

戰略金屬 스크랩 資源化를 위한 코발트 物質흐름 現況調查

*孫廷秀 · 梁東洵 · 申宣明 · 姜恩姬

韓國地質資源研究院 資源活用素材研究部

Investigation on the Material Flow of Cobalt for Resource Recovery and Recycling of Strategic-Metal Scrap

*Jeong-Soo Sohn, Dong-Hyo Yang, Shun-Myung Shin and Eun-Hee Kang

Minerals and Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience and Material Resources

30 Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

요 약

세계의 인구증가와 경제성장에 따라 천연자원 특히 전략금속의 수요가 급격히 증가하고 있다. 국가가 보유하고 있는 자원의 양은 천연자원 뿐 아니라 재활용을 통하여 얻을 수 있는 폐자원을 함께 포함해야 한다. 본 연구에서는 전략금속의 안정적 확보와 폐자원의 효율적 재활용을 위하여 코발트의 국내의 사용현황 등을 조사하였으며 아울러 미국 내에서의 코발트 물질흐름에 대한 자료를 정리하였다. 그 결과 미국에서는 2003년도에 약 8,000톤의 코발트가 사용되었으며 원료로 재사용된 스크랩의 양은 총사용량의 28%인 2,200톤이었다. 미국의 경우 초합금과 촉매의 재활용은 잘 이루어지고 있으나 자석류와 초경합금의 경우 재활용률이 다소 낮음을 알 수 있었다.

주제어 : 코발트, 전략금속, 코발트 스크랩, 재활용, 물질흐름

Abstract

As world population increases and the world economy expands, so does the demand for natural resources especially strategic-metals such as cobalt. An accurate assesment of the nation's minerals must include not only the resources available in the ground but also those that become available through recycling. In this paper, data on domestic and international supply of cobalt and its applications by end-user were analyzed for stable security of cobalt resources and effective recycling of cobalt scraps. Also, an initial evaluation of the flow of cobalt-containing materials in the United States was prepared. In 2003, 8,000 metric tons of cobalt were consumed in the United States and an estimated 28% of U.S. cobalt supply was derived from scrap. The superalloy industry and catalyst industries have well-established recycling or cobalt recovery practices. Recycling rates of cobalt scraps from magnet alloy and cemented carbide were relatively low.

Key words : cobalt, strategic-metals, cobalt scrap, recycling, materials flow

1. 서 론

범지구적으로 경제가 급속히 발전하고 인구가 증가함에 따라 천연자원의 수요는 함께 증가하고 있다. 최근 중국의 산업발전에 따른 원자재 수요 증가에 따라 비철금속 가격이 급격히 상승하였으며 비철금속 원료를 확

보하기 위하여 폐기물로부터 유가금속을 회수하는 재활용에 관심이 높아지고 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 보유 실태에 대한 정확한 정보를 확보하는 것은 국내 산업의 안정적 운영에 영향을 미칠 뿐 아니라 환경적인 문제의 해결과도 관련이 있다. 이러한 전략금속이란 세계적으

* 2004년 9월 30일 접수, 2004년 12월 27일 수리

* E-mail: jss@kigam.re.kr

로 부존지역이 일부국가에 편재되어 있고 자원매장량이 많지 않음에도 불구하고 항공, 우주, 원자력, 전자 등 첨단산업의 소재로 그 용도가 다양하여 가격변동이 심하고 안정적 물량확보에 어려움이 있는 금속들을 말하며 나라마다, 시기마다 대상금속 및 그 중요도는 달라질 수 있다. 본 연구에서는 국내 경제 및 국가 경쟁력과 관련이 있는 전략금속 중 특히 코발트에 대하여 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. 용도별로 코발트가 제조공정에 투입되어 제품으로 제조되고 사용 후 폐기되는 전체공정을 이해하게 되면 즉, 용도별 코발트의 물질흐름을 정확히 파악하면 이를 토대로 재활용 연구의 필요성이 있는 코발트 함유 폐자원의 선적 작업을 정확하고 용이하게 할 수 있다. 그러나 국내의 경우 코발트의 물질흐름을 작성하기 위한 자료 확보가 어려워 여기에서는 K. B. Shedd가 작성한 미국에서의 코발트 물질 흐름¹⁾과 미국에서의 코발트 재활용 보고서²⁾를 분석, 정리하여 제조 공정 시 발생하는 코발트 스크랩에 대한 이해를 돕고, 향후 재활용이 필요한 코발트 폐자원 선적의 기초 자료로 삼고자 하였다.

2. 코발트의 특성³⁾

2.1. 개요

코발트는 철족원소의 하나로서, 철과 비슷한 광택이 나며 강자성이다. 가열해도 잘 용해되지 않으며 공기 중에 방치해도 표면만 녹슬 뿐 잘 부식되지 않는다. 지각 내 코발트의 평균 분포율은 연보다 약간 높은 0.0023%이며 콩고민주공화국과 잠비아의 총상 동광 또는 세계 여러 지역의 라테라이트 니켈광에서 부산물로 생산된다. 코발트는 합금의 구성요소로서 중요하며 자성재료, 탄소강재료로 사용된다. 또한 도금에도 사용되고 화합물로서 유리·도자기 등의 청색안료, 동위원소인 코발트 60(⁶⁰Co)의 제조 등에도 사용된다. 주요한 코발트 광물로는 카롤라이트(Carrollite), 리네이트(Linnaeite), 코발타이트(Cobaltite) 등이 있다.

2.2. 용도

코발트는 초합금 원료로 우주항공산업에 많이 사용될 뿐 아니라 육상엔진터빈과 내식재 용으로도 많이 사용된다. 코발트 개발 협회(CDI:Cobalt Development Institute)

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 중요한 용도로는 촉매제(9%), 자석(10%), 표면경화제 및 기타 합금(7%) 등이 있다. 안료, 타이어접착제, 자석, 표면경화제 합금 시장은 최근 별로 성장세를 보이지 못하고 있으며 앞으로도 크게 성장하지는 않을 것으로 전망된다. 초합금과 경(硬)합금 분야도 약간 성장할 것으로 전망되나 무엇보다도 성장이 기대되는 부문은 촉매제와 전지로서, 특히 전지 부문의 성장이 두드러질 것으로 전망된다.³⁾

2.3. 국내 코발트 수급현황

우리나라의 코발트 광산은 연·아연 및 금은광산에서 함코발트 유비철석의 수반광물로 산출되는 경우와 니켈광산에서의 부산물로 산출되는 경우가 있는데 이들 모두 소규모 광산일 뿐 아니라 저품위이므로 현재 가행되는 광산은 없다. 따라서 오늘날의 수요는 전량 해외 수입에 의존하고 있는 실정으로 Table 1에 코발트 관련 화합물의 수출입 현황을 나타내었다. 코발트 광으로 중국과 인도에 1,000여 톤을 수출하고 있으며 코발트가 포함된 제품으로 약 19,000톤을 수입하고 있다. 또한 코발트 관련 화합물을 수입하는 회사의 현황을 품목별로 Table 2에 나타내어 향후 제품의 가공, 사용 시 발생하는 스크랩의 현황 파악의 기초자료로 삼고자 하였다. 한편 품위 99.3%의 코발트 금속 가격은 Fig. 1과 같이 최근 중국의 사용량 증가로 급상승하여 \$26.5~27.5/Lbs(약 톤당 7천만원)을 나타내고 있다.

3. 지구상에서의 코발트 순환

코발트의 세계 총 매장량은 약 670만톤이며⁴⁾ 연간 3만5천톤(2002년 자료)⁵⁾ 정도가 사용되어 앞으로 약 190년 이상을 사용할 수 있다. 또한 Donaldson에 따르면 일년에 코발트가 지구상으로 되돌아가는 양은 약 50,000톤으로 다음 Fig. 2에서 보는 바와 같이 화석연료의 연소 시 대기 중으로 방출되는 코발트의 양이 약 5천톤, 암석의 풍화작용 시 자연상태로 소모되는 양이 1만톤, 미생물의 작용으로 암석이나 토양, 식물 등에 의해 분해되는 양이 약 3만톤이며 2만5천톤의 코발트를 생산하고 사용하는 과정에서 약 5천톤의 코발트가 소모

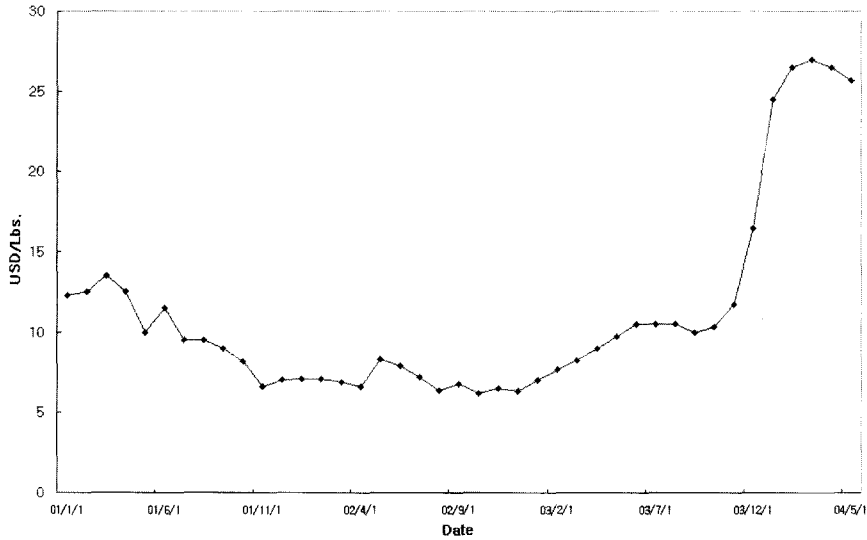


Fig. 1. World market for cobalt : prices of 99.3% grade cobalt for 2001-2004 (US\$ per pounds).

Table 1. Korean market for products including cobalt metal : imports and exports for 2000-2003.

(unit : kg) (from Korea trade statistics)

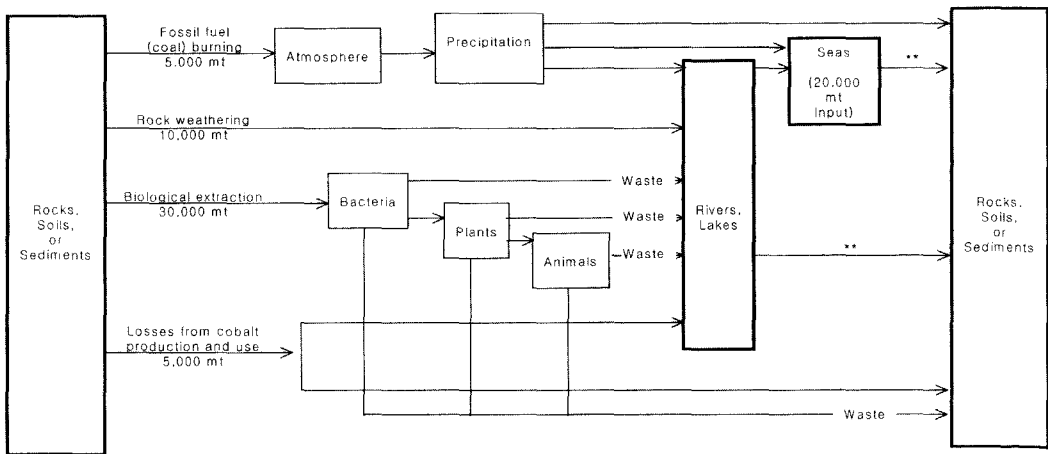
종류	00'		01'		02'		03'	
	수출	수입	수출	수입	수출	수입	수출	수입
코발트광과 그 정광	14,165	1,776	177,512	-	675,736	-	1,009,085	-
산화제이코발트	-	114,574	-	405,055	-	74,870	-	59,045
기타 산화코발트	21,611	337,216	332,887	212,779	3508	437,295	267,000	1,707,043
수산화제일코발트	-	58,340	-	92,300	-	134,740	-	172,580
기타 수산화코발트	-	1,320	-	1,530	18,000	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
코발트화합물을 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
괴	-	-	-	-	-	970,158	70	216,850
코발트메트, 제련중간 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 치료기	-	-	-	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

Table 2. Status of import companies in cobalt markets (from Korea trade statistics)

종 류	업 체 명
산화제이코발트 (HS 2822.00.1010)	(주)한일, 삼성정밀화학(주), 회정산업(주), (주)세인상사, 현대요화(주), 일진전기공업(주), 삼화전자공업(주), (주)태평양 금속, 육진화학(주), (주)금강고려화학, 현대종합상사(주), 한국쌍신전기(주), (주)대영화공
기타 산화코발트 (HS 2822.00.1090)	(주)엘지상사, 삼성물산(주), (주)엘지화학, (주)세인상사, 한국전기조자(주), 삼화전자공업(주), 삼화콘덴서공업(주), 삼양전자공업(주), 한국유리공업(주), 신홍요업(주), 쌍용양회공업(주), (주)서통, (주)내외상사, 일진전기공업(주), 이수세라믹(주), (주)유유
코발트매트와 코발트 제련의 기타 중간 생산물 (HS 8105.10.2000)	(주)태광순약 대명실업(주)
코발트의 웨이스트와 스크랩 (HS 8105.10.3000)	(주)삼진엠앤디이 (주)세인상사
코발트의 괴 (HS 8105.10.1000)	켄프로코리아(주), (주)태평양금속, (주)태광순약, (주)부강특수산업, (주)케이티시코리아, (주)아그네상사, 한국로스트와스공업, (주)삼진엠앤디이, 어드밴스금속공업(주), 태성비철, 소켄코리아, (주)링크텍, (주)광명데이콤, 내외무역, 하이덴탈코리아
코발트의 분 (HS 8105.10.4000)	한국공구공업협동조합, (주)창성, 신생공업(주), 이화다이하이드로공업, (주)사민코리아, 한국아금(주), 삼성물산(주), 신한발브공업(주), (주)삼신, 한국분말야금, 대한소결금속(주), (주)우풍, 신한다이하이드로공업, 삼보정밀(주), 한전기공(주), 안전공업(주), 백한상사, (주)인백스다이하이드, 금용기계(주), 소켄코리아(주), 한송상사, 다진개발(주), 현대종합상사(주)
코발트의 분 (HS 8105.10.4000)	(주)동신인터내셔널, (주)케이미코무역, (주)삼익인터내셔널, 동원석재(주), 태원과학(주), (주)필립교역
기타 코발트 제품 (HS 8105.90.0000)	(주)아모텍, 삼성물산(주), (주)케이미코무역, 세존상사(주), 안전공업(주), 신한발브공업(주), (주)태평양금속, 스텔코무역, (주)신홍, (주)삼신, 한국분말야금(주), 프레스에어 서피스테, 대창공업(주), 태성비철, 자화전자(주)

되고 있다.⁶⁾ 이 중 금속으로 사용되는 경우에 3천톤, 화학용과 기타로 사용되는 경우에 소모되는 양이 약 2천톤에 달하고 있다. 그러나 Donaldson이 제시한 코발트

생산지구상으로 돌아가는 5천톤은 최소한의 양을 의미하는 것이며 실제로 니켈, 구리, 백금을 제련하면서 코발트가 부산물로 있는 경우에는 대부분 코발트의 회



** Biological extraction, adsorption on sediments, or chemical precipitation.

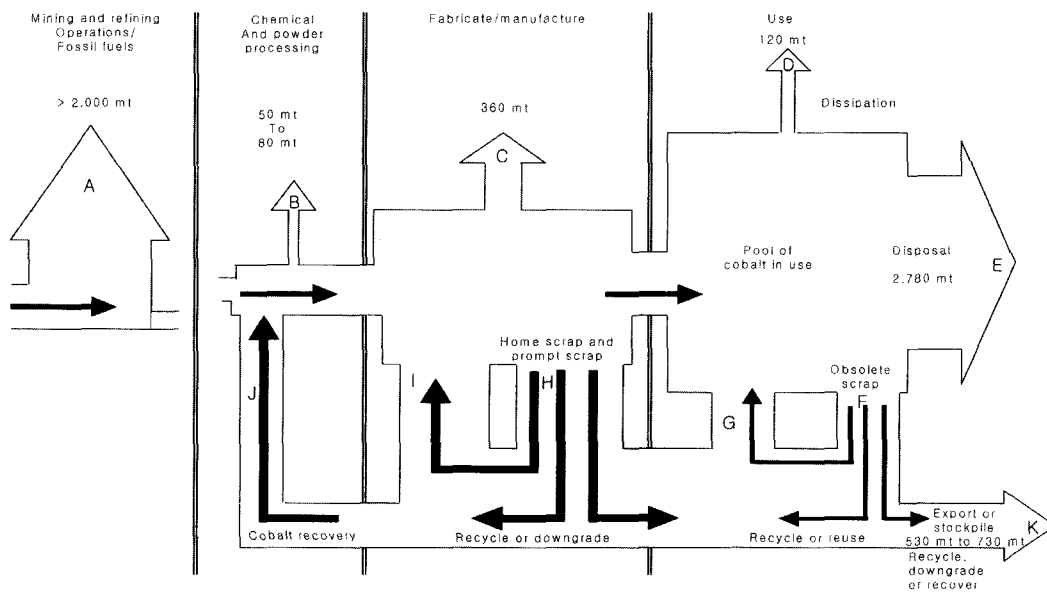
Fig. 2. Annual global cobalt cycle from reference.⁶⁾

수노력이 크지 않아 코발트의 회수율은 10% 이하가 되므로 Shedd는¹⁾ 코발트가 포함된 광석으로부터 코발트 제련을 하는 경우 회수율이 50%에 불과하다고 가정을 하였다. 따라서 코발트 생산량이 2만5천톤(1986년 자료)이라고 할 때 2만5천톤의 코발트가 선광과 제련 과정 중에 자연으로 되돌아간다고 할 수 있다. 따라서 지구 상에서 사용되지 않고 다시 지구상으로 되돌아가는 코발트의 양은 자연적 방출이 약 40,000톤이고 산업상의 방출이 35,000톤으로 연간 75,000톤(1986년 기준)에 달하는 것을 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 코발트가 포함된 광석의 선광 및 제련과정에서 지구상으로 되돌아가는 양을 의미한다.

4. 미국에서의 코발트 물질흐름

Fig. 3은 1989년도에 미국에서의 코발트 물질흐름을 나타낸 것이다.¹⁾ 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.

Fig. 3의 A 항목을 살펴보면 미국 내 납 광산의 선광, 제련과정에서 품위가 0.015%인 코발트는 회수되지 못하고 광미로 처리되는데 이렇게 지구상으로 순환되는 양이 약 800톤이며 구리에 수반된 코발트의 경우에도



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.

Fig. 3. Current annual U.S. cobalt materials flow.¹⁾

구리 선광, 제련 시 부유선광 광미나 침출폐액에 포함되어 지구상으로 되돌아가는 양이 900톤 이상이다. 또한 화석연료의 연소 시 방출되는 코발트의 양이 약 480톤 포함되어 총 2,000톤 이상의 코발트가 광산개발 및 석탄 연소과정에서 지구상으로 회귀되고 있음을 알 수 있다. 코발트 화합물 및 분체 제조과정에서는 코발트 금속을 수입하거나 코발트 스크랩을 원료로 사용하고 있으며 제조공정의 수율은 화합물제조시 97%, 분체 제조시 98%로 2,600톤의 코발트가 사용되면서¹⁾ 50-80톤의 코발트가 지구상으로 되돌아가고 있다. 다음은 코발트를 포함하는 생산물을 합성, 제조하는 공정으로 이 공정의 원료는 수입코발트, 코발트화합물 및 분체제조공정의 산물, 코발트 스크랩 등이며 이 공정에서는 약 360톤의 코발트가 자연으로 회귀되고 있다. 마지막 단계는 코발트가 실제 사용되는 단계로서 여기서는 마모, 분산, 비료의 흡수 등으로 소비되는 것과 최종 폐기물로 발생되는 것, 재활용되는 부분, 그리고 비축되거나 수출되는 부분으로 구분할 수 있다. 자연으로 방출되는 코발트는 120톤이고 비축 또는 수출되는 양이 730톤이며 최종 폐기물로 버려지는 양이 연간 약 2,780톤에 달한다. 1989년의 경우 미국에서 소비되는 코발트의 양은 7,065톤이고¹⁾ 지구상으로 되돌아가는 양이 총 2,560톤이며 수출되는 양, 폐기되는 양을 제외하면 스크랩으로 재활용되는 양은 995~1,195톤으로 코발트 사용량의 14.1~16.9%를 스크랩으로부터 공급받고 있다. 한편 2003년도에 보고된 미국지질조사소의 자료에 의하면²⁾ 1998년도에 미국에서 사용된 코발트의 32%를 스크랩으로부터 공급받았다고 하므로 최근 들어 코발트의 재활용율이 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 2004년도 미국지질조사소의 자료에 의하면⁴⁾ 2003년도에서 미국에서 사용된 코발트의 양이 8,000톤이고(겉보기 사용량은 10,000톤) 재활용된 스크랩의 양이 2,200톤이므로 재활용율은 28%라고 밝히고 있다.

5. 미국 내 코발트의 용도별 물질흐름

2002년 코발트의 세계시장 구성은 Fig. 4와 같이 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.⁵⁾ 한편 1998년 미국내 코발트 소비는 초합금 44%, 화합물 31%, 카바이드 및 다이아몬드공구 9%, 자석합금 8%,

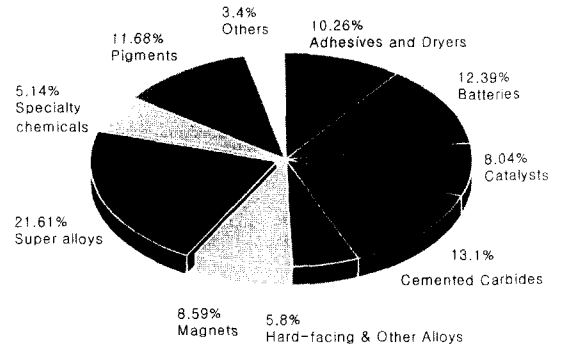


Fig. 4. Percentage breakdown of world consumption by end-user market for 2002.

특수강 및 합금류 8%로 크게 구분할 수 있다.

5.1. 초합금

초합금은 Fig. 5와 같이 가공합금(wrought alloy), 주조합금(cast alloy), 분말 소결품으로 나눌 수 있으며 용해-가공-후처리의 단계로 제조되며 제품별, 공정별로 스크랩이 다양하게 발생된다. 가공합금의 원료는 자가스크랩(home scrap) 47%, 구입스크랩 13%[가공(prompt) 스크랩 3%, 노폐(obsolete)스크랩 10%], 코발트금속 40%로 구성되며 이들의 73%가 스크랩으로 발생된다. 또한 주조합금의 원료는 자가스크랩 8%, 구입스크랩 47%(가공 39%, 노폐 8%), 코발트금속 45%로 구성되며 이들의 68%가 폐기물이나 스크랩으로 발생된다.¹⁾

1989년 미국에서 초합금용으로 사용된 코발트는 2,850톤으로 Fig. 6에서와 같이 원료물질 4,385톤 중에서 자가스크랩으로 35%인 1,535톤이 발생되며 원료로 재이용된다. 물질흐름 중에 Fig. 3에서와 달리 A, B가 표시되어 있지 않은 이유는 A, B가 각각 채광과정과

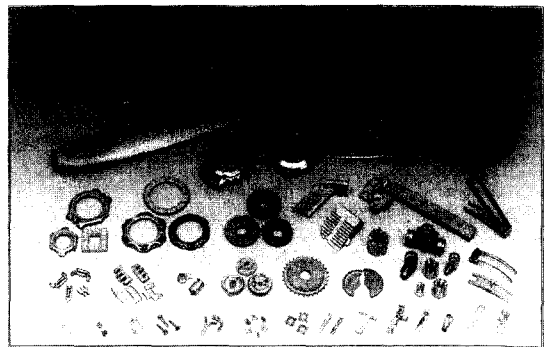


Fig. 5. Cobalt applications in superalloy industry.

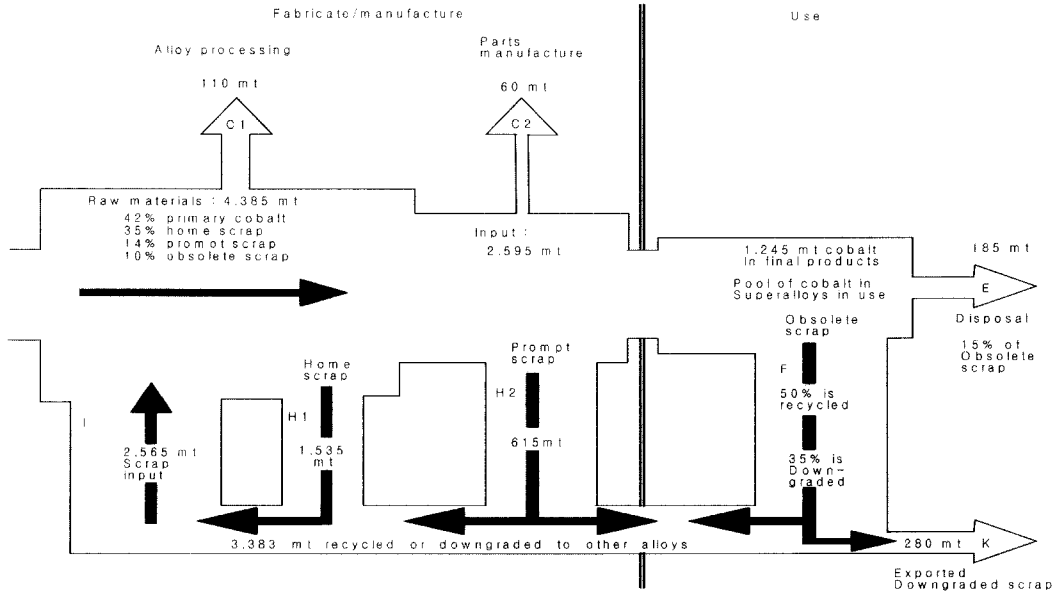


Fig. 6. Annual cobalt flow in the superalloy industry(wrought and cast superalloys).¹⁾

제련과정에서의 코발트 손실을 나타내는 것이어서 이 경우에는 해당되지 않기 때문이다. 제조과정에서 손실된 양을 제외하고 2,595톤이 제조공정에 투입되며 이때 가공스크랩으로 615톤이 발생되고 품질이 낮아져서 철강제품에 활용되는 down graded 스크랩이 675톤 발생하며 초합금 최종 제품내의 코발트는 1,245톤이 된다. 사용 후 폐기되는 노페스크랩 중 50%가 초합금으로 재활용되고 35%는 철강원료로 재이용되며 15%(185톤) 폐기물로 처리되고 있다.

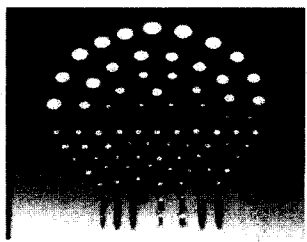
5.2. 자석류

자석류에 사용되는 코발트의 90%가 알니코 영구자석과 철-크롬-코발트 합금자석이며 나머지 10%가 사마리

움-코발트 자석에 이용되고 있다. Fig. 7은 코발트가 포함된 자석 합금의 종류를 나타낸 것으로 알니코자석은 주조공정으로 제조되며 Sm-Co자석은 분말야금법으로 제조된다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 1989년 미국에서는 860톤의 코발트가 자석제조에 사용되었으며 합금제조과정에서 4%(35톤)가 소모되고 4%가 저급스크랩으로 재활용되며 자석제조과정에서 3%(25톤)가 소모된다. 사용되는 765톤의 자석은 사용 후 대부분 폐기되고 있으며 전자기, 컴퓨터 디스크용, 대형자석 등 일부만이 스크랩 딜러에 의해 회수되고 있다.

5.3. 초경합금 (cemented carbide)

초경합금은 원소주기율표 제 IV·V·VI족의 전이금



alnico magnet(Al,Ni,Co)



Rare Earth Magnet

Fig. 7. Cobalt applications in magnets.

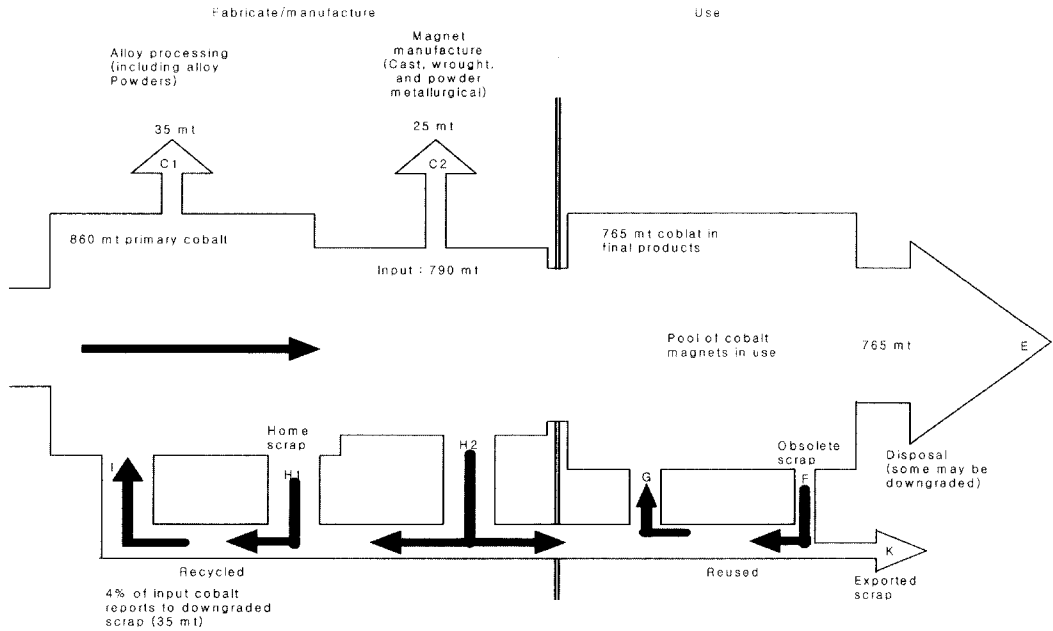


Fig. 8. Annual cobalt flow in the magnets industry.¹⁾

속 탄화물 분말과 철족금속 분말을 함께 소결(燒結)하여 만든 복합합금(WC-Co, WC-TiC-TaC-Co)을 말한다. Fig. 9와 같이 초경합금은 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 · 헤딩다이 · 각종 구멍뚫기용 공구 · 페이스다이 등), 초고압 발생용 부품 등의 재료로 널리 쓰이고 있다.

1989년 미국에서 사용된 550톤의 코발트가 이 용도로 사용되고 있으며 Fig. 10과 같이 코발트 금속이

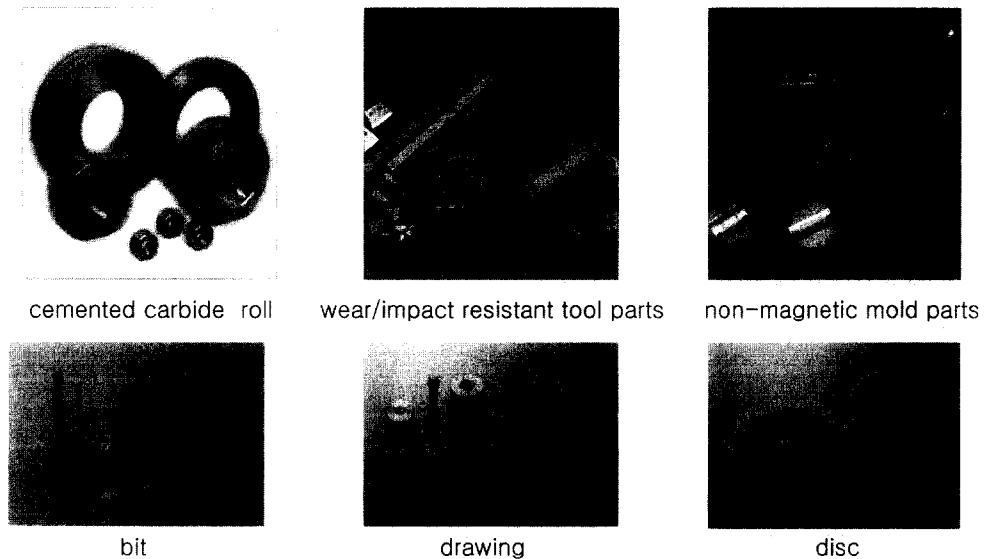


Fig. 9. Cobalt applications in cemented carbide industry.

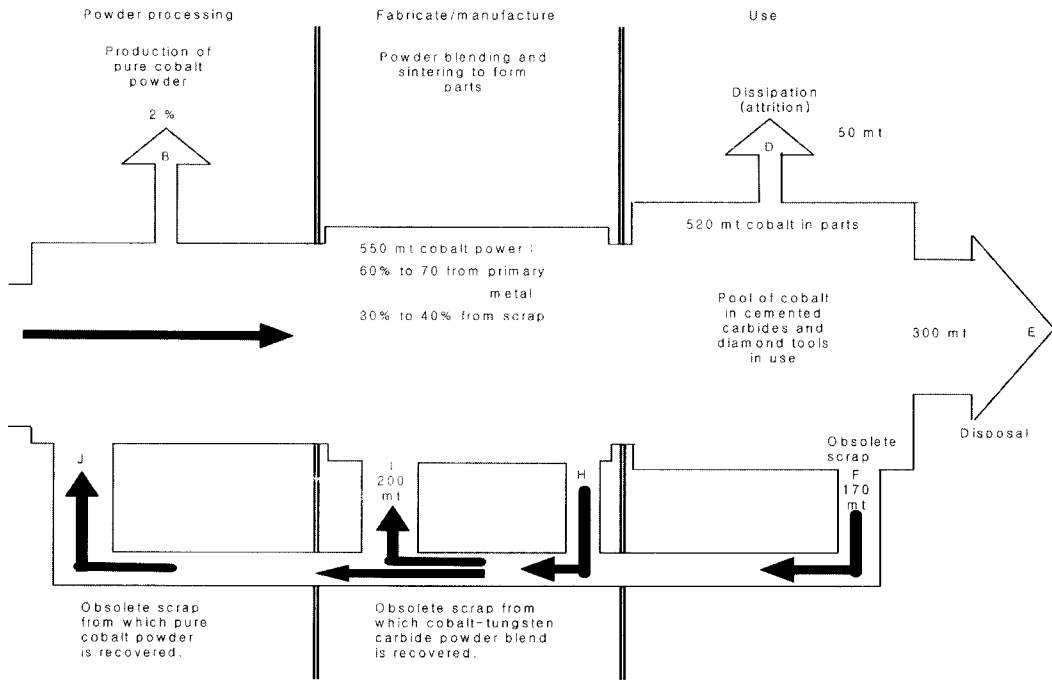


Fig. 10. Annual cobalt flow in the the cemented carbide industry.¹⁾

60-70%, 스크랩이 30-40% 원료로 사용되며 제조과정시 5.5%(30톤)의 스크랩이 발생한다. 제조된 520톤의 초경 합금은 사용중 마모로 약 9%(50톤)가 소모되며 사용된 노폐스크랩은 30-40%(170톤)만이 재활용되고 300톤이 폐기되고 있다.

5.4. 기타 금속용

기타 금속용으로는 1989년 미국에서 주로 고속도강 및 표면합금용으로 600-700톤이 사용되었다. Fig. 11과 같이 표면합금제조과정에서 200톤의 코발트가 사용되며 6%(12톤)가 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 제조과정에서, 2%(4톤)가 공구제조 과정에서 손실되며 최종 165톤이 제품으로 생산된다. 이중 70%는 노폐스크랩으로 재활용되며 30%(50톤)가 최종 폐기된다. 따라서 표면합금용과 고속도강의 두 경우를 합하면 합금제조과정에서 44톤이 소모되고 공구제조과정에서 10톤이 소모되며 최종폐기물 발생량은 150톤이 된다.

5.5. 촉매

Fig. 12는 1989년도에 촉매로 사용되는 코발트의 물질흐름을 나타낸 것이다. 미국 내 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 공정에서는 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.

5.6. 기타 화학용

1989년 미국에서 코발트가 페인트, 잉크의 건조제로 800톤, 페인트, 플라스틱, 유리, 세라믹의 안료용으로 320톤, 유약, 탈색제, 접착제용으로 370톤이 사용되고 있다. 그러나 이상의 제품에 사용되는 코발트는 미량이 포함되어 있어 재활용이 사실상 불가능한 제품이다. Fig. 13에서 보는 바와 같이 화학적 처리공정에서 3%가 손실되고 제품제조공정에서 5%가 손실되며 나머지

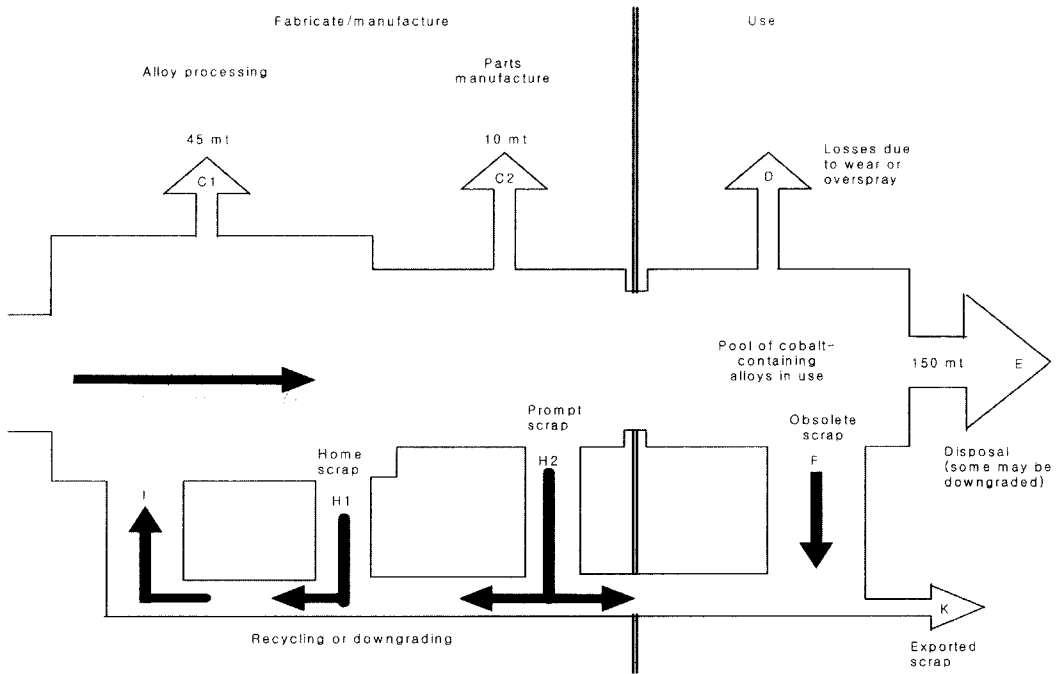


Fig. 11. Annual cobalt flow in miscellaneous metallic use (losses from tool steels and hardfacing).¹⁾

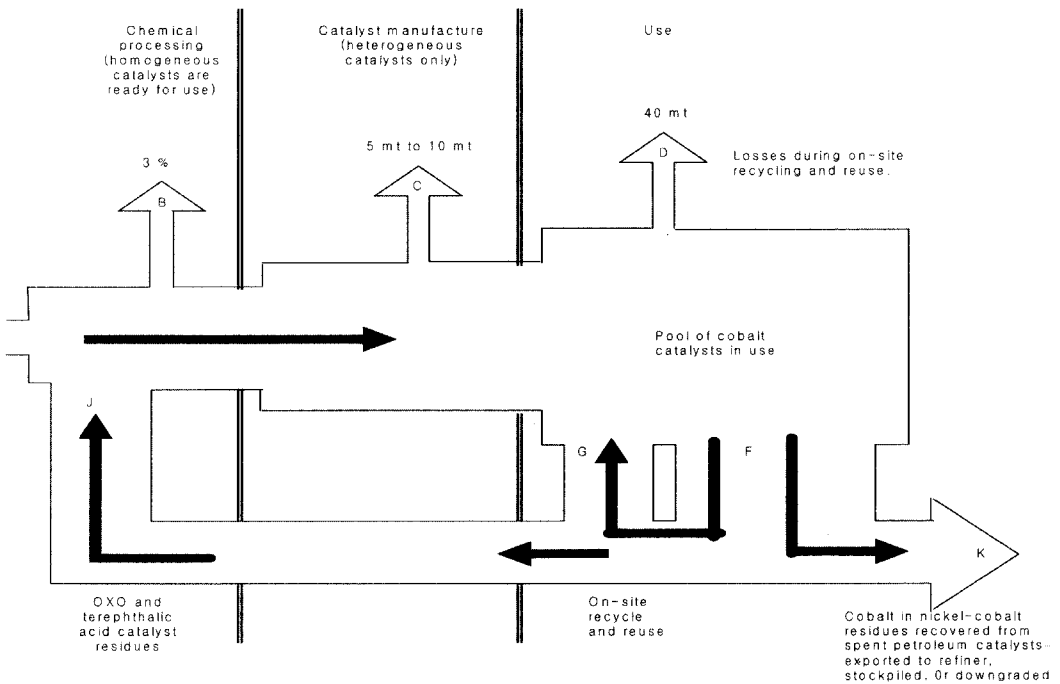


Fig. 12. Annual cobalt flow in the catalyst industry.¹⁾

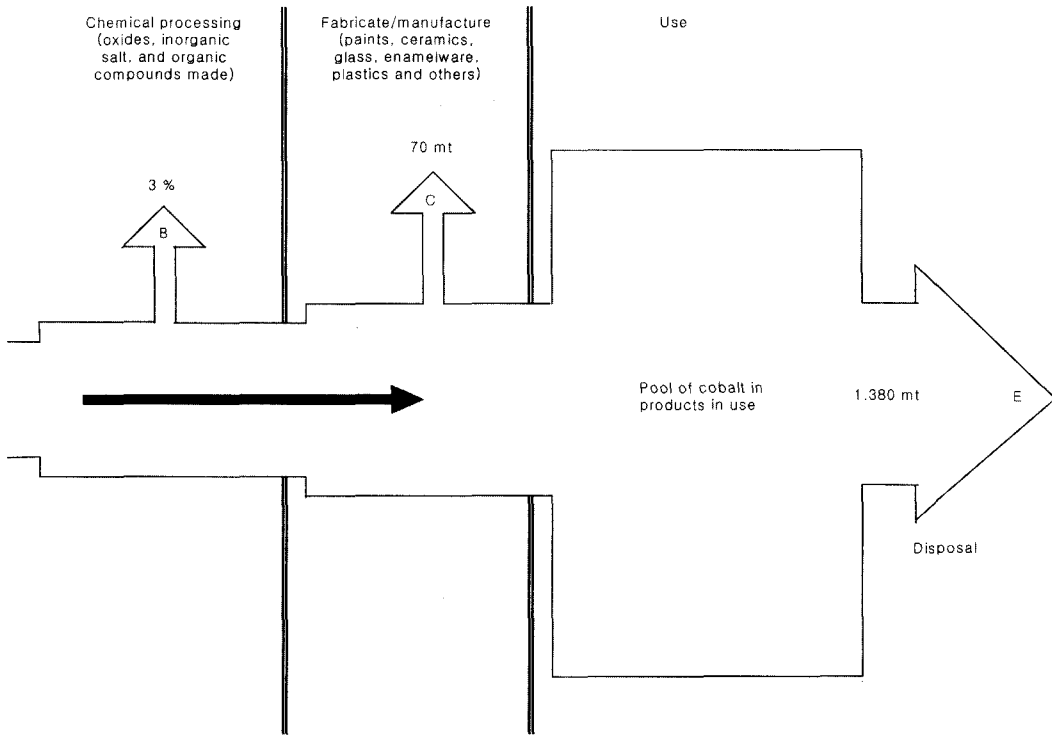


Fig. 13. Annual cobalt flow in miscellaneous chemical applications.¹⁾

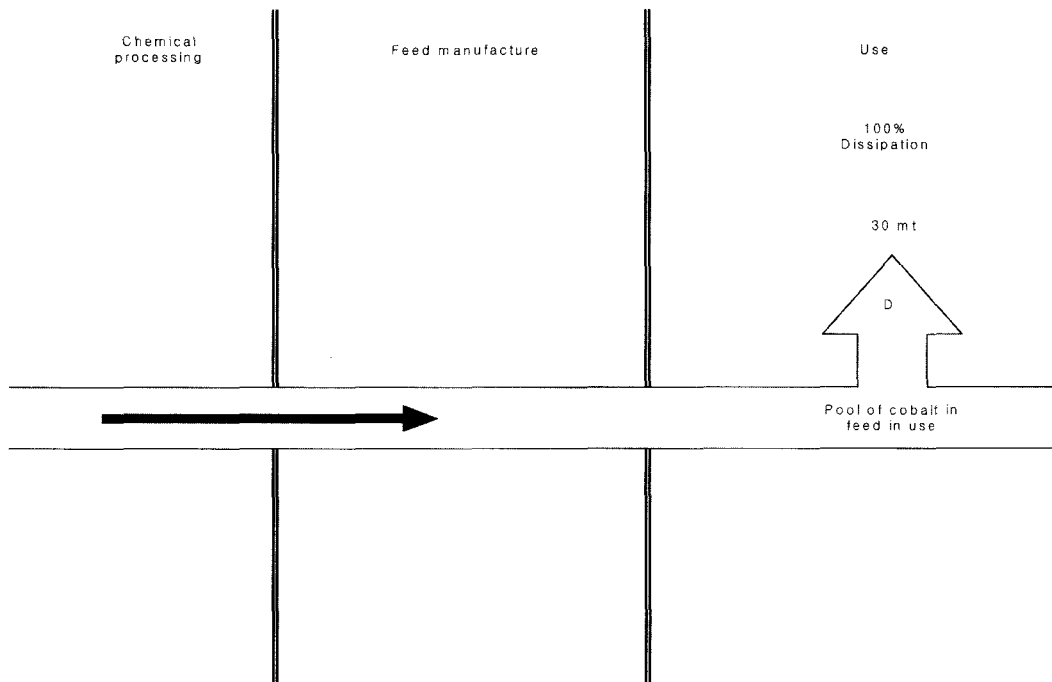


Fig. 14. Annual cobalt losses from use in agriculture and feed additives.¹⁾

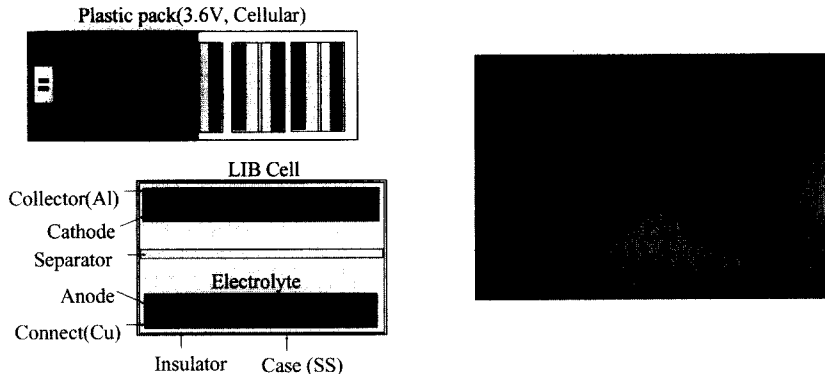


Fig. 15. Cobalt applications in secondary batteries.

1,380톤이 사용 후 모두 폐기되고 있다.

5.7. 동물의 배합사료용

비타민 B12에 존재하는 코발트는 소, 양, 염소 등 반추형 동물들의 빈혈 방지에 중요하며 사료로서 공급 되는데 Fig. 14에 나타난 바와 같이 약 30톤이 사용되며 모두 소모된다.

5.8. 이차전지용

리튬이온전지 내 코발트의 양은 양극의 0-50%, 니켈 카드뮴 전지의 경우 양극의 2-10%, 니켈수소전지는 양극의 3-10%, 음극의 3-15%를 코발트가 차지하고 있다. 코발트가 사용되는 리튬이차전지의 개략적 구조를 Fig. 15에 나타내었다.

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 코발트광물, 코발트 화합물 등 코발트 함유 제품으로 2003년 현재 19,000톤을 수입하고 2,800톤을 수출하고 있으나 이들에 대한 물질흐름이 정리되어 있지 않아 물질흐름 작성의 준비단계로 미국 내 코발트 물질흐름에 대한 자료를 정리하였으며 그 결과 미국에서는 2003년도에 약 8,000톤의 코발트가 사용되었으며 원료로 재사용된 스크랩의 양은 총사용량의 28%인 2,200톤으로 1989년도의 14.1~16.9%에 비하여 증가하였다.

(2) 미국의 경우 1989년도에 코발트 주 용도 중에서 자석류와 초경합금의 재활용율이 낮았으며 이들에 대한 수거, 기술개발 여부에 따라 재활용율을 높일 수 있을 것으로 생각되며 기타 화학용의 경우에는 코발트 함량이 낮아 재활용 가능성이 희박함을 알 수 있었다.

(3) 우리나라의 경우 몇몇 재활용업체에서 각종 코발트 함유 폐자원을 재활용하고 있으나 체계적인 재활용을 위해서는 국내 코발트 물질흐름을 정리해야 한다. 따라서 주요 용도별 제품의 사용량, 폐기량, 재활용량을 조사해야 하고 이를 토대로 재활용 가능한 스크랩을 선정한 뒤, 처리공정을 개발하는 체계적 재활용방안이 확립되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 에너지관리공단 에너지자원기술개발 사업 및 21세기 프론티어사업 중 산업폐기물재활용기술개발사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. K. B. Shedd, 1993: The materials flow of cobalt in the United States, IC 9350, U.S. Bureau of Mines, Virginia, USA.
2. K. B. Shedd, 2003: Cobalt recycling in the United States in 1998, U.S Geological Survey Circular 1196-M, Virginia, USA.
3. 한국자원정보서비스, <http://www.kores.net:8080/servlet/md41kores.wism.POD>
4. USGS, 2004: Mineral Commodity Summaries, Cobalt

2003, Virginia, USA.

5. Global Industry Analysis, Inc., 2004: "Cobalt-Executive Summary", Cobalt- A Global Strategic Business Report, p.29, Global Industry Analysis, Inc., California, USA.

6. Donaldson, J. D et al., 1986: Cobalt in medicine, agriculture and the environment, Cobalt Development Institute, p. 155.

孫 廷 秀

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원
- 본 학회지 제12권1호 참조

梁 東 津

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원
- 본 학회지 제11권 3호 참조

申 宣 明

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원
- 본 학회지 제10권 6호 참조

姜 恩 姬



- 2000년 건양대학교 화학/식품공학과 학사
- 2002년 충남대학교 화학공학과 석사