

몰리브덴의 용액화학

이만승* · §최승훈**

*목포대학교 신소재공학과 희유금속연구소, **서남대학교 생명화학공학과

Aqueous Chemistry of Molybdenum

Man Seung Lee* and §Seung Hoon Choi**

*Department of Advanced Material Science & Engineering, Institute of Rare Metal,
Mokpo National University, Chonnam 58554, Republic of Korea

**Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Seonam University, Chonbuk 31556, Republic of Korea

요 약

몰리브덴은 알칼리용액에서는 MoO_4^{2-} 로 존재한다. 수용액의 pH 2와 6 사이의 범위에서는 MoO_4^{2-} 와 수소이온간의 축중합반응에 의해 다양한 동중다중음이온이 형성된다. 몰리브덴용액의 pH가 2 이하의 범위에서는 동중다중양이온이 형성되나 무기산의 농도가 증가함에 따라 무기산의 음이온과 반응하여 이중다중음이온이 형성된다. pH 6 이하의 용액에서 몰리브덴의 농도분포는 몰리브덴과 무기산의 종류와 농도에 의존한다. 따라서 용매추출과 이온교환자료를 해석하기 위해서는 강산용액에서 몰리브덴 화학종을 규명할 필요가 있다.

주제어 : 몰리브덴, 화학종 분포, 이중다중음이온

Abstract

MoO_4^{2-} is the stable chemical species of Mo(VI) in alkaline solution. In the pH range of 2 to 6, condensation polymerization between MoO_4^{2-} and hydrogen ion results in the formation of various polyanions of Mo(VI). Polycations of Mo(VI) begin to form when solution pH is less than 2. As the concentration of inorganic acid increases, polycations of Mo(VI) can react with the anion of the inorganic acid, resulting in the formation of heteranions of Mo(VI). The distribution of Mo(VI) species at pH < 6 depends on the concentration of Mo(V) and inorganic acid. In order to analyze the solvent extraction and ion exchange data on Mo(VI) from concentrated inorganic acid solution, it is necessary to elucidate the nature of Mo(VI) complexes.

Key words : Molybdenum, distribution of chemical species, polyanions

1. 서 론

몰리브덴은 전이금속으로 크롬, 텅스텐과 함께 6족에 속한다. 세 금속은 화학적성질이 매우 유사하며 특히 알

칼리용액에서 각각 CrO_4^{2-} , MoO_4^{2-} 와 WO_4^{2-} 로 존재한다는 공통점이 있다. 또한 세 금속 모두 높은 융점을 지니고 고융점 내열금속으로 분류된다. 몰리브덴 금속은 미사일, 항공기등의 고온 경량 구조재료 및 필라멘트 지

· Received : July 2, 2018 · Revised : July 16, 2018 · Accepted : July 20, 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.

지대, 전기로의 전극등 고온 전기재료로 사용된다. 스테인레스강, 내열강, 초합금강과 같은 특수강에 강도, 경도, 인장력, 내마모성등을 증가시키기 위한 합금제로 사용된다.

상온에서 몰리브덴은 공기중 산소와 거의 반응을 하지 않는다. 그러나 400°C 정도의 온도에서 산화되기 시작하여 600°C에서는 휘발성이 강한 MoO₃를 형성한다¹⁾. 상온에서 몰리브덴 금속은 염산이나 황산용액 및 알칼리용액에 용해되지 않으나, 80°C 이상의 온도에서는 용해된다. 몰리브덴 금속은 질산과 황산의 혼산에 잘 용해된다¹⁾.

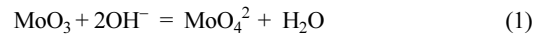
몰리브덴의 주요 광석은 휘수연광(molybdenite, MoS₂)이며 몰리브덴을 함유한 원광석을 Table 1에 나타냈다¹⁾. 현재 몰리브덴의 60% 정도는 동광 부산물로부터 생산되고 있으며, 나머지 40%는 휘수연광에서 제조된다. 몰리브덴은 석유화학의 탈황공정에서 촉매로도 사용된다. 따라서 정제공정에서 발생한 폐촉매에 함유된 몰리브덴을 고순도로 회수하기 위해서는 다른 금속과의 분리가 필요하다. 습식법을 통해 금속을 고순도로 회수하기 위한 분리공정에서는 용매추출과 이온교환이 이용된다. 특히 몰리브덴과 바나듐, 텅스텐의 용매추출²⁻⁵⁾과 이온교환⁶⁻⁸⁾에 대해서는 많은 연구결과가 발표되었다.

용매추출이나 이온교환을 이용하여 금속을 분리하는 경우 무기산용액에서 금속이온의 용액화학에 대한 정보는 추출제나 이온교환수지 선정에 큰 도움이 된다. 몰

리브덴은 알칼리용액에서 MoO₄²⁻로 존재하지만 용액의 pH가 감소함에 따라 동중다중음이온(Isopolyanion)이 형성되며 pH 2 이하의 용액에서는 동중다중음이온이 형성된다고 알려졌다⁸⁾. 특히 pH 6부터 2사이의 영역에서는 수소이온과 MoO₄²⁻ 사이의 축중합(Condensation polymerization)반응으로 인해 다양한 몰리브덴 중합체가 형성된다. 따라서 본 논문에서는 몰리브덴이 함유된 수용액의 용액화학을 해석하고 농도분포를 구하였다. 또한 이와 같이 구한 농도분포의 한계에 대해 고찰하였다.

2. 몰리브덴의 용액화학

몰리브덴 산화물을 염기성 수용액에 용해시키면 몰리브덴은 6가의 산화상태인 MoO₄²⁻로 존재하며 이를 다음에 나타냈다.

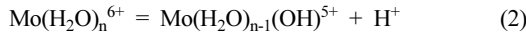


몰리브덴이온과 같이 큰 산화상태를 지닌 이온은 수용액에서 단독이온으로 존재하기 어렵다. 즉, 몰리브덴이온은 물분자와 이온-쌍극자 힘에 의해 수화된다. 이때 몰리브덴의 산화상태가 6가이므로 Lewis산으로 작용하여 물이 비공유전자쌍을 제공하는 Lewis염으로 몰리브덴이온과 공유결합을 형성한다. 산화상태가 높은 금속이온과 물이 결합하면 물분자에서 산소와 수소사이의 공유결합이 약해지면서 수소이온이 해리되기 쉽다. 따

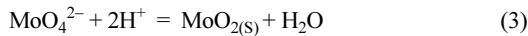
Table 1. Characteristics of molybdenum mineral ores¹⁾

Mineral name	Formula	Mo content (%)	Density (g/cm ³)	Structure
Ferrimolybdate	Fe ₂ (MoO ₄) ₃ ·8H ₂ O	39.1	3	Orthorhombic
Ilsemanite	Mo ₃ O ₈ ·nH ₂ O	-	-	Amorphous
Jordisite	MoS ₂	59.9	-	Amorphous
Koehlinite	(BiO) ₂ MoO ₄	15.7	8.26	Orthorhombic
Lindgrenite	Cu ₃ (MoO ₄) ₂ (OH) ₂	35.2	4.26	Monoclinic
Molybdenite	MoS ₂	59.9	4.6-5.1	Hexagonal
Molybdate	MoO ₃	66.7	4.72	Orthorhombic
Mourite	UO ₂ ·5(MoO ₂ (OH) ₂)	44.4	4.225	Monoclinic
Powellite	CaMoO ₄	48.0	4.26	Tetragonal
Chilliagite	PbMoO ₄	19.6	7.5	Tetragonal
Umohoite	UO ₂ MoO ₄ ·4H ₂ O	19.1	4.55-4.93	Variable
Wulfenite	PbMoO ₄	21.1	6.815	Tetragonal

라서 산화상태가 큰 금속이온의 수화물은 산의 성질을 지닌다. 폴리브덴의 수화층으로부터 수소이온이 해리되는 반응을 다음에 나타냈다.

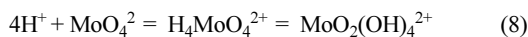
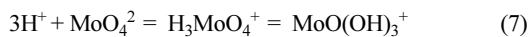
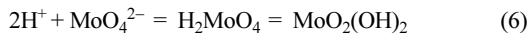
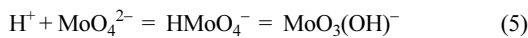
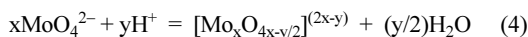


폴리브덴은 일반적으로 3, 4, 5, 6의 산화상태를 가지는데 알칼리용액에서는 MoO_4^{2-} 가 열역학적으로 가장 안정하다. 이와 같이 MoO_4^{2-} 의 열역학적 안정성은 다음의 환원반응을 이용해서 설명할 수 있다. 먼저 MoO_4^{2-} 가 4가인 MoO_2 로 환원되는 반응을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

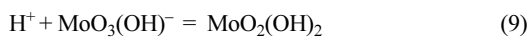


폴리브덴의 옥소음이온(Oxoanion)은 환원될 때 산소이온을 잃는데 이와 같이 금속옥소음이온에서 떨어져 나온 산소이온은 물에 존재하는 수소이온과 결합하려는 경향이 강하다. 따라서 MoO_4^{2-} 의 환원반응은 수소이온의 농도가 높은 산성용액에서 일어날 수 있지만 알칼리용액에서는 수소이온이 농도가 매우 낮으므로 환원반응이 진행하지 않아 MoO_4^{2-} 가 가장 안정하다.

전이금속의 산화수가 증가할수록 옥소음이온이 중합체를 형성하려는 경향이 강하다. MoO_4^{2-} 는 사면체 구조를 가지며 폴리브덴은 사면체의 중심에, 산소이온은 사면체의 꼭지점에 존재한다. 따라서 용액의 pH가 감소하여 수소이온의 농도가 증가하면 사면체에 위치한 산소이온과 수소이온이 결합하여 다양한 중합체를 형성할 수 있으며 일반적인 반응식을 식 (4)에 그리고 여러 착물형성반응을 다음에 나타냈다. 또한 사면체 구조를 지닌 가 중합체 형성시 분자구조의 모형을 Fig. 1에 나타냈다.



상기 반응에 의해 형성된 중합체는 수소이온과 반응하여 다른 중합체를 형성하는 것이 가능하다.



$\text{Mo}_2\text{O}_7^{4-}$, $\text{Mo}_7\text{O}_{24}^{6-}$, $\text{Mo}_8\text{O}_{26}^{4-}$, $\text{Mo}_{18}\text{O}_{56}^{4-}$ 등의 중합체는 모두 6가의 산화상태를 지니며 물의 제거반응이

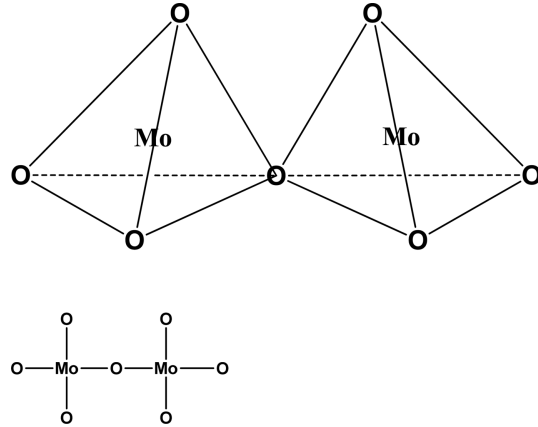
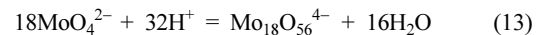
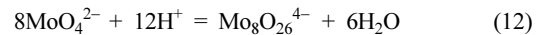
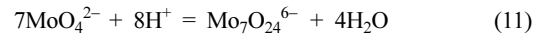
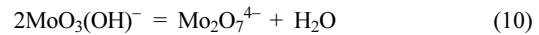


Fig. 1. Schematic diagram for the dimerization of MoO_4^{2-} .

동반되는 축중합반응을 다음과 같이 나타낼 수 있다.



MoO_4^{2-} 용액의 pH를 감소시키에 따라 축중합반응이 일어나는 것은 수소이온이 Lewis산으로 작용하고 MoO_4^{2-} 에 부착된 산소이온은 Lewis염으로 작용하여 수소이온에 비공유전자쌍을 제공하여 물분자를 형성하기 때문이다. 폴리브덴 중합체의 농도분포는 폴리브덴과 수소이온의 농도, 용액 온도에 의존하며 여러 중합체 형성반응과 평형상수를 Table 2에 나타냈다⁸⁾.

Table 2로부터 MoO_4^{2-} 가 MoO_3 로 침전되는 pH를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{pH} = 3.6 + 0.5 \log[\text{MoO}_4^{2-}] \quad (14)$$

Table 2에 나타낸 평형상수를 이용하여 수용액의 pH 변화에 따른 폴리브덴(VI)의 농도분포를 구할 수 있다. 즉 평형관계식을 폴리브덴의 물질수지에 대입하여 그 결과 식을 용액의 pH변화에 따른 그 결과 식의 해를 구하면 여러 폴리브덴 화학종의 농도분포를 구할 수 있다. 초기 폴리브덴의 농도가 0.01 M인 조건에서 상기 방법으로 구한 농도분포를 Fig. 2에 나타냈다⁸⁾. 텅스텐의 경우 화학종간의 평형에 도달하는데 여러 주가 필요하지만, 폴리브덴의 화학평형은 순간적으로 일어난다⁹⁾.

폴리브덴이 함유된 수용액의 pH가 6 이상인 조건에서는 폴리브덴(VI)은 MoO_4^{2-} 로 존재한다. 용액의 pH

Table 2. Equilibrium constants for the formation of various Mo(VI) complexes in aqueous solution at 25°C

Formula	Reaction	Log K
$H_3MoO_4^+$	$MoO_4^{2-} + 3H^+ = H_3MoO_4^+$	$\log K_1 = 8.44$
MoO_2OH^+	$MoO_4^{2-} + 3H^+ = MoO_2OH^+ + H_2O$	$\log K_2 = 8$
$Mo_2O_5OH^+$	$2MoO_4^{2-} + 5H^+ = Mo_2O_5OH^+ + 2H_2O$	$\log K_3 = 18$
$Mo_2O_2(OH)_6^{2+}$	$2MoO_4^{2-} + 6H^+ = Mo_2O_2(OH)_6^{2+}$	$\log K_4 = 19$
$Mo_7O_{24}^{6-}$	$7MoO_4^{2-} + 8H^+ = Mo_7O_{24}^{6-} + 4H_2O$	$\log K_5 = 52$
$Mo_8O_{26}^{4-}$	$8MoO_4^{2-} + 12H^+ = Mo_8O_{26}^{4-} + 6H_2O$	$\log K_6 = 71$
$Mo_{18}O_{56}^{4-}$	$18MoO_4^{2-} + 32H^+ = Mo_{18}O_{56}^{4-} + 16H_2O$	$\log K_7 = 171$
$HMoO_4^-$	$MoO_4^{2-} + H^+ = HMoO_4^-$	$\log K_8 = 3.57$
$HMo_7O_{24}^{5-}$	$7MoO_4^{2-} + 9H^+ = HMo_7O_{24}^{5-} + 4H_2O$	$\log K_9 = 57$
$H_2Mo_7O_{24}^{4-}$	$7MoO_4^{2-} + 10H^+ = H_2Mo_7O_{24}^{4-} + 4H_2O$	$\log K_{10} = 60$
$H_3Mo_7O_{24}^{3-}$	$7MoO_4^{2-} + 11H^+ = H_3Mo_7O_{24}^{3-} + 4H_2O$	$\log K_{11} = 62$
$Mo_7O_{24}OH^{7-}$	$7MoO_4^{2-} + 7H^+ = Mo_7O_{24}OH^{7-} + 3H_2O$	$\log K_{12} = 46$
$H_2Mo_6O_{21}^{4-}$	$6MoO_4^{2-} + 8H^+ = H_2Mo_6O_{21}^{4-} + 3H_2O$	$\log K_{13} = 49$
$H_3Mo_8O_{28}^{5-}$	$8MoO_4^{2-} + 11H^+ = H_3Mo_8O_{28}^{5-} + 4H_2O$	$\log K_{14} = 67$
$HMo_{13}O_{42}^{5-}$	$13MoO_4^{2-} + 21H^+ = HMo_{13}O_{42}^{5-} + 10H_2O$	$\log K_{15} = 119$
MoO_3	$MoO_4^{2-} + 2H^+ = MoO_3 + H_2O$	$\log K_{16} = 7.2$
H_2MoO_4	$MoO_4^{2-} + 2H^+ = H_2MoO_4$	$\log K_{17} = 7.36$

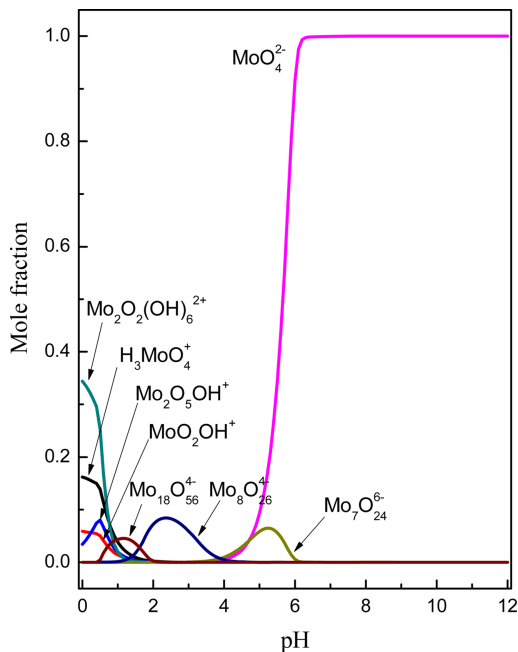


Fig. 2. Distribution diagram of molybdenum species⁸⁾. ([Mo(VI) = 0.1 M])

가 감소하여 수소이온의 농도가 증가하면 여러 몰리브덴의 동종다중음이온이 형성된다. 특히 pH 1.5에서 6사이의 수용액에서는 $Mo_2O_7^{4-}$, $Mo_7O_{24}^{6-}$, $Mo_8O_{26}^{4-}$, $Mo_{18}O_{56}^{4-}$ 등과 같은 중합체가 형성되어 존재한다. 이는 몰리브덴(VI)의 Eh-pH도와 잘 일치한다. 용액의 pH가 6부근에 도달하면 $Mo_7O_{24}^{6-}$ 가 처음 생성되기 시작한다. 용액 pH가 더욱 감소함에 따라 $Mo_8O_{26}^{4-}$, $Mo_{18}O_{56}^{4-}$ 가 순차적으로 생성된다. 한편 용액의 pH를 더욱 감소시키면 $MoO_3 \cdot 2H_2O$ 가 침전된 다음 $MoO(OH)_3^+$ 가 생성되기 시작한다. $MoO(OH)_3^+$ 는 사면체 꼭지점에 위치한 4개의 산소이온중 3개는 수소이온과 결합한 형태로 존재하는 것을 나타낸다. 수용액의 pH가 더욱 감소하여 진한 산성용액에서는 $Mo_2O_2(OH)_6^{2+}$ 가 생성되어 대부분의 몰리브덴(VI)이 $Mo_2O_2(OH)_6^{2+}$ 로 존재하는 것을 Fig. 2에서 알 수 있다. $Mo_2O_2(OH)_6^{2+}$ 는 $MoO(OH)_3^+$ 가 회합되어 생성된 중합체로 간주할 수 있다.

즉 수용액의 pH에 따른 몰리브덴 화학종의 농도분포로부터 다음 사항을 알 수 있다. 용액의 pH 6 이상에서 몰리브덴은 MoO_4^{2-} 로, pH 1 이하의 강산용액에서는 $Mo_2O_2(OH)_6^{2+}$ 로 존재한다. 한편 pH 1과 6 사이에

서는 다양한 폴리브덴 중합체가 존재하면 농도분포는 폴리브덴의 농도에 의존한다. 이러한 폴리브덴의 농도 분포 자료는 다른 금속을 함유한 자원으로부터 고순도 폴리브덴을 회수하기 위한 분리공정 설계시 도움이 된다. 즉, 알칼리용액에서는 폴리브덴이 음이온으로 존재하므로 아민계 추출제를 사용해야 추출할 수 있다. 한편 용액의 pH가 1 이하인 강산용액에서는 폴리브덴이 양이온형태로 존재하므로 이에 적합한 추출제를 사용해야 폴리브덴을 추출할 수 있다.

폴리브덴용액에 인산을 첨가하면 $[PMo_{12}O_{40}]^{3-}$ 이와 같은 이종다중음이온(Heteropolyanion)이 형성된다고 알려졌다¹⁰⁾. Fig. 2에 나타난 폴리브덴의 분포곡선은 물에 다른 음이온이 존재하지 않을 경우 용액의 pH에 따른 폴리브덴 화학종의 분포이다. 황산, 염산, 질산 등 무기산을 폴리브덴이 함유된 용액에 첨가하여 강산성분위기를 유지한 용액에서 폴리브덴의 농도분포는 Fig. 2와 다를 것으로 예상된다. 먼저 폴리브덴이 음이온형태로 존재하는 pH 2 이상의 용액에서는 무기산이 존재하더라도 폴리브덴 음이온과 무기산 음이온간에 반발력이 작용하므로 폴리브덴의 농도분포에 거의 영향을 미치지 않는다. 그러나 무기산의 농도가 증가하여 폴리브덴의 양이온 착물이 형성되면 무기산의 음이온과 폴리브덴 양이온간에 인력이 작용하면서 착물형성반응이 일어날 수 있다. 폴리브덴과 바나듐에 대해 염소, 질산, 황산이온과의 착물형성반응을 Table 3에 나타냈다¹¹⁻¹²⁾. 폴리브덴의 양이온이 무기산의 음이온과 착물형성반응에 대한 자료가 많지 거의 없지만 바나듐의 경우 질산 및 HSO_4^- 과 착물을 형성하는 것을 알 수 있다. 무기산의 농도가 진한 강산용액에서 폴리브덴의 양이온과 무기산의 음이온간에 착물이 형성되는 것은 이온교환을 통해 확인하는 것이 가능하다.

염산과 황산용액에서 폴리브덴의 이온교환실험결과에 의하면 염산농도 3 M, 황산농도 1 M 이상의 용액에서는 폴리브덴의 이종다중음이온이 형성되는 것으로 알려졌다⁸⁾. 따라서 용액의 pH가 2 이하의 조건에서 양이

온 추출제 또는 양이온 교환수지를 사용하여 폴리브덴을 선택적으로 추출 또는 흡착하기 위해서는 무기산의 농도를 적절하게 조절하는 것이 중요하다.

3. 결 론

폴리브덴은 알칼리용액에서 MoO_4^{2-} 로 안정한 상태로 존재하지만 수소이온의 농도가 증가함에 따라 MoO_4^{2-} 와 수소이온간의 축중합반응이 일어나 여러 동종다중음이온이 형성된다. 또한 MoO_3 가 석출되는 pH 이하의 용액에서는 동종다중양이온이 생성되기 시작한다. 폴리브덴이 함유된 용액의 pH가 2와 6 사이의 조건에서는 다양한 옥소음이온이 존재하므로 추출반응이나 이온교환반응의 해석이 어렵다. 또한 용액의 pH가 2 이하인 조건에서 다중양이온이 생성되거나 무기산의 농도가 진해지면 무기산의 음이온과 이종다중음이온을 형성한다. 따라서 무기산을 침출제로 사용하는 경우 이온교환실험을 통해 폴리브덴 착물의 전하를 확인하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20165010100880).

References

1. Gupta, C. K., 1992 : Extractive metallurgy of molybdenum, pp.3-7, CRC Press, London.
2. Nguyen, T. H. and Lee, M. S., 2016 : A review on the separation of molybdenum, tungsten, and vanadium from leach liquors of diverse resources by solvent extraction, Geosystem Engineering, 19(5), pp.247-259.
3. Nguyen, T. H. and Lee, M. S., 2016 : Separation of molybdenum and tungsten from sulfuric acid solution by solvent extraction with Alamine 336, J. of Korean Inst. Of Resources Recycling, 25(1), pp.16-23.
4. Nguyen, T. H. and Lee, M. S., 2015 : Separation of molybdenum(VI) and tungsten(VI) from sulfate solutions by solvent extraction with LIX 63 and PC 88A, Hydrometallurgy, 155, pp.51-55.
5. Nguyen, T. H. and Lee, M. S., 2014 : Separation of vanadium and tungsten from sodium molybdate solution by solvent extraction, I&EC Research, 53, pp.8068-8614.

Table 3. Stability constants for the formation of complexes of Mo(VI) and V(V) in inorganic solution at 25°C¹¹⁻¹²⁾

Reaction	Log K	Reference
$Mo(OH)_5^+ + Cl^- = Mo(OH)_5Cl$	-0.89	11
$VO_2^+ + NO_3^- = VO_2NO_3$	-0.5	12
$VO_2^+ + HSO_4^- = VO_2HSO_4$	2.44	12

6. Nguyen, T. H. and Lee, M. S., 2015 : Separation of molybdenum(VI) and tungsten(VI) from sulfuric acid solution by ion exchange with TEVA resin, Separation Science and Technology, 50, pp.2060-2065.
7. Nguyen, T. H. and Lee, M. S., 2014 : Recovery of molybdenum and vanadium with high purity from sulfuric acid leach solution of spent hydrosulfurization catalysts by ion exchange, Hydrometallurgy, 147-148, pp.142-147.
8. Lee, M. S., Son, S. H., and Lee, M. H., 2011 : Ionic equilibria and ion exchange of molybdenum(VI) from strong acid solution, Bull. Korean Chem. Soc., 32(10), pp.3687-3691.
9. Schweitzer, G. K. and Pesterfield, L. L., 2010 : The aqueous chemistry of the elements, pp.301-304, Oxford University Press.
10. Greenwood, N. N. and Earnshaw, 1998 : The chemistry of the elements, p.1014, Elsevier, London.
11. Högfeldt, E., 1982 : Stability constants of metal-ion complexes Part A : Inorganic ligands, p.207, Pergamon Press.
12. Robert, M. S. and Arthur, E. M., 1974 : Critical stability constants Part 4 : Inorganic complexes, p.50, Plenum Press.

이 만 승

- 현재 목포대학교 신소재공학과 교수
- 당 학회지 제11권 1호 참조

최 승 훈

- 2018년 서남대학교 생명화학공학과 교수
 - 당 학회지 제27권 3호 참조
-

회비 납부 안내

- 항상 본 학회에 관심을 가져 주신데 대해 진심으로 감사드립니다.
- 정회원, 준회원(학생회원) 중에 회비가 여러 해 미납된 회원께서는 2018년 10월 20일까지 회비를 꼭 납부해 주시기 바라며, 향후 년회비를 2년 이상 미납한 회원에게는 학회운영상 부득이 회지우송 및 기타 소식 관련 서비스도 중단할 것이오니 조속히 회비를 납부하여 주시기 바랍니다.
- **납부일** : 2018년 10월 20일(학회지 27권 5호(2018년 10월호) 부터 발송중지 예정)
- **납부방법** : 계좌이체 또는 지로입금(지로번호 7609637)
 우리은행 : 1005 - 301 - 118587 예금주 : (사)한국자원리사이클링학회
- **연락처** : 한국자원리사이클링학회 사무국
 전화 02-3453-3541~2, 팩스 3453-3540, E-mail : kirr@kirr.or.kr, http://www.kirr.or.kr