



한국에서의 텅스텐 이용

글 _ 김정곤, 홍순직, 강홍윤
인천대학교, 공주대학교

1. 서론

텅스텐(Tungsten, W)은 특수한 산업의 영역에서 사용되고 있으며 이는 다른 금속재료에 의해 대체가 불가능한 부분이 많다. 이것은 텅스텐이 가지는 물리적, 화학적 특성의 특수성에 의한 것이다.

텅스텐은 원자번호가 76번으로 밀도가 19.25 g/cm³로 매우 높고 금속 중 녹는점이 3,422°C로 가장 높고, 전기전도와 열전도가 우수하며, 강한 내식성과 4.5 μm/(m·K) (at 25 °C)의 낮은 열팽창률 등의 우수한 특성을 가지고 있다. 특히 탄소와 결합하거나 다른 금속과 합금하였을 때 경도, 내구력, 합성된 합금의 부식 저항성을 증가시킨다.

텅스텐은 전구나 진공관의 필라멘트, 전기접점 또는 내열 구조재료, 절삭 공구, 내마모성 공구, 광산/토목 공구 등의 초경합금 원료 등으로 다양한 분야에 사용되고 있다. 열적, 기계적, 전기적 특성이 우수한 텅스텐은 초경합금분야에서 약 55%, 철강의 고속도강, 내열강, 절삭공구 그리고 내연기관 등과 슈퍼알로이로는 우주항공 분야와 gas turbine, marine turbine 분야에 23%, mill products 분야에는 wire, sheet, rod 등의 형태와 전자 및 전기 부품으로 14%와 촉매와 염료 등의 화학 분야와 기타 분야에 8%가 사용된다.¹⁾

텅스텐의 세계 매장량은 약 330만 톤²⁾으로 추정되고 있으며, 최고의 매장량을 자랑하는 중국은 190만 톤으로 전 세계 매장량의 57% 이상을 차지하고 있으며, 뒤를 이

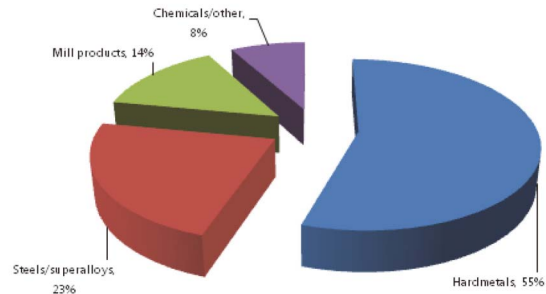


Fig. 1. The ratio of world tungsten consumption by end-use in 2010.

Table 1. The World Reserves of Tungsten

Country	Reserves ⁸
United States	140,000
Australia	160,000
Austria	10,000
Bolivia	53,000
Canada	290,000
China	1,900,000
Congo (Kinshasa)	NA
Portugal	4,200
Russia	250,000
Rwanda	NA
Vietnam	87,000
Other countries	360,000
World total (rounded)	3,300,000

Estimated. NA Not available. W Withheld to avoid disclosing company proprietary data. - Zero.
⁸Does not include U.S. mine production.
⁸See Appendix C for resource/reserve definitions and information concerning data sources

어 캐나다, 러시아, 오스트레일리아, 미국 등 4개 국가에 83%의 지역적 편중성을 나타내고 있다. 특히, 중국은 매장량과 생산량에서 최대의 보유국이자 생산국의 위치에 있다. 중국은 자국 내의 희소금속 수출 제한정책으로 국제 텅스텐의 공급을 조절하고 있어 전 세계의 텅스텐 시

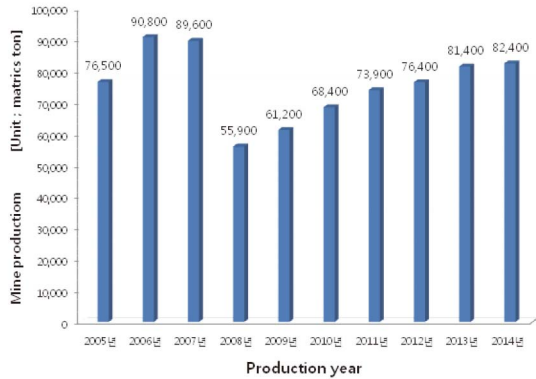


Fig. 2. The tungsten Production in World.

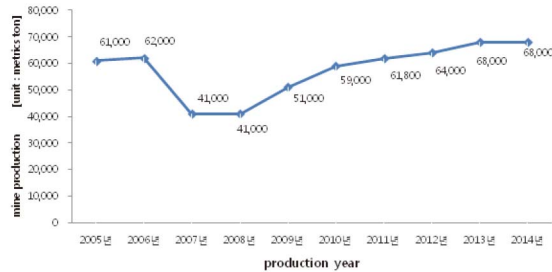


Fig. 3. The production change of tungsten in china.

장에 대한 장악력을 높이고 있다.

텅스텐광의 생산은 2005년 76,500 mtu(metrics ton unit)으로 증가 추세에 있었으나 금융위기가 발생한 2008년에는 2007년 대비 37.6%가 급격히 감소하였다가 2012년에 애 비로소 2005년 수준으로 회복되었다.³⁻⁶⁾ 그리고 꾸준한 증가 추세에 놓여 있다. 생산량에 있어 중국의 경우도 이러한 세계 경제의 변화와 같은 추세를 나타내고 있다. 그러나 중국의 경우에는 세계금융위기가 오기 전체인 2007년에 생산량이 약 34% 급격히 감소하였으나 2008년 이후부터 생산량이 꾸준한 증가 추세를 이루고 있으나 2013년 이후 생산량의 증가가 둔화되었다.

전 세계 텅스텐 생산량의 약 60%를 차지하는 중국은 생산량의 변화가 전체 텅스텐 시장에 미치는 영향이 자못 크다. 그리고 중국의 경제 발전으로 인해 중국 내수 시장의 텅스텐 사용량이 꾸준한 증가 추세로 인하여 러시아, 캐나다, 르완다, 미국, 베트남으로부터 수입하고 있어 세계 텅스텐 시장의 수요와 공급 시장에서의 많은 영향을 주고 있다.

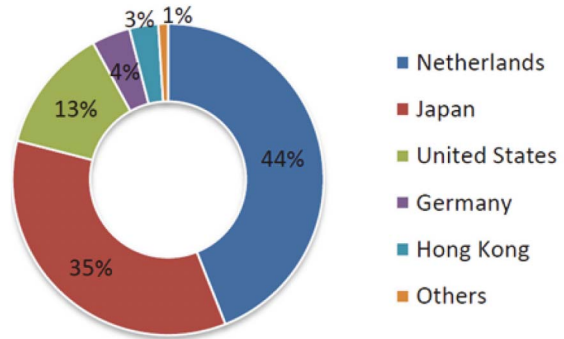


Fig. 4. The destination of exported ammonium para-tungsten from china.

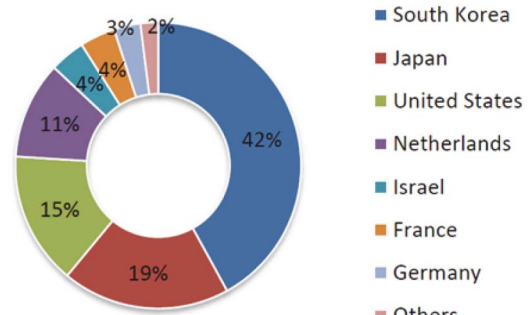


Fig. 5. The destination of exported tungsten trioxide from china.

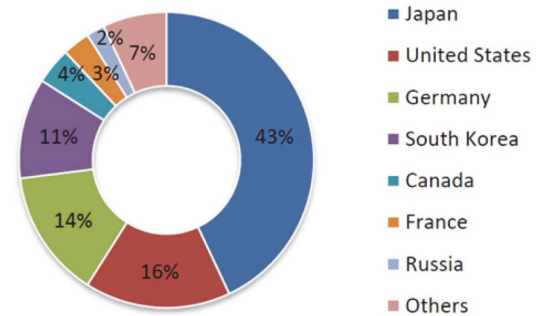
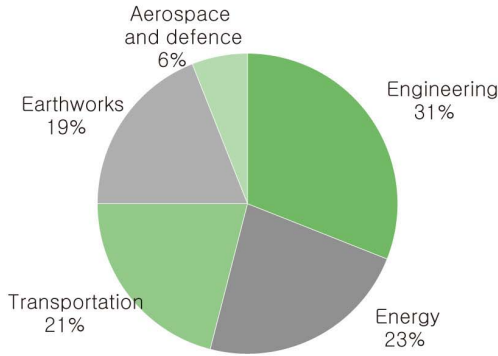
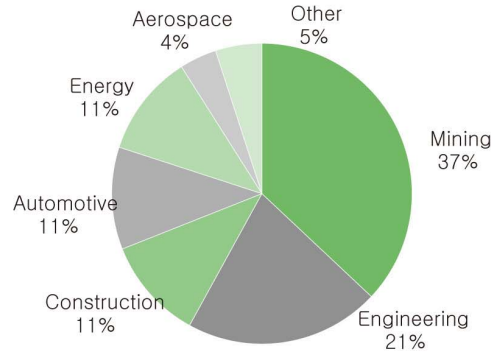


Fig. 6. The destination of exported tungsten carbide from china.

텅스텐의 이용은 텅스텐 카바이드(tungsten carbide), 산화 텅스텐(tungsten trioxide), 텅스텐 화합물(tungsten compound)인 암모늄 파라 텅스텐(ammonium para tungsten, APT) 등 3가지로 분류되고 주로 유통, 이용되고 있다. 중국에서 생산되는 암모늄 파라 텅스텐(APT)의 주요 수입국가로는 다음 Fig. 4⁷⁾와 같다. 네델란드에는 세계 3대 텅스텐 가공공장인 International Metalworking compa-



Source: Kennametal



Source: Sandvik

Fig. 7. The sales structure of the world's major companies.

nies가 있으며, 이곳 네덜란드를 중계무역지로 해서 유럽 각지로 공급되는 것으로 생각된다.

중국으로부터 수출되는 산화 텅스텐의 경우 약 42%가 한국으로 그리고 19%가 일본으로 수출된다.⁷⁾ 한국에는 세계적인 절삭공구 전문업체인 TaeguTec 이 있으며, 일본의 경우에도 정밀기계분야에서 수요가 많다.

중국에서 수출되는 텅스텐 카바이드는 일본과 미국을 중심으로 각각 43%와 16%가 각각 수출되고 있다.⁷⁾ 이는 정밀기계 및 우주항공 분야, Gas turbine, Marine turbine 등에서의 이용이 많은 것으로 추정된다.

세계에서 텅스텐을 많이 사용하는 주요 기업으로는 스웨덴의 Sandvik, 미국에 기반을 두고 성장한 Kennametal, 그리고 네덜란드에 본사를 둔 International Metalworking companies가 있다. Sandvik, Kennametal는 자체 생산품의 품목과 매출액 등의 공개에 적극적이고, International Metalworking companies의 경우 모든 것이 공개되지 않았다. 2013년 Roskill에 의해 추정된 초경합금 시장의 추산액이 약 150억 US\$로 이 중 Sandvik사가 약 134억US\$, Kennametal사가 28억 US\$의 매출을 가지고 있다. 공개된 자료에 의하면 이 기업들은 텅스텐의 주요 특성을 이용하여 mining, engineering, energy 등의 분야에서 Sandvik사가 약 69%의 매출을 Kennametal사가 약 73%의 매출을 올리고 있다.⁸⁾

이와 같이 텅스텐과 관련된 산업은 광산의 분포에서부터 제품의 생산까지 편재성이 심하다. 따라서 중공업이

발달된 산업구조를 갖는 우리나라로서는 텅스텐이 갖는 물리적, 화학적 특성이 없이는 앞으로 계속 발전해 나가기 어렵다.

우리는 우리나라의 텅스텐과 관련된 사업구조를 파악하여, 보다 효율적이고 발전하는 산업구조를 이루고, 안정적인 자원수급을 원활히 할 필요가 있다. 우리는 이 같은 취지에서 국내 텅스텐과 관련된 물질 흐름을 조사하였다.

2. 방법론(Methodology)

텅스텐의 물질흐름분석(Materials flow analysis)방법론은 top down과 bottom up 방식 동시에 적용하여 각 물질흐름이 갖는 문제점들을 적절히 해결할 수 있도록 통합한 통합방법론을 적용하였으며 다음 8단계별로 정의하였다.

1) 원료 및 기초 소재 단계

원료단계는 MFA 수행 대상 자원에 대하여 국내외에서 채굴되어 추출된 광석과 재자원화 단계에서 투입된 2차 자원이 제련과정에 투입되어 자원 이외의 불순물을 제거하여 자원피 형태로 생산하는 단계로 정의한다.

2) 1차 가공제품단계

원료단계를 거쳐 배출된 자원피가 가공단계를 거쳐 제



품 혹은 상품을 제조하기 위한 판, 박, 붓, 선 등의 형태로 제조되는 단계로 정의한다.

3) 중간제품단계

1차 가공제품으로부터 생산된 제품으로서 최종제품을 사용 혹은 생산하기 위한 중간제품을 생산하는 단계로 정의한다.

4) 최종산업(제품)단계

자원의 중간제품들이 최종적으로 투입되는 산업으로서, 건설, 자동차, 전기·전자, 기타 등의 분류와 각 산업의 대표적인 제품으로 구성되는 단계로 정의한다.

5) 사용·축적단계

대상 자원이 투입되어 최종산업(제품)단계에서 당해연도에 생산된 최종제품의 소비 및 사용과 최종제품별 내구연수를 고려하여 전년도까지 생산된 최종제품 축적, 그리고 자원의 사용 후 2차 자원으로서 재자원화되기 위해 수집단계로 투입되는 단계로 정의한다.

6) 수집단계

1차 자원이 사용 후 배출되어 2차 자원으로서 재활용되기 위해 수집되어 처리되는 단계로 정의한다.

7) 재자원화 단계

재자원화 단계는 수집단계 이후 재자원화 공정을 거치는 단계로 정의한다.

8) 폐기단계

폐기단계는 자원이 최종 폐기되는 단계로 정의하였으며 수집단계에서 배출된 2차 자원 수집처리 폐기량과 재자원화 단계에서 배출된 2차 자원 재자원화 폐기량을 산정하였다.

3. 텅스텐 물질흐름분석(Tungsten's Materials Flow Analysis)

3.1. 원료 및 기초 소재단계

현재 국내에는 텅스텐광의 회중석, 철망간중석, 즉 원료 자체로 수입하는 업체는 없는 것으로 조사되었다. 2000년대 초반에는 텅스텐광을 수입하여 추출하는 공정을 거쳐 분말을 생산하였으나, 낮은 생산성과 공정상의 어려움으로 인하여 현재는 산화 텅스텐 단계로 수입하여 텅스텐 분말, 탄화텅스텐 분말, 페로텅스텐으로 제조하고 있다. 이 단계에서 국내에서 사용되는 원료의 형태는 텅스텐광, 텅스텐 정광(철망간중석(흑중석), 회중석) 그리고 파라 텅스텐산 암모늄(APT)가 사용된다. 2010년까지 이 세 원료의 국내 생산은 없으며 다음 Table 1은 텅스텐광의 수출입양이다.⁹⁾

국내에는 강원 영월의 상동광산을 비롯하여 텅스텐과 관련된 광산이 18개소가 있으며 매장추정량도 약 9,692 ton에 이른다.¹⁰⁾ 생산량도 다음 Table 3과 같다.¹¹⁾

원료 및 기초소재 단계에서의 국내 사용량은 다음

Table 2. The Export and Import of Tungsten Ores

기간	단위:천불(USD1,000),톤(TON)	
	수출량	수입량
2005	279	0
2006	192	0
2007	3	0
2008	22	37
2009	21	406
2010	123	0
2011	22	18
2012	864	68
2013	588	2
2014	175	80

Table 3. The Wolframite Production in Korea

년도	(단위 : WO ₃ 70%,ton)					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014
계	-	-	9	26	-	2,246

Table 4. The Imports and Exports of Raw Materials Stage

품목	수입량	수출량
텅스텐광	284	15
텅스텐 정광	0	0
암모늄파라텅스텐	172	0
합계	456	15



Table 4과 같다.

3.2. 1차가공제품 단계

텅스텐의 1차 가공제품 단계의 제품은 관련 업체 조사와 한국무역협회 및 관세청 자료를 기반으로 페로-텅스텐, 산화 텅스텐, 텅스텐 분말, 탄화 텅스텐 분말 4개 제품으로 분류하였다. 텅스텐의 원료단계에서 1차 가공제품으로 투입되는 양은 초경공구 주요 업체 자료를 수집하여 1차 가공제품 단계의 MFA를 수행하였다.

원료단계로 분류된 텅스텐광에서 1차 가공제품으로 투입되는 양은 한국무역협회와 관세청 자료를 통해 산출하였다. 국내에서는 텅스텐광의 수출·입이 이루어지지 않고 있으나 한국무역협회와 관세청 조사자료에서는 텅스텐광의 수입 441 톤, 수출 15 톤이 국내에서 발생하는 것으로 보고되어 있다. 이러한 결과는 주변국가로 이동하는 과정에서 국내를 거쳐 가면서 발생하는 중계무역 때문인 것으로 조사되었다.

따라서 본 연구에서는 정확성을 높이기 위해 업체 조사 자료를 통해 얻어진 자료를 이용하여 텅스텐 1차 가공제품의 수급량을 계산하는 형식으로 MFA를 수행하였으며, 산화 텅스텐은 국내 수입량의 90% 를 담당하는 주요 업체 위주로 중점 조사하였다.

수입된 산화텅스텐을 이용하여 텅스텐 분말을 제조하여 국내 산업에 공급하였다. 그리고 탄화 텅스텐도 제조되어 국내 산업에 공급하였다. 국내 1차 가공제품의 수급량은 다음 Table 5와 같다.

1차 가공단계에서의 국내에 수입된 5995 ton의 텅스텐은 탄화 텅스텐으로 약 65%가량이 사용되고 있었으며, 텅스텐 분말로 약 21%, 페로텅스텐과 산화 텅스텐으로 나머지가 사용되는 것으로 현장 조사를 통하여 확인

Table 5. The Supply and Demand of First Process Stage

품목	[단위:net ton]			
	산화텅스텐	텅스텐분말	탄화텅스텐	페로텅스텐
수입량	5200	32	571	141
수출량	0	379	303	0
공급량	50	1545	3605	
중간제품 단계 수급량	50	1198	3873	141
공정스크랩	5	75	387	14

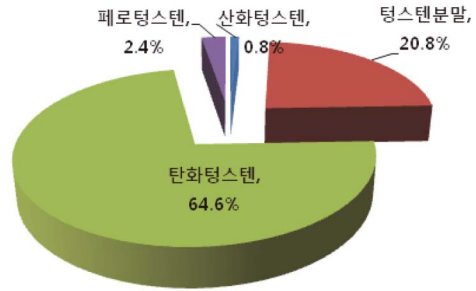


Fig. 8. The item ratio of the first processing steps.

하였다. 1차 가공단계에서 각종 수출입통계와 현장 방문 조사인 업계 조사와는 많은 수량 차이를 보였다.

1차 가공단계에서 수입된 탄화 텅스텐은 텅스텐 분말, 탄화 텅스텐 그리고 산화 텅스텐으로 가공하는 도중에 약 10%의 공정스크랩이 발생하였다. 이때 발생한 공정 스크랩은 수집 단계를 통해 재자원화 단계으로 투입되었다.

3.3. 중간제품단계

1차 가공단계에서 중간제품으로 투입된 텅스텐 제품의 형태는 산화 텅스텐, 탄화 텅스텐, 텅스텐 분말, 페로 텅스텐의 형태로 공급되었다. 투입된 텅스텐 1차 가공제품은 산업연관표의 대분류의 화학제품, 금속제품, 일반기계와 전기 및 전자기기 분야에 투입되어 다양한 중간제품을 생산하는데 이용되었다. 각 분야별 수급은 다음 Table 6과 같다.

기타 화학 제품 분야에 약 1%, 조명산업 분야에 약 1.6% 만이 사용되고 대부분 기계 분야에 이용되었다. 중간제품을 생산하는 과정에서 공정스크랩은 415 ton으로, 전체 수급량의 약 10% 정도 발생하였다. 최종제품에 포함되는 양은 3.734 ton 이다. 우리는 대부분의 기계요소를 수출하고 있음을 알 수 있으며 내연기관과 터빈에 이용되는 부품의 일부만 수입되는 것을 알고 있어 기계부품

Table 6. The Supply and Demand of Intimate Stage

	기타화학제품	전구래프 및 조명장치	배어링, 기어 및 전동요소	나사제품	내연기관 및 터빈
국내공급량	45	69	1054	3486	127
수입량	0	34	0	0	315
수출량	0	35	296	650	0
수급량	45	68	758	2836	442

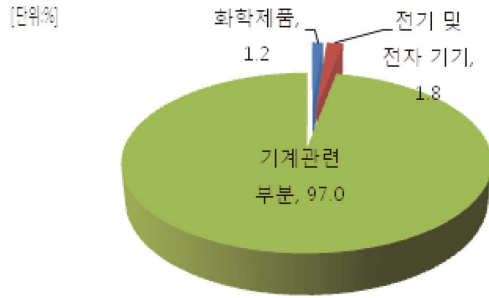


Fig. 9. The use ratio of tungsten by end product.

산업이 상당히 발전된 산업구조를 가졌음을 알 수 있다.

3.4. 최종제품단계

최종산업(제품)단계에서는 중간제품 단계(기타 화학제품, 전구 램프 및 조명장치, 베어링, 기어 및 전동요소, 나사제품, 내연기관 및 터빈)에서 가공된 부품들이 최종산업(제품)단계의 화학제품, 전기 및 전자기기, 일반기계, 금속제품의 최종제품으로 이용되었다.

최종산업(제품)단계는 중간제품단계에서 최종산업(제품)단계에 현장 실사 조사자료를 통하여 투입량과 수출/입량을 조사하여 조사하였다.

최종제품에 포함된 텅스텐은 3,405 ton 이 국내에서 사용되고 축적되는 것으로 조사되었다. 특히 조사대상이 된 2009년의 텅스텐 사용은 다음 Fig. 9와 같이 기계 관련 부분에서 거의 대부분을 사용하였다. 그리고 백열전구 및 조명장치에 이용되는 조명 부분에서의 사용은 에너지 효율성 등을 고려하여 사용량이 많이 축소되었음을 알 수 있다.

3.5. 사용 및 축적 단계

사용·축적 단계는 최종제품으로 생산된 제품이 산업 또는 가정에서 사용하는 양을 파악하는 단계로 텅스텐의 특징인 고강도, 우수한 내마모성, 내열성이 요구되는 산업에서 이용되고 있다. 이에 대한 사용 및 축적 기간은 사용하는 제품의 내구성 및 사용수명 때문에 매우 다양한 교체 주기를 가지고 있다. 사용 및 축적 단계에서의 수급량은 최종제품의 국내 사용량으로 산정하여 3,405 ton이다.

Table 7. The Supply and Demand of Collect Stage

	공정스크랩			사용 후 제품	수입량	수출량
	원료 및 기초재료	1차가공제품	중간제품			
수급량	0	531	415	0	183	124

3.6. 수집 단계

사용 후 제품 및 1차 가공제품, 중간제품, 최종제품의 생산 생산과정에서 배출되는 공정 스크랩 등이 재자원화 되기 위해 수집되어 처리되는 단계로 텅스텐 물질흐름 내에서도 공정 스크랩과 최종제품에서 사용 후 제품으로 일부 발생하는 것으로 조사되었다. 그러나 텅스텐이 함유된 초경 / 금형강 등에서 상당량의 텅스텐 스크랩이 발생하지만, 소규모의 영세 상인들에게 값싸게 현금으로 거래되고 있으며, 대부분은 중국밀수업자들에게 상당량 반출되는 것으로 조사되었다. 업체 조사 자료를 이용하여 각 공정 스크랩양을 Table 7과 같이 산출하였다.

3.7. 재자원화 및 폐기 단계

수집단계에서 국내에서 수집된 사용 후 제품, 공정 스크랩 그리고 수입된 스크랩에 대하여 재자원화가 이루어지는 단계이다. 텅스텐의 경우 일부 영세업체에서 소량 텅스텐을 재활용하고 있으나, 다시 산업에 적용하기에는 낮은 순도와 극히 소량의 회수율로 인해 많은 어려움이 있다. 2010년 현재 국내에서는 상용화가 가능한 재활용 기술이 없어 수집된 텅스텐 스크랩이 전량 해외로 (중국(Xiamen사), 미국, 유럽(H.C.Starck사)) 등으로 반출되고 있으며, 연간 반출량은 1,200 톤 이상이 될 것으로 예상하고 있다. 그리고 폐기단계로 수급되는 양은 엷는 것으로 조사 되었다. 원자재 가격이 폭등으로 국내에서는 폐기량이 없이 수집단계에서 전량 해외로 반출되고 있다.

3. 결론

2010에 실시한 텅스텐의 물질흐름조사는 국내의 물질흐름조사 방법을 처음 적용하여 실시하였다.

물질흐름 조사를 통해 국내 텅스텐과 관련된 산업과 관련된 산업을 파악할 수 있었으며 미치는 영향을 알 수 있



었다. 그리고 국내 텅스텐 수요 동향 분석을 통해 자원의 안정적인 공급 체계를 구축하고 수요산업의 현황과 전망 분석을 통하여 주요 수요 산업 등의 시장에 대한 예측과 기술동향을 파악, 국가 차원의 관리와 중요 국가정책을 이반하는데 기여할 것으로 기대된다.

1. 텅스텐은 금속 또는 화합물 형태로 사용되는 전락 물자로 초경합금 및 특수강의 원료, 조명, 전자, 기계공업 등의 첨단산업에 사용되는 핵심 소재로 국내 자원순환을 정확히 파악함으로써 가격 및 수급 불안정성에 대해 유연하게 대처 가능하다.

2. 국내 조사자료(한국무역통계)에서는 원료 및 기초 소재 단계에서 텅스텐광의 형태로 수출/수입되는 것으로 나타났으나, 현재 국내에서는 경제적인 이유로 텅스텐광 자체로는 사용하지 않고 1차 가공제품으로 분류된 산화 텅스텐으로 주로 수입하여 사용한다.

3. 1차 가공제품인 산화 텅스텐의 형태로 수입하여(중국:약 6,000 톤) 이를 텅스텐 분말, 탄화 텅스텐 분말의 형태로 제조한 후 해외로 재수출하거나 내수로 공급하였으며, 페로텅스텐 형태로도 일부 수출입 되는 것으로 확인하였다.

4. 산화 텅스텐은 화학제품군의 염료, 안료 및 유연제의 첨가제로 소량 사용하고, 텅스텐 분말은 주로 자동차 산업의 전구 램프 및 조명장치로 이용되었으며, 탄화 텅스텐분말은 금속제품이나 일반기계군의 금속절삭가공기계제조에 사용되었다. 그리고 금속 절삭 가공 기계에 사용되는 텅스텐은 용도에 따라 차이가 있지만, 교체주기가 평균적으로 약 2년으로 조사되었다.

5. 텅스텐이 가장 많이 사용되는 절삭가공 기계·금속 기계(초경합금)에 약 2,940 톤이 투입되었으며, 최종제품으로 생산된 제품들은 사용·축적 단계로 총 3,405 톤이 이동한 것으로 조사되었다.

6. 수집 또는 폐기단계는 국내 일부 영세업체에서 재활용을 하고 있지만, 회수율과 순도가 매우 낮고, 산업에 바로 적용하기는 불가능 한 수준으로 2차 흐름에 적용하기 위한 상용화 기술의 부족으로 해외로 값싼 가격에 반출되고 있다.

7. 앞으로 텅스텐은 중화학 공업과 밀접한 연관이 있

으며, 특히 자동차 및 항공기, 건설, 전기 전자 등 기타 제조업 등에 많은 영향을 미칠 것으로 생각된다.

8. 현재 텅스텐은 해외로부터 전량 수입에 의존하고 있으며 수입국가 편중으로 인하여 자원 무기화에 의한 가격상승이나 자원수급 문제에 대한 대책이 절실하며, 텅스텐 자원의 자립화를 위해서는 자원 재활용 기술과 자원 수급 정책을 수립에 많은 관심이 필요하다.

참고문헌

1. Minor Metal Trade Association 2012, <http://www.mmta.co.uk/tungsten-market-overview>.
2. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2015, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tungsten/mcs-2015-tungs.pdf>.
3. USGS, mineral Commodity summaries, tungsten, 2013
4. USGS, mineral Commodity summaries, tungsten, 2011
5. USGS, mineral Commodity summaries, tungsten, 2009
6. USGS, mineral Commodity summaries, tungsten, 2007
7. World Tungsten Report, November 2013, metal-pages report, Mark Seddon.
8. EDISON, Tungsten, sector report, December 2014, Edison Investment Research.
9. 관세청, 수출입무역통계, http://www.customs.go.kr/kcsweb/user.tdf?a=user.newTradestatistics.NewTradestatisticsApp&c=1003&mc=STATS_INQU_TRADE_020
10. 산업통상자원부/한국광물자원공사, 광물자원 매장량 현황, 2013.
11. 한국지질자원연구원, 광업광산물 통계연보 2014.



●● 김정곤



- 2000년 충남대학교 금속공학과 박사
- 2008-2009년 인천전문대학
- 2010-현재 인천대학교 신소재공학과
- 2013-현재 한국희소금속산업기술센터 운영위원

●● 홍순직



- 2001년 충남대학교 금속공학 박사
- 2003년 University of Central Florida 박사후 연구원
- 2005년 한국원자력연구원 연구원
- 2006년-현재 공주대학교 교수

●● 강홍운



- 1996년 University of Queensland 공학박사
- 2005-2006년 대통령자문 지속가능발전위원회 자문위원
- 2010년-현재 인하대학교 환경공학과 겸임교수
- 2013-2014년 국가과학기술심의회 에너지환경 전문위원
- 2003년-현재 한국생산기술연구원 자원순환기술지원센터 센터장