J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 18, No. 4, 2009, 3-13

≫ 總　　設 ≪

特許情報를 이용한 稀少白金族 特性과 回收技術†

安種寬* · 李康明** · ⁺李載寧***

*韓國地質資源硏究院, **성일하이텍, ***江原大學校 地球시스템工學科

Properties and Recovery Technologies for Rare-Platinum Group using Patent Information†

Jong-Gwan Ahn*, Kang-Myoung Lee and ⁺Jaeryeong Lee*****

**Korea Institute of Geoscience and Mineral Reousrces*
***Sungeel Hightech Company*
****Dept. Geosystem Engineering, Kangwon National University*

요　　약

지각 내 존재비율이 0.4 ppb 이하인 희소백금족 로듐, 루테늄, 이리듐, 오스뮴 원소에 대해 특성을 조사하고 일본을 중심으로 한 기술선진국의 특허 등록된 회수 및 분리기술을 정리함으로써 국내 발생 폐자원으로부터 희소백금족 회수기술과 원료소재화 활용기술 개발 필요성을 제시하고자 한다.

주제어 : 희소백금족, 회수기술, 특허 동향

Abstract

Rare platinum group (RPG)including rhodium, ruthenium, iridium, osmium, exists at the rate of 0.4 ppb or less in the earth's crust. For the purpose of suggestion to developing necessity for recycling technology with the RPG, survey on the characteristics and the recovery technologies was carried out by using patent information.

Key words : Rare platinum group (RPG), Recovery technology, Trend of patent

1. 서　　론

일반적으로 백금족 금속은 주기율표 8족에 속하는 6종류의 금속으로, 백금(Pt, Platinum), 팔라듐(Palladium, Pd), 로듐(Rhodium, Rh), 루테늄(Ruthenium, Ru), 이리듐(Iridium, Ir), 오스뮴(Osmium, Os)이 해당된다. 백금족원소의 지각 중 존재량은 아주 미량으로 존재율은 백금 2 ppb, 팔라듐 0.4 ppb, 로듐 0.4 ppb, 오스뮴 0.4 ppb 이하, 이리듐 0.4 ppb, 루테늄 0.4 ppb 이하이다. 이 중에서 비교적 매장량이 많은 백금과 팔라듐을 제외한 네가지 원소를 희소백금족(Rare Platinum Group)으로 분류할 수 있다.

희유백금족의 자원의 매장량은 남아프리카와 러시아 등 주요국가에 편중되어 있고(Table 1), 일본과 같이 매장량은 없으나 일찍부터 폐스크랩이나 전자부품으로부터 회수기술을 개발한 국가에 의해 시장가격이 형성되고 있으며, 기술 또한 남아프리카, 러시아 등 주요 부존국가에서는 광물로부터 분리, 회수기술이 개발되었고, 일본, 영국 등 수요가 많은 소수의 산업 및 기술선진국을 중심으로 폐자원으로부터 회수, 분리, 정제기술이 개발되어 공급하고 있다.

희소백금족 원소는 극성 및 비극성용매에 대한 우수한 내성, 고온에서 안정성, 화학반응에 대한 촉매능, 주

† 2009년 7월 24일 접수, 2009년 7월 31일 1차수정
2009년 8월 7일 수리
⁺E-mail: jr-lee@kangwon.ac.kr

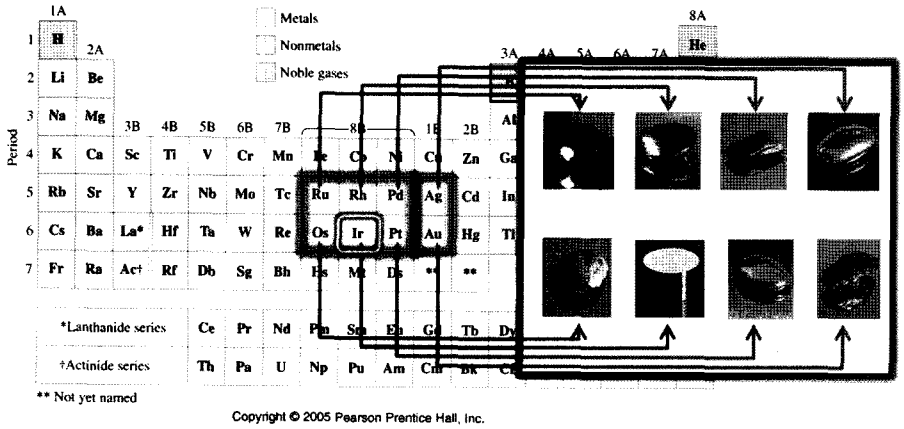

Fig. 1. Precious Metals in the periodic table of elements.

Table 1. Grade and ore deposit of the platinum group metals in the specific ore (grade [g/ton], deposit [ton])

	남아프리카 부시벨트 복합광체						캐나다 sudbury		러시아		콜롬비아	미국 스틸워터	
	멜렌스키		UG2		블랙트리프								
	비율	매장량	비율	매장량	비율	매장량	비율	매장량	비율	매장량	비율	비율	매장량
백금	59	1,032	42	1,355	42	496	38	11	25	155	93	19	22
팔라듐	25	437	35	1,132	46	543	40	11	71	440	1	66.5	71
루테늄	8	139	12	388	4	47	2.9	<3.1	1	6		4	4
로듐	3	53	8	257	3	37	3.3	<3.1	3	19	2	7.6	8
이리듐	1	19	2.3	74	0.8	9	1.2	<3.1			3	2.4	<3.1
오스뮴	0.8	16			0.6	6	1.2	<3.1			1		
합계		1,696		3,206		1,138		24.2		620			108.5
품위	8.1		8.71		7~27		0.9		3.8			22.3	

Table 2. Global market for ruthenium and iridium (quoted from Johnson Matthey "Platinum 2006")

산업분야	루테늄 (Koz)			이리듐 (Koz)		
	'04	'05	'06	'04	'05	'06
Electrochemical	96	96	137	27	28	34
Chemical	123	164	222	25	26	33
Electronics	388	582	874	30	32	28
Others	65	49	55	38	42	36
Total	672	891	1289	120	128	131

변 환경변화에 대한 안정적인 전기특성 발현 등 독특하고 우수한 특성을 가지고 있어서, 현재 에너지산업, 전기전자산업, 항공우주산업 등 첨단산업의 전략소재로 사용되고 있으며, 차세대 에너지산업의 주 근간을 이루고 있는 연료전지 부품소재에 희소백금족 원소의 응용가능성 증가하고 있다(Table 2). 뿐만 아니라 환경 및 제약, 의료산업에 촉매재료, 기저재료, 모니터링재료로써 이리듐의 활용성 검증연구가 활발히 진행되고 있는 등 수요

Table 3. Import phases and scales of ruthenium in domestic (2006)

수입형태	수입량 (kg/yr)	루테늄환산량 (kg)	특성 및 용도
루테늄 금속분말	360	360	Powder 상, 순도 99.95% 이상
	60	60	sponge 상, 순도 99.95% 이상 저항페이스트용
루테늄 페이스트	120	27	30% RuO2 함량기준, R-Varistor 제조용
	1,800	205	15% RuO2 함량기준, 칩저항기 제조용
	36,000	1,800	5% Ru 함량기준, PDP 용 흑색 페이스트
삼염화루테늄화합물	54	22	40% Ru 함량기준, 불용성 전극용, Ru/C 촉매제조용
촉매	20,000	200	1% Ru 함량기준, 석유화학개질 촉매
합계	58,394	2,674	금액환산 535 억원 (Ru 20,000 원/g 기준)

처 증가가 예상되고 있는 실정이며, 이에 희소백금족 자원보유국과 일본, 영국 등 기술보유국의 공급조절로 가격이 과거 5년 동안 2배 이상 증가하는 등 가격 및 시장 불안정이 지속되고 있다. 이에 반하여 국내 전자산업을 중심으로 한 첨단산업 발달로 인하여 수입량이 점차 증가하고 있으며, 수입형태 또한 다양화되고 있다 (Table 3).

이에 본 내용에서는 희소백금족에 대한 특성에 대해서 소개하고, 희소백금족의 회수 및 분리기술에 대해서 특허내용을 중심으로 소개함으로써 국내 희소백금족의 원료소재화 및 재활용기술의 개발 필요성을 제시하고자 한다.

2. 희소백금족 특성

백금족 6개 금속들은 소위 귀금속으로 분류되고, 이 금속들은 고열이나 부식성 환경에서 잘 견디며, 공기나 물에서 산화하지 않고 산에 녹지 않는 성질을 갖고 있다. 자연에서 일반적으로 함께 존재하는 희소백금족 원소들은 크게 2개 군으로 나눌 수 있는데, 그룹 1에는 루테늄, 로듐이 포함되고, 그룹 2에는 오스뮴, 이리듐이 속한다. 그룹 1의 원자량은 금의 반이고, 은보다도 오히려 가볍다. 그룹 2의 원자량은 그룹 1의 거의 2배이며 금보다는 조금 작고, 보석류에서 사용되어지는 불순물이 섞인 금인 karat gold보다는 무겁다. 그룹 1과 그룹 2의 각각 대응되는 금속들의 짝들(루테늄과 오스뮴, 로듐과 이리듐) 각각은 서로 유사한 화학적, 물리적 성질을 가진다. 각 짝 금속들의 원자번호는 공통으로 32의 차이를 보이며, 이 백금족의 중요한 물리적, 기계적 성질들을 Table 4에 정리하였다.

2.1. 백금족의 공통된 성질

백금족 금속은 보통 1,552°C(팔라듐)~2,700°C(오스뮴)의 높은 융용점을 가지고 있다. 산소, 할로겐, 산 그 외 기타 물질과 백금족의 화학적 반응은 세부 분류에 의하여 결정되며, 로이드 형태의 금속들은 반응력이 크고 주요 산업에서 많이 사용되고 있다. 상대적으로 반응성이 작다. 오스뮴을 제외한 직접 산화는 매우 고온에서 표면에서만 발생한다.

산소 중에서 이 금속들에 고온의 열을 가할 때 질량 손실이 발생한다. 그러나 이 금속들이 진공이나 질소 기체 속에서 가열되면 질량 결손은 없으며, 은이 주기율표에서 가장 좋은 전도체인 반면, 백금족은 약한 전도성을 지닌다. 그러나 전기저항은 불순물에 의해 크게 변한다.

2.2. 백금족의 특이 성질

백금은 은처럼 흰색이지만 은보다 덜 밝고, 매우 무거우며, 연성이 있고, 순수 산에서 높은 융점, 뛰어난 촉매로서의 성질은 백금을 가장 주요한 산업금속으로 만들었다. 높은 온도에도 강한 힘을 가지며, 유리와 거의 같은 팽창계수를 가진다. 이 금속의 산화에 대한 저항력과 휘성, 산, 화학약품, 열에 대한 내부식성은 화학실험실 기자재나 보석류, 의치 등에 매우 적합하게 사용된다.

백금, 이리듐, 오스뮴은 모든 금속 중에서 화학적으로 가장 안정되어 있다. 팔라듐은 백금처럼 보이면서, 은과 같은 회색과 흰색의 금속이며, 전성, 연성, 불용해성, 산화와 산에서 부식성에 대한 강한 저항력과 백금과 비슷한 특성을 갖는다. 백금족에서 가장 가볍고 가장 저온의 융점을 갖는다.

Table 4. Physical properties of the rare platinum group Metals

	Rh	Ir	Ru	Os
원자번호	45	77	44	76
원자량	102.9	192.22	101.07	190.2
결정구조	FCC	FCC	HCP	HCP
격자정수 (25), Å	3.8034	3.8392	(a) 2.705 (c/a) 1.582	(a) 2.7343 (c/a) 1.580
밀도 (20), g/cm^3	12.42	22.56	12.37	22.59
융점 , ℃	1,963	2,457	2,250	2,700
비점 , ℃	3,727	4,527	3,900	(5,500)
저항율 (25℃), μΩ·cm	4.51	5.3	7.6	9.5
저항 온도계수 (0~100℃), / ℃	0.00463	0.00427	0.0046	0.0042
열전도율 , Wm^{-1}K^{-1}	150	147	105	87
비열 (0℃), J·g^{-1}K^{-1}	0.238	0.135	0.57	0.13
열팽창계수 (20~100℃), / ℃	8.5×10^{-6}	6.5×10^{-6}	9.1×10^{-6}	4.6×10^{-6}
영율 , N·m^{-2}	39.7	52.8	43.2	55.9
초전도임계온도 (Tc), K		0.14	0.49	0.655

로듐은 은빛의 푸르스름한 흰색을 띠고, 높은 융점을 가지며, 경도가 높고, 산을 포함한 물질에도 반응성이 없으며, 붉은 질산과 왕수에서도 녹지 않고 전성과 연성을 가진다. 백금족 중에서 로듐이 가지는 유일한 특성은 2가지인데, 첫 번째는 백금족 중 가장 양호한 전기와 열의 전도성이며, 두 번째는 고온에서 강한 반사적 표면을 형성하며 높은 반사율을 가지고 있다는 것이다.

이리듐은 아주 단단하고, 무거운 흰-회색 귀금속이다. 고순도 상태에서 다소 약해서 깨지기 쉬우며, 강철과 같은 광택을 지닌다. 화학반응을 잘 하지 않으며, 괴 상태에서 산에 거의 녹지 않고, 백열(white heat)에서는 전성을 가진다. 오스뮴 다음으로 가장 큰 밀도를 가지고 있다.

루테늄은 매우 단단한 잿빛-회색의 귀금속이며, 백금같이 보이나 백금보다 깨지기 쉽다. 높은 융점을 가지며 부식에 강하다. 그러나 비교적 쉽게 결합하고 염소에 쉽게 반응하며 전성과 연성이 없으나 합금 시 백금이나 팔라듐의 강도를 더 높여 줄 수 있다.

오스뮴은 아주 단단하고(밀도 최대), 깨지기 쉬우며, 푸르스름한 회색, 검푸른색의 수정같이 맑은 귀금속이다. 가장 높은 융점(2,700℃)을 갖으며, 5,300℃ 이상에서 끓는다. 밀도는 22.61 g/cm로서 금보다 높으며 납의 2배이다. 또한 중독성이 있고, 쉽게 산화되어 휘발성과 독성을 지닌 4산화물을 만들고, 유독성 연기를 내면서 온도를 저하시키고 이 독성의 연기는 눈, 폐등 점액을 함유하는 막을 자극하면서 오스뮴 침전물을 남겨 문제를 일으킨다. 오스뮴은 주로 다른 백금족과 결합하여 단단한 합금 제조에 사용되며, 연성 또는 전성은 없다.

3. 광석으로부터 정련

조광에 대해서 파분쇄, 마쇄를 실시한 후 중력선별, 부유선별를 통해 고품위 백금족황화 정광을 제조하고, 이를 다음 공정에서 각각의 금속으로 분리하게 된다. 분리공정은 Fig. 2에 공정도를 표시하였다.

이 공정에서 각 금속의 분리를 완전히 행하는 것은 어렵고, 각 금속의 침전에는 반드시 다른 원소의 혼입이 행하여진다. 따라서, 고순도화 하기 위해서는 보다 복잡한 정제공정이 반드시 요구되며, Fig. 2의 공정으로 백금족 금속의 회수율은 약 98%, 순도는 99.5% 정도를 기대할 수 있다. 또한 정제에 소요되는 시간은 왕수로 용해하는 경우 백금, 팔라디움은 2~3개월, 왕수에 용해되지 않는 금속의 경우는 약 4~6 개월이 소요된다.

3.1. 용매추출에 의한 백금족 금속 정제

상기 방법으로 고순도 재료를 얻기 위해서는 정제공정이 필요하고, 처리공정에 긴 시간이 소요되는 결점이 발견되었다. 1970년대에 들어서 용매추출에 의해 분리

Table 5. General properties of the rare platinum group metals

금 속	특 성
로 듐	- 은빛의 청백색 금속으로 내식성이 있으며, 전성이 풍부하고 연성을 가진다. - 열전도성과 전기 전도성이 매우 우수하고, 반사율이 뛰어나다
이리듐	- 매우 단단하고 비중이 크며, 백회색을 띤다. - 고순도에서는 약해서 깨지기 쉬우며, 강철과 같은 광택을 지닌다. - 전성이 좋고, 오스뮴 다음으로 밀도가 높다. - 방사성 동위원소 이리듐은 감마선을 방출한다. - 플라티늄과 합금하면 경도가 높아진다.
루테늄	- 회백색을 띠며, 매우 단단하다. - 견고하지만 깨지기 쉬운 성질이 있어 가공성이 나쁘다. - 다른 PGM 금속과 다르게 내식성이 없으며, 염소에 쉽게 반응한다. - 전성이나 연성이 없으며, 플라티늄과 팔라듐의 경화 합금재로 사용된다.
오스뮴	- PGM 금속 가운데 융용점이 높다. - 밀도가 22.61 g/cm^3 로 높고, 실온에서 잠막을 자극하는 유독가스를 방출하며, 산화반응을 일으킨다. - 루테늄과 마찬가지로 연성이나 전성이 없으며 플라티늄과 팔라듐의 강도를 보강하기 위해 사용된다.

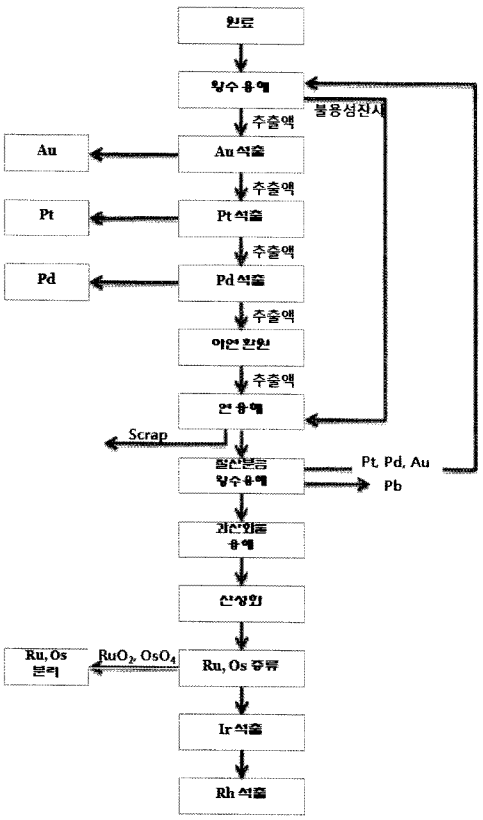

Fig. 2. Purification flowsheet for platinum group metals.

정제기술의 공업화가 연구되어 1980년대에 용매추출법에 의한 백금족 금속의 정련을 행하는 공장이 건설되게 되었다. 용매추출법은 유기용매을 사용하여 수용액에 용해되어 있는 여러 가지 금속이온 중에서 특정 금속이온만을 유기용매 중으로 이동시키는 방법으로 분리하는 것이다. 이 방법의 잇점으로는 종래의 침전법에 의한 정련이 다성분의 경우에 미량성분이 공침하기 쉽기 때문에 순도를 높이기가 어렵고 처리에도 많은 시간이 소요되는 것과 비교하여 조작이 훨씬 간단하고 처리시간도 짧다. 실용화되어 있는 백금족 금속의 용매추출공정은 각 출발원료와 회사마다 다르지만 대표적인 공정예를 Fig. 3에 나타내었다. 이 방법에 의해 정련시간이 대폭 단축되었으며, 종래 장시간 소요되었던 왕수에 불용성 금속의 정련이 20일 정도로 가능하게 되었으며, 순도 또한 99.95% 이상으로 향상되었다.

3.2. 희소백금족 회수 및 정제기술 특허등록 현황

1970년 이후 미국, 일본, 유럽, 국내 특허 등록된 197건의 희소백금족 관련 특허를 조사하여 회수 및 정제에 관련된 특허만을 분류, 정리하였다. 분류는 회수대상 원료별, 회수목적 물질별, 회수기술별로 정리하였다.

3.2.1. 회수대상 원료별 출원동향

Fig. 4에서 보면, 회수의 대상이 되는 즉, 처음 백금족이 포함되어 있는 어떤 물질을 대상으로 하였는가는 알 수 있는데, 기타를 제외한 방사성 폐기물을 대상으로 한 것이 9건으로 가장 많은 출원 수를 보였고, 다음으로 수용 및 산화물이 각각 8건으로 많은 출원수를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이를 비율로 살펴보면, 방사성 폐기물이 20%, 수용액과 산화물이 각각 18%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

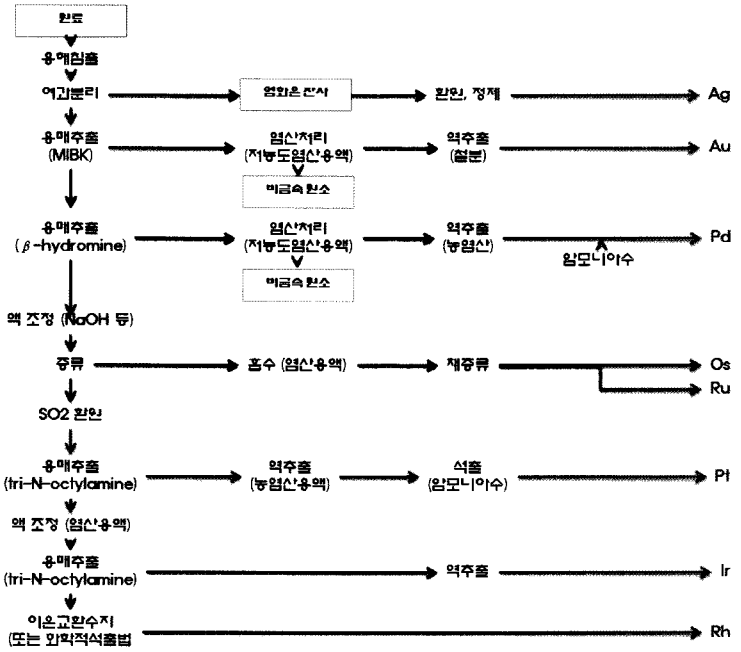

Fig. 3. Flowsheet of solvent extraction for platinum group metals.

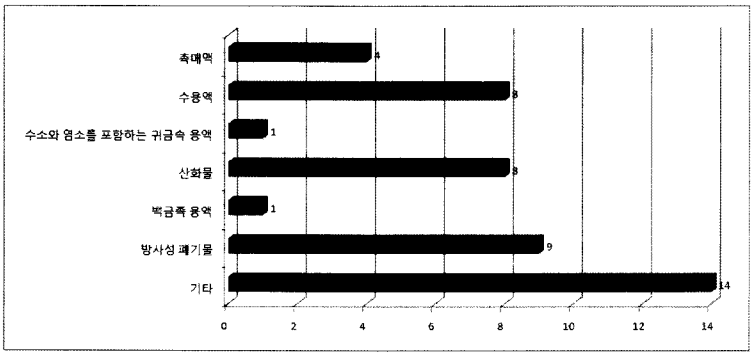

Fig. 4. The number of patent according to recovery target materials.

Fig. 5는 회수 대상물질의 연도별 출원동향을 나타내었다. 촉매액을 대상으로 하는 출원이 96년도에 3건으로 가장 많은 출원수를 보이고 있음을 알 수 있다. Fig. 6에서는 3대 주요 출원인들의 회수 대상물이 그 대상을 달리 하고 있음을 볼 수 있다. TAHAKA KIKIHZORU사는 산화물을 대상으로 하는 출원을 6건, SUMITOMO사는 수용액을 대상으로 하는 출원을 4건, MITSUBISHI사는 촉매액을 대상으로 하는 출원을 4건으로 서로 다른 대상물을 회수하는 출원을 하고 있음을 볼 수 있다.

3.2.2. 회수물에 대한 출원동향

Fig. 7를 보면, 회수기술을 이용하여 귀금속 중 특정 물질을 최종적으로 회수 하려는 회수물은 루테늄을 대상을 하는 출원이 24건으로 단연 많았으며, 다음으로 로듐이 9건으로 많은 출원을 하고 있음을 알 수 있다. Fig. 8을 보면, 회수물중 주요 회수물이 루테늄과 로듐의 연도별 출원동향은 루테늄은 77년도와 96년도에 각각 3건으로 가장 많은 출원수를 보이고 있으며, 로듐은 90년도에 4건으로 가장 많은 출원수를 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9을 보면, 루테늄은 IPC분류 중 C01G 55/00의

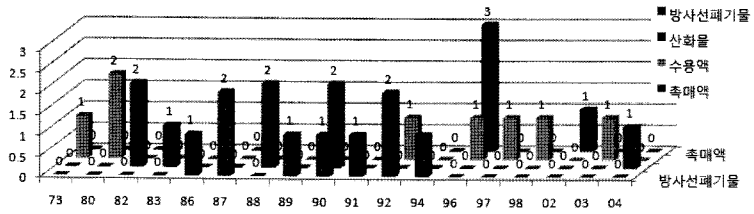

Fig. 5. The yearly trend of patent according to recovery target materials.

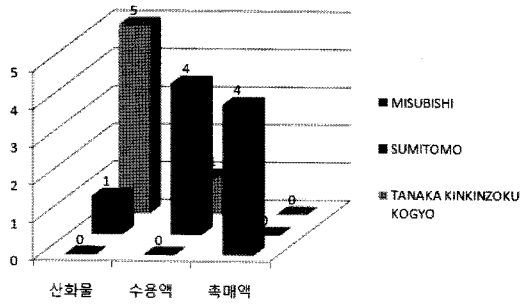

Fig. 6. The number of patent according to recovery target materials in 3 Major patentor.

출원수가 8건으로 가장 많은 출원수를 보이고 있으며, 로듐은 C22B 11/00이 4건으로 가장 많은 출원을 하고 있음을 알 수 있다. Fig. 10를 보면, 루테늄을 회수물로 하는 출원은 방사성 폐기물을 회수대상물로 하는 경우가 7건으로 가장 많은 출원수를 보이고 있으며, 로듐은 산화물을 대상물로 하는 경우가 4건으로 가장 많은 출원을 하고 있어, 루테늄과 로듐이 각각 서로 다른 대상물을 대상으로 하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11를 보면, 로듐을 회수물로 하는 회수방법 중 침전방법이 34%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 다음으로 흡착방법이 33%로 많은 출원율을 차지하고 있음을 알 수 있다. Fig. 12을 보면, 루테늄은 다양한 회수방법이 비슷한 비율로 회수되고 있음을 알 수 있는데, 그 중에서도 상분리가 24%로 가장 큰 출원율을 보이고 있으며, 다음으로 추출과 기화분리가 19%의 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다.

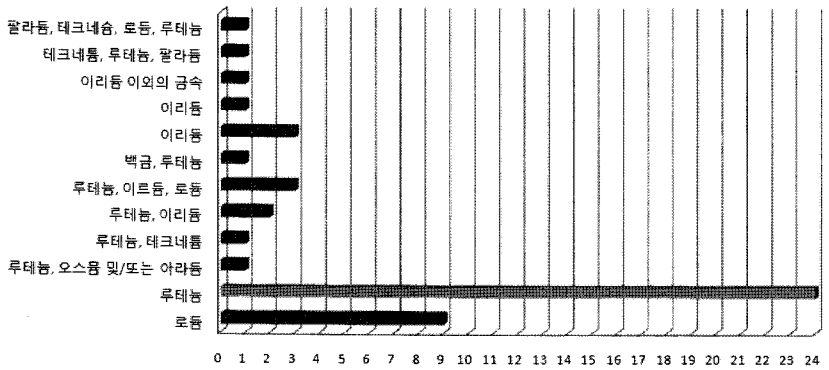

Fig. 7. The number of patent according to recovery elements in rare platinum group.

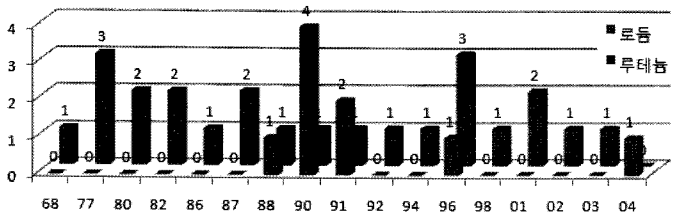

Fig. 8. The number of patent according to two recovery elements, rhodium and ruthenium.

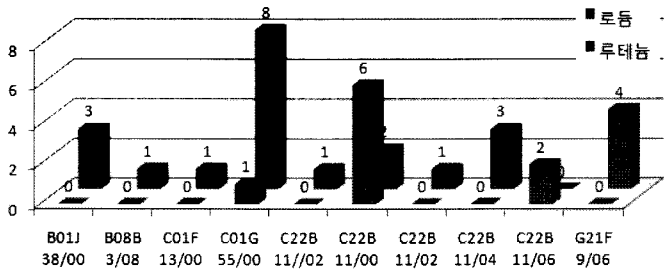

Fig. 9. The number of patent according to IPC subclass for two recovery elements, rhodium and ruthenium.

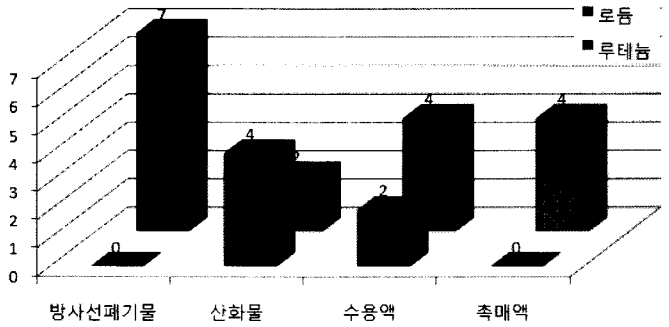

Fig. 10. The number of patent according to recovery target materials for rhodium and ruthenium.

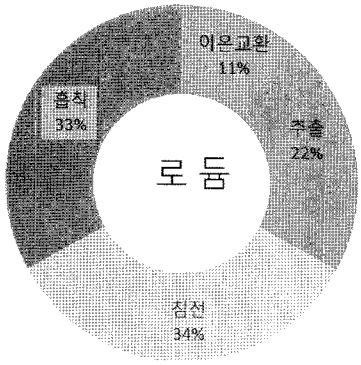

Fig. 11. The patent percentage according to recovery methods for rhodium.

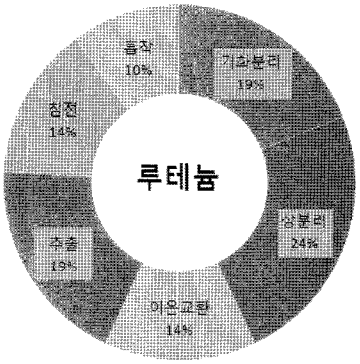

Fig. 12. The patent percentage according to recovery methods for ruthenium.

3.2.3. 회수방법에 대한 출원동향

Fig. 13를 보면, 전체의 회수방법 중 침전의 기술로 회수하는 방법이 12건으로 가장 많은 출원수를 보이고 있으며, 다음으로 이온교환에 의한 회수기술이 9건으로 많은 출원을 하고 있음을 알 수 있다. 그 출원비율로는 침전이 25%, 이온교환이 19%를 차지하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 14을 보면, 회수방법(기술)에 대한 연도별 출원동향을 보면, 기화분리는 87년도에 2건, 상분리는 96년도에 3건, 이온교환은 77년도와 90년도에 각각 3건, 추출은 80년도에 2건, 침전은 90년도와 92년도에 각각 2건 및 흡착은 91년도에 3건으로 가장 많은 출원수를 보이고 있음을 알 수 있다. Fig. 15을 보면, 이러한 흡착방법에 대한 IPC분류별 출원은 이온교환이 C22B 11/04에 4건으로 가장 많은 출원수를 나타내고 있다.

Fig. 16을 보면, 3대의 주요 출원인중 TANAKA KIKINZOKU사는 이온교환과 침전기술을 이용한 회수

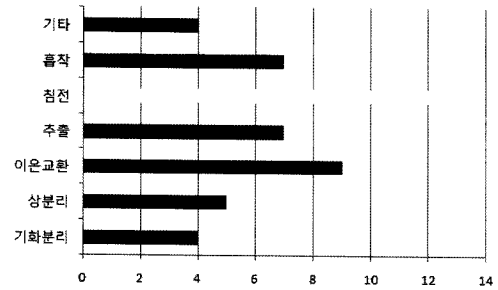

Fig. 13. The trend of patent according to recovery methods for rare platinum group.

방법이 각각 4건씩, SUMITOMIO사는 추출과 침전이 각각 3건씩, MITSBISHI사는 상분리가 4건으로 가장 많은 출원수를 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 17를 보면, 회수방법에 대한 회수물 대상물의 출원동향은 기화분리에서는 방사성 폐기물을 대상물로 하는 출원이 3건, 상분리에서는 촉매액을 대상물로 하는 출원이 4건, 이온교환에서는 산화물을 대상물로 하는 경우가 3건, 추출에서는 수용액을 대상물로 하는 경우가 4건, 침전에서는 방사성 폐기물을 대상물로 하는 경우가 4건, 흡착에서는 수용액을 대상물로 하는 경우가 3

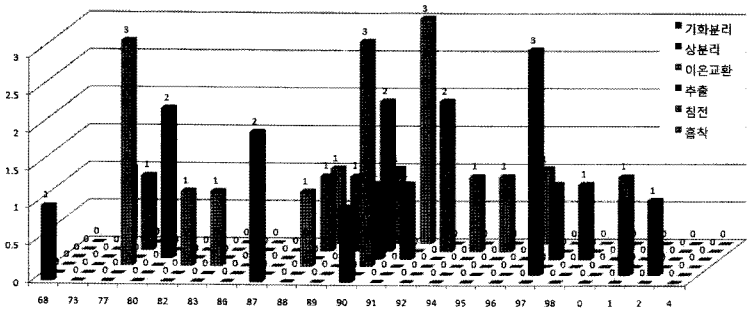

Fig. 14. The yearly trend of patent according to recovery methods for rare platinum group.

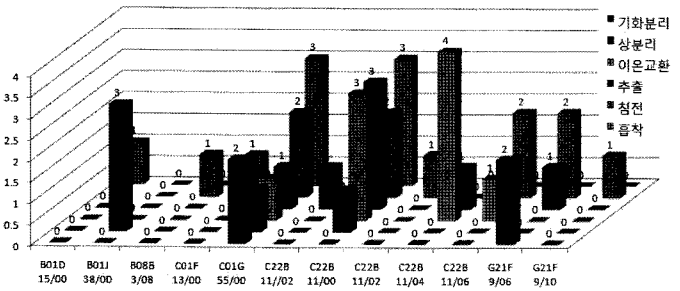

Fig. 15. The number of patent according to IPC subclass for recovery methods.

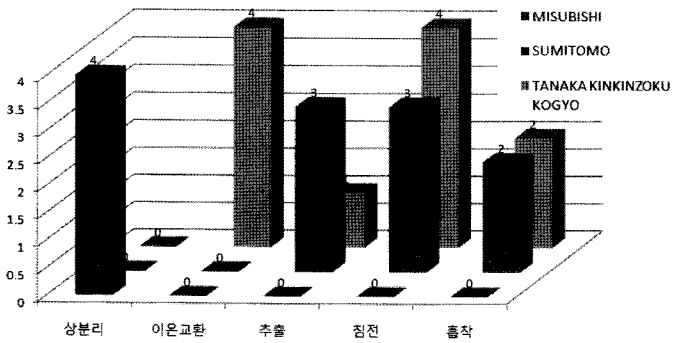

Fig. 16. The number of patent according to recovery methods in 3 Major patentor.

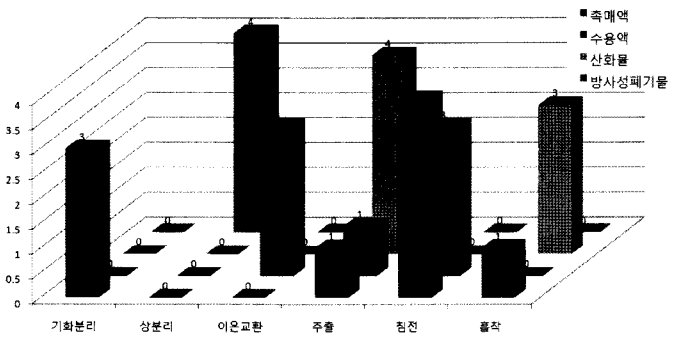

Fig. 17. The number of patent according to recovery target materials for rare platinum group.

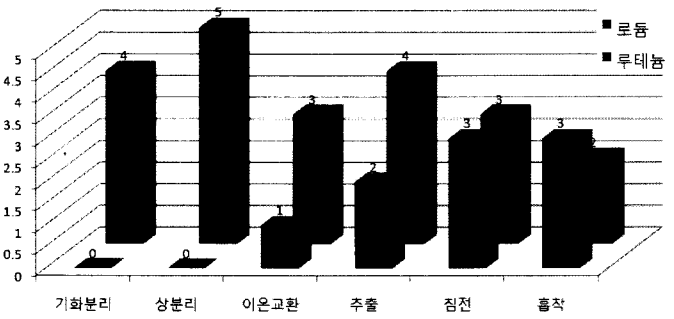

Fig. 18. The number of patent according to recovery target materials for rhodium and ruthenium.

건으로 가장 많은 출원수를 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 18을 보면, 루테늄과 로듐의 회수방법(기술)을 볼 수 있는데, 루테늄은 상분리가 5건으로 가장 많은 출원수를 보이고, 다음으로 기화분리와 추출이 4건씩으로 많은 출원수를 보이고 있다. 반면, 로듐은 침전과 흡착 기술을 이용한 출원이 각각 3건씩 많은 출원을 하고 있음을 볼 수 있다. 루테늄은 다양한 방법으로 회수되고 있는 반면에 로듐은 일정 회수방법에 편중되어 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

희소백금족은 우수한 물리적, 기계적, 열적 특성을 지니고 있어 차세대 핵심소재 원료로 그 가능성이 무궁하다고 할 수 있다. 하지만, 강한 내화학적, 고온 안정성 등의 특성으로 인한 회수 및 분리가 어렵고 지각 내 존재비율도 0.5 ppm 이하로 희박하기 때문에 활용성이 낮은 상태이다.

또한 소량이지만 핵심소재 부품의 첨가원소로 희소백금족이 사용되고 있고, 이에 대한 분리 및 회수기술은 일본을 비롯한 기술선진국에 의해 철저히 보호되고 있어서 국내 첨단산업에서 희소백금족 관련 필수 핵심소재 및 원료제조 기술개발이 시급하다고 판단된다.

이에 본 고에서 설명한 희소백금족에 대한 특성과 정련방법, 그리고 현재까지 진행되고 있는 기술선진국의 기술개발 동향은 현재 또는 향후의 회수기술에 대한 개발을 계획, 수립하는데 중요한 지침이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 田中貴金, 1987: 貴金属のおはなし, pp. 147-226.
2. 田中貴金, 1985: 貴金属の科学, pp. 94-148.
3. D. Mcdonald and L. B. Hunt 1982: A history of platinum and its allied metals, Johnson Matthey.
4. 안종관, 이재령 2007: 산업폐기물로부터 귀금속 추출기술에 관한 최종보고서, 한국지질자원연구원, pp. 68-118.
5. H. Renner, 1997: Platinum Group Metals, in Handbook of Extractive Metallurgy, Edited by F. Habashi, WILEY-VCH, Germany, 1275p.
6. J. Shibata, 2002: Solvent Extraction of Precious Metals, The Journal of the Metal Finishing Society, **53**, 641-646.
7. Y. Tsugita and Kinzoku, 2006: Materials Transactions, JIM, **76**, 15-18.

安 種 寬

• 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 선임연구원
• 당 학회지 제9권 2호 참조

李 康 明

• 1992 고려대학교 금속공학과 공학석사
• 현재 성일하이텍(주) 부사장

李 載 寧

• 현재 강원대학교 지구시스템공학과 교수
• 당 학회지 제15권 5호 참조

《광 고》 本 學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

* EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價格 : 20,000원
(The 2th International Symposium on East Asian Recycling Technology)
* 자원리싸이클링의 실제(1994) 400쪽, 價格 : 15,000원
* 학회지 합본집 I~VIII 價格 : 40,000원, 50,000원(비회원)
(I : 통권 제1호~제10호, II : 통권 제11호~제20호, III : 통권 제21호~제30호, IV : 통권 제31~제40호,
V: 통권 제41호~제50호, VI: 통권 제51호~제62호, VII: 통권 제63호~제74호, VIII: 통권 제75호~제86호)
* 한 · 일자원리싸이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽, 價格 : 30,000원
* 한 · 미자원리싸이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽, 價格 : 15,000원
* 자원리싸이클링 총서I(1997년 1월) 311쪽, 價格 : 18,000원
* '97 미주 자원재활용기술실태조사(1997년) 107쪽, 價格 : 15,000원
* 日本의 리싸이클링 産業(1998년 1월)395쪽, 價格 : 22,000원, 발행처-文知社
* EARTH 2001 Proceeding (2001) 788쪽, 價格 : 100,000원
(The 6th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)
* 오재현의 자동차 리싸이클링기행(2003년 2월) 312쪽, 價格 : 20,000원, 발행처-MJ미디어
* 리싸이클링백서(자원재활용백서, 1999년) 440쪽, 價格 : 15,000원, 발행처-文知社
* 리싸이클링백서(자원재활용백서, 2004년) 578쪽, 價格 : 27,000원, 발행처-清文閣
* 리싸이클링백서(자원재활용백서, 2009년) 592쪽, 價格 : 30,000원, 발행처-清文閣