» 研究論文 «

소다焙燒 및 水浸出法에 의한 脫窒用 廢 SCR 觸媒로부터 바나듐과 텅스텐 浸出

金惠琳*** · *李珍榮** · 金俊秀**

*科學技術聯合大學院大學校
**韓國地質資源研究院

Leaching of Vanadium and Tungsten from Spent SCR Catalysts for De-NOx by Soda Roasting and Water Leaching Method

Hye-Rim Kim***, *Jin-Young Lee** and Joon-Soo Kim**

*University of Science and Technology

**Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

요 약

탈질용 선택적 촉매 환원(SCR) 촉매는 화력발전소의 탈질 시스템에서 발생한다. 폐 SCR 촉매로부터 바나듐 및 텅스텐과 같은 유가금속을 회수하기 위한 공정은 소다배소 및 수침출 법으로 이루어진다. 본 연구에 사용된 폐 SCR 촉매는 V_2O_5 1.23 %, WO_3 7.73 %를 함유하고 있다. 소다배소 공정은 바나듐과 텅스텐 화합물을 수용성의 물질로 전환시켜 주는 역할을 하며, 실험은 Na_2CO_3 첨가량 5 당량, 배소온도 850 °C, 배소시간 120 분, 폐촉매 입자크기 54 μm 의 조건에서 수행하였다. 소다배소 실험 이후 배소산물을 사용하여 수침출 실험을 수행하였다. 침출실험을 위한 배소산물은 -45 μm 의 입자크기로 분쇄하였으며, 수침출 실험조건은 침출 온도 40 °C, 침출시간 30 분, 광액밀도 10 %이다. 소다배소 및 수침출 실험결과, 바나듐 46 %, 텅스텐 92 %의 침출율을 얻었다.

주제어 : SCR 촉매, 소다배소, 수침출, 바나듐, 텅스텐

Abstract

Selective catalytic reduction(SCR) catalysts are obtained from de-NOx system of thermoelectric power plant. A process was developed for valuable metals such as vanadium and tungsten recovery from spent SCR catalyst by using soda roasting followed by water leaching. Spent SCR catalyst having V_2O_5 (1.23 mass %) and WO_3 (7.73 mass %). For getting soluble metal forms of the targeted metals like vanadium and tungsten soda roasting process was implemented. In soda roasting process, sodium carbonate added 5 equivalent ratio at roasted temperature 850 °C with 120 min roasted time for 54 μm particle size of spent SCR catalyst. After soda roasting process moved to water leaching for roasted spent catalyst. Before leaching process the roasted spent catalyst was grinded up to -45 μm size. The leaching time is 30 min at 40 °C temperature, 10 % pulp density. The final leaching efficiency obtained 46 % of vanadium and 92 % of tungsten from present process.

Key words : spent SCR catalyst, soda roasting, water leaching, tungsten, vanadium

* Received : September 26, 2012 · Revised : November 6, 2012 · Accepted : November 26, 2012

*Corresponding Author : Jin-Young Lee (E-mail: jinlee@kigam.re.kr)

Extractive Metallurgy Department, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources,
92 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Republic of Korea
Tel : +82-42-868-3648 / Fax : +82-42-868-3421

©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

최근 들어 전 세계적으로 기후변화와 지구온난화에 대한 관심이 증대됨에 따라 각종 발전소, 소각장, 화학 플랜트 등에서 방출되는 대기오염 물질들이 환경적으로 중요한 문제로 대두되고 있다. 특히 질소산화물은 인체에 유해할 뿐만 아니라 대기권 내의 오존(O₃) 생성 및 산성비 유발 등 다양한 환경문제를 유발시키는 대표적인 대기오염물질이므로 규제가 더욱 강화되고 있다.^{1,2)} 이에 따라 발전소 등에서 발생하는 NO_x 배출을 조절하기 위한 방법이 개발되고 있으며, 선택적 촉매 환원(selective catalytic reduction, SCR)법은 가장 보편적으로 이용되고 있는 NO_x 조절방법이다.¹⁾ 이 방법은 효율적, 선택적, 경제적인 특징을 가지며,¹⁾ 한국의 경우 발전소의 SCR 촉매 설치 규모는 약 2만 m³(2010년 기준) 이상이다.³⁾ 촉매는 3-4년의 사용 및 2-3회 재생 이후 폐기물로 발생하는데, 폐 SCR 촉매를 모두 폐기할 경우 촉매 비용 및 폐기물 처리비용을 포함하여 약 4,000억 원의 폐기비용이 발생할 수 있다(2014년 기준).³⁾ 그러나 폐 SCR 촉매에는 산화물 기준으로 바나듐이 약 1-1.5%(w/w), 텅스텐이 약 10%(w/w) 가량 함유되어 있으며,¹⁾ 이외에도 티타늄, 알루미늄, 실리콘 등 상당량의 유가금속이 존재한다. 그러므로 이들로부터 유가금속을 회수하여 재사용하는 것은 경제적, 환경적 측면에서 굉장히 중요하다.^{2,5-7)}

일반적으로 폐촉매 중의 유가금속을 회수하기 위한 방법으로 산 및 알칼리 침출법이 이용되지만, 폐 SCR 촉매 중에 존재하는 V₂O₅와 WO₃는 일반적인 산침출로 추출하기 어려우므로 소다배소 및 수침출 공정이 요구된다. 소다배소 공정은 반응식 (1), (2)와 같이 불용성의 옥사이드 화합물을 수용성의 화합물로 전환시킴으로써 수침출 공정을 용이하게 한다.^{9,12-14)}

상기에서 얻는 반응물은 수침출 공정을 통하여 수용액 상태로 얻을 수 있다.

그러나 배소과정 동안에 일정 온도 이상에서는 반응

식 (3)과 같이 Na₂CO₃가 분해되면서 생성되는 Na₂O가 반응식 (4)와 같이 SiO₂, Al₂O₃ 등의 불순물과 반응하여 새로운 화합물을 형성할 수 있다. 이렇게 생성된 화합물 중 일부는 바나듐과 텅스텐의 침출을 방해하는 유리상의 화합물을 형성한다.^{2,9,12,15-17)}

폐촉매로부터 소다배소 및 수침출법을 이용하여 유가금속을 회수하는 연구는 그동안 다수 진행되었다.^{2,4,7)} 그러나 탈질용 폐 SCR 촉매로부터 유가금속을 회수하는 연구는 많이 시도되지 않았으며, 현재 탈질용 폐 SCR 촉매로부터 알칼리 침출법을 이용하여 바나듐을 회수하는 연구³⁾ 외에는 알려진 바가 드물다. 그러므로 본 연구는 탈질용 폐 SCR 촉매로부터 소다배소 및 수침출 방법을 이용하여 바나듐과 텅스텐을 회수하기 위한 연구를 수행하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 소다배소 실험

본 연구에 사용된 폐촉매는 화력발전소의 탈질 공정에서 사용된 허니컴 타입 탈질용 폐 SCR 촉매로서 한국 삼천화력본부에서 제공받았으며, ICP-AES(ICAP6300 DUO, Thermo)를 이용하여 조성을 분석하였다(Table 1).

실험을 위한 폐촉매는 파쇄한 후 수분을 제거하기 위하여 오븐에서 100 °C의 온도(±5 °C)를 유지하여 24시간 동안 건조하였으며, 건조된 폐촉매는 106 μm 이하의 입자크기로 분쇄하였다. 분쇄된 폐촉매는 alumina crucible 내에서 Na₂CO₃와 충분히 혼합하였으며, Na₂CO₃ 첨가량, 배소온도, 배소시간, 폐촉매 입자크기를 변화시키며 muffle furnace 내에서 고온 소다배소하였다.

2.2. 수침출 실험

소다배소 후 수침출 특성을 조사하기 위한 수침출 실험의 시료는 최적조건에서 소다배소 공정을 거친 배소 산물을 분쇄하여 사용하였으며, 소다배소 실험의 최적

Table 1. Chemical composition of spent SCR catalyst, mass %.

Component	Al ₂ O ₃	WO ₃	V ₂ O ₅	TiO ₂	CaO	MgO	SiO ₂	MoO ₃	Fe ₂ O ₃
Composition(%)	5.57	7.73	1.23	70.9	2.45	0.55	9.80	0.10	0.77

Fig. 1. General flow sheet for spent catalyst processing.

조건은 Na_2CO_3 첨가량 5 당량, 폐촉매 평균 입자크기 $54\ \mu\text{m}$, 배소온도 $850\ ^\circ\text{C}$, 배소시간 120 분이다. 바나듐 및 텅스텐의 침출율을 조사하기 위한 수침출 실험은 배소산물의 입자크기, 광액밀도, 침출온도, 침출시간을 변화시켜주며, 500 ml의 유리반응기 내에서 magnetic stirrer를 사용하여 수행하였다. 모든 소다배소 및 수침출 실험 이후 침출된 유가금속의 성분분석을 위하여 ICP-AES(iCAP6300 DUO, Thermo)를 이용하였으며, 실험의 개략적인 공정도를 Fig. 1에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 소다배소 실험

3.1.1. 알칼리 첨가량에 의한 영향

바나듐과 텅스텐의 침출을 위하여 Na_2CO_3 첨가량 변화에 대한 소다배소 실험을 수행하였다. Na_2CO_3 는 화학 양론적 당량비 대비 0.5, 1, 3, 5, 7, 10 당량으로 변화시켰으며, 알칼리 첨가량에 의한 침출 곡선을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2를 보면 Na_2CO_3 의 첨가량이 증가할수록 바나듐 및 텅스텐의 침출율이 증가하는 경향성을 나타낸다.

Fig. 2. Effect of Na_2CO_3 addition for the leaching of vanadium and tungsten (particle size of sample $-106\ \mu\text{m}$, roasting temperature $850\ ^\circ\text{C}$, roasting time 120 min; leaching temperature $50\ ^\circ\text{C}$, leaching time 60 min, pulp density 10 %).

바나듐의 경우 Na_2CO_3 의 첨가량이 증가하면 바나듐의 침출율이 증가하다가 최고 41 %에서 더 이상 증가하지 않았다. 이는 소다배소 시 Na_2CO_3 가 과량 첨가되어도 V_2O_5 가 NaVO_3 로 전환되는 반응이 완전히 진행되지 않음을 의미하며, 이는 소다배소 시 바나듐의 경우 산소공급이 중요한데 배소공정 동안에 충분한 산소공급이 이루어지지 않았기 때문이다.

텅스텐의 경우 Na_2CO_3 의 첨가량이 증가할수록 텅스텐의 침출율은 지속적으로 증가한다. 그러나 Na_2CO_3 가 7 당량 이상 첨가 되었을 경우, 배소산물의 경화 정도가 심하여 물분자가 배소산물의 내부에 충분히 침투할 수 없기에 정상적인 수침출이 불가능하였다. 또한 Na_2CO_3 5 당량을 첨가하였을 때 텅스텐은 80 % 이상의 침출율을 나타내었기에, 이후 진행되는 배소온도, 배소시간 및 폐촉매 입자크기의 변수실험을 통하여 텅스텐의 침출율을 충분히 증가시킬 수 있으므로 배소온도 $850\ ^\circ\text{C}$, 배소시간 120 분의 조건에서는 폐촉매에 Na_2CO_3 5 당량을 첨가하여 배소하는 것이 적절하였다.

3.1.2. 배소온도에 의한 영향

배소온도에 의한 바나듐과 텅스텐의 침출율을 조사하기 위하여 배소온도를 $600, 650, 700, 750, 800, 850, 900\ ^\circ\text{C}$ 로 변화시키며 소다배소하였다. Fig. 3에서 배소온도가 증가할수록 텅스텐의 침출율도 지속적으로 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 이것으로 배소온도가 증가하면 반응이 활성화된다고 판단할 수 있다. 또한 이

Fig. 3. Effect of roasting temperature for the leaching of vanadium and tungsten (particle size of sample – 106 μm , Na_2CO_3 5 equivalent, roasting time 120 min; leaching temperature 50 $^\circ\text{C}$, leaching time 60 min, pulp density 10 %).

Fig. 4. Effect of roasting temperature on the mass loss of vanadium and tungsten (particle size of sample – 106 μm , Na_2CO_3 5 equivalent, roasting time 120 min; leaching temperature 50 $^\circ\text{C}$, leaching time 60 min, pulp density 10 %).

Fig. 5. XRD images of the roasted mixture at different temperatures: (a) 900 $^\circ\text{C}$, (b) 850 $^\circ\text{C}$, (c) 600 $^\circ\text{C}$, (d) as received.

범위에서 샘플의 질량 손실이 증가하는 것을 확인할 수 있다(Fig. 4). 이는 Na_2CO_3 가 분해되면서 CO_2 가스를 방출하기 때문이며, 이 역시 높은 온도에서 Na_2CO_3 의 분해 반응이 활성화 된다는 것을 의미한다.

그러나 900 $^\circ\text{C}$ 의 배소온도에서는 텅스텐의 침출을 및 배소산물의 질량 손실이 다소 감소한다. 이는 900 $^\circ\text{C}$

이상의 온도에서 Na_2CO_3 의 분해반응으로 생성된 Na_2O 가 V_2O_5 나 WO_3 와 결합하는 반응보다 SiO_2 등의 불순물과 결합하는 반응이 더 크게 작용해 유가금속의 침출을 방해하는 유리상을 형성하였기 때문이다.

배소온도에 따른 배소산물의 XRD 분석 결과를 Fig. 5, 6에 나타내었다. Fig. 5(d)를 보면 원시료는 anatase 형

Fig. 6. XRD images of the leached residues at different roasting temperature : (a) 900 °C, (b) 850 °C, (c) 600 °C.

태의 TiO_2 피크만이 검출되고 다른 결정상은 검출되지 않았는데, 이는 탈질 SCR 촉매의 주성분인 TiO_2 표면에 V_2O_5 와 WO_3 등의 성분이 고루 분산되어 있다는 것을 의미한다.¹⁾ Fig. 5(a), (b)를 보면 높은 배소온도에서 anatase 형태의 TiO_2 피크가 rutile 형태로 변화된 것을 확인할 수 있다. TiO_2 는 일반적으로 anatase 형태로 존재하지만 600 °C 이상의 온도에서는 상전이하여 rutile 구조로 변형된다고 알려져 있다.¹⁸⁾ 또한 600 °C의 배소 온도에서는 약간의 Na_2WO_4 와 CaWO_4 가 생성되었으며, 850 °C 이상의 배소온도에서는 CaWO_4 가 사라지고 Na_2WO_4 의 성분은 증가하였다. 이는 배소공정 동안에 Na_2CO_3 와 WO_3 가 반응하면 Na_2WO_4 를 생성한다는 반응을 증명하며, 반응온도가 증가할수록 Na_2WO_4 의 생성반응은 활성화된다는 것을 알 수 있다. 침출실험 전후의 XRD 분석결과에서 침출 후 Na_2WO_4 는 모두 사라지고, TiO_2 와 $\text{Na}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13}$ 은 그대로 존재하는 것을 확인하였다(Fig. 6). 이를 통하여 수용성 화합물인 Na_2WO_4 는 수 침출 공정 동안에 침출용액 내에 모두 침출되었으며, TiO_2 및 $\text{Na}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13}$ 은 불용성 물질임을 알 수 있다.

3.1.3. 배소시간에 의한 영향

본 공정에서 배소시간을 15, 30, 60, 90, 120, 180 분으로 변화시키며 실험을 수행하였다. 배소시간에 따른 바나듐과 텅스텐의 침출율은 Fig. 7과 같다. 바나듐의 경우 배소시간에 크게 영향을 받지 않지만, 텅스텐의 경우에 배소시간이 증가할수록 침출율이 증가하는

Fig. 7. Effect of roasting time for the leaching of vanadium and tungsten (particle size of sample -106 μm , Na_2CO_3 5 equivalent, roasting temperature 850 °C; leaching temperature 50 °C, leaching time 60 min, pulp density 10 %).

모습이 뚜렷하게 나타난다. 특히 배소시간 60 분과 90 분 사이에서 텅스텐의 침출율은 급격히 증가하는 현상을 보이는데, 이와 같은 결과로 미루어볼 때 텅스텐의 분해반응은 90 분 내에 대부분 일어난다는 사실을 알 수 있다. 또한 배소시간이 120 분 이상이면 텅스텐 침출율의 증가량이 미미하며, 이를 통하여 텅스텐의 분해반응은 120 분 내에 거의 완료된다고 판단된다. 그러므로 바나듐과 텅스텐의 충분한 분해반응을 위하여 요구되는 배소시간은 120 분이 가장 적절하다.

3.1.4. 폐촉매의 입자크기에 의한 영향

폐촉매 입자크기에 의한 바나듐과 텅스텐의 침출율을 조사하기 위하여 폐촉매의 평균입자크기를 319, 159, 85, 54, $-45\ \mu\text{m}$ 범위로 변화시켜주며 실험을 수행하였다(Fig. 8). 텅스텐의 침출율은 폐촉매의 평균입자크기가 $319\ \mu\text{m}$ 일 때 약 74%에서 $-45\ \mu\text{m}$ 일 때 약 84%로 10% 가량 증가한 것을 확인할 수 있다. 바나듐의 침출율도 같은 입자크기의 범위일 때 36%에서 47%로 약 10% 가량 증가하였다. 시료의 입자크기가 작아질수록 반응할 수 있는 면적이 넓어지기 때문에 침출율이 증가하게 되지만, 시료를 분쇄하는 데에 많은 동력이 소모되므로 경제성을 고려해야 한다. 폐 SCR 촉매의 경우에 Fig. 9(a)에서 볼 수 있듯이 촉매표면이 다공성의 구조를 가지고 있기 때문에 촉매의 입자크기가 크더라도 침출율의 영향을 크게 받지 않는다. 그러므로 폐촉매의 입자크기는 바나듐과 텅스텐이 각각 약 40, 80%

Fig. 8. Effect of particle size of sample for the leaching of vanadium and tungsten(Na_2CO_3 5 equivalent, roasting temperature 850°C , roasting time 120 min; leaching temperature 50°C , leaching time 60 min, pulp density 10 %).

Fig. 9. SEM images of SCR spent catalyst: (a) before roasting, (b) after roasting.

의 침출율을 나타내는 $54\ \mu\text{m}$ 범위의 평균입자크기가 적당하다.

3.2. 수침출 실험

3.2.1. 배소산물의 입자크기에 의한 영향

배소실험 이후 수침출 실험의 최적조건을 조사하기 위하여 배소산물의 입자크기를 변화시키며 실험을 수행하였다. 본 실험에서 배소산물의 평균입자크기는 319, 159, 85, $54\ \mu\text{m}$, $-45\ \mu\text{m}$ 범위로 변화시켜주었다. Fig. 10을 보면 $319\ \mu\text{m}$ 의 입자크기에서 바나듐은 약 22%, 텅스텐은 약 52%의 침출율을 나타내며, $-45\ \mu\text{m}$ 의 입자크기에서 바나듐 약 46%, 텅스텐 약 92%의 침출율을 나타낸다. 이로써 배소산물의 입자크기가 감소하면 유가금속의 침출율은 증가하며, 배소과정 이전의 폐촉매 원시료보다 배소과정 이후 얻어진 배소산물이 입자크기의 영향을 더 크게 받는 것을 알 수 있다. 이는 배소 전의 폐촉매는 촉매기능을 극대화시키기 위하여 다공성의 구조를 가지기 때문에 큰 입자크기를 갖더라도 쉽게 침출될 수 있는 반면에, 배소산물은 배소과정 동안에 Na_2CO_3 와 반응하면서 딱딱한 덩어리를 형성하기 때문이며, SEM 분석결과를 통하여도 확인할 수 있다(Fig. 9). 소다배소 전의 폐촉매 시료와 소다배소 이후의 배소산물을 비교한 SEM 분석결과를 보면 폐촉매 원시료가 다공성의 둥근 구조를 갖는 반면에 배소산물은 막대모양의 새로운 결정구조를 갖는 것을 확인할 수

Fig. 10. Effect of particle size of roasted mixture for the leaching of vanadium and tungsten(particle size of sample $54\ \mu\text{m}$, Na_2CO_3 5 equivalent, roasting temperature 850°C , roasting time 120 min; particle size of roasted mixture $-45\ \mu\text{m}$, leaching temperature 40°C , leaching time 60 min, pulp density 10 %).

있다. 또한 고온의 배소과정 동안 폐촉매 내의 anatase는 rutile로 전환되며 TiO_2 의 rutile 형태는 anatase 형태보다 높은 경도값을 갖는다. 따라서 소다배소 산물을 사용한 수침출 실험에서 시료의 입자크기는 매우 중요한 변수가 되며, 배소산물의 입자를 분쇄하는 공정은 유가금속의 높은 침출율을 위하여 필수적이다.

3.2.2. 광액밀도에 의한 영향

바나듐과 텅스텐을 침출하기 위하여 광액밀도를 10, 20, 30, 40, 50, 60 %의 범위로 변화시키며 실험을 수행하였다. Fig. 11에서 광액밀도가 증가할수록 유가금속의 침출율은 감소하는 것을 확인하였으며, 이는 광액밀도가 증가하면 금속이온이 침출될 수 있는 수용액의 부피가 감소하기 때문이다. 그러나 광액밀도가 증가할수록 용액에 침출된 금속이온의 농도가 증가하므로(Fig. 12) 적당히 높은 광액밀도는 경제적으로 이익을 얻을 수 있다.

3.2.3. 침출온도에 의한 영향

침출 온도가 침출율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 침출 온도를 실온, 30, 40, 50, 60 °C까지 변화시키며 실험을 수행하였다. 수침출 실험결과 바나듐과 텅스텐 모두 침출온도의 영향이 미미했다(Fig. 13). 이는 소다 배소 후 형성되는 물질인 NaVO_3 와 Na_2WO_4 가 수용성 물질이기 때문에 온도의 영향 없이도 쉽게 물에 용해될 수 있기 때문이다. 침출에 미치는 온도의 영향은 미미하지만, 수침출 공정 동안에 일정 온도 유지를 용이

Fig. 11. Effect of pulp density for the leaching of vanadium and tungsten (particle size of sample 54 μm . Na_2CO_3 5 equivalent, roasting temperature 850 °C, roasting time 120 min; particle size of roasted mixture -45 μm , leaching temperature 50 °C, leaching time 60 min)

하게 하기 위하여 침출 온도는 40 °C가 가장 적정하였다.

3.2.4. 침출시간에 의한 영향

침출시간이 유가금속의 침출에 미치는 영향을 조사하기 위하여 배소산물을 사용하여 침출시간을 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120 분으로 변화시키며 실험을 수행하였다. 실험결과, 침출이 시작된 직후 대부분의 바나듐 및 텅스텐의 침출이 완료된 것을 확인할 수 있었다(Fig. 14). 이는 침출온도에 의한 실험과 마찬가지로, 배소반응 이후 생성된 물질인 NaVO_3 와 Na_2WO_4 가 수용성 물질이

Fig. 12. Effect of pulp density for the leaching of vanadium and tungsten (particle size of sample 54 μm . Na_2CO_3 5 equivalent, roasting temperature 850 °C, roasting time 120 min; particle size of roasted mixture -45 μm , leaching temperature 50 °C, leaching time 60 min).

Fig. 13. Effect of leaching temperature for the leaching of vanadium and tungsten (particle size of sample 54 μm . Na_2CO_3 5 equivalent, roasting temperature 850 °C, roasting time 120 min; particle size of roasted mixture -45 μm , leaching time 60 min, pulp density 10 %).

Fig. 14. Effect of leaching time for the leaching of vanadium and tungsten (particle size of sample 54 μm , Na_2CO_3 5 equivalent, roasting temperature 850 $^\circ\text{C}$, roasting time 120 min; particle size of roasted mixture 45 μm , leaching temperature 40 $^\circ\text{C}$, pulp density 10 %).

기 때문에 유기금속의 침출반응이 빠른 시간 내에 완료될 수 있다는 것을 의미한다.

4. 결 론

탈질용 폐 SCR 촉매로부터 유기금속인 바나듐과 텅스텐을 침출하는 실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다. V_2O_5 1.23 %, WO_3 7.73 %를 함유하고 있는 폐 SCR 촉매를 사용한 고온 소다배소 실험의 최적조건은 Na_2CO_3 첨가량 5 당량, 배소온도 850 $^\circ\text{C}$, 배소시간 120 분, 폐촉매 입자크기 54 μm 이다. 이후 배소산물을 사용한 수침출 실험에서 배소산물 입자크기 45 μm , 침출온도 40 $^\circ\text{C}$, 침출시간 30 분, 광액밀도 10 %의 조건으로 실험을 수행하였고, 바나듐 약 46 %, 텅스텐 약 92 %의 침출율을 얻었다.

참고문헌

1. Pio Forzatti, 2001: Present status and perspectives in de-NOx SCR catalysis, *Applied Catalysis A: General*, 222, pp. 221-236.
2. Yun Chen, et al., 2006: Investigations on the extraction of molybdenum and vanadium from ammonia leaching residue of spent catalyst, *Int. J. Miner. Process*, 79, pp. 42-48.
3. Sang-hee You, 2011: Recycling of the waste $\text{TiO}_2\text{-WO}_3\text{-V}_2\text{O}_5$ system honeycombs type SCR catalyst for De-NOx, Gyeongsang National Uni., pp. 1-12, 87-95.
4. S.P.Barik, et al., 2012: Direct leaching of molybdenum and cobalt from spent hydrodesulphurization catalyst with sulphuric acid, *Hydrometallurgy*, 111-112, pp. 46-51.
5. Hee Dong Jang, 1995: A Study on the Recovery of the Valuable Metals from VRDS Spent Catalyst, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, 4(3), pp. 19-25.
6. M.Marafi, A. Stanislaus, 2008: Spent hydroprocessing catalyst management: A review Part . *Advances in metal recovery and safe disposal methods*, *Resources, conservation and Recycling*, 53, pp. 1-26.
7. B.B.Kar, 2004: Spent catalyst: secondary source for molybdenum recovery, *Hydrometallurgy*, 72, pp. 87-92.
8. J.E.Litz, 1981: Solvent extraction of W, Mo and V: similarities and contrasts. In: *Extractive Metallurgy of Refractory Metals*, The Metallurgical Society of AIME, New York, pp. 69-81.
9. Li Xin-sheng, et al., 2011: Oxidation Process of low-grade vanadium slag in presence of Na_2CO_3 , *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 21, pp. 1860-1867.
10. D.S.Bradbury, 2002: The production of vanadium pentoxide[C]/Taner M F, Riverros P A, Dutrizac J E, Gattrell M, Perron L. *Vanadium-geology, processing and applications: As held at the 41st Annual Conference of Metallurgists of CIM (COM)*. Montreal: The canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2002: 115-130.
11. B.D.Pandey, et al., 2001: Processing of Tungsten Preconcentrate from Low Grade ore to Recover Metallic Values, *Min. Pro. Ext. Met. Rev.*, 22, pp. 101-120.
12. C.K.Gupta, N.Krishnamurty, 1992: *Extractive metallurgy of vanadium*, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, pp. 203-380.
13. G.A.Kolta, 1973: Reactions between sodium carbonate and vanadium pentoxide, *Thermochimica Acta*, 6, pp. 165-177.
14. K.Srinivas, et al., 2000: Studies on the recovery of tungsten from a composite wolframate-scheelite concentrate, *Hydrometallurgy*, 58, pp. 43-50.
15. Habib Shlewit, Moussa Alibrahim, 2006: Extraction of sulfur and vanadium from petroleum coke by means of salt-roasting treatment, *Fuel*, 85, pp. 878-880.
16. Qiang Guo, 2011: Activation pretreatment of limonitic laterite ores by alkali-roasting method using sodium carbonate, *Minerals Engineering*, 24, pp. 825-832.
17. G.B.Sadyknov, 2008: Oxidation of Titanium-Vanadium Slags with the Participation of Na_2O and Its Effect on the Behavior of Vanadium, *Russian Metallurgy*, 6, pp. 449-458.
18. Greenwood, N.Norman; A.Earnshaw, 1984: *Chemistry of the Elements*. Oxford; Pergamon, pp. 1117-19, ISBN 0-08-022057-6.

감사의 글

본 논문은 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 폐 금속유용자원재활용기술개발사업의 지원에 의하여 연구 되었으며 이에 감사드립니다(과제번호 : 11-C23-ID).

李 珍 榮

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
- 당 학회지 제11권 2호 참조

金 惠 琳

- 2011년 건양대학교 나노바이오화학학과 학사
- 현재 과학기술연합대학원대학교(UST) 자원순환공학과 석사

金 俊 秀

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
- 당 학회지 제11권 2호 참조

학회지 광고게재 안내

격월로 년간 6회 발간되는 한국자원리사이클링 학회지에 광고를 게재하고 있습니다. 알찬 내용의 학회지가 될 수 있도록 특별회원사 및 관련기관에서는 많은 관심을 가지고 협조하여 주시기 바랍니다. 광고게재 비용은 아래와 같으며, 기타 자세한 내용 및 광고게재에 관해서는 학회로 문의하시기 바랍니다.

	칼라인쇄 (1회)	흑백인쇄 (1회)	1년 6회 게재 기준			
			칼라 인쇄		흑백 인쇄	
			일 반	특별회원사	일 반	특별회원사
앞표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 바깥쪽	60 만원	40 만원	200 만원	150 만원	150 만원	120 만원
학회지 안(내지)	30 만원	20 만원	100 만원	80 만원	80 만원	50 만원

※Film을 주시는것을 기준으로 책정된 금액입니다.