



국내 니오븀 소재의 물질흐름 분석 및 산업 동향

글 _ 박기찬, 고한진, 홍순직, 조현정*, 강홍윤*
공주대학교 신소재공학부, *한국생산기술연구원

1. 서론

희소금속은 지각 내에 존재량이 적거나 기술적, 경제적 이유로 인해 추출이 어려운 금속으로, 소량의 첨가만으로도 제품의 성능 및 품질을 향상시킬 수 있다는 특징 때문에 IT, BT, NT, Display 등 첨단 산업에서의 희소금속 수요는 점차 증가하고 있는 추세이다.^{1,2,3,4)} 그러나 수요가 증가하는 것에 반해, 희소금속 매장량의 80% 이상이 특정 국가에 편중되어 있을 뿐만 아니라 채굴 비용 상승 등의 영향으로 공급여건은 갈수록 악화되고 있는 실정이며, 최근에는 일부 국가에서 자원 무기화 움직임을 보임에 따라 희소금속의 공급불안에 대한 우려는 더욱 확산되고 있다.^{1,5,6)} 이에 전 세계 국가들은 희소금속의 공급불안을 해소하기 위해 다양한 관련 제도를 수립하고 있다. 일본의 경우 1983년도부터 희소금속에 대한 정책을 실시하였으며, 2009년에는 “희소금속 확보를 위한 4대 전략 수립” 및 핵심 희소금속 10종을 선정해 해당 금속의 안정적 확보 체제를 재정비하였다. 또한, 유럽에서도 희소금속 확보를 위한 적극적인 지원정책을 추진하고 있으며, 2008년에는 희소금속 및 광물자원의 안정적 확보를 위한 ‘기초자원 이니셔티브’를 발의하였다. 최근 우리나라도 ‘희유금속산업 육성 종합대책(‘09.11월)’, ‘희토류 확보방안’ 등 희유금속 확보를 위한 정책을 마련하고 있으며, 일부는 현재 추진 중에 있다.^{4,7,8,9)}

현재 국내의 산업을 고려할 때, 수급불안이 가장 클 것으로 예상되는 희소금속은 니오븀, 비스무스, 바나듐, 코

발트, 게르마늄, 인듐, 망간, 몰리브덴의 8종으로 다른 희소금속에 비하여 상대적으로 국내 수요가 빠르게 증가하고 있다.^{2,4)} 그 중 니오븀은 고용점 금속(용점; 2,468°C)이며, 내열성, 열전도성, 내식성이 양호하고 양극·산화 피막이 매우 안정한 특징을 가지고 있는 금속으로, 초경공구 산업, 고굴절 광학렌즈, 철강제품 등에 주로 첨가제로 사용되어지고 있으며, 향후 성장산업인 초경량 신소재 및 IT 융합 제품에도 다양하게 사용될 것으로 전망되어지고 있다. 이에 니오븀은 미국, 일본 등에서 주요 희소금속 중 하나로 선정되어 있으며, 국내에서도 10대 희소금속에는 포함되어 있지는 않지만 새롭게 주목받고 있는 희소금속 중 하나이다.³⁾ 그러나 니오븀의 생산은 Table 1에서처럼 전 세계 생산량의 88% 이상을 브라질에서 생산하고 있고, 생산기업으로는 CBMM社가 니오븀 시장

Table 1. Ferro-niobium (Ferro-columbium) World Production by country1 (USGS,2011)

Country	[Metric tons, Nb content]				
	2007	2008	2009	2010	2011
Brazil	34,612 ³	35,534 ³	22,932 ³	34,708 ³	34,700 ³
Canada	4,337 ²	4,384 ^{2,3}	4,620	4,620	4,620
Russia	80 ²	80	79	80	80
United State	NA	NA	NA	NA	NA
Total	39,000	40,000	27,600	39,400 ²	39,400

²Estimated. ³Preliminary. ⁴Revised. ⁵NA Not available.

¹Estimated data are rounded to no more than three significant digits; may not add to totals shown.

Table includes data available through July 13, 2012.

²in addition to the countries listed, Austria, China, and Germany are thought to have produced ferro-niobium (ferrocolumbium), but production information is inadequate for the formulation of estimates of output levels.

³Reported figure.

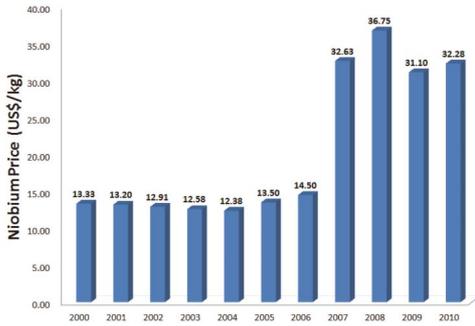


Fig. 1. Annual average price of niobium.

의 84%를 차지하여, 자원의 분포와 생산적인 측면에서 편재성이 매우 크다. 이는 향후 단가에 대한 가격 불안정성이 높다는 단점을 내포하고 있으며, 실제로 Fig. 1에서 볼 수 있는 것과 같이 2007년 CBMM社에 의해 니오븀 가격이 급격히 상승하여 관련 산업에 막대한 영향을 미치기도 하였다.^{1,2)}

따라서 이러한 가격 폭등 및 수급 불안정에 대해 미리 예측하고 대처하기 위해서는 국가 차원의 체계적인 소재 관리가 필요하며, 정확한 물질흐름의 파악은 올바른 희소금속 정책구현을 위해 반드시 필요할 것으로 판단된다. 이에 본 논문에서는 니오븀의 국내 물질흐름을 조사하여 수요 및 공급, 재자원화 동향 등을 살펴보고, 향후 국내 니오븀의 안정적인 수급 확보를 위한 방안에 대하여 기술하고자 한다.

2. 니오븀 물질흐름

2.1. 통합물질흐름 방법론

Fig. 2 는 통합물질흐름 MFA(Material Flow Analysis) 방법론에서 두 가지 분석 방법을 보여주고 있다.

상향식 방법의 경우 해당 자원의 국내 생산과 수입에 따른 내수/공급과 광석의 수출통계 자료 및 현장 조사 데이터를 사용하여 물질흐름을 분석할 수 있다. 하지만, 최종 제품 단계에서 자원 입력은 모든 국내 산업 및 제품의 흐름을 조사해야 하기 때문에 상향식 방법을 적용하는 것이 곤란하다. 이 경우 업계의 흐름 및 오차범위를 추정하는데 더 용이하게 사용될 수 있는 하향식 방법을 적용

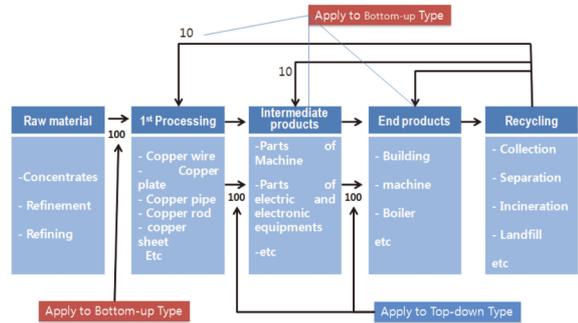


Fig. 2. Integrated materials flow methodology.

해야 한다.

위와 같이 통합된 MFA에서 사용하는 각 방법의 문제점을 해결하기 위해 상향식 방법 또는 하향식 방법 중 하나를 선택해야 하는 문제점이 있다. Fig. 3은 이러한 단점을 극복하기 위하여 개선된 방법으로 국내 CRIM(Center for Resources Information & Management)에서 개발한 통합물질흐름의 개념^{11,12)}을 나타내고 있다. 이 통합물질흐름은 유럽 K.U. Leuven 에서 제시하여 유럽에서 주로 사용되고 있는 물질흐름 방법론(Fig. 4)과는 다소 차이가 있다.

K.U. Leuven 에서 제시된 물질흐름 분석법은 우선 원료단계를 광석과 제련/정련 분야를 나누어 설정하였다. 이 분석법은 광석의 산출이 거의 없고, 재자원화에 의해 수집된 중간 스크랩과 도시 광산에서 얻어지는 자원의 재활용률이 높으며 매립되었던 스크랩을 회수하여 처리할 수 있는 제련/정련에 대한 설비 및 관련 기술이 발달

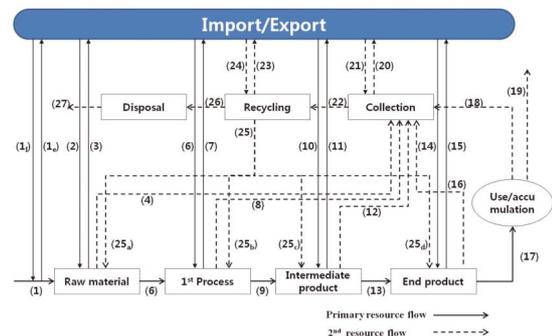


Fig. 3. Integrated material flow analysis concept of Center for Resources Information & Management of Korea.

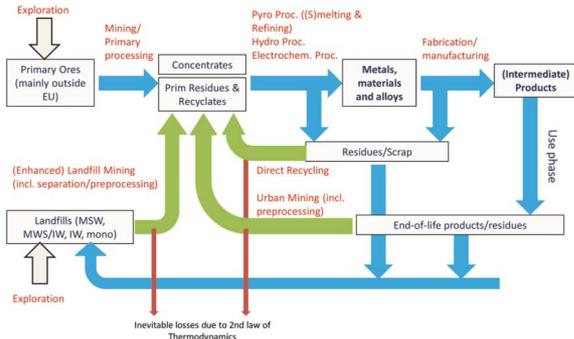


Fig. 4. An integrated flow sheet concept used by SIM² @K.U.Leuven.

되어 있는 유럽에서 최적화된 물질흐름 방법으로 유럽을 중심으로 하여 물질흐름 분석을 하는 경우 매우 유용한 단계별 분류이다. 반면에, 한국은 원료의 생산과 이를 가공할 수 있는 산업의 규모가 매우 작을 뿐만 아니라 철강, 아연 및 구리와 같은 특정 소재 분야를 제외하고는 관련 산업이 전무한 상태이다. 그렇지만 소재가공과 최종 단계 산업이 발달하였기 때문에 가공단계도 1차 가공 단계와 중간제품단계로 세분화하였으며, 전문 수집상이 산업의 한 부분으로 자리 잡고 있는 특별한 유통구조를 가진 한국의 특징을 고려해 사용 및 추적단계와 재활용 단계의 중간에 수집단계를 독립적으로 분류하였다.

결과적으로 두 방법 모두 자원의 재자원화에 대하여 집중되어 있어 자원의 재순환 흐름을 관찰하기가 용이하지만 한국의 특별한 산업형태를 고려한 CRIM의 통합물질 흐름 분석법을 사용하여 니오븀의 물질흐름을 분석하였다.

위의 통합물질흐름은 다음 8단계로 정의하였다

1) 원료 및 기초소재단계

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

2) 1차 가공제품단계 MFA

원료단계를 거쳐 배출된 자원소재가 가공단계를 거쳐

제품 혹은 상품을 제조하기 위한 판, 박, 봉, 선 등의 형태로 제조되는 단계로 정의한다.

3) 중간제품단계 MFA

1차 가공제품으로부터 생산된 제품으로서 최종제품으로 만들어지기 전의 제품 단계를 중간제품 단계로 정의한다.

4) 최종산업(제품)단계 MFA

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

5) 사용·추적단계 MFA

대상 자원이 투입되어 최종산업(제품)단계에서 당해 연도에 생산된 최종제품의 사용과, 최종 제품별 내구연수를 고려하여 전년도까지 생산된 최종제품의 추적, 그리고 자원이 사용된 후 2차 자원으로 재자원화되기 위해 수집으로 투입되는 단계로 정의한다.

6) 수집단계 MFA

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

7) 재자원화단계 MFA

재자원화 단계는 수집단계 이후 재자원화 공정을 거치는 단계로 정의한다.

8) 폐기단계 MFA

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

2.2. 국내 니오븀 물질흐름

본 물질흐름 분석은 2012년도 기준 국내에서 사용된 니오븀를 순분량으로 환산하여 조사하였다. 니오븀의 1, 2차 자원 흐름 분석을 위해 국가 통계자료인 한국무역협



Table 2. Input of Raw Materials stage

[Unit:ton]					
Type	Input	Import	Export	Output	Note
Niobium mineral concentrates	0	5	0	0	Accumulation
Ferro-niobium	0	3,945	5	3,940	
Niobium oxides	0	0	0	0	
Niobium-carbide	0	0.17	0	0.17	
Niobium metal	0	0	0	0	
total	0	3,945.17	5	3,940.17	

회, 관세청, 한국광물자원공사 등의 자료를 분석하여 조사하였으며, 조사된 통계자료의 신뢰성을 보증하기 위하여 실제 원료/기초소재, 1차 가공제품, 중간제품 및 최종제품 관련 국내 산업체 설문조사와 방문조사를 바탕으로 조사된 결과와 통계자료를 비교 분석하여 최종 물질흐름 분석을 완성하였다.

2.2.1. 원료 및 기초소재단계

본 조사결과에 따르면 원료 및 기초소재 단계에서 니오븀은 니오븀 정광, 페로 니오븀, 산화 니오븀, 탄화 니오븀, 금속니오븀의 형태로 구성되어지며, 소결용 공구 제조에 필요한 내마모성 칩의 제조에 사용되는 탄화 니오븀의 극소량(0.17 ton) 수입을 제외하면 대부분 페로 니오븀의 형태로 수출입 이루어지는 것으로 파악되었다.¹⁰⁾ 또한 우리나라의 관련 광산이 전무하여 국내에서 소비되는 니오븀은 전량 수입에 의존하고 있으며, 니오븀 정광에서 페로 니오븀으로 이동하는 양은 전혀 없는 것으로 조사 되었다. 이는 경제적인 이유와 제련기술의 부족으로 인한 것으로 파악된다.

Table 2는 국내의 니오븀 소비량을 나타낸 것으로 총 사용량 중 99% 이상인 3,940 ton 이 페로 니오븀으로 사용되고 있으며¹⁰⁾, Table 3의 세계 페로 니오븀 생산량인 58,800 ton 과 비교하면 세계 페로 니오븀 생산량의 약 10%로 많은 양이 국내에서 사용되는 것으로 조사되었다.

2.2.2. 1차 가공제품단계

니오븀의 1차 가공제품 단계는 관련 업체조사 및 한국

Table 3. Ferro-niobium production by country¹

Country ²	2008	2009	2010	2011	2012 ³
Brazil	53,839 ^f	34,746 ^f	52,588 ^f	53,691 ^f	54,000
Canada	4,383 ^f	4,330 ^f	4,343 ^f	4,632 ^f	4,707 ^f
Russia ^e	53 ^f	52 ^f	53 ^f	53 ^f	53
United States	NA	NA	NA	NA	NA
Total	58,300 ^f	39,100 ^f	57,000 ^f	58,400 ^f	58,800

^eestimated: estimated data are rounded to no more than three significant digits; may to totals shown.

^frevised. NA Not available

¹Table includes data available through July 23, 2013

²In addition to the countries listed, Austria, China, and Germany are thought to have ironiobium(ferrocolumbium), but production information is inadequate for the formal estimates of output levels.

무역협회 자료를 기반으로 스테인리스강, 합금강, 내마모 칩, 지르코늄 관으로 분류하여 1차 가공제품 단계의 MFA를 구성하였다. 대부분이 철강 산업의 특수강 분야인 스테인리스강과 합금강에 사용되고 있으며, 나머지는 초경공구의 내마모 칩이나 원자로 부품의 지르코늄 관에 일부 사용된 것으로 나타났다. 1차 가공제품 단계는 원료 단계에서 투입된 3,940 ton의 니오븀 중 약 95.4% 가 합금강에 투입되어 봉강, 후판, 열연강판, 냉연강판 등으로 제조되었고, 약 4.5%가 스테인리스강에 투입되어 대부분 관재로 제조되었다. 이는 Fig. 5에 나타난 바와 같이 합금강에 포함된 니오븀의 이용 비율과 거의 일치함을 알 수 있다. 또한, 1차 가공제품 업체 조사를 통하여 스테인리스강과 합금강을 생산하는 과정에서 Cutting Scrap과 side trimming, side turning 공정 중 발생하는 스크랩은 공장 자체에서 회수 및 재사용하며, 스테인리스강에서 약 9 ton, 합금강에서 약 188 ton이 공정 내에서 재사용 되는 것으로 분석되었다.

Table 4는 1차 가공 단계의 수급과 수·출입에 대한 분석결과를 나타내고 있다. 니오븀 사용량 중 대부분을

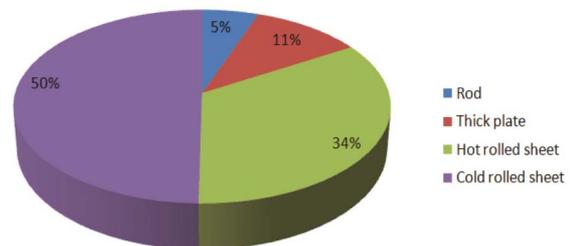


Fig. 5. Usage ratio of alloy steel products.



Table 4. Input, import and export of 1st stage

[Unit:ton]					
Type	Input	Import	Export	Output	Note
Stainless steel	179	117	69	227	
Alloy steel	3,761	344	1,265	2,840	
Wear resistance chip	0.17	0	0.11	0.06	
Zirconium pipe	0	1.78	0.04	1.74	
Total	3,940.17	462.78	1,334.15	3,068.8	

차지하는 합금강, 스테인리스강의 많은 양이 국내에서 소비되는 것으로 분석되었으며, 비교적 소량의 니오븀을 사용하는 내마모성 칩의 대부분은 국외로 수출되는 것으로 조사되었다.

이와 달리 지르코늄 파이프에 사용되는 니오븀은 전량 수입되어 국내 원자력 분야에 투입되는 것으로 확인되었다.

2.2.3. 중간제품단계

1차 가공제품 단계에서 투입된 스테인리스강과 합금강은 중간제품 단계에서 매우 다양한 형태로 가공되어 각종 기계의 부품으로 이용된다. 그러나 합금강을 이용한 부품 생산은 그 분야가 매우 다양하고 많은 부품이 제조되어 상세한 용도를 확인하기가 곤란하여, 통합물질흐름 방법론에서 각종 통계자료를 이용하는 방법을 사용하여 중간제품 단계에서의 사용 영역을 조사하였다. 1차 가공제품이 중간제품의 각 부분에 분배되는 분야를 알아보기 위하여 한국은행에서 발표한 통계자료인 산업연관표의 2010년도 투입 산출표를 이용하여 니오븀이 포함된 제품에 대한 투입계수를 다시 산정하였다. Table 5와 같이 니오븀이 포함된 제품은 구조물용 금속제품에 10.5%, 건물용 금속제품으로 48.2%, 자동차 부품으로

Table 5. Input, import and export of Intermediate stage

[Unit:ton]						
Type	Input	Import	Export	Scrap	Output	Note
Metal products for construction	326	30	19	28	309	
Metal products for building	1,489	76	18	127	1,420	
Automotive parts	1,192	40	53	101	1,078	
Boiler Parts	60	117	35	5	137	
Mechanical parts for cutting tools	0.06	0.03	0	0	0.09	
Surface acoustic wave filter	0	0.36	0.12	0	0.24	
Optical lens	0	0.5	0.1	0	0.4	
Internal combustion engines and turbines	0	0.7	0.6	0	0.1	
Atomic reactor components	1.74	0	0	0.22	1.52	
Total	3,068.80	264.59	125.82	261.22	2,946.35	

36.6%, 보일러 부품으로 4.6%, 원자로 부품의 핵연료 피복관을 제조하는데 0.1% 사용되었으며, 이를 기준으로 1차 가공제품에서 중간제품으로 가는 니오븀의 순분량을 산출하였다. 또한, 각각의 중간제품을 제조하는 과정에서 투입량의 약 8.5%의 스크랩이 발생하여 수집되는 것으로 나타났다.

2.2.4. 최종제품단계

최종제품단계는 니오븀 중간제품으로 제조된 부품들이 최종 완제품에 투입되는 단계로 건설, 수송장비, 일반기계, 전기 및 전자기기, 전력, 가스 및 수도 등으로 분류되어 각 산업의 대표적인 제품으로 구성되는 단계이다. Fig. 6과 Table 6을 보면 국내에서 니오븀은 2807.1 ton, 약 95% 이상이 건축과 수송기계에 이용된다. 특히, 국내에서 철골구조의 건물이 주를 이루면서 건축에 약 60%가 이용되고, 자동차의 생산에 35%가 이용되었다. 한국은 자동차의 생산량이 세계 5위로 꾸준히 그 생산량이 증가하고 있어 니오븀의 사용량은 앞으로 더욱 증가할

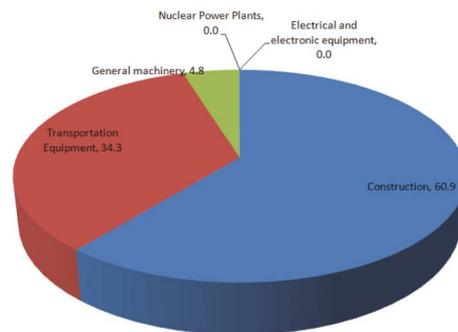


Fig. 6. Niobium consumption ratio of end products in Korea.

Table 6. Amount of niobium contained in the end products

[Unit:ton]					
Type	Input	Import	Export	Output	Note
Construction	1,729	0	0	1,729	
Transportation Equipment	1,078.10	340	443	975.1	
General machinery	137.09	34	36	135.09	
Electrical and electronic equipment	0.64	0.03	0	0.67	
Nuclear Power Plants	1.52	0	0	0	1.52
Total	2,946.35	374.03	479	2,839.86	



것으로 예측된다. 반면 국내에서 사용된 원자력 피복관은 전량 미국으로 다시 회수되는 것으로 조사 되어 원자력 피복관에 포함된 니오븀은 최종제품에는 포함되지 않았다.

2.2.5. 사용 및 축적단계

본 연구의 물질흐름 기준 년도인 2012년 이전에 생산된 최종제품의 소비 및 사용과 최종제품의 내구연수에 따른 축적을 고려하지 않고 기준 년도인 2012년의 사용 및 축적량만을 산정하였다.

최종제품에서 발생된 2,839 ton의 니오븀 전량은 사용 및 축적 단계에 투입되었다. 그중 대부분이 최종제품 단계의 건물과 수송기에서 발생되었다. 사용 후 제품에 포함된 니오븀의 양은 재활용과 관련된 업체로부터 설문 조사를 통하여 분석하였다. 2012년에 사용 후 제품으로 배출된 니오븀량은 스테인리스강으로부터 약 20 ton 그리고 합금강으로부터 837.66 ton이 배출되어 총 857.66 ton이 수집단계로 보내졌다.

2.2.6. 수집단계

수집단계는 국내의 통계자료, 재활용 업체 조사 및 수집상에 대한 조사를 통하여 분석되었다. Table 7과 같이 국내의 원료단계에서는 관련 산업이 전무하여 배출되는 스크랩이 없으며, 1차 가공단계에서 발생하는 공정스크랩들은 공장 자체 내에서 재자원화되어 생산에 투입되어 외부로의 배출은 없었다. 중간제품 단계에서는 최종제품에 필요한 관련 부품을 제조하는 업체에 따라 5~10%의 스크랩이 발생하였고, 그 양은 261.22 ton 이었다. 그리고 최종제품에서 원자력 발전소의 핵연료봉에 사용된

Table 7. Amount of collected niobium in collection stage

Stage	Input	Note
Raw material	0	
1 st process	0	
Intermediates	261.22	
End Products	1.52	spent fuels tube
Use/Accumulation	857.66	
Import	14	
Export		include 1.52(USA) ton, spent fuels tube
Total	1,120.40	

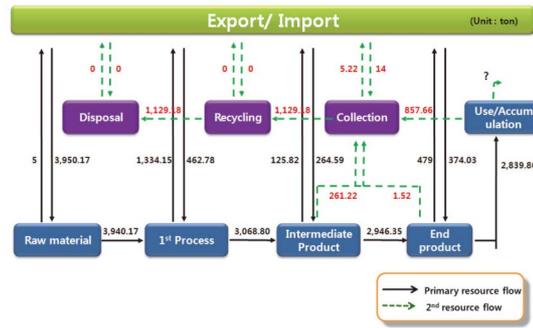


Fig. 7. Simplified material flow analysis of niobium in Korea in 2012.

1.52 ton은 별도의 수집과정을 통해 수집되었다.

2.2.7. 재자원화와 폐기(Recycle and Disposal)

국내에서는 철 스크랩을 이용하여 합금강을 제조하는데 철 스크랩은 국내에서 공급된 것과 수입된 부분으로 나누어 볼 수 있다. 수입된 철 스크랩에 포함된 니오븀 양은 국내 합금강 제조에 포함되는 평균 함유량을 적용하였으며, 이는 사용 후 제품에도 같이 적용하였다. 이러한 조사에도 불구하고 재자원화 과정에서 스테인리스강과 합금강에 포함된 니오븀은 그 경제적 가치를 인정받지 못하였는데, 이것은 스테인리스강과 합금강을 생산할 때 제강공정에서 스크랩에 포함된 합금 원소들은 불순물로 완전히 제거되고 다시 부족한 합금원소를 첨가하여 조성을 조절하기 때문에 소량 첨가된 니오븀 재활용 기술은 현재까지 전무하기 때문이다. 따라서 이와 같은 스크랩의 재활용에 의한 재자원화에 대한 연구개발의 필요성이 요구되어진다.

Fig. 7은 위에서 언급한 니오븀에 대한 수요와 물질 흐름과정을 간단히 나타냈으며, 내용을 요약하면 다음과 같다. 국내에서 니오븀의 수요는 1차 가공제품단계에서 약 4,400 ton 이 사용되었으며, 그중 국내에 잔류하는 니오븀의 양은 약 2,840 ton으로 건축물의 구조와 수송기기에 대부분이 사용되었다. 그리고 수집단계로 이동한 약 1,130 ton의 폐니오븀은 재자원화에 이용되지 못하고 폐기되고 있는 실정이다.

결론



본 물질흐름 분석은 니오븀의 1, 2차 자원 흐름분석을 위해 국가 통계자료인 한국무역협회, 관세청, 한국광물자원공사 등의 자료를 분석하였다. 조사된 통계자료의 신뢰성을 보증하기 위하여 실제 원료/기초소재, 1차 가공제품, 중간제품 및 최종제품 관련 국내 산업체 설문조사와 방문조사를 바탕으로 조사된 결과와 통계자료를 비교 분석하여 최종 물질흐름 분석하였으며, 분석내용을 요약하면 아래와 같다.

1. 우리나라의 관련 광산이 전무하여 국내에서 소비되는 니오븀은 전량 수입에 의존하고 있으며, 당해년도에 약 5,065 ton의 니오븀을 수입하였다. 이 중 78%가 페로 니오븀의 형태로 수입되었으며, 약 9%가 1차 가공제품으로 수입되었다.

2. 수입된 니오븀의 약 56%는 국내에서 사용되었으나, 한국 산업의 특징상 수출이 많아 38% 이상이 수출되는 것으로 조사되었다. 수출되는 형태는 1차 가공제품의 형태로 약 68.5%, 부품의 형태인 중간 제품으로 약 6.5%, 최종제품으로 포함되어 약 25%가 수출되었다.

3. 1차 가공제품단계는 원료 단계에서 투입된 3,940 ton의 니오븀 중 약 95.4%가 합금강에 투입되어 봉강, 후판, 열연강관, 냉연강관 등으로 제조되었고, 약 4.5%가 스테인리스강에 투입되어 대부분 판재로 제조되었다. 1차 가공제품 중 생산단계에서 발생하는 스크랩은 사업장 내에서 재자원화되어 사용되는 것을 확인하였으며, 중간과정에서 발생하는 공정스크랩과 사용 후 제품에 포함되어 수집된 스크랩의 재자원화는 이루어지지 않았다.

4. 중간제품단계에서는 니오븀이 포함된 제품은 구조물용 금속제품에 10.5%, 건물용 금속제품으로 48.2%, 자동차 부품으로 36.6%, 보일러 부품으로 4.6%, 원자로 부품의 핵연료 피복관을 제조하는데 0.1% 사용되었으며, 각각의 중간제품을 제조하는 과정에서 투입량의 약 8.5%의 스크랩이 발생하여 수집되는 것으로 나타났다.

5. 최종제품단계는 니오븀 중간제품으로 제조된 부품들이 최종 완제품에 투입되는 단계로 건설, 수송장비, 일반기계, 전기 및 전자기기, 전력, 가스 및 수도 등으로 분류되며, 총 2807.1 ton 약 95% 이상이 건축과 수송기기에 이용된다.

6. 한국은 특수강 생산을 위해 해마다 약 2,500,000 ton의 철강 스크랩을 이용한다. 천연자원이 부족한 한국에서 자원의 효율성을 높이기 위해서는 제강 슬래그에 포함된 유용자원의 활용을 위한 연구개발이 필요하다.

7. 한국은 니오븀의 수요가 연간 약 5,000 ton 이상으로 중화학 공업이 발달한 한국산업의 구조상 그 수요가 꾸준히 늘어날 것으로 예상되며, 관련 산업의 지속적인 발전을 위한 니오븀의 안정적인 공급이 필요하다.

참고문헌

1. “Long-term Measures to Stabilize Supply and Demand for Industrial Raw Materials,” pp.38-92, Korea Nonferrous Metal Association, 2008.
2. H. N. Kim, H. S. Jeong, J. G. Lee, and T. Y. Lim, “CEO Information,” pp. 1-8 Samsung Economic Research Institute 2011.
3. H. S. Choi, Y. H. Kim, and Y. G. Ji, “Overview on Rare Metal Industries and Their Recycling (in korean)” **13** [1] (2010).
4. <http://www.koenergy.co.kr/news/articleView.html?idxno=56384>
5. H. S. Lee, “Study on Institutional and Technical Supporting Plans to Activate Resource Recirculation of Rare Metals of Waste Metal Resources”(in korean), pp.1-6, Korea Environment Institute, 2011.
6. H. J. Ko, J. G. Kim, I. S. Lee, H. Y. Kang, and S. J. Hong, “Investigation of Material Flow and Industrial Trend of Domestic Europium (in korean),” *J. Kor. Powd. Met. Inst.*, **20** [5] (2013).
7. “Reliable ways of Securing Rare Metals,” pp.1, Ministry of Knowledge Economy, 2010.
8. “Insights: Rare metals Policy Implementation Status in Japan”(in korean), 2012.
9. J. W. Song, S. H. Lee, H. S. Hong, H. Y. Kang, and S. J. Hong, “Industrial Supply Chain Trend of Domestic Tungsten (in korean),” *J. Kor. Powd. Met. Inst.*, **19** [1] (2012).
10. “Korea International Trade Association(KITA),” 2012.
11. J. G. Kim, “Material Flow and Industrial Demand for Palladium in Korea,” Resources, Conservation and Recycling, 77 pp.24 (2013).
12. I. S. Lee and J. G. Kim, “Industrial Demand and Integrated Material flow of Terbium in Korea,” International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, **1** [2] pp147, (2014).



●● 박기찬



- 2014년 공주대학교 신소재공학부 학사
- 2015년 공주대학교 신소재공학부 석사과정

●● 고한진



- 2012년 공주대학교 신소재공학부 학사
- 2014년 공주대학교 신소재공학부 석사

●● 홍순직



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

●● 조현정



- 2011년 인하대학교 환경공학 박사
- 2011년-현재 한국생산기술연구원 자원순환기술지원센터 전문위원

●● 강홍윤



- 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