

熔融技術을 利用한 自動車廢觸媒에서의 白金族 金屬 回收 研究[†]

[†]朴 賢 緒

全州大學校 環境保健專攻

A study on recovery of Platinum Group Metals(PGMs) from spent automobile catalyst by melting technology[†]

[†]Hyun - Seo Park

Dept. of Environmental Healthscience, Jeonju Univ.

요 약

자동차 폐촉매로부터 폐촉매 중에 함유되어 있는 백금족 금속(Pt, Rh, Pd)를 회수하는 방법으로는 크게 건식법과 습식법이 현재 이용되고 있다. 본 연구에서는 건식 용융법으로 폐촉매로부터 백금족 금속 회수하기 위한 기초 실험으로 포집금속으로 Fe와 Cu를 사용하여 폐촉매를 용융하였을 때 각각의 농도 변화를 비교함으로써 용융 조건과 적정 포집금속으로 찾는 것을 목적으로 하였다. 본 실험으로 얻어진 결과를 요약하면 Fe를 포집금속으로 하는 것이 Cu를 포집금속으로 사용하는 것보다 회수율 측면에서 유리하였으며, 용융 처리 온도는 1,500°C에 비교하여 1,600°C 용융 하였을 때 슬래그 중 잔류하는 백금족 금속의 농도 변화율이 크게 향상되었다. 용융 온도 1,600°C의 경우 처리 후 슬래그 중 백금족 원소인 Rh, Pd, Pt의 평균 농도는 각각 6.21 ppm, 5.98 ppm, 6.97 ppm으로, 이는 용융 온도 1,500°C시 보다도 슬래그 백금족 원소 중 Rh와 Pd는 농도변화를 측면에서 각각 50.58%, 55.31%향상되었다. 그러나 폐촉매 중의 Pt의 초기농도가 12.9 ppm으로 낮아 용융처리 후 농도변화율의 비교가 어려웠다.

주제어 : 용융, 백금족 금속, 슬래그, 자동차 폐촉매, 회수

Abstract

The dry method and wet method are currently used for the recovery of platinum group metals (Pt, Rh, Pd) contained in spent automobile catalysts. The study herein aims to identify the melting condition and optimum collector metal in accordance with a comparison of each concentration change in melting waste catalysts, using Fe and Cu in a basic experiment to recover waste catalysts through application of the dry melting method. As a summarized result of the experiment herein, it was determined to be more advantageous to use Fe as a parent material rather than Cu from the aspect of recollection rate, and the concentration change rate of platinum group metals within slag was greatly enhanced at 1,600°C melting condition rather than at 1,500°C in terms of melting processing temperature. The mean concentration of platinum group metals – Rh, Pd and Pt – within slag after a melting process at 1,600°C were 6.21 ppm, 5.98 ppm and 6.97 ppm. The Rh and Pd were 50.58% and 55.31% respectively greater than the concentration change rate of platinum group metals in slag at a melting temperature of 1,500°C. However, since the initial concentration of Pt within the waste catalysts was 12.9 ppm, is relatively low, it was difficult to compare concentration change rates after the melting process.

Key word : Melting, PGMs, Slag, Spent automobile catalysts, Recycling

[†] 2010년 11월 15일 접수, 2010년 12월 19일 1차수정

2011년 2월 11일 2차수정, 2011년 4월 8일 수리

[†] E-mail: hnsepark@unitel.co.kr

1. 서 론

산업발달과 더불어 자동차의 보급 증대에 따라 대기오염원 중에서 자동차 배출가스의 비율이 날로 증가하는 추세에 있다. 미국에서는 1975년부터 새로운 제작차에 배기가스 촉매 시스템을 부착하였고, 1981년부터 모든 가솔린 자동차에 질소산화물의 배출 조건으로 1 g/mile의 엄격한 기준을 적용하였다. 이러한 배경하에 질소산화물, hydrocarbon, carbon monoxide의 세가지 오염물질을 동시에 처리하기 위하여 삼원촉매(TWC: Three way-catalyst)가 필요하게 되었다.^{1,2)} 삼원촉매의 활성성분은 백금족 금속(PGM, Platinum Group Metals)에 해당되는 백금(Pt), 팔라듐(Pd), 로듐(Rh)등이며 촉매에 사용되는 백금족 금속의 함량과 혼합비는 자동차 제조사 및 차종에 따라 달라진다. 또한 계속적으로 엄격해지고 있는 배기가스에 환경규제로 인하여 촉매에 장진되는 백금족 원소의 함량이 증가 추세이다. 국내 제작차(휘발유 자동차)의 경우 증대되는 대기오염을 줄이기 위한 목적으로, 1987년부터 자동차 배기가스 정화용 촉매 전환기의 장착을 의무화하였다. 자동차에서 촉매 전환기의 백금족 금속은 약12% 정도만 재순환되고 있다. 폐촉매를 전량 회수하기 위한 효과적인 수집망의 부족과 폐촉매에 존재하는 백금족 금속의 낮은 농도 때문이다. 자동차 폐촉매 중 백금족 금속의 회수를 위한 연구는 주로 습식공정으로 많은 연구가 수행되었지만 아직 국내에 상용 습식 공정에 대한 정보는 없는 실정이다.³⁻⁵⁾ 본 연구에서는 건식법 중의 한 방법인 고온 용융법을 이용하여 자동차 폐촉매 중 유가금속 회수를 위한 기초실험을 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 실험은 현재 폐자동차에서 직접 수거한 폐촉매를 이용하였으며, 실험에서 사용된 폐촉매 구성산화물 성분과 함유된 유가금속 성분분석 결과를 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

이와 같이 분석된 자동차 폐촉매를 이용하여 1차적으로 용융특성을 측정하기 위하여 고온 Heating Microscope를 이용하여 실시하였으며 이에 대한 실험 장치와 이때의 실험 조건을 Fig. 1과 Table 3에 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 용융 실험은 승온 속도를 20°C/min, 유지 시간은 3min으로 하여 실시하였다.

용융특성을 통하여 얻어진 결과를 기초로 하여 전기

Table 1. Chemical composition of spent automobile catalysts. (ppm)

시 료	Pt	Pd	Rh
시료 I	12.9	180	223.5
시료 II	7.45	863.4	438.2

Table 2. Chemical compositions of spent automobile catalysts.(wt%)

시 료 성 분	시료		시료			평균
	1	2	3	4	5	
SiO ₂	28.65	23.32	25.02	26.47	19.31	24.55
Al ₂ O ₃	53.73	61.55	59.46	56.88	63.98	59.12
MgO	16.42	12.29	14.28	14.11	11.23	13.67
Fe ₂ O ₃	0.19	0.15	0.13	0.16	0.10	0.15
P ₂ O ₅	0.15	0.17	0.04	0.25	0.05	0.13
TiO ₂	0.09	0.15	0.11	0.12	0.10	0.11
MnO	0.12	0.25	0.03	0.27	0.00	0.13
CaO	0.09	0.05	0.02	0.07	0.03	0.05

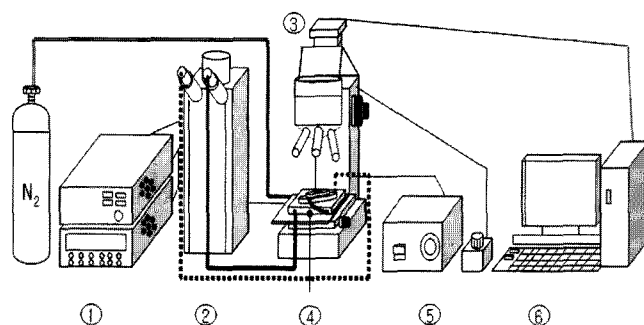
Table 3. Experimental conditions for Heating Microscope.

Temperature rate	20/min
Microscope Scale	10×10
N ₂ gas purge	35/min
limit temp.	1,700°C
retention time	3min
Amount of sample	0.01g

로에서 백금족 금속 회수 실험을 실시하였으며, 이때 사용된 용융로와 용융실험조건은 각각 Fig. 2와 Table 4, 5에 나타내었다.

실험은 자동차 폐촉매에 함유된 Pt, Rh, Pd를 용융공정을 통하여 포집 금속(collect metal)에 농축 되도록 하기 위하여 용융한 상태에서 폐촉매를 40g씩 장입하여 용융한 후 배출하였으며 이때 1회 용융 유지시간은 총 30분으로 하였다. 1차 폐촉매 용융 후 계속적으로 동일 포집금속에서 7차까지 폐촉매 첨가 실험을 실시하였으며 이때 포집금속으로는 Cu와 Fe를 사용하였다.

용융온도는 1500°C 와 1600°C에서 실시하였으며, 매 회 배출된 Slag 중 산화물 성분은 X선 형광분석기(X-ray Fluorescence Spectrometer)를 이용하여 분석하였다. Metal과 용융Slag 중에 함유된 Pt, Pd, Rh 분석은 유



①TS1500 Power Supply Unit-PSU ②Water Circulator
③Heating microscope ④TS1500 Stage ⑤Optical control unit ⑥PC

Fig. 1. Schematic diagram of Heating Microscope.

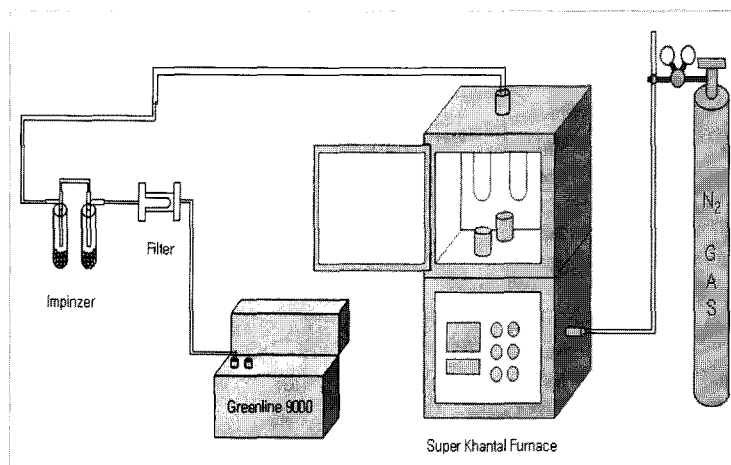


Fig. 2. Schematic diagram of muffle furnace.

도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)를 이용하였다. 이때 분석 조건은 Table 6과 같다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 폐촉매 용융 특성 분석

고온현미경(Heating Microscope)을 이용하여 폐촉매의 용융특성 분석한 결과를 Fig. 3와 Table 7에 나타내었다. 이때 실험은 시료와 예서 각각 2개와 3개의 시료를 채취하여 사용하였다. 폐촉매 용융특성은 연화점, 용융점, 유동점을 측정하였으며 연화점의 경우 시료의 용융되기 시작하는 점을 기준으로 하였으며 용융점은 초기 시료 높이의 1/2까지 줄어드는 점을 기준으로 설

Table 4. Melting conditions of spent automobile catalyst.

	Melting Temperature	Collector Metal		Spent automobile catalyst
sample 1	1,500°C	Fe	40g	40g
sample 2		Cu	40g	40g
sample 3	1,600°C	Fe	40g	40g
sample 4		Cu	40g	40g

Table 5. Experimental conditions for muffle furnace.

Item	Condition
setting temperature	1,500°C, 1,600°C
Heating rate	4/min
Retention time	30min

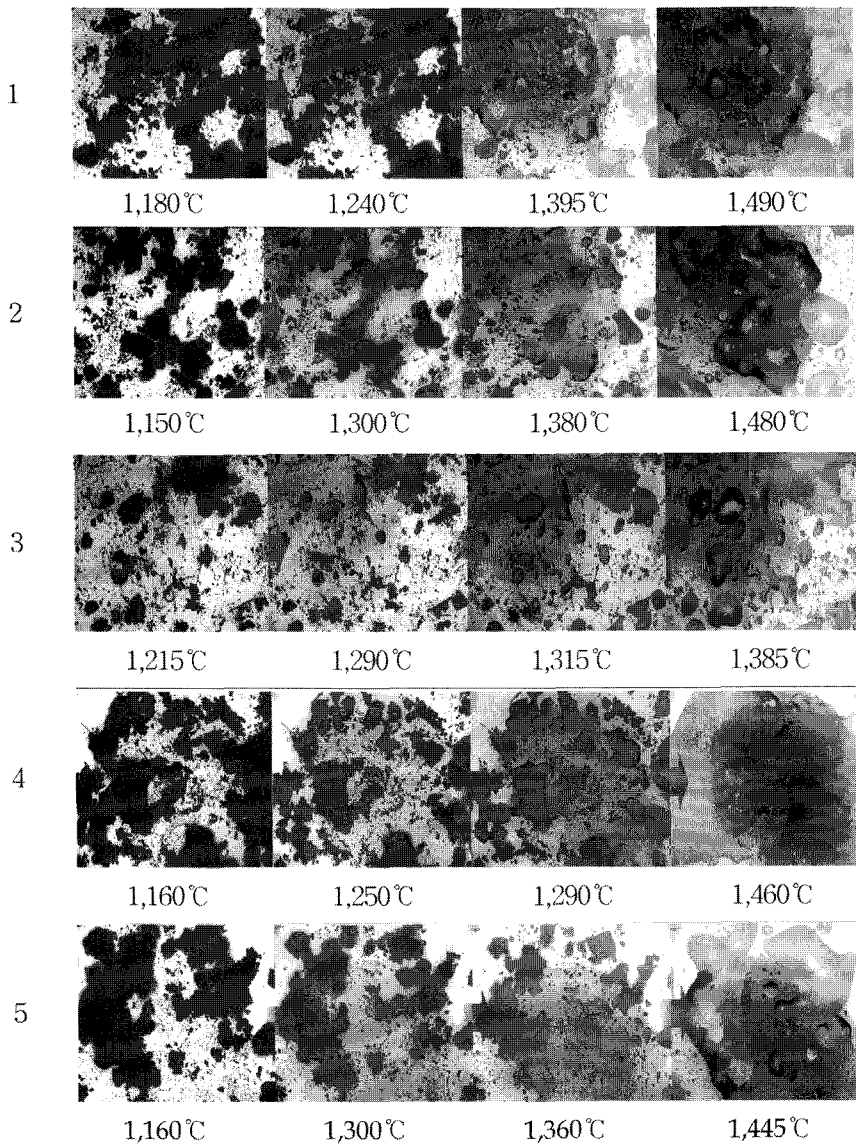


Fig. 3. Heating Microscope image of spent automobile catalysts.

정하였다.³⁾

유동점의 경우 시료 높이가 1/3이하로 되는 시점을 기준으로 하였다. 측정결과 평균적으로 폐촉매의 연화점은 1156°C, 용융점은 1284°C, 유동점은 1450°C에서 분석되었다. 용융온도는 평형삼원상태도($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$)에서 추정된 용융온도 (1600°C이상)³⁾보다 낮게 나타났다으며, 이와 같은 원인은 폐촉매 내에 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-}$

MgO 외에도 다른 산화물이 소량 함유되어 있어 이에 의한 영향으로 용융점이 낮아진 것으로 사료된다.³⁾

3.2 Fe 포집금속을 이용한 용융 특성분석

Fe을 포집금속으로 한 용융실험은 1500°C와 1600°C에서 실시하였으며 1500°C에서 용융 후 생성된 Slag중에 잔류 백금족 금속 성분과 이때 용융 Fe-metal에 농

Table 6. Experimental conditions for ICP-MS

RF Power Generator	
Max. Power	2.3 kW
Frequency	40.66 MHz
RF Stability	0.05 %
Sequential Monochoro meter	
Grating	Dual (4320 & 1800 grs/mm)
Mounting type	Czerny turner
Wavelength	150 to 800 nm
Working resolution	0.006nm
Minimum Step size	0.001nm
Focal length	1.0 m
Media	gas purge

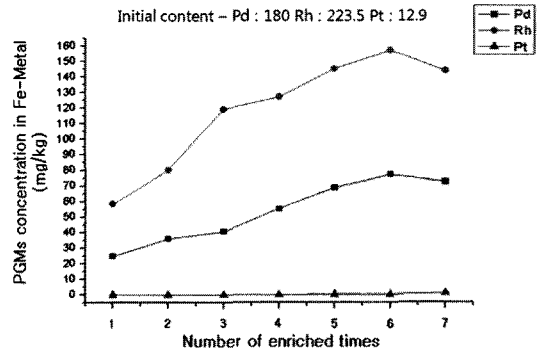
Table 7. Result of melting point of spent automobile catalyst.

sample	Softening Point(°C)	Semi melting Point(°C)	Flow Point(°C)
시료	1, 1,170	1,330	1,490
	2, 1,150	1,290	1,480
시료	3, 1,140	1,250	1,385
	4, 1,160	1,250	1,450
	5, 1,160	1,300	1,445
평균	1,156	1,284	1,450

축된 Pt, Rh, Pd의 분석 결과를 각각 Fig. 4와 Table 8에 나타내었다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 백금족 금속이 폐촉매로부터 Fe-metal로 이동은 촉매 용융 횟수가 증가할수록 증가하였으며, 7차후에는 metal 중 Rh는 143.60 ppm, Pd는 72.40 ppm, Pt는 1.04 ppm으로 농축되었다. 이때 차수별 처리 후 Slag중에 백금족 금속의 잔류량을 분석한 결과 평균적으로 Rh=104 ppm, Pd=74.47 ppm, Pt=7.8 ppm으로 나타났으며 이를 원시료를 기준으로 비교한 결과 Rh의 경우 53.3%, Pd 58.6%, Pt 45.1% 감소하였다. 그러나 Pt의 경우 초기 폐촉매 시료 중 농도가 특히 낮았으며 농도변화 측면에서도 분석 오차범위로 나타났다. 그러나 Slag와 Metal간에 PGMs의 이동 농축에 대한 물질수지는 맞지 않았으며 이는 Metal 시료 채취 및 분석에 오차로 사료된다.

1500°C의 용융조건과 동일한 방법으로 1600°C에서 폐촉매 용융처리 후 Metal과 Slag에서 Rh, Pd, Pt를

**Fig. 4.** Concentration of PGMs in metal after melting at 1,500°C(Fe).**Table 8.** Concentration of PGMs in slag after melting at 1500°C(Fe).

ppm	Rh	Pd	Pt
1 차	45.8	37.80	6.97
2 차	108.60	77.00	7.76
3 차	64.10	51.50	7.09
4 차	42.10	32.30	3.29
5 차	203.60	149.30	8.65
6 차	93.10	77.00	8.17
7 차	173.40	96.40	7.68
평균	104.39	74.47	7.08

분석한 결과를 각각 Fig. 5와 Table 9에 나타내었다.

1600°C에서 폐촉매 용융실험의 경우 1500°C에 비하여 Metal층에서의 농축 농도가 크게 증가하였으며 7차 실험에서 Pd=364 ppm, Rh=594.3 ppm, Pt=1.47 ppm으로 1500°C에 비교하여 각각 220.4 ppm, 521.9 ppm, 0.43 ppm이 증가하였다. Fig 5의 3차에서 Metal 중 PGMs농도가 낮아진 것은 분석 오차로 사료된다. 또한 각 차수별 처리 후 Slag의 분석결과에서 Slag중에 Rh, Pd, Pt의 잔류 농도는 평균적으로 각각 6.21 ppm, 5.98 ppm, 6.97 ppm 으로 나타났으며 Slag의 농도 변화율을 환산할 경우 97.22%, 96.68%, 45.97%이었다. 이와 같은 Slag농도 변화율은 1500°C 용융 시와 비교한 경우 Rh, Pd에서 각각 50.58%, 55.31% 증가하였다. 용융온도 1500°C와 1600°C에서 용융처리 후 slag 구성 산화물의 성분분석 결과를 Table 10에 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 용융온도에 관계없이 촉매의 주성분인 SiO₂, Al₂O₃, MgO 성분의 경우 농도가 거의 일정

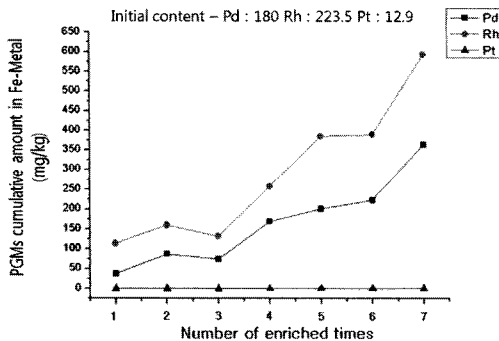


Fig. 5. Concentration of PGMs in metal after melting at 1,600°C(Fe).

Table 9. Concentration of PGMs in slag after melting at 1,600°C(Fe).

ppm	Rh	Pd	Pt
1 차	7.14	9.31	7.39
2 차	3.61	4.79	7.07
3 차	4.32	5.33	7.70
4 차	3.95	7.39	5.54
5 차	12.40	5.86	7.70
6 차	2.51	4.24	7.32
7 차	9.55	4.93	6.06
평균	6.21	5.98	6.97

Table 10. Slag compositions at Fe-base.

성 분 (%)	1500°C 처리 후 (평균)	1600°C 처리 후 (평균)
SiO ₂	34.01	31.781
Al ₂ O ₃	46.346	44.631
MgO	12.332	12.662
Fe ₂ O ₃	0.332	0.290
P ₂ O ₅	0.132	0.133
TiO ₂	-	-
MnO	0.248	0.187
CaO	0.133	0.421
MgO/SiO ₂ +Al ₂ O ₃	0.153	0.165

하였다. 이와같은 slag 구성산화물을 염기도(MgO/SiO₂+Al₂O₃)로 정리하면 1500°C와 1600°C에 각각 0.153, 0.165로 나타났다.

3.3 Cu을 포집금속으로 이용한 용융 특성분석

Cu를 포집금속으로 폐촉매 용융실험에서 Rh, Pd, Pt에 대한 분석 결과를 Metal과 Slag에 대하여 각각 Fig. 6, Table 11에 나타내었다. 이때 용융 온도는 1,500°C 기준이며, 폐촉매 시료 중 초기 Rh, Pd, Pt의 농도는 각각 438.2 ppm, 863.4 ppm, 7.45 ppm이었다. 특히 Fe를 포집금속으로 실시한 실험에 비하여 초기 농도가 Rh와 Pd에서 높았다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 Metal 측에서의 Rh, Pd, Pt 농도는 용융차수가 증가함에 따라 농축농도가 증가하였으며 7차후 Pd와 Rh농도는 각각 592.3, 368.0 ppm으로 농축 되었으나 Pt의 경우 전혀 농축되지 않은 것으로 분석되었다. 이와 같이 Pt가 Metal측에 농축되지 않는 것은 폐촉매 중 Pt 농도가 특히 낮았기 때문으로 사료된다. Slag에서의 백금족 금속의 잔류농도 분석결과에서는 평균적으로 Rh=271.4 ppm, Pd=621.9 ppm, Pt=7.1 ppm으로 나타났으며 초기 폐촉매 중 농도와 비교 하였을 경우 Slag농도 변화율은 38.06%, 27.97%, 4.70%로 나타났다. 특히 Pt의 경우 초기농도에 비하여 거의 농도변화가 없는 것으로 나타났다. 동일한 실험 조건에서 용융 온도를 1600°C에서 처리한 결과를 Metal과 Slag에 대하여 각각 Fig. 7과 Table 12에 나타내었다.

Fig. 7에 나타난 바와 같이 Metal측에서의 7차 후에 농축 농도는 Rh=1629.5 ppm, Pd=947 ppm으로 나타났다. 이와 같은 결과는 1500°C에 비하여 Rh와 Pd에서 각각 3배 이상으로 증가하였으며 Pt의 경우는 1500°C와 마찬가지로 Metal중에는 농축되지 않았다. 또한 Fig. 7에서 3차 분석시 Cu 중 Rh, Pd가 상대적으로 낮은 수치는 분석 오차로 사료된다. 용융 후 Slag에 잔류농도 분석결과 Table 11에 나타난 바와 같이 평균 Rh=45.5 ppm, Pd=132.1 ppm, Pt=6.8 ppm으로 나타났으며 초기 폐촉매 농도와 비교하여 Slag농도 변화율이 Rh=89.62%, Pd=84.70%, Pt=8.72% 나타났다. Cu을 포집금속으로 하여 용융 후 slag 구성산화물 분석결과를 Table 13에 나타내었다. Fe를 포집금속으로 하였을 경우와 마찬가지로 용융온도에 따른 주요 산화물인 SiO₂, MgO, Al₂O₃의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 염기도(MgO/SiO₂+Al₂O₃)의 경우 1500°C와 1600°C에서 각각 0.143, 0.145로 나타났다.

4. 결 론

자동차 폐촉매를 대상으로 Fe와 Cu을 포집금속으로

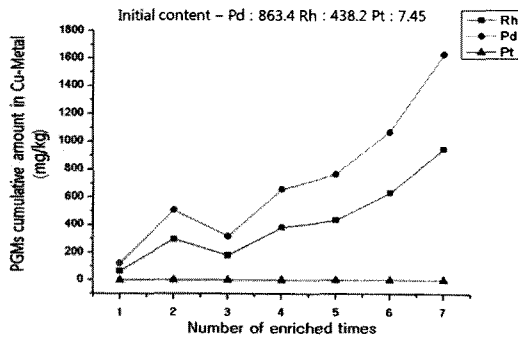


Fig. 6. Concentration of PGMs in metal after melting at 1,500°C(Cu).

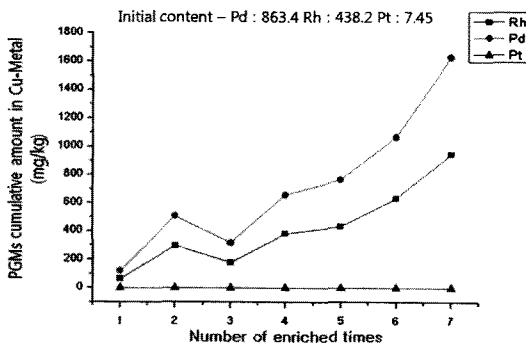


Fig. 7. Concentration of PGMs in metal after melting at 1,600°C(Cu).

Table 11. Concentration of PGMs in slag after melting at 1,500°C(Cu).

ppm	Rh	Pd	Pt
1 차	336.9	682.2	6.8
2 차	257.7	600.4	7.7
3 차	210.3	531.9	6.2
4 차	206.4	532.4	6.6
5 차	238.8	579.3	6.2
6 차	414.3	854.7	9.2
7 차	235.4	593.6	6.7
평균	271.4	624.9	7.1

Table 12. Concentration of PGMs in slag after melting at 1,600°C(Cu)

ppm	Rh	Pd	Pt
1 차	66.2	159.6	6.4
2 차	104.1	262.0	6.6
3 차	15.9	74.1	6.7
4 차	39.1	129.4	8.7
5 차	38.1	111.7	6.5
6 차	19.2	73.2	6.5
7 차	35.9	114.5	6.4
평균	45.5	132.1	6.8

하여 고온용융 회수 실험한 결과 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

1. 자동차의 폐촉매의 주요 산화물 구성은 $MgO-SiO_2-Al_2O_3$ 계로 분석되었으며 이에 대한 용점실험 결과 연화점, 용융점, 유동점을 각각 1156°C, 1284°C, 1450°C로 나타났다.

2. 1500°C에서 Fe를 포집금속으로 하여 용융회수 실험결과 Rh, Pd, Pt는 Metal중에 각각 118.59 ppm, 53.61 ppm, 0.26 ppm으로 나타났으며 이때 Slag 중에는 평균 Rh=104 ppm, Pd=74.47ppm, Pt=7.8 ppm으로 잔류하였다.

3. 1600°C에서 Fe를 포집금속으로 하여 용융 실험한 결과 Metal 중에 Rh, Pd, Pt의 농도는 7차후 각각 594.3 ppm, 364 ppm, 1.47 ppm으로 나타났으며 이때 Slag는 평균 Rh=6.21 ppm, Pd=5.98 ppm, Pt=6.97 ppm에 잔류하였다.

4. Slag 잔류 농도기준으로 하여 PGMs의 농도변화를 분석한 결과 1500°C에 비하여 1600°C에서 각각 Rh=

Table 13. Slag compositions at Cu-base

성분 (%)	1500°C 처리 후 (평균)	1600°C 처리 후 (평균)
SiO_2	31.287	28.890
Al_2O_3	45.315	48.826
MgO	10.942	11.261
Fe_2O_3	0.229	0.158
P_2O_5	0.190	0.156
TiO_2	-	-
MnO	-	-
CaO	0.131	0.099
$MgO/SiO_2+Al_2O_3$	0.143	0.145

50.58%, Pd=55.31%로 증가하였다.

5. Fe을 포집금속으로 한 실험 후 Slag 구성 산화물과 폐촉매 산화물과의 농도 변화를 비교 분석한 결과 농도 변화에 대한 차이는 크지 않았다.

6. 같은 방법을 Cu를 포집금속으로 실험결과 Fe을 포집금속으로 한 경우 마찬가지로 온도에 대한 영향이 백금족 금속회수율에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

7. Slag 잔류농도 기준으로 PGMs의 농도 변화율을 분석한 결과 1500°C에 비하여 1600°C의 용융 시 각각 Rh=51.56%, Pd=56.73%, Pt=8.72%로 증가하였다.

8. 용융 처리 후 Slag내 PGMs의 잔류 농도를 비교한 결과 동일 온도에서 Cu를 포집금속으로 한 경우에 비하여 Fe을 포집금속으로 한 경우가 효과적이었다.

5. 참고문헌

1. 환경부, 1998: 환경백서(행정간행물등록번호:38000-67030-06-51), 남형문화(주), pp. 316~317.
2. 한국자원리싸이클링학회, 2009: 리싸이클링백서, P. 281-P286.
3. Verlag stahleisen M.B.H dusseldorf, 1981: Schlackenatlas Slag atlas.
4. T. Murakami, T. Ishida, K. Sasabe, K. Sasaki and S. Harada, 1991: Characteristics of melting process for sewage sludge.
5. Byung-Su Kim, Jae-chun Lee, Seung-Pil Seo, Young-Koo Park, and Hong Yong Sohn, 2004: A process for extracting precious metals from spent printed circuit boards and automobile catalysts.
6. Wan-tae Kim, Hyung-seok Kim, Sung-baek Cho, Jae-chun Lee and Sang-bae Kim, 2008: Effect of attrition scrubbing on the recovery of Platinum Group Metals from spent automobile catalytic converters.
7. Mi-Ae Kim, Jae-chun Lee, Chi-Kwon Kim, Min Seuk Kim, Byung-Su Kim and Dyoungkeun Yoo, 2006: Solvent extraction of Platinum Group Metals from the leach liquor of spent automotive catalyst.
8. Bong-Chan Ban, Chang-Min Kim, Young-Im Kim and Dong-Su Kim, 2002: Recovery of precious metals from waste PCB and auto catalyst using arc furnace.
9. James E. Hoffmann, 1988: Recovering platinum-group metals from auto catalysts.
10. M. Benson, C.R. Bennett, J.E. Harry, M.K. Patel, M. Cross, 2000: The recovery mechanism of platinum group metals from catalytic converters in spent automotive exhaust systems.
11. Angelidis, T. N. and Skouraki, E., 1996: Preliminary studies of platinum dissolution from a spent industrial catalyst, Applied Catalysts A:General, Vol, 142, pp. 387~395.
12. 환경부, 1999: 폐기물 자원화 기술, 폐기물 중의 유가금속 회수기술 개발, 3차년도 최종 보고서.
13. Y. Akimoto, Japanese Patent No. 62810-1975, Japanese Patent No. 87920-1975, Japanese Patent No. 51-32419.
14. Ariake K, Kaga A, Matsuoka Y, Kinoshita K, Yasui T, Shimoyama N, 1995: Plasma slagging incinerator for incineration ash. pacific basin conference on hazardous waste, Edmonton, canada.

朴 賢 緒

- 현재 전주대학교 대체의학대학 대체건강관리학부 교수
 - 당 학회지 제13권 1호 참조
-