

## Cemented Te로부터 高純度 Te 金屬의 製造

\*李喆京 · 李康仁 · 劉孝信 · 梁東澤 · 河閔哲\* · 鄭求軫\* · 孫憲俊\*

韓國資源研究所 活用研究部, 서울대학교, 材料工學部

## Preparation of Ultrapure Te Metal from Cemented Te

\*Churl-Kyoung Lee, Kang-In Rhee, Hyo-Shin Yu, Dong-Hyo Yang,  
Yoon-Cheol Ha\*, Gu-Jin Jung\* and Hun-Joon Sohn\*

Minerals and Materials Processing Division, Korea Institute of Geology, Mining and  
Materials, 30 Sinsung-dong, Yusong-ku, Taejon, Korea 305-345

\*College of Materials Science Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea 151-742

### 요 약

동제련 부산물인 탈동 전물로부터 99.999% 순도의 금속 Te를 제조하는 공정을 개발하였다. 탈동 전물은 주로 Cu와 Te로 구성되어 있으며, Fe, Sb, As, Se, Pb 등이 불순물로 소량 존재하였다. NaOH 용액에서 Cu에 대하여 Te를 선택적으로 회수할 수 있었으며, 대부분의 불순물은 산화물 형태로 침출잔사에 잔류하였다. Cu, Pb, Fe 등의 일부 용해 불순물은 Na<sub>2</sub>S 첨가에 의해 황화물 형태로 침전 제거하였다. 전해채취법으로 Te를 선택적으로 환원시킬 수 있었으며, Se와 As는 전해액 중에 잔류하였다. 전해채취로부터 얻은 99.9% 순도의 금속 Te는 진공증류에 의하여 99.999% 이상으로 정제할 수 있었으며, 전자재료 등의 원료로 사용이 가능하였다.

주제어: 텔루륨, 습식제련, 진공증류, 고순도 텔루륨 금속

### ABSTRACT

It was investigated for the process to prepare 99.999% tellurium from decopperized anode slime in copper refinery. Tellurium is selectively extracted in strong alkaline solution from decopperized anode slime which was composed of mainly tellurium and copper and minorly iron, antimony, selenium, arsenic and lead. Most of impurities remain as oxides in the residue. Impurities dissolved partially in the leach liquor such as copper, lead and iron are precipitated with Na<sub>2</sub>S. Tellurium of 99.9% purity is deposited on the cathode leaving Se and As behind in the solution. Then, tellurium of 99.999% purity is made by vacuum distillation, which can be used as an electronic materials

Key words: Tellurium, hydrometallurgy, vacuum distillation, ultrapure Te metal

### 1. 서 론

지각 상에서 Se는 50 ppb, Te는 10 ppb 정도 밖에 존재하지 않는 희유금속이지만 동광석에 함유되어 동제련시 농축된 부산물로 얻어진다. 조동의 전해정련시 전해조 바닥으로 떨어지는 불용성 물질을 전물(anode

slime)이라 부르며 이것에 Se는 5~25%, Te는 2~10% 포함되어 있다. 이들은 일반적으로 금속의 형태나 Ag 또는 Cu와 드물게 Au와도 금속간 화합물을 형성하여 Ag<sub>2</sub>Se, Cu<sub>2</sub>Te, Cu<sub>2</sub>Se 그리고(Ag, Au)Te<sub>2</sub>로 존재한다.<sup>1)</sup>

동정광으로부터 유입되는 Te는 전해정련에 의해 제조되는 전기동의 품질에 악영향을 미치는 불순물로서 전해액 중의 농도를 0.1 g/l 이하로 유지시켜야 하기 때문에 동 스크랩이나 분말을 투입하는 시멘테이션법으로

\* 1999년 3월 31일 접수, 1999년 8월 9일 수리

\* Email address: cklee@kigam.re.kr

cemented Te( $\text{Cu}_2\text{Te}$ )로 회수된다.<sup>2)</sup>

이와 같은 Te 부산물을 건식 혹은 습식법으로 처리하여 99.9% 순도의 금속 Te를 얻을 수 있으며, 이 금속은 저탄소강의 기계가공을 용이하게 하는 폐삭성의 향상을 위한 합금원료, 화학적으로는 촉매, 그밖에 전자재료로 사용된다. 또한 범용순도의 Te로부터 진공증류, 대정련 등의 방법을 이용하여 99.999% 이상의 고순도 Te를 제조할 수 있고 전자재료인 CdTe의 적외선 감지재료 등으로 이용할 수 있다.<sup>3)</sup>

진공증류에서는 Te 보다 증기압이 큰 불순물(As, Se, Cd, S 등)들을 저온(약 370~430°C)에서 휘발시켜 제거하고, 증기압이 작은 불순물(Cu, Sb, Pb, oxides 등)들을 용탕 속에 잔류시켜 Te를 정제할 수 있다. Smimov와 Bibenina의 연구 결과에 의하면 99.9%의 출발원료에서 진공도를  $3 \times 10^{-2}$  내지  $1 \times 10^{-3}$  torr 정도 유지하고 온도를 400~600°C로 유지시키면서 정제한 결과, 99.999%의 순도를 갖는 Te를 얻을 수 있었다.<sup>4)</sup> 또한 Wedlock과 Norton<sup>5)</sup>은  $1 \times 10^{-3}$  torr의 진공에서 온도를 달리 하면서 단계별 증류법으로 고순도 Te를 증착시킬 수 있었다. 그러나 다양한 불순물이 함유되어 있는 cemented Te로부터 고순도 Te를 제조하거나 진공증류의 효율적인 운전을 위해 습식법으로 체계적인 불순물 제거와 증류에 의한 고순도 Te의 제조에 대한 연구는 미미하였다.

Lee 등<sup>6,7)</sup>은 Cu를 연간 40만톤 가량을 생산하고 있는 LG금속에서 동재련시 부산물로 나오는 탈동전물로부터 Te를 효과적으로 회수할 수 있는 단순화된 공정을 개발하였다. 본 연구에서는 고순도 Te를 제조하기 위하여 cemented Te를 습식처리할 때, 단위공정별로 불순물을 체계적으로 제거하는 연구를 수행하였다. 그리고 전해채취법으로 99.9% 순도의 금속 Te를 제조하고 진공증류에 의하여 고순도 Te를 제조하는 연구를 수행하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험 재료

LG 금속(주)에서 동재련 시 전해정련 과정에서 발생하는 탈동 전물로부터 시멘테이션에 의해 제조된 cemented Te를 실험재료로 사용하였으며, 평균입도는 2.5  $\mu\text{m}$ 이었다. Cemented Te의 화학조성은 원자흡광분석기(AA)와 유도결합 플라즈마 회광분석기(ICAP)를 사용하여 조사하였으며, 그 결과를 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 cemented Te는 주로 Te와

Table 1. Chemical composition of cemented Te (wt%)

Element	Te	Se	As	Cu	Pb	Fe
	21.7	0.59	1.30	32.9	0.55	2.15
Element	Zn	Mg	Sb	Bi	S	O
	0.29	0.10	1.28	0.52	6.51	26.8

Table 2. Thermodynamic solubility of metals

Element	Te	Se	As	Cu	Pb	Fe
$\log C_M$ at pH 14	7.29	24.7	23.4	-3.98	-1.36	-4.30

Table 3. Electrochemical reaction and equilibrium potential of metals

Element	Reaction	EO at pH 14 (V vs SHE)
Te	$\text{TeO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = \text{Te} + 6\text{OH}^-$	-0.413
Se	$\text{SeO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- = \text{Se} + 6\text{OH}^-$	-0.366
As	$\text{AsO}_4^{3-} + 4\text{H}_2\text{O} + 5\text{e}^- = \text{As} + 8\text{OH}^-$	-0.675
Cu	$\text{CuO}_2^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Cu} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.140
Pb	$\text{HPbO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Pb} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.538
Fe	$\text{HFeO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0.747

Cu로 구성되어 있으며, Te와 Cu는 육방정계 구조의  $\text{Cu}_2\text{Te}$ , 과량으로 넣은 Cu, 그리고 Cu와 구조적으로 결합하지 않은 육방정계의 Te의 세 가지 상으로 존재할 것으로 생각된다.<sup>1,7)</sup>

### 2.2. 제인공정<sup>7)</sup>

열역학 자료<sup>8)</sup>에 의하여 각 원소의 용해도를 나타낸 Table 2을 보면 pH 14의 강알칼리에서 Te, Se, As의 용해도는 각각  $1.95 \times 10^7$  M,  $4.90 \times 10^{24}$  M,  $2.57 \times 10^{23}$  M 인 반면에 Cu, Pb, Fe의 용해도는 각각  $1.05 \times 10^{-4}$  M,  $4.37 \times 10^{-2}$  M,  $5.01 \times 10^{-5}$  M로 매우 낮음을 알 수 있다. 따라서 강알칼리 용액에서 Cu, Pb, Fe에 대하여 Te를 선택적으로 침출할 수 있음을 알 수 있다.

그리고 강알칼리 용액에서 Te, Se, As의 열역학적 평형전위와 환원 반응을 나타낸 Table 3에서 보면 Se은 Te 보다 귀(noble)하고 As는 Te 보다 천(base)함을 볼 수 있다. 따라서 침출액으로부터 Te를 전해채취할 때  $\text{Se} > \text{Te} > \text{As}$  순으로 환원될 것으로 예상된다. 각 원소들의 환원속도는 제조된 용액에서 각 원소의 한계전류밀도(limiting current density)를 측정하여 비교할 수 있었으며, Te의 선택환원을 위한 전해조건을 조사하였다.

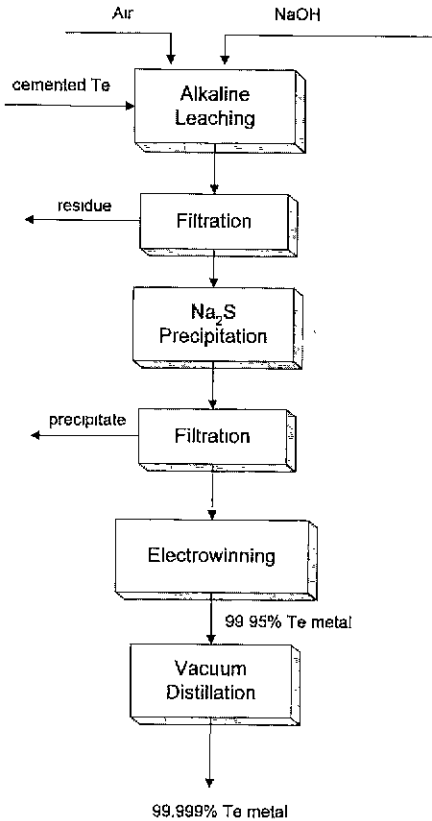


Fig. 1. Process for preparation of ultrapure metallic Te from cemented Te.

이러한 특성차이를 이용하여 cemented Te로부터 불순물을 체계적으로 분리하여 Te를 선택적으로 회수할 수 있으며, 개략적인 공정을 Fig. 1에 나타내었다.

전해채취로 회수한 99.9% 순도의 금속 Te를 고순도 화기 위하여 Te와 불순물 간의 증기압 차이를 이용하는 진공증류를 채택하였다. 용접에서 원소들의 증기압을 도시한 Fig. 2에 의하면 Te에 비하여 Pb, Bi는 증기압이 매우 낮고 Cu, Fe는 용점이 높음을 볼 수 있다. 또한 Se, Zn, As(승화점 886K)는 Te보다 우선 증류되기 때문에 진공증류 시 온도와 진공도를 조절하여 Se, Zn, As는 우선 증류시키고 Cu, Fe, Pb는 잔류시켜 Te를 정제할 수 있을 것으로 생각된다.<sup>4)</sup>

2.3. NaOH 침출, 정제 및 전해채취 실험

Cemented Te의 강알칼리 침출로 Cu에 대해 Te를 선택적으로 침출하였으며, 이때 주요 반응변수는 반응온도,

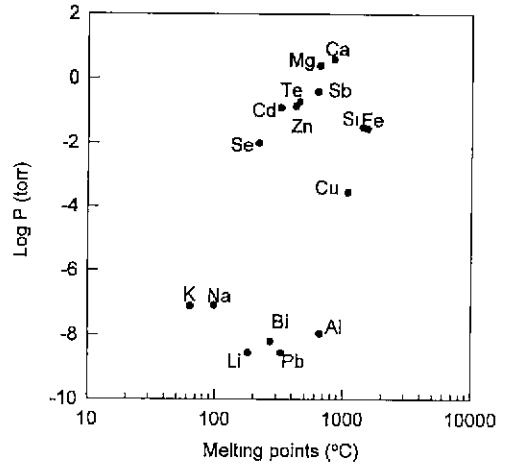


Fig. 2. Vapor pressure of metals at the melting point.

NaOH 농도 및 광액농도를 들 수 있다. 그리고 침출 시 일부 용해된 Cu, Pb 및 Fe 등의 불순물은 Na<sub>2</sub>S를 첨가하여 황화물 형태로 침전 제거하였다. 정제된 침출액 중의 주요 불순물은 Se와 As 이기 때문에 시약으로 제조한 Te, Se 및 As 용액으로부터 전기화학적 환원기동을 조사하여 Te를 선택적으로 환원할 수 있는 조건을 조사하였다. Cemented Te의 습식제련의 구체적인 실험장치, 방법 및 최적조건은 전 연구<sup>7)</sup>와 같다.

2.4. 진공증류 실험

진공증류를 위한 기본장치로는 진공배기 시스템, 증발로, 용축시스템의 3 부분으로 구성을 했으며, 기본 개략도를 Fig. 3에 나타내었다. 진공 시스템은 고진공이 요구되기 때문에 rotary pump와 확산펌프를 연계시켰으며, 진공도 측정을 위한 계측 장비를 부착시켰다. 증발관은 재사용이 가능하도록 석영관으로 제조하였으며, 노는 온도제어를 정확하게 할 수 있도록 hot zone을 3

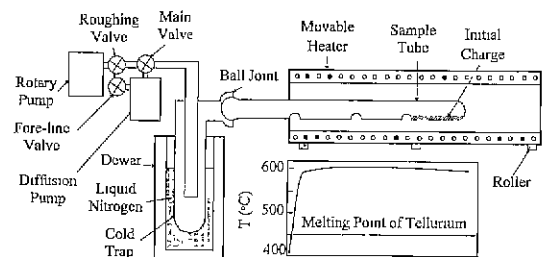


Fig. 3. Schematic diagram of vacuum distillation.

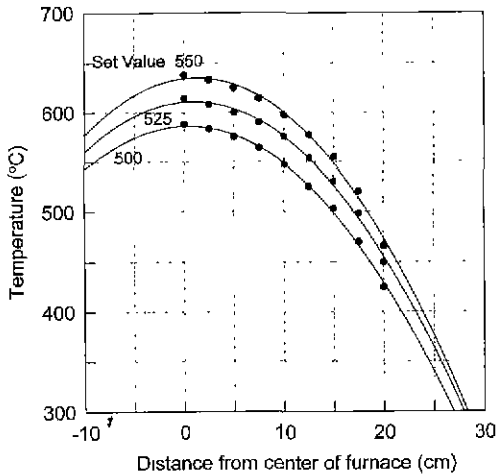


Fig. 4. Temperature profile with the distance from center of furnace.

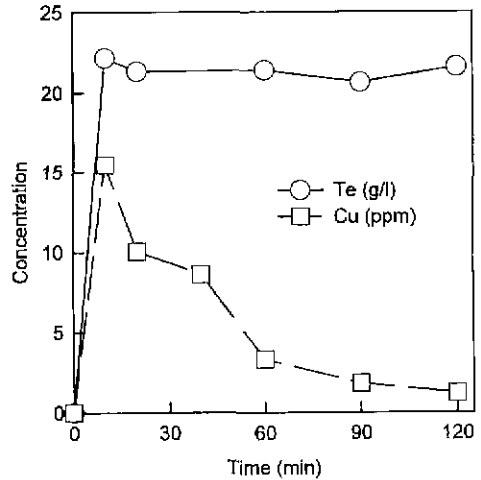


Fig. 5. Concentration profile of Te and Cu in alkaline leach liquor (100 g/l pulp density, 100 g/l NaOH, 80°C, excess air)

단으로 구성하였다.

Hot zone으로부터의 거리에 따른 온도분포를 측정하여 Fig. 4와 같은 온도분포 특성을 얻었으며, 온도 영역이 400~600°C 되도록 유지시켰다. 전해채취로 얻은 Te 금속을 증발관의 제일 낮은 온도 구간에 장입하고 진공 시스템을 연결하여  $1 \times 10^{-3}$  torr까지 진공도를 낮추었다. 다음 증발로를 움직여 원하는 온도영역에 맞도록 위치를 정하고 증발이 되는 정도를 육안으로 확인하면서 더 높은 온도구간으로 움직여 가면서 다단계의 증류실험을 지속하였다. 각 구간에서의 증류 시간은 원하는 회수율에 따라 결정하고 마지막 구간으로 Te의 증착이 완전히 일어나면 냉각시킨 후 Te를 회수하여 불순물의 농도를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. NaOH 침출

Cemented Te에는 Te와 Cu가 주성분이고 pH 13 이상의 강알칼리 용액에서는 두 성분 사이에 선택성을 가지므로 침출제로 NaOH 용액을 사용하였으며, 광액농도 100 g/l, NaOH 100 g/l에서 시간에 따른 침출액 중의 Te, Cu의 함량 변화를 Fig. 5에 도시하였다. 그림에서 보면 시간이 증가함에 따라 용액 중의 Te 함량이 증가함을 볼 수 있고 20 min 이내에 침출이 거의 100% 이루어지는 것으로 보아 NaOH 용액에서의 Te 침출반응은 매우 빠름을 알 수 있다. 그러나 Cu 함량이 시간

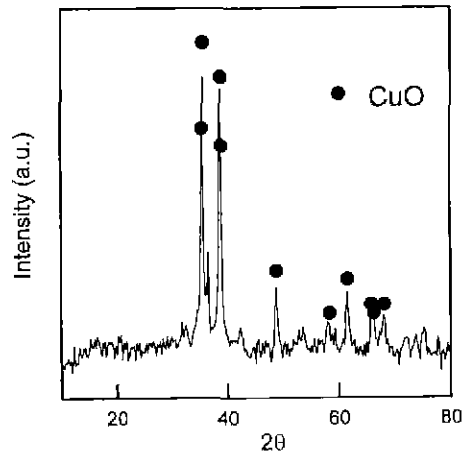


Fig. 6. Powder diffracton pattern of the leach residue.

에 따라 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 Cu telluride의 분해 혹은 산화 후 강알칼리에서 안정한 산화물 혹은 수산화물 형태로 석출되기 때문으로 생각되어 침출잔사를 X-선 회절분석하고 그 결과를 나타낸 Fig. 6에서 보면 Cu는 산화된 후 pH 13~14의 강알칼리에서 안정한 CuO 상으로 존재함을 알 수 있다.

광액농도에 따른 침출용액 내의 불순물의 거동을 도시한 Fig. 7에서 보면 침출시간이 증가하면서 침출액 중의 Cu와 Pb 함량은 감소하고 Se와 As 함량은 증가하였다. 이는 Table 1의 열역학적 용해도로부터 예측한 바

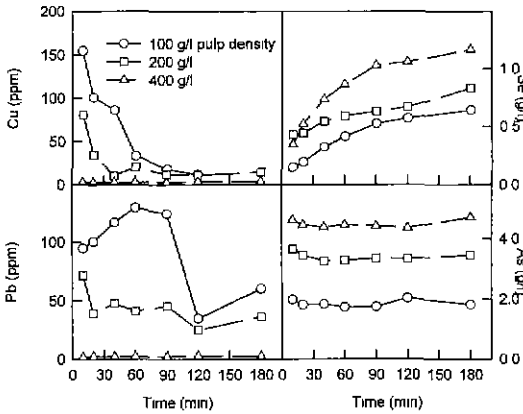


Fig. 7. Concentration profile of various metal ions with different pulp density (100 g/l NaOH, 80°C, excess air)

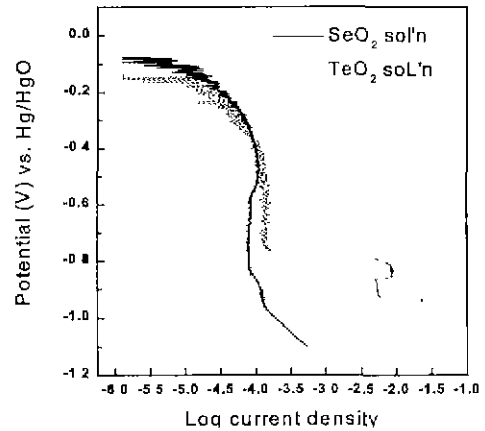


Fig. 8. Cathodic polarization curve of Te and Se (0.01 M metal concentration, 100 g/l NaOH, 25°C, 300 rpm)

와 같이 Cu와 Pb는 산화 후 석출되기 때문이며, Se와 As는 Te와 같이 침출되기 때문으로 생각된다. 그리고 광액농도가 증가하면서 침출액 중 Cu와 Pb의 농도는 감소하며, Se 및 As의 농도는 증가하였다. 전체적으로 광액농도의 증가에 따라 Te 순도에 영향을 주는 불순물들의 침출율이 저하한다고 말할 수 있다. 따라서 80°C, 광액농도 200 g/l, NaOH 100 g/l의 조건에서 Te를 98% 이상 회수할 수 있었으며, Cu, Pb, Fe, Bi 등의 불순물을 제거할 수 있었다.

3.2. 정액공정

침출에서 Pb, Cu, Fe, Sb, Bi, Se, As 등의 불순물이 일부 용해되므로 황화물 형태로 석출 제거할 수 있다. 80°C에서 Te 함량이 59.9 g/l인 침출용액에 Na<sub>2</sub>S 4 g/l 첨가할 때의 경우(Table 4)에서 보면 Cu, Pb 등은 1 ppm 이하로 감소한 반면에 Se, As는 거의 변하지 않았음을 알 수 있다. 따라서 Na<sub>2</sub>S 첨가량은 4 g/l가 충분할 것으로 사료되며, Cu와 Pb는 99% 이상, Bi는 95% 이상 제거되었다. 그리고 Te 농도가 미미하게 감소하는 것은 Te의 황화반응도 일부 일어나기 때문으로 생각된다.

3.3. 전해채취에 의한 Te 금속의 회수

황화물 침전법으로 정제된 침출액 중의 주요 불순물인 Se와 As의 전기화학적 환원거동을 알아보기 위해서 Se 용액(0.01 M)과 As 용액(0.01 M)을 제조하고 음극 분극특성을 조사하였다. Se의 동전위 거동을 도시한 Fig. 8에서 보면 Se의 농도가 Te와 같은 경우에도 Se의 한계전류밀도가 0.079 mA/cm<sup>2</sup>로 Te에 비하여 무시할 수 있을 만큼 작았다. 따라서 Se와 As이 불순물로 소량 함유되어 있는 침출액으로부터 전해채취법에 의하여 Te를 선택적으로 회수할 수 있을 것으로 생각되었다. 그리고 As의 동전위 거동을 도시한 Fig. 9에서 보는 바와 같이 As의 한계전류밀도는 0.17 mA/cm<sup>2</sup>로 Te의 한계전류밀도, 8.9 mA/cm<sup>2</sup>와 비교하여 매우 작으므로 As 환원속도는 무시할 수 있었다.

전해채취에서 환원한 금속 Te의 순도와 불순물의 거동을 알아보기 위하여 정제한 침출액에서 50°C, 5A(4V 이하) 조건에서 전해채취 후 전해액 중의 금속 이온 농도를 분석하고 그 결과를 Fig. 10에 도시하였다. 이 그림에서 보면 시간에 따라 불순물이 감소하는 정도가 무시할 수 있을 만큼 적음을 볼 수 있다. 같은 조건에서 전해채취 전후 전해액 내의 금속농도를 나타

Table 4. Chemical composition of leaching solution of cemented Te (ppm, ♪: g/l)

Element	Te*	Se	As*	Cu	Pb	Fe	Sb	Bi	Zn	S†
after leaching	59.9	430	1.52	26	66	<1	21	20	15	4.01
after purification	58.0	427	1.70	0.15	0.37	<1	14	0.88	13	4.38
after winning	0.54	420	1.60	0.4	0.6	0.92	9.2	0.85	13.8	-

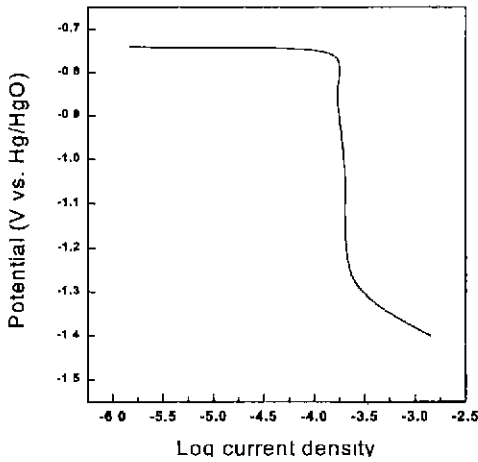


Fig. 9. Cathodic polarization curve of As (0.01 M As, 100 g/l NaOH, 25°C, 300 rpm)

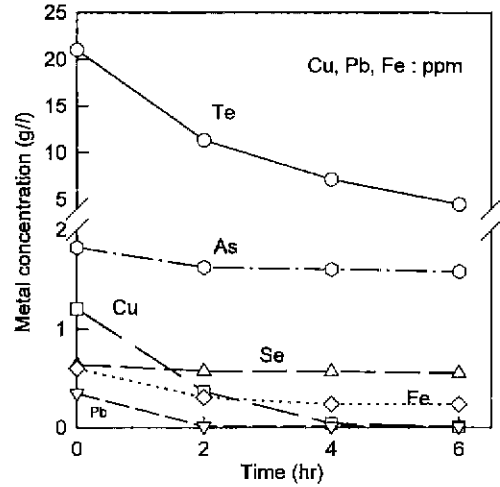


Fig. 10. Concentration profile of various metal ions in the electrolyte (5A, 50°C)

넌 Table 4에서 보면 전해액 중의 불순물들의 농도감소는 매우 작음을 볼 수 있다. 전해액 중의 주요 불순물인 Se, As는 초기농도에 비하여 각각 0.16%와 5.9%로 농도가 감소하였으며, 이는 Se, As의 한계전류 밀도, 즉, 환원속도가 Te에 비하여 매우 작은 동전위 결과와 일치하였다.

따라서 Te의 선택침출과 침출액의 정제, 그리고 선택적 전해체취로 cemented Te로부터 99.9% 이상의 순도를 갖는 금속 Te를 직접 제조할 수 있었다. 특히 Se, As가 불순물로 소량 함유되어 있는 침출액으로부터 전해체취법에 의하여 Te를 선택적으로 회수할 수 있다.

### 3.4. 진공증류에 의한 Te 금속의 정제

Te의 융점과 비등점은 450°C와 890°C로서 온도 상승에 따라 증기압의 변화가 상당히 크며, 융점 부근에서는 증발속도가 작으므로 용융 표면에서의 온도구배가 작기 때문에 증류는 용탕의 증발속도에 의존하게 된다. Table 5에서 보면 증기압이 낮은 Pb, Bi, Al은 증기압이 큰 Se, Sb, Mg 등의 불순물에 비해 증발 정도가 낮음을 알 수 있다. 물론 온도의 상승에 따라 전체적인 증발속도는 증가하나 선택성이 감소하여 Te의 순도가 떨어질 수가 있으므로 불순물의 종류에 따라 온도 조절이 필요

Table 5. Results of distillation experiments on tellurium<sup>4)</sup>

Remarks	Impurities(ppm)										Vac.
	Sc	Cu	Sb	Bi	Pb	Fe	Si	Al	Mg	Na	
Starting material	10	50	3	2	20	2	30	3	2	50	-
distilled at 500°C for 23 min, 95% yield	1	2	N.D.	<1	1	<1	2	2	<1	N.D.	1 × 10 <sup>-3</sup>
Starting material	60	70	>50	<1	>100	>100	>100	>100	100	50	-
distilled, at 500°C for 1-2 hr 35-57%, yield	<1	<1	N.D.	N.D.	5	1	1	1	<1	N.D.	3 × 10 <sup>-2</sup>
distilled at 550°C for 2.5 hr, 80% yield	<1	2	N.D.	N.D.	30	1	1	1	<1	N.D.	3 × 10 <sup>-2</sup>

Table 6. Chemical composition of Te metal electrowon and distilled (ppm, \*: wt%)

Element	Te	Se	As	Cu	Pb	Fe	Zn	Mg	Sb	Bi
Electrowon	99.95*	240	40	10	42	36	28	-	5	5
Distilled	99.999~	n/d	n/d	0.5	0.22	-	-	-	-	-

하다. 본 연구에서는 진공도  $1 \times 10^{-3}$  torr 이하, 최종 온도 585°C가 최적 조건으로 판단되었으며, 이 조건에서 전해체취로 얻은 금속 Te의 정제 전후의 불순물 함량을 나타낸 Table 6에서 보면 증기압이 높은 Se, Zn, As은 쉽게 휘발하여 금속 Te중의 함량은 거의 검출 범위 이하로, 그리고 증기압이 낮은 Cu, Fe, Pb는 잔류하여 금속 Te중의 함량은 ppm 이하로 낮아져. 진공증류에 의하여 99.999% 이상의 고순도 Te를 얻을 수 있었다

따라서 cemented Te로부터 습식법에 의하여 체계적으로 불순물을 제거하여 99.9% 순도의 금속 Te를 제조할 수 있었으며, 진공증류로 99.999% 순도의 금속 Te를 제조할 수 있었다.

#### 4. 결 론

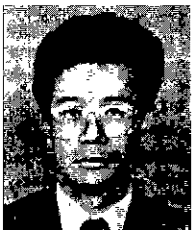
등제련 부산물인 cemented Te로부터 Te를 회수하고 진공증류에 의하여 99.999% 이상의 순도를 갖는 금속 Te를 제조하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Cu에 대하여 선택침출이 가능한 NaOH 용액에서 cemented Te를 침출한 결과, 98% 이상 Te를 회수하였으며, 주요 불순물인 Cu, Pb, Fe 등은 산화물 혹은 수산화물 형태로 침출잔사에 잔류하였다. 일부 용해된 Cu, Pb, Fe, Bi 등의 불순물은  $\text{Na}_2\text{S}$ 의 첨가에 의한 황화물 형태로 침전 제거하였다.
2. 정제된 침출액으로부터 전해체취법으로 Te를 95% 이상 금속형태로 회수할 수 있었으며, 순도는 99.9% 이었다. 전해액 내 주요불순물인 Se과 As은 대부분 전해액 중에 잔류하였다.
3. 전해체취로 회수한 금속 Te 내 주요 불순물은 Se, As, Pb, Cu 등이었으며, 진공증류 시 진공도와 온도를 제어하여 Se과 As은 Te 보다 우선 증류시켜, Cu와 Pb 등은 잔류시켜 Te를 정제할 수 있었다.

4. Cemented Te로부터 선택침출-정제-선택 전해-진공 증류에 의하여 체계적으로 불순물을 제거하여 99.999% 고순도 금속 Te를 제조할 수 있었으며, 주요 불순물은 Cu와 Pb 등이었다.

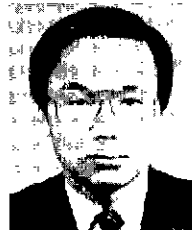
#### 참고문헌

1. T.T. Chen and J.E. Dutrizac: "The mineralogical characterization of tellurium in copper anode", Metallurgical Transactions B, vol. 24B, December, 997-1007 (1993).
2. T. Shnbasaki K. Abe and H. Takeuchi: "Recovery of tellurium from decopperizing leach solution of copper refinery slimes by a fixed bed reactor", Hydrometallurgy, vol. 29, 399 (1992).
3. R.D. Brown, Jr.: "Selenium and Tellurium", USGS Mineral Yearbook. USGS, USA, 160 (1997).
4. J. Krüger: "Use of vacuum techniques in extractive metallurgy and refining metals", Vacuum metallurgy, O. Winkler and R. Bakish (Ed.), 259-260, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, Netherlands (1971).
5. B.D. Wedlock and F.M. Norton: "Purification of tellurium by distillation", Research Report of U.S. Air Force, 84-93, MIT, Mass. USA. (1990).
6. C.K. Lee, K.-I. Rhee and H.-J. Sohn: "Recovery of tellurium from copper anode slimes by hydrometallurgical processes", 자원리사이클링학회지, vol. 6, No. 3, 36-41 (1997).
7. K.-I. Rhee et al.: "The recovery of tellurium from copper anode slimes by hydrometallurgical processes", EPD Congress 1997, B. Mishra (Editor), TMS-AIME, Orlando, Florida, 150-160 (1997).
8. M. Pourbaix: "Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions", 2nd edition, National Association of Corrosion Engineers, Huston, TX, 384 and 560 (1974).



李喆京

- 1990 서울대학교 대학원 자원공학과 졸업(박사)
- 1997 University of California at Berkeley, Lawrence Berkeley National Lab. (Visiting researcher)
- 현재 한국자원연구소 활용연구부 선임 연구원



李康仁

- 1987 미국 University of Utah, 금속공학과 졸업(박사)
- 현재 한국자원연구소 활용연구부 책임 연구원



劉孝信

- 1972 미국 University of Utah, 금속공학과 졸업(박사)
- 1984 미 AMAX Nickel Inc. 선임연구원
- 1987 미 Freeport Research & Eng. (선임개발연구원)
- 1989 동력자원연구소 공정정면 연구부장
- 1993 자원연구소 광물소재 분석센터장
- 한국자원연구소 활용연구부 책임연구원
- 현재 한국자원연구소 선임부장



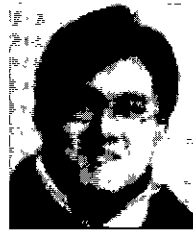
梁東濤

- 1996 한남대학교 화학공학과 졸업(석사)
- 현재 한국자원연구소 활용연구부 기술원



河閔哲

- 1999 서울대학교 대학원 자원공학과(석사)
- 현재 서울대학교 대학원 금속공학과 박사과정



鄭求軫

- 1997 서울대학교 대학원 자원공학과(석사)
- 현재 서울대학교 대학원 자원공학과 박사과정



孫憲俊

- 1980 미국 University of Utah, 금속공학과 졸업(박사)
- 현재 서울대학교 교수