 가열하기 위하여 IR furnace를 사용하였고, 반응물은 MFC (mass flow controller)를 이용하여 공급하였으며, 수분은 micro-pump를 이용하여 반응기 전단에서 공급하였다. 반응후의 HC의 농도 변화는 FID (flame ionization detector)가 장착되어 있는 gas chromatography (Agilent 6890N)를 사용하여 분석하였고, CO의 농도변화는 NDIR (non-dispersive infrared, Fuji electric instruments Co.) 분석기를 통해 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 용매추출된 Pt 용액으로부터 아민산 백금용액의 제조

전기화학적 용해장치로 Pt 스크랩을 용해시킨 후, 로듐을 제거한 다음, TBP로 용매추출하고 염산용액으로 탈거한 용액은 Pt가 주로 Cl 리간드로 결합된 H_2PtCl_6 착화물 용액이며 평균 원자가전자는 +4로 구성된 용액이다.

이 용액을 그대로 담지축매로 만드는 경우에는 염산 폐수 등의 액상폐기물, 기체 유해물질이 배출되는 환경 문제가 존재하므로, 염소를 아민 리간드로 치환시켜 향후 환경처리에 유리한 백금 전구체 화합물을 용액을 제조하였다.

용매추출/탈거한 Pt 용액을 산화, 환원시키지 않고, 동일한 산화수상태(IV)를 유지하며 아민화 반응을 시켰다. mono-ethanol amine ($OHC_2H_4NH_2$, Junsei, GR 99.0%)을 1:1 용액으로 제조하여 실온조건에서 교반시키며 액상 반응을 시켜 아민산 백금용액을 제조하였다. Table 3에 제조된 아민산 백금용액의 성분분석 결과를 수록하였다.

4.2. 아민산 백금용액의 soot oxidation 반응특성

전구체 용액으로 제조된 아민산 백금용액을 이용하여 soot oxidation에 대한 촉매반응 특성을 실험하였다. 소각로, 디젤자동차 등에서 불완전 연소로 인해 발생할 수 있는 탄소(매연, 검댕)를 산화시킬 수 있는 성능을 테스트하기 위해 고정층 반응기에서 카본블랙 산화반응 실험을 수행하였고, 일반적으로 촉매전구체로 사용되는 염화백금산 용액을 동일한 조건에서 반응을 수행하여 그 성능을 비교하였다. 백금이 담지된 촉매와 카본블랙의 총 중량은 0.05 g이며, 카본블랙의 중량비는 20 wt%이었고, 반응기체로서는 산소 10.0%, SO_2 30 ppm, NO 300 ppm, H_2O 2.0%이며, 나머지는 N_2 balance 조건이었고, 공간속도(SV)는 $56,000 \text{ hr}^{-1}$ 조건하에서 산화반응을 수행하였다.

본 연구의 아민산 백금용액과 염화백금산용액의 soot oxidation 반응에 대한 비교결과를 Fig. 5에 나타내었는데, soot oxidation 반응으로 인한 CO_2 생성농도를 측정하여 산화반응의 성능지표로 삼았다. Fig. 5에서 Pt "A"는 아민산 백금용액을 사용한 것이고, Pt "C"는 염화백금산 용액을 사용한 것으로서, 그림에 나타난 바와 같이 염화백금산용액이 담지된 촉매는 CO_2 발생 정도

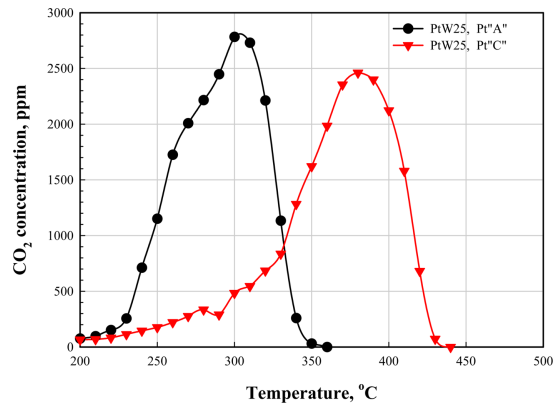


Fig. 5. Catalytic activity of Pt catalysts with two precursor solutions, amine and chloride complex form on soot oxidation.

가 서서히 진행되다가 330°C부터 반응속도가 급격히 진행되지만, 아민산 백금용액이 담지된 촉매의 경우는 230°C에서부터 CO_2 발생이 급격해져 카본블랙의 본격적인 산화반응이 100°C 정도를 낮아지는 것을 알 수 있었다. 또한 CO_2 발생에 대한 최대 피크는 염화백금산의 경우는 380°C인 반면, 아민산 백금용액이 담지된 촉매의 경우는 CO_2 발생 최대 피크가 300°C로서, CO_2 발생 최대 온도가 80°C 정도 낮아짐을 알 수 있었다.

위의 실험 결과를 근거로 볼 때, 자동차 배가스 특히 디젤자동차에서 발생하는 매연입자(diesel particulate)를 연소시키는 촉매형 DPF (c-DPF, catalytic diesel particulate filter)에 제조함에 있어서 아민산 백금용액을 전구체로 사용할 경우, 미반응 탄소의 연소는 250°C부터 시작하고, 300°C에는 거의 연소반응이 끝나게 되어 기존의 염화백금산 촉매의 경우보다 훨씬 나은 성능을 보일 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 디스플레이 산업의 백금 폐스크랩을 용해, 용매추출을 통하여 백금족 성분을 효율적으로 추출하고, 추출된 백금 용액을 디젤자동차 배가스정화 촉매용 전구체 용액으로서 제조하고, 그 촉매활성을 실험하였다.

용액화학적 이론 연구를 통하여 백금 화학종의 수용액상 거동을 조사하였고, 화학종들의 존재영역 및 거동을 근거로 추출 및 분리 가능방안을 수립하였다.

전기화학적 방법에 의해 폐스크랩을 용해시킴으로서,

용해시간 단축 및 추출효율을 높였으며, 로듐 성분을 분리 제거, TBP에 의한 용매추출, 염산에 의한 탈거 공정을 거쳐 Pt-Chloride-H₂O계 백금용액을 용액을 제조하고, 이 용액을 원료로 액상 아민화 반응을 통해 아민산 백금용액을 제조한 다음, 카본블랙의 연소반응에 대한 촉매 활성을 실험함으로써, 백금족 폐스크랩으로부터 고부가 백금족 화합물의 제조가능성을 연구하였다.

감사의 글

본 연구는 2016년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(과제번호 20165010100890)의 결과로서, 지원에 감사드립니다.

References

1. M. S. Lee, J. G. Ahn, and P. Son, 2010 : Effect of Cu(II) and Al(II) on the extration and separation of Pt(II) and Pd(II) from concentrated hydrochloric acid solution with Alamine336, Kor. J. Met. Mater., 48(2), pp.148-153.
2. J. C. Lee, et. al., 2008 : Extractive Metallurgy of Platinum Group Metals, Trends in Metals & Materials Engineering, 21(6), pp.23-32.
3. B. C. Ban, M. C. Kim, Y. I. Kim, and D. S. Kim, 2002 : Recovery of Precious Metals from Waste PCB and Auto Catalyst Using Arc Furnace, J. of the Korean Institute of Resources Recycling, 11(6), pp.3-11.
4. J. H. Oh, J. S. Kim, S. M. Moon, and J. W. Min, 2010 : Necessity and Background of the Metal Recycling from Urban Mine Resources, J. of the Korean Institute of Resources Recycling, 19(5), pp.13-24.
5. J. C. Lee, et al., 2004 : Recovery of Platinum Group Metals from Spent Automotive Catalysts by Hydrochloric Acid Leaching, J. of the Korean Institute of Resources Recycling, 13(5), pp.28-36.
6. T. H. Nguyen and M. S. Lee, 2016 : Effect of HCl Concentration on the Oxidation of LIX 63 and the Subsequent Separation of Pd(II), Pt(IV), Ir(IV) and Rh(III) by Solvent Extraction, J. of the Korean Institute of Resources Recycling, 54(10), pp.768-774.
7. J. G. Ahn, K. W. Yi, and K. M. Yi, 2008 : Application of Ruthenium and Osmium, Trends in Metals & Materials Engineering, 21(6), pp.33-39.
8. M. J. Cleare, P. Charlesworth, and D. J. Bryson 1979 : Solvent extraction in platinum group metal processing, Journal of Chemical Technology and Biotechnology banner, 29(4), pp.210-224.
9. Y. S. Kwon, J. C. Lee, D. Y. Shin, S. H. Yi, H. J. Kim, and Y. G. Cho, 2014 : A Review on Recycling of Spent Autocatalyst in Korea, 23(1), J. of Korean Institute of Resouces Recycling, 23(1), pp.3-16.
10. J. H. Oh, et al., 2007 : A Study of the Research Trends and the Material flow on the Unrecycled Materials in Kore, 16(2), pp.63-76.
11. S. H. Jung, 2005 : Environmental and Catalysts, Bumhan Books, pp.130-135.
12. K. Seo and K. J. Kim, 2014 : Catalysts : Fundamental concepts, Structure and Function, Cheonmungak, pp.123-163.
13. J. O. Uchisawa, et al., 1998 : Carbon oxidation with platinum supported catalysts, Applied Catalyst B: Environmental, 18, pp.183-187.
14. J. O. Uchisawa, et al., 2000 : Catalytic performance of Pt supported on various metal oxides in the oxidation of carbon black, Applied Catalyst B: Environmental, 26, pp.17-24.
15. B. J. Jung, et al., 2017 : Report of MOTIE 20165010100890, Energy and Resources recycling Program.
16. S. H. Choi, 1987 : Study on extraction of vanadium using reactions of V₂O₅ with ammonium sulfate, Dissertation of Master, Korea University.

최 승 훈

- 1995년 고려대학교 화학공학과(공학박사)
 - 1994~1997년 한국이동에너지연구조합
 - 1996~1997년 충북대학교 대학원 환경공학과 시간강사
 - 2007~2008년 한국원자력연구원 위촉연구원
 - 1997~2018년 서남대학교 생명화학공학과 교수
-