

# 전략금속 스크랩 자원화를 위한 코발트 물질흐름 현황조사

손정수, 양동효, 신선명, 강은희  
한국지질자원연구원 자원활용소재연구부

## Investigation on the material flow of cobalt for resource recovery & recycling of strategic-metal scrap

J.S. Sohn, D.H. Yang, S.M. Shin, E.H. Kang  
Recycling Research Center, Korea Institute of Geoscience and Material Resources  
30 Gajung-dong, Yusung-ku, Daejeon, Korea

### 1. 서 론

세계 인구가 증가하고 세계경제가 급속히 발전, 팽창함에 따라 천연자원의 수요는 함께 증가하고 있다. 우리나라가 보유하고 있는 광물자원의 평가는 천연 광물자원의 가채매장량 뿐 아니라 재활용을 통하여 회수 가능한 물량을 함께 포함시켜야 한다. 특히 코발트, 니켈 등 전략금속의 국내 보유실태에 대한 정확한 정보를 확보하는 것은 국내 산업의 안정적 운영에 영향을 미칠 뿐 아니라 환경적인 문제의 해결과도 관련이 있다. 본 연구에서는 국내 경제와 국가 경쟁력과 관련이 있는 전략금속 중 특히 코발트에 대하여 국내,외 수급동향, 용도 등에 대한 자료를 수집, 분석함으로써 국가차원의 전략금속 수급정책에 자료를 제공하며 아울러 재활용 현황을 조사함으로써 2차 자원으로부터 코발트를 회수하는 방안에 대한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 특히 코발트가 사용되는 용도 조사를 통하여 제조 공정시 발생되는 스크랩을 정확히 이해함으로써 향후 재활용 가능한 대상 선정의 기초 자료로 삼고자 하였다. 코발트의 물질흐름은 국내의 경우 자료 확보가 어려워 미국에서 조사한 자료를 검토하여 이를 토대로 국내에서의 코발트 물질흐름을 추정하고자 하였다.

### 2. 코발트의 특성

- (1) 개요 : 코발트는 철족원소의 하나로서, 철과 비슷한 광택이 나며 강자성이다. 가열해도 잘 용해되지 않으며 공기 중에 방치해도 표면이 녹슬 뿐 잘 부식하지 않는다. 지각 내 코발트의 평균 분포율은 연보다 약간 높은 0.0023%이며 콩고민주공화국과 잠비아의 층상 동광 또는 세계 여러 지역의 라테라이트 니켈광에서 부산물로 생산된다. 코발트는 합금으로서 중요하며 자성재료, 탄소강재료로 사용된다. 또한 도금에도 사용되고 화합물로서 유리·도자기 등의 청색안료, 동위원소인 코발트 60( $^{60}\text{Co}$ )의 제조 등에도 사용된다. 주요한 코발트 광물로는 카롤라이트 (Carrollite), 리네이트 (Linnaeite), 코발타이트 (Cobaltite) 등이 있다.<sup>(1)</sup>
- (2) 용도 : 코발트는 초합금으로서 우주항공산업에 많이 사용될 뿐 아니라 육상엔진터빈과 내식재료도 많이 사용된다. 코발트 개발 협회 (CDI) 의 통계자료에 의하면 초합금에 사용되는 코발트는 전체 코발트 사용량의 약 26%를 차지한다. 카바이드 및 다이아몬드 공구를 포함하는 경(硬)금속 분야에는 전체 코발트 사용량의 15% 정도가 사용된다. 유리, 세라믹에 사용되는 안료제조분야도 주요 사용처로, 이 분야에는 약 12% 가량이 소비된다. 기타 중요

한 용도로는 촉매제 (9%), 자석 (10%), 표면경화제 및 기타 합금 (7%) 등이 있다. 안료, 타이어접착제, 자석, 표면경화제 합금 시장은 최근 별로 성장세를 보이지 못하고 있으며 앞으로 크게 성장하지는 않을 것으로 전망된다. 초합금과 경(硬)합금 분야도 약간 성장할 것으로 전망되나 무엇보다도 성장이 기대되는 부문은 촉매제와 배터리로서, 특히 배터리 부문의 성장이 두드러질 것으로 전망된다.<sup>(1)</sup>

### (3) 국내 코발트 수급현황

우리나라의 코발트 광상은 연·아연 및 금은광상에서 함코발트 유비철석의 수반광물로 산출되는 경우와 니켈광상에서의 부산물로 산출되는 경우가 있는데 이들 모두 소규모 광상일 뿐 아니라 저품위이므로 현재 가행되는 광산은 없다. 따라서 오늘날의 수요는 전량 해외수입에 의존하고 있는 실정으로 표 1에 코발트 관련 화합물의 수출입 현황을 나타내었다. 코발트 광으로 중국과 인도에 1,000여 톤을 수출하고 있으며 코발트 품목으로 약 19,000톤을 수입하고 있다. 또한 코발트 관련 화합물을 수입하는 회사의 현황을 품목별로 표 2에 나타내어 향후 제품의 가공, 사용시 발생하는 스크랩의 현황 파악의 기초자료로 삼고자 하였다. 한편 코발트 가격은 그림 1과 같이 최근 중국의 사용량 증가로 가파른 상승세를 나타내고 있다.

표 1 코발트 및 코발트 관련품목 수출입 현황(자료 : 무역통계) (중량 kg)

종류	00'		01'		02'		03'	
	수출	수입	수출	수입	수출	수입	수출	수입
코발트광과 그 정광	14.165	1.776	177.512	-	675.736	-	1,009.085	-
산화제이코발트	-	114.574	-	405.055	-	74.870	-	59.045
기타 산화코발트	21.611	337.216	332.887	212.779	3508	437.295	267.000	1,707.043
수산화제이코발트	-	58.340	-	92.300	-	134.740	-	172.580
기타 수산화코발트	-	1.320	-	1.530	18.000	10.060	55.600	40.470
코발트 염화물	10.940	9.822	340	15.510	-	10.660	-	5.283
기타 황산염	516.935	17,247.703	25.780	12,679.408	9.989	10,224.211	114.218	8,348.870
기타 질산염	43.385	3,424.366	23.115	4,371.602	7.940	4,939.725	81.039	6,134.283
기타 탄산염	1,065.416	683.975	1,531.279	694.710	1,464.994	585.506	1,146.534	992.528
초산코발트	-	158.540	-	192.657	440	276.560	1,400	232.760
코발트 화합물을 기재로한 안료	500	60.090	616	83.412	365	42.340	19.212	49.100
기타 동의 합금	10.210	216.786	2.005	38.095	3,612	120.203	7.522	159.085
과	-	-	-	-	-	970.158	70	216.850
코발트메트, 코발트제련 기타 중간 생산물	-	-	-	-	-	36.925	-	42.750
분	-	-	-	-	7.999	525.632	31.536	685.941
웨이스트와 스크랩	-	-	-	-	43.022	594	108.070	53.226
8105호에서 810510 이외의것	990	158.991	5,685	125.020	45.316	144.670	42	143.292
코발트 처리기	-	-	-	19.750	-	-	-	21.485
합 계	1,684.152	22,473.499	2,099.219	18,931.828	2,280.921	18,534.149	2,841.328	19,064.591

표 2 코발트 관련제품 수입회사 현황 (자료 : 무역통계)

종 류	업 체 명
산화제이코발트 (HS 2822.00.1010)	㈜한일, 삼성정밀화학㈜, 화정산업㈜, ㈜세인상사, 현대요화㈜, 일진전기공업㈜, 삼화전자공업㈜, ㈜태평양 금속, 옥진화학㈜, ㈜금강고려화학, 현대종합상사㈜, 한국쌍신전기㈜, ㈜대영화공
기타산화코발트 (HS 2822.00.1090)	㈜엘지상사, 삼성물산㈜, ㈜엘지화학, ㈜세인상사, 한국전기초자㈜, 삼화전자공업㈜, 삼화콘덴서공업㈜, 삼양전자공업㈜, 한국유리공업㈜, 신흥요업㈜, 쌍용양회공업㈜, ㈜서풍, ㈜내외상사, 일진전기공업㈜, 이수세라믹㈜, ㈜유유
코발트메트와 코발트 제련의 기타 중간 생산물 (HS 8105.10.2000)	㈜태광순악
코발트의 웨이스트와 스크랩(HS 8105.10.3000)	대명실업㈜
코발트의 과 (HS 8105.10.1000)	㈜삼진엔앤디티이
코발트의 분 (HS 8105.10.4000)	㈜세인상사
코발트의 분(HS 8105.10.4000)	캠프로코리아㈜, ㈜태평양금속, ㈜태광순악, ㈜부강특수산업, ㈜케이티스코리아, ㈜아그네상사, 한국로스트와스공업, ㈜삼진엔앤디티이, 어드밴스금속공업㈜, 태성비철, 소켄코리아, ㈜링크텍, ㈜광명데이콤, 내외무역, 하이덴탈코리아, 한국공구공업협동조합, ㈜창성, 신생공업㈜, 이화다이아몬드공업, ㈜사민코리아, 한국야금㈜, 삼성물산㈜, 신한발브공업㈜, ㈜삼신, 한국분발야금㈜, 대한소결금속㈜, ㈜우풍, 신한다이아몬드공업, 삼보정밀㈜, 한진기공㈜, 안진공업㈜, 맥한상사, ㈜인베스티아몬드, 금용기계㈜, 소켄코리아㈜, 한송상사, 다진개발㈜, 현대종합상사㈜,
기타 코발트 제품 (HS 8105.90.0000)	㈜동신인터내셔널, ㈜케이코무역, ㈜삼익인터내셔널, 동원식재㈜, 태원과학㈜, ㈜원일교역, ㈜야모텍, 삼성물산㈜, ㈜케이코무역, 세운상사㈜, 안진공업㈜, 신한발브공업㈜, ㈜태평양금속, 스틸코무역, ㈜신흥, ㈜삼신, 한국분발야금㈜, 프렉스에이 서피스테, 대창공업㈜, 태성비철, 자화전자㈜,

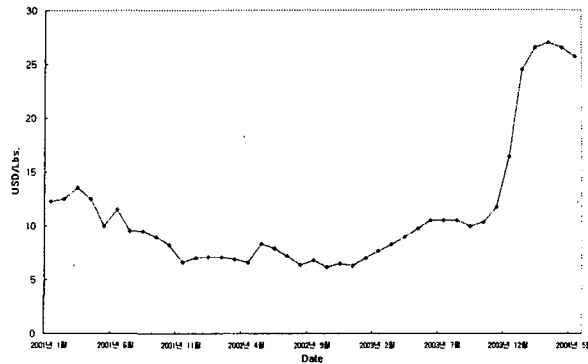


그림 1 코발트 금속 99.3%의 가격추이

### 3. 지구상에서의 코발트 순환

코발트의 세계 총 매장량은 약 670만톤이며 <sup>(2)</sup> 연간 3만5천톤(2002년 현재)<sup>(3)</sup> 정도가 사용되어 앞으로 약 140년 이상을 사용할 수 있다. 또한 코발트가 지구상에서 순환되는 양은 약 50,000톤으로 다음 그림 2에서 보는 바와 같이 화석연료의 연소시 대기중으로 방출되는 코발트의 양이 약 5천톤, 암석의 풍화작용시 자연상태로 소모되는 양이 1만톤, 미생물의 작용에 의해 암석이나 토양으로부터 분해되는 양이 약 3만톤이며 2만5천톤의 코발트를 생산하고 사용하는데 약 5천톤의 코발트가 소모되고 있다. <sup>(4)</sup> 이 중 금속으로 사용되는 경우 3천톤, 화학용과 기타로 사용되는 경우 소모되는 양이 약 2천톤에 달하고 있다. 한편 코발트가 부산물로 포함된 광석의 채련시 회수되지 못하고 폐기되는 코발트의 양 또한 무시할 수 없으며 코발트 생산량을 2만5천톤으로 가정할 때 2만5천톤의 코발트가 광미와 채련 폐기물의 형태로 자연으로 되돌아가고 있다고 생각할 수 있다. 따라서 지구상에서 연간 방출, 소모되는 코발트의 양은 자연적 방출이 약 40,000톤이고 산업상의 방출이 35,000톤으로 연간 75,000톤의 코발트가 자연상태로 순환하고 있음을 알 수 있다. 이중 40%는 미생물 작용에 의한 것이고 13%는 암석의 풍화작용, 7%는 화석연료의 연소시 방출되는 것이며 4%는 금속의 사용시 또한 3%는 코발트 화합물 등의 제조시에 소모되는 양이며 33%는 코발트 광석 및 코발트 금속의 생산시에 소모되는 양을 의미한다.

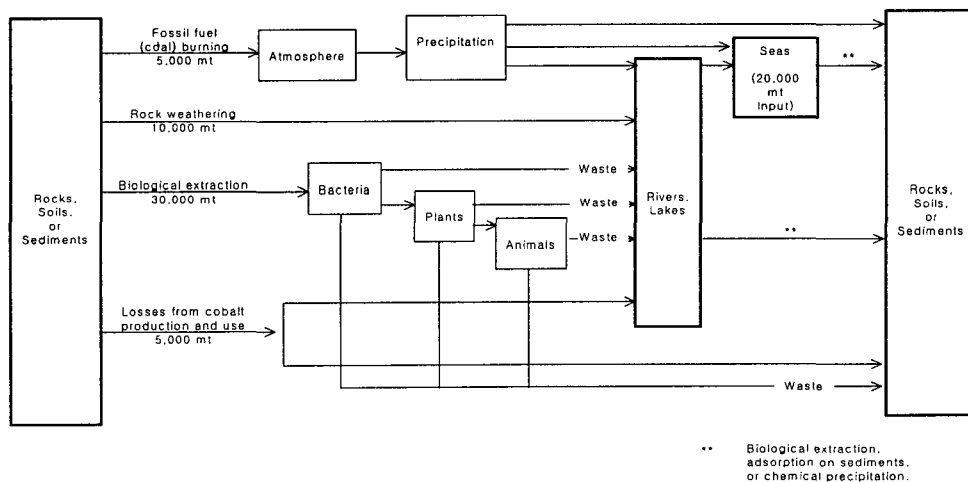


그림 2 코발트의 전지구적 순환도 및 연간 순환량

#### 4. 코발트의 물질흐름

그림 3은 미국에서의 코발트 물질흐름을 나타낸 것이다.<sup>(5)</sup> 코발트가 소비되는 단계를 크게 4단계로 구분할 수 있는데 1. 원광개발, 제련 및 화석연료의 연소 2. 화학물질 및 분말제조, 3. 합성 및 가공, 4. 사용 등으로 나눌 수 있다. 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 원료가 가공되는 정도가 높아지는 것이며 위쪽 흰색 화살표는 각 단계에서 자연 상태로 방출, 소모되는 양을 나타낸다. 아래 검은색 화살표는 각 단계에서 재활용되는 공정을 나타낸 것이다.

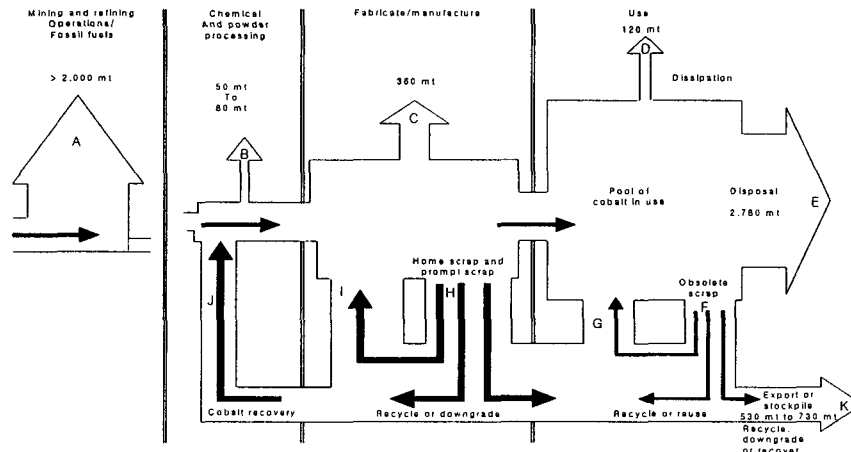


그림 3 미국에서의 연간 코발트 물질 흐름

Designation	Description
A .....	Cobalt released during mining and refining and from burning fossil fuels.
B .....	Cobalt lost during chemical and powder processing.
C .....	Cobalt lost during alloy production and/or product manufacture.
D .....	Dissipative cobalt losses during use.
E .....	Cobalt lost from the disposal of products following use.
F .....	Cobalt-containing products leaving the flow following use.
G .....	Recycled products reentering the flow without reprocessing.
H .....	Home scrap and prompt scrap leaving the flow.
I .....	Scrap reentering the flow during alloy production or product manufacture.
J .....	Scrap reentering the flow during chemical and powder processing.
K .....	Loss to the U.S. flow via export or stockpile of materials or products.

그림에서 보는 바와 같이 2,000톤 이상의 코발트가 납 및 구리광산의 부산물로 회수되는 과정에서 광산개발, 광물처리공정에서 자연상태로 회귀되고 있으며 이에 는 화석연료의 연소 시 방출되는 코발트의 양이 약 480톤 포함되어 있다. 코발트 화합물 및 분체 제조공정에서는 코발트 금속을 수입하거나 코발트 스크랩을 원료로 사용하고 있으며 제조공정의 수율은 화합물제조시 97%, 분체제조시 98%로 2,600톤 생산시 50 - 80톤의 코발트가 소모되고 있다. 다음은 코발트를 포함하는 생산물을 합성, 제조하는 공정으로 이 공정의 원료는 수입코발트, 코발트화합물 및 분체제조공정의 산물, 코발트 스크랩 등이며 이 공정에서는 약 360톤의 코발트가 제조공정시 자연상태로 회귀되고 있다. 마지막 단계는 코발트가 실제 사용되는 단계로서 여기서는 마모, 분산, 비료의 흡수 등으로 소비되는 것과 최종 폐기물로 발생하는 것, 재활용되는 부분, 그리고 비축되거나 수출되는 부분으로 구분할 수 있으며 최종 폐기되는 양은 연간 약 2,780톤으로 자연으로 방출되는 120톤을 포함한 양을 제외하고 미국내 연간 코발트 사용량을 약 4,200톤으로 가정하면 미국내 코발트의 재활용은 약 31%로 미국지질조사소에서 보고한 자료<sup>(6)</sup>의 32%와 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

## 5. 코발트의 용도별 물질흐름

2002년 코발트의 세계시장 구성은 초합금 21.6%, 초경합금 소결용 13.1%, 이차전지용 12.4%, 안료 11.7%, 접착제 및 건조제 10.3%, 촉매 8.0%, 내식 및 기타합금 5.8%, 자석용 8.6%, 특수화합물 5.1% 기타 3.4% 등으로 이루어져 있다.<sup>(3)</sup> 한편 1998년 미국내 코발트 소비는 초합금 44%, 화합물 31%, 카바이드 및 다이아몬드공구 9%, 자석합금 8%, 특수강 및 합금류 8%로 크게 구분할 수 있다.

(1) 초합금 : 초합금은 가공합금(wrought alloy), 주조합금(cast alloy), 분말 소결품으로 나눌 수 있으며 용해-가공-후처리의 단계로 제조되며 제품별, 공정별로 스크랩이 다양하게 발생된다. 가공합금의 원료는 47% 자가스크랩(home scrap), 13% 구입스크랩(3% 가공(prompt)스크랩, 10% 노폐(obsolete)스크랩), 40% 코발트금속으로 구성되며 이들의 73%가 스크랩으로 발생된다. 또한 주조합금의 원료는 8% 자가스크랩, 47% 구입스크랩(39% 가공스크랩, 8% 노폐스크랩), 45% 코발트금속으로 구성되며 이들의 68%가 폐기물이나 스크랩으로 발생된다. 초합금제조에 사용되는 코발트는 4,385톤으로 이중 자가스크랩은 35%인 1,535톤이 원료로 재이용된다. 최종 초합금은 1,245톤이 생산되고 사용 후 폐기되는 노폐스크랩 중 50%가 초합금으로 재활용되고 35%는 철강원료로 재이용되며 15%(185톤) 폐기물로 처리되고 있다.

(2) 자석류 : 코발트가 가장 많이 사용되는 자석류는 알니코 영구자석이며 약 10%가 사마리움-코발트 자석에 이용되고 있다. 알니코자석은 주조공정으로 제조되며 Sm-Co자석은 분말 야금법으로 제조된다. 1989년 미국에서는 860톤의 코발트가 자석제조에 사용되었으며 합금 제조과정에서 4%(35톤)이 소모되고 4%가 저급스크랩으로 재활용되며 자석제조과정에서 3%(25톤)가 소모된다. 사용되는 765톤의 자석은 사용 후 대부분 폐기되고 있으며 전화기, 컴퓨터 디스크용, 대형자석 등 일부만이 스크랩 딜러에 의해 회수되고 있다.

(3) 초경합금(cemented carbide) : 원소주기율표 제 IV·V·VI족의 전이금속 탄화물 가루와 철족금속 가루를 함께 소결(燒結)하여 만든 복합합금(WC-Co, WC-TiC-TaC-Co)을 말한다. 절삭공구(바이트·프레이즈·드릴·엔드밀·커터 등), 내마모공구(伸線用 다이스·管引用 다이스와 플러그·제관용 다이스·분말 성형용 다이스·게이지 말단부 등), 내충격공구(광산용 비트·헤딩 다이·각종 구멍뚫기용 공구·페이싱다이 등), 초고압 발생용 부품 등의 재료로 널리 쓰이고 있다. 550톤의 코발트가 이 용도로 사용되고 있으며 코발트 금속이 60-70%, 스크랩이 30-40% 원료로 사용되며 제조과정시 5.5%(30톤)의 스크랩이 발생한다. 제조된 520톤의 초경합금은 사용중 마모로 약 9%(50톤)이 소모되며 사용된 노폐스크랩은 30-40%(170톤)만이 재활용되고 300톤이 폐기되고 있다.

(4) 기타 금속용 : 주로 고속도강 및 표면합금용으로 600 -700톤이 사용되고 있으며 표면합금제조과정에서 200톤의 코발트가 사용되며 6%(12톤)이 손실되고 8%(16톤)의 자가스크랩이 발생하며 8%가 저급스크랩으로 재활용된다. 제조과정에서는 3%(6톤)가 손실되고 29%가 가공스크랩으로 발생되며 최종산물로 100톤이 사용되고 모두 폐기된다. 한편 고속도강의 경우 200톤의 코발트 금속이 사용되며 16%(32톤)가 고속도강 제조공정에서, 2%(4톤)가 공구 제조과정에서 손실되며 최종 165톤이 제품으로 생산된다. 이중 70%는 노폐스크랩으로 재활용되며 30%(50톤)가 최종 폐기된다.

(5) 촉매 : 미국내 코발트 사용량의 10%인 700톤이 촉매로 사용되며 텔레프탈산제조용 및 디메틸텔레프탈산 제조용과 하이드로포밀레이션(OXO 공정), 석유의 탈황공정 등에 사용되며 앞의 두 공정에 60%가 사용되고 석유촉매로 35%, 기타 5%가 사용된다. 앞의 두 공정에

서는 90%가 재활용되고 있으며 10%가 재활용 중에 손실되며 석유촉매의 경우 촉매제조과정에서 3%(5-10톤)가 손실되고 재활용공정에서 발생하는 코발트-니켈 잔사내에 250 -450톤의 코발트가 포함되어 있으며 절반은 해외로 수출되고 나머지 반은 미국 내에 축적된다.

(6) 기타 화학용 : 페인트, 잉크의 건조제로 800톤, 페인트, 플라스틱, 유리, 세라믹의 안료용으로 320톤, 유약, 탈색제, 접착제용으로 370톤이 사용되고 있으며 이상의 제품에 사용되는 코발트는 미량이 포함되어 있어 재활용이 사실상 불가능한 제품이다. 화학적 처리공정에서 3%가 손실되고 제품제조공정에서 5%가 손실되며 나머지 1,380톤이 모두 사용 후 폐기되고 있다.

(7) 동물의 배합사료용 : 비타민 B12에 존재하는 코발트는 소, 양, 염소 등 반추형 동물들의 빈혈을 방지하는데 중요하며 사료로서 공급되는데 약 30톤이 사용되며 모두 소모된다.

(8) 이차전지용 : 리튬이온전지내 코발트의 양은 양극의 0-50%, 니켈카드뮴 전지의 경우 양극의 2-10%, 니켈수소전지는 양극의 3-10%, 음극의 3-15%를 코발트가 차지하고 있다. 이상의 결과로부터 최종용도로 사용되는 코발트의 양은 4,900톤이고 최종폐기되는 양은 2,780, 축적되거나 수출되는 양은 530톤이므로 재활용율은 약 32%에 달함을 알 수 있다.

## 6. 결 론

전략금속의 안정적인 확보와 폐자원의 효율적 재활용을 위하여 코발트의 특성, 현황 및 미국 내에서의 코발트 물질흐름에 대한 조사를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 우리나라에서는 코발트광, 금속 및 화합물 등으로 2003년 현재 19,000톤을 수입하고 2,800톤을 수출하고 있으나 이들에 대한 물질흐름은 정리되어 있지 않아 물질흐름 작성의 준비단계로 미국 내 코발트 물질흐름에 대한 자료를 정리하였으며 그 결과 미국에서는 1998년 현재 4,900톤의 코발트가 제품으로 사용되고 재활용율은 32%에 달함을 알 수 있었다.

(2) 미국의 경우 코발트 주 용도 중에서 자석류와 초경합금의 재활용율이 낮았으며 이들에 대한 수거, 기술개발 여부에 따라 재활용율을 높일 수 있음을 알 수 있었으며 기타 화학용의 경우 코발트 함량이 낮아 재활용 가능성이 희박함을 알 수 있었다.

(3) 우리나라의 경우 (주)코바, 메탈화학, GMS, TMC코리아, 메케마코리아 등에서 각종 코발트 함유 폐자원을 재활용하고 있으나 체계적인 재활용을 위해서는 국내 코발트 물질흐름을 정리하여야 하며 이를 위하여 주요 용도별 제품의 사용량, 폐기량, 재활용량 등을 조사해야 하고 이를 토대로 재활용 가능한 스크랩을 선정, 공정을 개발하는 체계적 재활용방안이 확립되어야 하고 이를 통하여 전략금속인 코발트의 안정적 확보가 가능할 것으로 생각한다.

## 7. 참고문헌

- (1) 한국자원정보서비스, <http://www.kores.net:8080/servlet/md41kores.wism.POD>
- (2) USGS, Mineral Commodity Summaries, Cobalt 2003
- (3) Cobalt, a global strategic business report 2004, Global Industry Analysis, Inc.,
- (4) Donaldson, J. D et. al., "Cobalt in medicine, agriculture and the environment", Cobalt Development Institute, 1986, 155 pp
- (5) Kim B. Shedd, "The materials flow of cobalt in the United States", IC9350, Bureau of Mines, 1993
- (6) Kim B. Shedd, "Cobalt recycling in the United States in 1998", U.S Geological Survey Circular 1196-M