

## 텅스텐 자원 및 텅스텐 수요산업의 현황과 전망

최한신\* · 김용환 · 이진규  
한국생산기술연구원 에코공정기술연구부

### Status and Prospect of Tungsten Resources and Tungsten Related Industries

Han Shin Choi\*, Y. H. Kim and J. K. Lee  
Eco Materials & Processing Department, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon, 406-840, Korea

#### 1. 서 론

최근 글로벌 산업 환경은 원소재 공급의 장기 불안 정성과 에너지/환경 분야의 각종 규제가 강화됨에 따라 각 원소별 천연자원, 제련산업, 소재화산업, 전방수요산업 측면에서 자국현황과 국외 현황을 정밀분석하고 급변하는 산업환경에 대응하기 위한 전방위적 전략 구축을 위한 경쟁이 치열하게 전개되고 있다.

특히, 자원의 희소성과 소재화 과정에서의 산업기술이 부족한 소재에 대해서 특별히 희유금속(rare metal)으로 규정하고 선진국을 중심으로 자원확보, 산업기술 선진화, 순환산업 활성화 및 인력양성을 위한 민간과 정부의 공동 노력이 오랜 기간동안 실행되고 있다.

우리나라의 경우 그동안 정부주도로 요소기술을 중심으로 한 압축성장 전략을 구사하여 짧은 시간에 전방산업 중심의 급격한 성장을 구현해 냈다. 그러나 이러한 성장방식은 근원적으로 국외 원천소재, 원천기술을 도입하는 방식으로 전개되었고 결과적으로 국내 소재산업은 저부가 범용소재 분야로 전략한 반면 고부가 원천소재에 대한 국외 의존도가 높아 균형발전에 있어 한계를 가지고 되었다. 따라서, 향후 전방산업분야의 지속적인 성장을 위해서는 소재-부품-제품 산업에서 국내소재산업의 현재 불균형을 개선할 필요가 있다.

본 기술보고에서는 자원의 희소성과 자원 확보의

글로벌 경쟁이 심각한 대표적인 희유금속중 하나인 텅스텐에 관하여 텅스텐 자원 현황과 자원보유국 및 수요국의 전략과 국내산업 현황 분석을 통해 국내 텅스텐 관련 산업의 문제점을 분석하여 향후 텅스텐 관련 국내산업의 발전 방향에 대하여 기술하고자 한다.

#### 2. 텅스텐 제조 및 응용 분야

##### 2.1. 텅스텐의 제조

텅스텐은 원소이름(tungsten)과 원소기호(W)가 상이하이다. 이는 원소기호의 경우 독일어인 Wolfram의 W를 이용한 반면 이름은 스웨덴어인 tungsten(의미: 무거운 돌)을 이용하기 때문이다. 한국의 경우 다른 언어의 명칭이 가지는 의미와 동일하게 중석(重石)이라고도 한다[1].

텅스텐의 자원은 대표적으로 철망간중석(wolframite)과 회중석(scheelite)이 있고, 제련산업을 통한 기초소재로 산화텅스텐(WO<sub>3</sub>)이 있다. 그림 1에는 텅스텐 광석으로부터 기초소재인 WO<sub>3</sub>를 제조하는 대략적인 공정과정을 나타냈다. 철망간중석은 광석내 텅스텐 함량이 약 59.6 wt.%이고 회중석의 경우 약 63.4 wt.%의 텅스텐을 함유하고 있다. 철망간중석의 경우 APT(ammonium paratungstate: (NH<sub>4</sub>)<sub>10</sub>(H<sub>2</sub>W<sub>12</sub>O<sub>42</sub>)<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O)의 단계를 거쳐 산화분위기에서 열처리를 통해 WO<sub>3</sub>를 얻고, 회중석의 경우 염산처리 후 고온에서 상분해 과정을 통해 WO<sub>3</sub>를 형성한다. WO<sub>3</sub>는 노란색을 나

\*Corresponding Author : [Tel : +82-32-850-0390; E-mail : hschoi@kitech.re.kr]

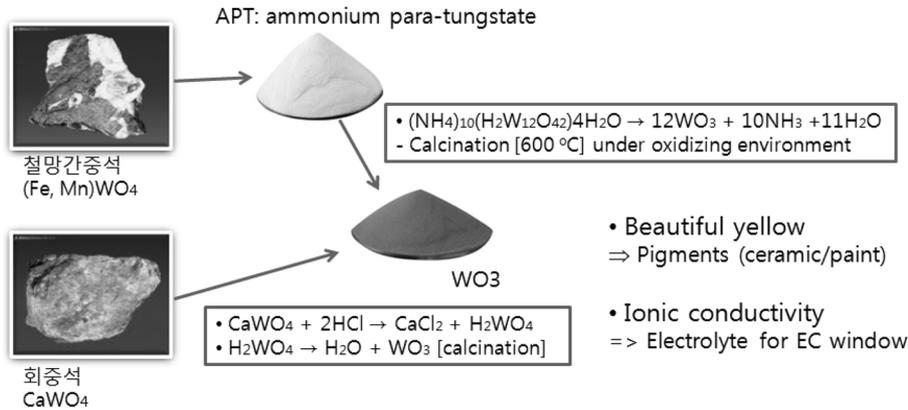


Fig. 1. Raw materials of tungsten.

타내며 세라믹이나 페인트에 첨가되는 첨가제로 사용되고, 이온에 대한 전도도를 가지고 있어 차세대 스마트 유리의 일종인 electro-chromic 모듈의 전해질로 적용된다[2].

2.2. 텅스텐의 응용 분야

텅스텐은 그림 2에 요약된 바와 같이 매우 독특한 특성을 가지고 있고, 타 소재와의 차별화된 원천적인 물성을 산업적으로 응용하면서 발전되어 왔다. 텅스텐 수요의 분류는 크게 야금학적 첨가원소(공구강/고속도강 합금원소, superalloy 합금원소(stellite, hastelloy), 고온용 소재(로켓 노즐), 전기·전자산업 소재(백열전구, 진공관, 전자총, 전극), 공구 및 내마모 코팅 소재로 구분되고 기타 고상윤활소재(WS<sub>2</sub>) 및 화학산업 촉매 등으로 응용된다.

텅스텐은 고용점의 특성을 가지고 있어 원소재는 분말의 형태를 띠고, 적용 목적에 따라서 텅스텐 분

말과 탄화 텅스텐 분말로 구분된다. 텅스텐 분말은 주로 고온의 응용분야나 고밀도를 요구하는 응용분야에서 P/M 공정을 거쳐 최종 제품화 된다.

탄화 텅스텐(tungsten carbide WC)은 WO<sub>3</sub>를 직접 환원·침탄하는 방법과 환원과 침탄의 이원화 공정을 통해서 합성된다. WC는 22 GPa의 높은 경도와 Co, Ni과 우수한 젖음성(wettability)을 가지고 있다. 따라서, 공구 소재로서 요구되는 높은 경도와 우수한 인성을 탄화텅스텐을 Co, Ni의 금속과 복합화한 초경합금(hardmetal or cemented carbide)을 제조함으로써 구현할 수 있다. 초경합금은 철계 공구소재(공구강, 고속도강)에 비해 높은 경도를 가지고 있어 피삭재의 선택 폭이 넓고, 가공속도가 빠르고, 가공면이 미려한 동시에 수명이 길어 공구시장 점유율이 높아지고 있다.

현재 전세계적으로 텅스텐의 수요중 초경합금 공구용 수요가 약 60% 이상을 차지하는 것으로 알려져 있으며, 점차로 비율이 확대되는 추세이다. 공구로써 초경합금의 핵심물성은 경도이다. 초경합금의 경도는 크게 금속 바인더 상의 상분율과 탄화 텅스텐의 입자크기에 영향을 받는다. 그림 3에는 바인더 상의 상분율과 탄화 텅스텐 입자의 크기에 따른 초경합금의 경도변화를 나타낸다. Co 함량의 증가에 따라서 경도의 값이 감소하고 탄화 텅스텐의 입자가 미세할수록 경도값이 증가하는 양상을 나타낸다. 결과적으로, WC-Co binary component 소재를 경도적인 측면에서 상분율과 결정크기 조절을 통해서 Hv 500에서 Hv 2100 이상까지 다양한 범위의 물성을 부여할 수 있다는 것을 알 수 있다. 다시 말해서, 이

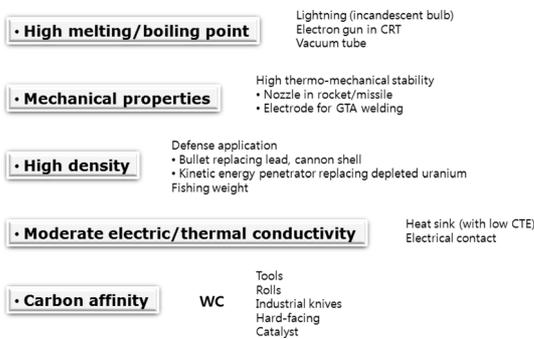


Fig. 2. Physical properties and industrial applications of tungsten.

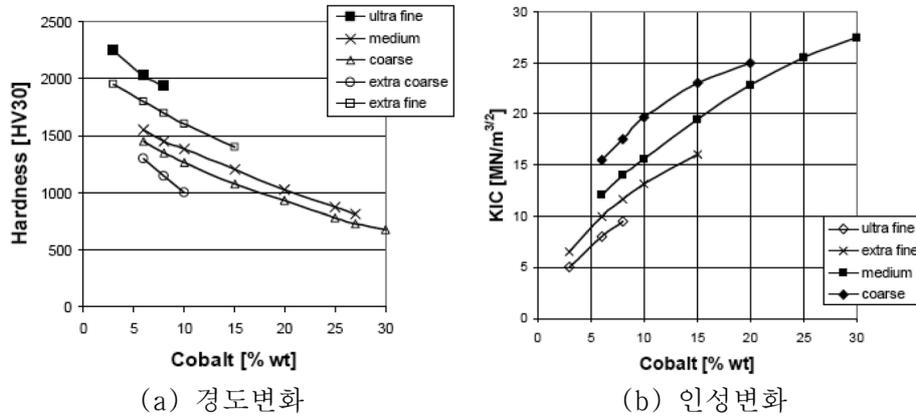


Fig. 3. Mechanical properties of hard alloy as function of Co contents and particle size of WC[3].

리한 광범위한 물성의 범위가 초경합금이 다양한 피삭재와 가공공정조건에서 폭넓게 적용될 수 있는 근원적인 배경이 된다.

### 3. 텅스텐의 자원현황 및 산업분석 글로벌 자원/산업 환경

#### 3.1. 텅스텐 자원현황

USGS(United States Geological Survey) 통계자료를 통한 텅스텐 글로벌 생산현황은 그림 4에 나타났다[4]. 2000년까지 약 30,000톤에 달하던 세계 생산량이 2001년 이후로 급속하게 상승하는 양상을 나타낸다. 실제로 1995년에서 2000년까지 생산량 증가율이 연평균 4% 정도였으나 2000년 이후 20%의 성장률을 나타내며 2006년 연간 생산량이 약

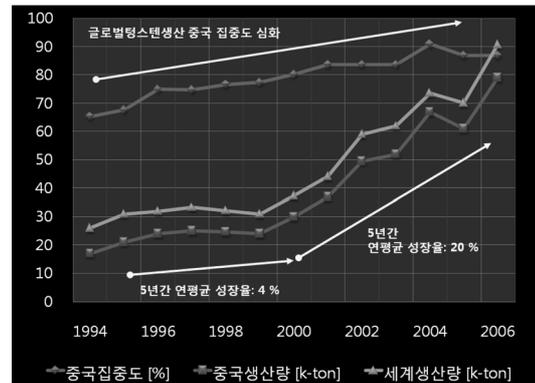


Fig. 4. Global tungsten production from 1994 through 2006[4].

90,000톤으로 증가하였다. 텅스텐 글로벌 생산량은 중국의 생산량과 동일한 양상을 나타내며 이는 중국

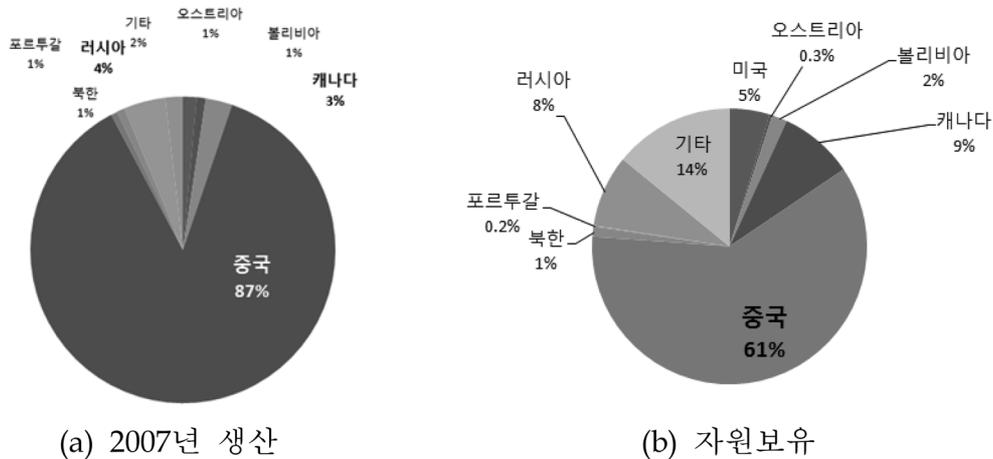


Fig. 5. World mine production and reserve base of tungsten in 2007.

(단위 : 100달러, 톤)

품목명 (HS-Code)	1 순위		2 순위		3 순위		2007	
	금액	중량	금액	중량	금액	중량	금액	중량
텅스텐(W)	중국		일본		독일		238	6,887
	144	5,199	49	440	11	154		

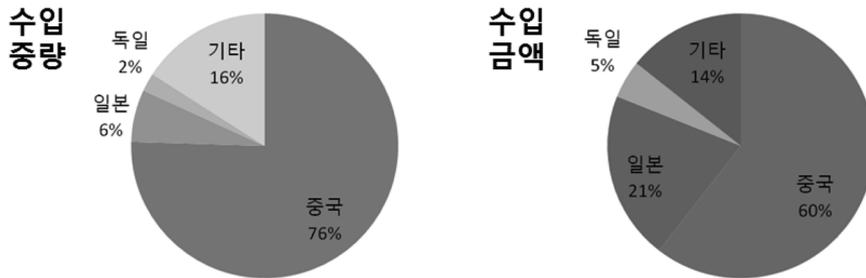


Fig. 6. The present state for domestic importation of tungsten.

의 생산량이 글로벌 생산-공급을 결정짓는 핵심요인임을 알 수 있다. 실제로, 그림 5에 나타난 바와 같이 글로벌 생산량에서 중국의 생산이 차지하는 점유율의 추이가 1990년 중반 65%에서 꾸준한 증가를 통해 2004년에는 거의 90%의 점유율을 나타냈다. 그림 6은 2007년 글로벌 텅스텐의 국가별 생산 점유율과 가용 자원의 보유량의 비율에 관한 그림으로 텅스텐 생산의 87%(세계: 89,610톤, 중국: 77,000톤), 보유의 61%(세계: 2,937,700톤, 중국: 1,800,000톤)가 중국에 집중된 극단적 단일국가 편중현상을 확인할 수 있다. 현재의 생산량을 기준으로 보유 가용 자원량을 단순 나눈 텅스텐 가채용 연수는 32년으로 자원의 유한성에 있어 심각한 상태에 있다.

따라서 텅스텐 천연자원의 매장량 대비 지속적인 수요의 증가로 인한 자원의 유한성과 자원 보유 및 생산이 중국에 과도하게 집중되어 있기 때문에 수요 국가의 자원에 대한 수요자 협상력이 낮아 중장기적인 공급 안정성 확보에 대한 전략이 요구된다.

3.2. 텅스텐 산업 전략

3.2.1. 텅스텐 자원 공급국 전략; 중국

글로벌 텅스텐 수급 및 환경변화의 중심에는 중국의 정책과 산업현황이 있다. 거시적으로, 중국은 자원과 요소기술의 상대적인 경쟁우위를 토대로 정부 주도의 압축경제성장 정책을 추진하고 있으며, 이를 위해 천연자원에 대한 국가 관리를 강화하여 자원의

Table 1. Tungsten industries and products of China[5]

산업현황	제품현황
- 제련산업: 48개사, 147,000톤	- APT: 46,000 톤
- 텅스텐분말: 69개사, 55,000톤	- 산화텅스텐: 40,000톤
- 초경합금: 197개사, 31,000톤	- 페로텅스텐: 12,000톤
- 페로텅스텐: 28,000 톤	- 텅스텐 분말: 20,200톤
	- 초경합금: 13,200톤
	- 텅스텐 봉: 3,131톤
	- 텅스텐 필라멘트: 19,000,000,000 미터

국내의 출입 조절을 통해 소위 고부가가치 정책과 자동차, 기계 산업 등 전방산업육성과 연계한 공구산업 발전전략을 구사하고 있다.

결과적으로 중국은 텅스텐 자원의 수출쿼터와 세금정책을 통한 자원의 해외 유출 억제는 2002년 18,100톤의 수출규모를 2007년 15,400톤의 수출로 감소된 결과를 나타냈으며, 이를 통해 자원, 기초소재, 원소재, 중간재, 최종제품까지 텅스텐 수요산업과 관련된 전방위에 걸쳐 자국 산업기반의 확충이 가능하게 되었다. 표 1은 2006년 중국 텅스텐 협회에서 발표한 중국 텅스텐 산업의 현황과 제품생산규모이다. 표에서 보여지는 바와 같이 중국은 텅스텐 자원에 기초한 정부주도의 산업육성을 통해 텅스텐의 최대 자원보유국, 최대 생산국인 동시에 최대 소비국의 지위를 확보하게 되었으며, 향후 텅스텐 수요산업의 글로벌 공급기지로서의 지위를 계속 유지할 것으로

판단된다.

텅스텐과 관련된 글로벌 산업환경의 중국 의존도는 현재 기준으로 자원에 기초한 중국의 정책외에도 중국정부가 자원의 최대 보유국이며 생산국임에도 불구하고, 자원 수요국의 전략을 추가적으로 구사하는데 문제의 심각성이 있다. 중국정부는 자국의 자원을 개발하는 것을 억제하면서 해외의 자원을 개발하고 자국으로 유입하는 동시에 초경합금의 재활용율을 높이는 이른바 '자원 수요국의 원료소재 공급 안정 전략'을 실행하고 있다. 실제로, 2006년 중국은 해외의 텅스텐 광산개발에 투자하고 12,300톤의 정광을 수입하고 있으며, 폐기 텅스텐 10,000톤과 초경합금 폐기물 5,000톤을 재활용하고 있다.

3.2.2. 텅스텐 자원 수요국 전략; 일본

일본은 우리나라와 마찬가지로 천연자원의 빈국이다. 그러나, 우리나라와는 달리 일본은 자원으로부터 최종제품까지 순방향 수요-공급 시스템의 각 산업단계별 산업기술의 기술적 수준이 매우 높으며, 특히, 소재화 기술과 관련한 기술수준이 높다. 다시 말해서, 일본의 경우 천연자원의 빈국이나 기술부국의 지위를 확보하고 있고, 결론적으로 우리나라와 비교하여 텅스텐 수요대비 부가가치 창출지수가 더욱 높아 고도의 효율적인 산업구조를 가지고 있다.

일본은 우리나라와 유사한 산업구조를 가지고 있으나 이미 30여년 전부터 자원에 기인하는 단가 가격 불안정성과 장기 원소재 공급 불안정성에 대한 대비를 충실히 실행해 오고 있다는 점에서 우리나라와는 차이를 나타낸다. 실제로, 도시광산(urban mining)이란 키워드에 잘 응축된 바와 같이 폐기물로부터 역방향으로 소재가 공급되는 역공급 네트워크의 구축을 통해 산업 전반에 대한 자원의 순환효율을 높이고자 하며, 결과적으로 천연자원에서 산업에 공급되는 순방향 소재 공급의 불안정성에 대한 공급 탄력성을 높이고 있다.

텅스텐과 관련한 일본의 전략은 크게 저감, 순환, 대체의 3R(reduction, recycling, replacement) 산업기술의 개발로 요약가능하다. 저감의 경우 불량률 감소, 초경공구의 디자인 개선, 공구의 수명연장을 통해 텅스텐의 순 수요를 원천적으로 감소하는 기술의 개발을 의미하며, 순환은 공정과정의 soft scrap이나 폐기공구와 같은 hard scrap의 공정내 자체순환이나

외부순환경로를 통한 역공급 네트워크의 구축을 목표로 한다. 대체의 경우 텅스텐을 보다 자원의 공급 탄력성이 높은 원소나 궁극적으로 자원의 보유량이 높은 풍부한 소재로 부분 대체하거나 전면적으로 대체하는 신소재의 개발이 핵심으로 통상 써멧소재와 세라믹소재를 이용한 초경합금 대체가 주를 이룬다.

4. 국내 텅스텐 산업현황

4.1. 국내 텅스텐 산업현황

4.1.1. 국내 수입현황

1950년대 한국은 텅스텐 자원의 주요 수출국의 지위를 차지하고 있었으나 1990년대 중국의 자원시장 진입에 따른 가격 경쟁력 약화로 1992년 주요 광산인 상동광산이 폐쇄되고 이후에는 텅스텐 수입국의 지위로 전락하였다.

현재 텅스텐은 WO<sub>3</sub>, 페로-텅스텐, W, WC, WC-Co, 공구강, 공구제품의 형태로 국내에 전량 유입되고, 일부 soft 스크랩이 공정내에 home 스크랩의 형태로 순환되는 것을 제외하고 hard 스크랩은 전량 국외로 반출되고 있다. 2007년 중량으로 6,887톤이 수입되고 텅스텐 순금속의 경우 약 6,000톤 정도에 육박한다. 수입과 관련하여 상위 3개국에 대한 텅스텐 수입 의존도를 분석해 보면 그림 6과 같다[6]. 수입중량의 측면에서 상위 3개 국가(중국, 일본, 독일)의 점유율이 84%에 달하고 이중 중국이 76%를 차지하고 있다.

결과적으로, 중국에 집중도가 매우 높아 텅스텐 공급과 관련하여 중국의 정책변화에 대한 대응력이 심각하게 문제될 수 있음을 알 수 있다. 수입금액과 관련해서는 중량대비 일본과 독일의 비율이 상대적으로 높게 나타난다. 이는 일본과 독일이 중국과 비교하여 소재화나 공구 제품화 기술이 높다는 점이 반영된 결과로 유추된다. 다시 말해서, 원소재나 범용 공구 제품에 대해서 중국이 상대적으로 점유율이 높고, 고부가 정밀공구 제품에 대해서 일본이나 독일의 국내 시장점유율이 높기 때문인 것으로 판단된다.

이러한 점에서 텅스텐과 텅스텐 산업의 국내 문제점을 2가지로 요약할 수 있다. 첫째는, 순환산업이 부재한 상태에서 전량 수입에 의존하고 있는 국내 상황으로 인해 텅스텐 산업전반에서 원소재의 공급 불안정성이 높다는 점이고, 두 번째는 공구시장과 관련

하여 기존의 범용제품 중심의 bell-형 시장이 대량생산 범용제품과 소량-고부가 정밀제품으로 양극화(well-형 시장)되는 메가트렌드에 대해서 국내자체 시장에 대한 장악력이 떨어지고 있다는 점이다.

4.1.2. 국내 산업현황

국내 텅스텐 물질흐름을 통한 산업분석 결과, 약 80% 이상의 텅스텐 수요가 공구산업의 원소재로 이용되고 있으며, 천연자원으로부터 순방향의 물질흐름을 고려한 국내 텅스텐 수요산업의 경우 광석을 처리하는 제련산업이 부재한 상태로 WO<sub>3</sub>을 수입하여 W, WC를 생산 전기전자, 용접봉, 국방용 중합금, 탄화텅스텐을 이용한 초경 합금 등의 수요산업에 공급하는 산업군과 페로-텅스텐을 이용하여 철강소재를 생산하는 산업으로 구성된다.

텅스텐의 기존 대표적인 산업인 전기-전자 산업은 중국의 시장팽창과 대체제품의 개발과 시장진입을 통해 대체적으로 산업이 쇠퇴기에 진입한 상태로 파악된다. 텅스텐의 높은 용점, 기화점, 전기전도도를 활용한 대표적인 수요인 진공관, 백열전구, 음극관의 경우가 대표적이다. 진공관의 경우 이미 solid-state diode와 transistor가 특수 분야를 제외하고 진공관을

대체하였다. 열과 빛을 응용한 백열전구 산업은 가정, 산업, 일반용 조명기구와 인큐베이터용 전열기구로 많이 활용하였으나 에너지 효율의 문제로 대안 조명이 급부상함에 따라 점차 쇠퇴하는 양상을 나타낸다. 실제로, 약 40개 국가의 경우 백열전구의 사용을 법적으로 강제하는 등 조명과 관련한 사회전반의 에너지 효율을 강화하고 있다.

국방 소재로서의 텅스텐은 주로 높은 밀도를 이용하는 중합금소재로 응용된다. 일반적으로 중합금의 경우 니켈, 철, 구리 등과 합금화하나 텅스텐 혹은 탄화텅스텐의 함량이 90% 이상이 된다. 주요 응용분야는 무기류로 높은 밀도에 기인하는 운동에너지를 이용한다. 대표적인 분야는 운동 에너지 투과체로 폭약을 함유하지 않고 운동에너지를 이용하여 타겟을 불능화하는 무기이므로 운동에너지를 높이기 위해서 높은 밀도를 가지는 텅스텐 중합금과 열화 우라늄을 이용한다. 향후, 열화 우라늄의 환경적인 문제점으로 텅스텐 중합금의 사용이 확대될 것으로 예상되며 무기효율을 극대화하기 위해서 소재적인 측면에서 합금소재와 공정기술을 통해 충격시 충격부위가 변형(mushrooming)되는 양상이 보다 효과적인 변형(self-sharpening) 모드를 가지도록 하는 연구가 진행중이다.

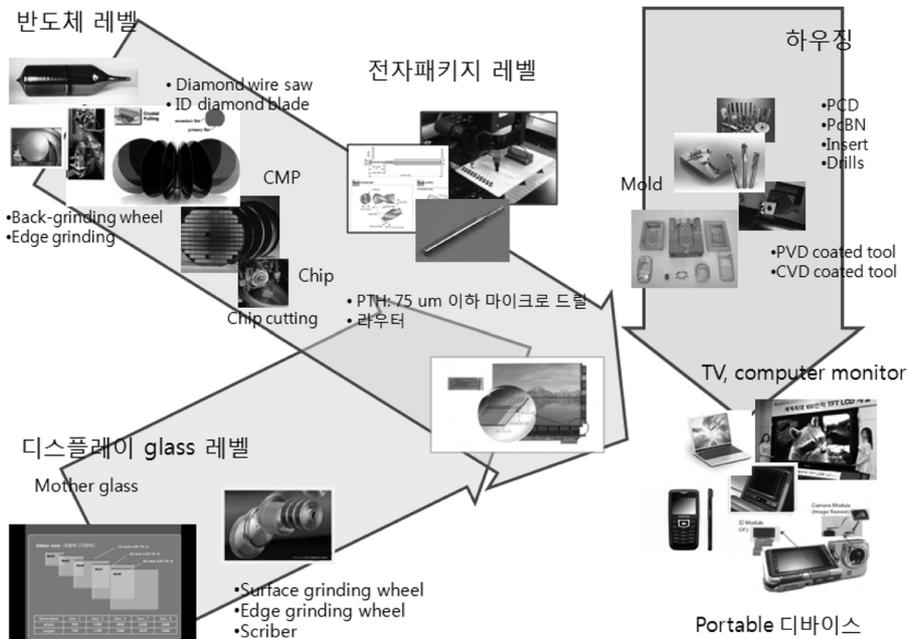


Fig. 7. Consumptions of tool for IT industries.

국내 텅스텐의 주요 수요산업인 공구산업의 경우 외형적으로 시장이 지속적으로 성장하는 경향을 나타낸다. 그림 7은 IT 제품을 생산하는 단계별로 공구의 수요를 나타내며, 초경합금, 공구강/고속도강, 다이아몬드/c-BN, 서멧, 세라믹 공구 등 다양한 소재가 다양한 형태로 제작되어 피삭재를 가공하게 되며 이 과정을 통해서 반도체 레벨, 패키징 레벨, 디스플레이,하우징 등의 제품이 완성된다. 텅스텐을 이용하는 대표적인 공구는 고속도강 공구와 초경합금 분야이며 수송기계, 일반기계, 산업기계, 전자부품, 금속가공, 토목건축 등 산업 전반에 활용되고 있다.

기계 산업의 금속가공에 폭넓게 사용되는 고속도 공구강은 Cr, Mo, W, V, Co 등의 합금원소를 20% 함유한 고급 특수강으로 원소재의 수급현황은 2005년 기준 국내생산이 3,000톤인 반면 수입이 3,000톤으로 여전히 수입 의존도가 높다.

탄화텅스텐을 이용한 초경합금 공구는 시장 성장 기조가 유지되고 있으며, 피삭 대상소재가 난삭재화되는 동시에 고속가공의 산업니즈로 인해 특수강 공구시장을 교체하는 교체수요도 확대되는 양상을 나타낸다. 향후 공구강과 초경합금용 텅스텐의 수요를 예측하기 위해서는 시장의 성장과 공구용 순수요의 변화, 대체공구의 시장점유율 등이 복합적으로 고려되어야 한다. 거시적으로 글로벌 공구시장은 2006년 573억 달러 시장에서 2015년 827억 달러 시장으로 확대될 것으로 예상되어 텅스텐 수요가 지속적으로 증가하는 기조가 유지될 것으로 판단된다(그림 8)[5]. 동시에, 절삭공구중 공구강이 초경공구로 대체되는 양상은 텅스텐 수요를 증가하는 요인이 된다. 반면에, indexable 공구 디자인의 확대, 코팅기술을 통한 수명

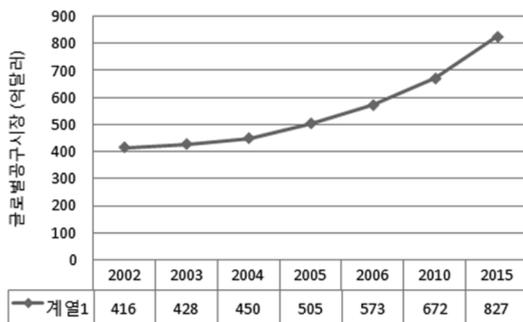


Fig. 8. Expectation of global tool market[5].

연장, 탄화텅스텐의 부분 대체 혹은 서멧이나 세라믹 공구를 이용한 전면대체 공구 등은 텅스텐의 수요를 감소하는 요인이 될 것이다. 결론적으로, 저감기술이나 대체기술의 경우 시장진입과 신뢰성 확보 측면에서 충분한 시장점유율 확보에 시간이 걸린다는 점을 감안할 때 상당기간 텅스텐 수요의 증가는 유지될 것으로 판단된다.

## 4.2. 국내 텅스텐 산업의 문제점

### 4.2.1. 텅스텐 수급

최근 다른 희유금속과 마찬가지로 자원 유한성과 자원 지역편중성 및 글로벌 투기자금의 자원시장 진입에 따라서 자원가격이 급상승하고 급격히 하락하는 불안정한 양상을 나타낸다. 텅스텐의 경우에도 그림 9에 나타난 바와 같이 텅스텐 글로벌 가격의 기준이 되는 APT 가격이 2005년 한해에 약 5배 가까이 급상승하였다. 소재를 전량 수입하는 우리나라의 사정상 전 산업단계에서 소재비용이 크게 상승함으로써 경쟁국가인 일본과 중국에 대비하여 일본과의 가격경쟁력의 상대우위가 약화되는 반면 중국과의 가격경쟁력에서 크게 뒤지는 상황이다.

향후의 텅스텐 수요의 경우, 고속도강과 초경합금이 주를 이루는 절삭공구분야의 글로벌 시장과 국내 시장이 상승기조를 유지하고 있고, 저감기술이나 대체기술 및 순환기술이 상대적으로 부족한 국내 공구산업 환경을 고려할 때 일본과 같은 경쟁국가에 비해 텅스텐의 해외 의존도가 더욱 문제가 될 것으로 판단된다.

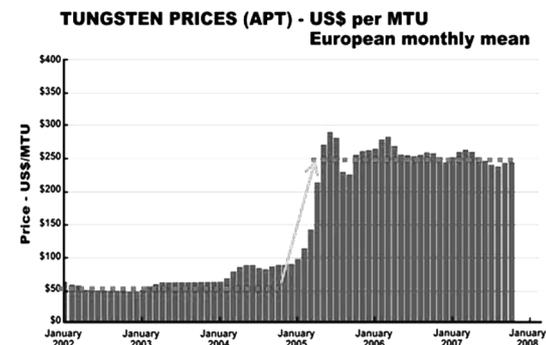


Fig. 9. Fluctuation of APT price[7]. (텅스텐 기준가격은 APT(ammonium para-tungstate) 가격으로 1 mtu(metric ton unit) 당 10% WO<sub>3</sub>, 7.89 kg 텅스텐 함유)

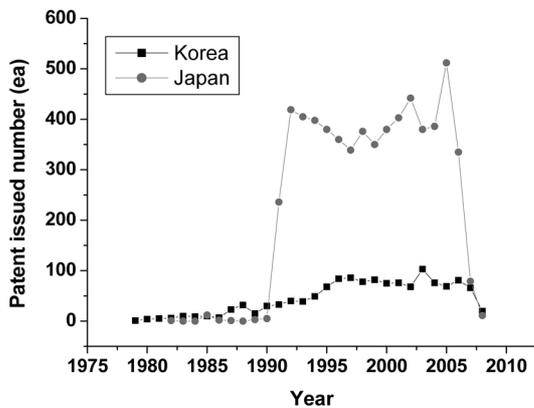


Fig. 10. Comparison between Korea and Japan for numbers of issued patent. [유효기간: -2005년, 검색어: WC-Co or 초경합금 or hard metal or cemented carbide or 텅스텐 카바이드 합금 or 탄화텅스텐 합금]

#### 4.2.2. 산업기술

자원의 수요-공급 구조에서 중국이라는 공급원의 절대적인 독점구조의 불균형에 따라 이에 대응하기 위한 전략은 같은 자원 수요국가인 일본의 대응을 정밀하게 분석할 필요가 있다. 일본의 경우도 국내와 유사하게 초경합금의 수요가 70% 이상되고 중국의 자원 의존도가 74% 이상으로 중국의 의존도가 높다. 그러나, 이러한 환경에 대해서 일본은 전술한 바와 같이 자원공급과 관련하여 단순 시장논리가 아니라 정부와 민간이 협업구조를 통해 오랜 기간동안 각종 정책과 전략을 개발해 오고 있다. 특히, 순환과 관련하여서는 고도순환사회를 통한 자원부국화 전략을 구사하고 있으며, 텅스텐과 관련한 순환량이 약 2,500톤에 육박하고 있다. 그러나, 순환율을 보다 극대화하여 자원의 순유입량을 줄이기 위해서 기술개발사업(경제산업성, 스미토모, 순환율 32% 45% 확대)과 국외 수출 공구제품의 회수 및 해외 폐기 초경제품의 수입을 촉진하는 산업과 제도를 정비하고 있다. 산업기술과 관련하여 일본과의 기술비교를 특허검색을 통해서 비교해 보면 그림 10에 제시된 바와 같이 소재, 공정, 순환, 시스템 등 전방위에 걸쳐 고른 특허의 분포와 함께 정량적으로 우리나라에 비해 4.5배 높은 특허출원 현황을 나타낸다.

#### 4.2.3. 텅스텐 순환산업

자원빈국으로서 텅스텐 원료의 대외 의존도를 완

화하기 위해서는 단기 비축확대, 자원외교 강화를 통한 해외 자원확보, 개발, 산업기술개발을 통한 저감 기술, 텅스텐 부분 혹은 전면 대체 소재 및 공정개발 등이 있을 수 있으나 비축 확대 등은 장기적인 방안이 될 수 없으며 대체기술은 비교적 긴 시간이 요구된다. 따라서, 중장기적으로 국내의 산업수요를 자체적으로 충족할 수 있는 순환기술의 개발과 산업화를 통해서 자원의 순유입을 감소하는 접근방법이 요구된다. 순환산업의 활성화는 추가적으로 자원의 개념을 역공급 네트워크의 측면에서 천연자원에서 폐기물로 확장성을 가지고 있으므로, 천연자원에 비해서 비교적 공급 경쟁이 낮은 폐기물에 대한 유입확대를 통해 공급 안정성을 재고할 수 있게 된다. 더구나, 향후 제조산업이 기존의 경제기준에 추가적으로 환경적인 요인이 산업활동의 경제성과 지속성의 주요한 변수가 된다. 탄소배출로 대표되는 기후변화경제(climate change economy) 체제에서는 이산화탄소 배출이 결과적으로 산업활동의 비용이 되며, 기존의 산업 연료에서는 에너지 소모와 이산화탄소 배출이 비례관계를 형성하게 된다. 따라서, 에너지 소모를 최소화하는 산업 네트워크의 활성화는 에너지 비용과 환경비용을 동시에 경감하는 효과를 얻을 수 있어 순환산업이 미래의 신산업으로 자리잡을 것으로 예상된다.

텅스텐과 관련한 국외의 순환동향은 중국의 경우 2006년 기준 15,000톤의 텅스텐 관련 폐기물이 APT 제련산업의 원료로 공급되고 있고, 미국은 2000년 기준 텅스텐 제품의 46%가 폐기물을 원료로 활용하고 있다.

일본의 경우 2007년 기준 32%의 순환율을 45%로 확대하기 위한 산업기술개발이 진행중에 있어 제련기술을 보유한 중국과 소재화기술이 우수한 일본, 유럽, 미국을 중심으로 다양한 루프의 순환산업이 제시되고 있다. 최근의 순환기술은 순환 대상소재와 순환 루프에 따라서 다양한 기술이 개발/산업화되고 있다.

중국, 미국과 같이 제련산업이나 기술을 보유하고 있는 국가의 경우 APT 제련의 원소재로 슬러지를 포함한 hard scrap을 활용하고 있다. 이러한 접근방법은 광석에 비해서 텅스텐의 농축정도가 높아 효율적이며, 조성에 관계없이 재원료화할 수 있는 반면 순환루프가 길어 순환의 에너지 효율이 상대적으로 낮다. Sn impregnation 법[8]은 폐 초경공구를 Sn 용

탕내에 분쇄 후 장입하면 Sn과 Co 사이의 반응으로 초경합금으로부터 Co를 선택적으로 용출할 수 있다. 반응을 통해서 형성되는  $Co_3Sn_2$  금속간화합물은 반응 후 염산을 이용하여 용해함으로써 WC 입자를 분리할 수 있다. 소위 Zinc process[9]로 알려진 순환 공정의 경우 이미 알고 있는 상분열의 초경 폐기물을 순환하는 데 효율적인 공정으로 Zn 용탕을 이용하여 Co를 녹여내고 Zn를 기화법으로 분리하는 공정기술이다.

일본에서 제시된 산화-환원법[10]은 초경합금을 산화하여  $WO_3-CoWO_4$  혼합물을 만든 이후에 분쇄하고 재환원하는 과정으로 초경합금을 순환한다. 리사이클링 공정기술 외에 폐 초경합금을 이용하여 보다 낮은 등급의 분말 수요산업에 원료로서 공급하는 재이용기술 분야도 가능하다. 예를 들어, 공구용 초경합금 소재에 비해서 내마모 hard-facing용 분말소재나 용사코팅 분말소재의 경우에 다소 낮은 등급의 초경분말을 활용할 수 있다. 따라서, 이 경우에는 초경 폐기물을 분쇄하고 다시 품위를 높일 수 있는 공정 기술을 활용하는 경우 에너지 효율이 높은 순환루프 기술로 적용될 수 있다.

국외의 순환기술과 순환산업과 달리 국내의 경우 순환산업이 거의 전무하다고 판단되며 특히 hard scrap의 경우는 수거되는 대상에 대하여 전량 국외로 반출되는 것으로 판단된다. 국외 반출 스크랩의 규모는 최소 연간 1,200톤 규모로 추정되나 실제 더 많은 양이 수거상태나 일차 처리된 상태로 반출되는 것으로 추정된다.

## 5. 결론 및 향후 전망

지금까지 우리나라 산업발전이 전방산업 중심의 압축성장이 주를 이룬 반면 제조 산업의 원천인 소재 산업의 경우 범용소재 중심으로 대외 경쟁력이 매우 낙후된 구조를 띄고 있다. 결과적으로, 최근의 원소재 공급 불안정성에 따른 소재발 경제위기를 통해 글로벌 환경변화에 대한 기업과 국가의 대응력이 매우 낮다는 것이 확인되었다.

향후 저탄소 녹색성장의 새로운 패러다임으로 전

환함에 있어 현재 산업전반의 재편이 요구된다. 이러한 산업의 거대 전이는 새로운 기회를 가질 수 있는 전환기가 될 수 있다. 소재적인 측면에서, 텅스텐을 포함하여 희박한 자원에 기초한 소재에 대한 대외적인 자립도를 높이고, 신물성 창제를 통해 새로운 제품을 개발하는 원동력이 요구된다. 동시에 소재화 과정이 저에너지 소비구조와 환경부하물질 저감 등의 신공정기술의 개발과 연계될 필요가 있고, 폐기물이 다시 원료로 공급되는 역공급 순환산업 기술과 산업네트워크가 필요하다.

텅스텐과 관련한 국내현황은 텅스텐 자원을 보유한 국가로 제련산업기술의 확보가 향후 소재 자체의 공급이 문제될 경우를 대비하여 확보할 필요가 있고, 저감, 대체 소재의 개발과 신공정기술 개발을 통해 물질효율과 에너지효율을 극대화하는 산업기술의 보급이 요구된다. 아울러, 폐기 텅스텐 제품을 새로운 원료로하는 다양한 순환루프의 산업화 기술이 개발되어야 한다.

## 참고문헌

- [1] C. L. Briant: JOM, **50** (2000) 36.
- [2] E. Pink, R. Eck and R. W. Chan: Mater. Sci. Technol., **8** (1996) 591.
- [3] V. Stanciu: The annals of dunarea de jos university of galati FASCICLE IX. METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE, **1** (2007) 90.
- [4] Mark D. Myers: Mineral Commodity Summaries 2008, U.S. Government Printing office, Washington (2008) 182.
- [5] Gabsu Kim: 중국의 산업·기술 경쟁력 분석, Korea Industrial Technology Foundation, Seoul (2008) 93.
- [6] KOTIC: 한국공구공업협동조합 주요 원자재 수입현황, KOTIC, Seoul (2008).
- [7] www.resourceinvestor.com
- [8] Nakamura Mitsuru: JP Patent 2000-72430.
- [9] Sankaran Venkateswaran, Wolf-Dieter Schubert and Benno Lux: Int. J. Refract. Met. Hard Mater., **14** (1996) 263.
- [10] Makoto Nanko, Hideaki Ando, Koji Matsumaru and Kozo Ishizaki: Adv. in. Tech. of Mat. and Mat. Proc. J., **6** (2004) 166.