J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 16, No. 2, 2007, 63-76

≫ 技術報文 ≪

國內 未利用資源의 有效利用을 위한 回收 硏究動向 및 物質흐름†

- 國內資源의 有效利用을 위한 處理 및 回收技術 動向調査(2) -

✞吳在賢 · 金美星* · 申熙德** · 閔芝源***

연세대학교 명예교수, *에너지관리공단, **한국과학기술정보연구원,
***(사)한국자원리싸이클링학회

A Study of the Research Trends and the Material flow on the Unrecycled Materials in Korea†

- The Current Situation of Recycling Technology for Waste Resources in Korea(2) -

✞Jae-Hyun Oh, Mi-Sung Kim*, Hee-Duck Shin** and Ji-Won Min***

*Professor Emeritus of Yonsei University, *Korea Energy Management Corp.*
***Korea Institute of Science and Tech. Information,*
****The Korean Institute of Resources Recycling*

요 약

현재 우리나라 미이용자원의 대표격으로서 전기로 제강분진(EAF Dust)중의 아연(Zn)과 석유탈황폐촉매 중의 몰리브덴(Mo)과 바나듐(V) 등을 들 수 있다. 자동차 폐촉매로부터 백금족금속(PGM)의 회수 및 폐프린트 회로기판(PCBs)부터의 금, 은, 동도 거론할 수 있으나 유통경로가 복잡하여 정확한 회수통계 파악이 어렵다. 본고에서는 이들 금속의 우리나라에서의 연구동향을 조사 · 검토하였다. 물질흐름에 관해서는 석유탈황폐촉매에서 회수할 수 있는 Mo, V 및 Ni에 한해서만 조사하였다. 그리고 EAF Dust 중의 Zn에 관해서는 후일 별도로 논술하려고 한다. 다만 금속시세가 폭등하고 있기 때문에 금년(2007)내로 Mo 및 V의 회수가 확실시되고, 아연도 회수될 전망이다.

주제어 : EAF더스트, 석유탈황폐촉매, PCBs, 백금족, 물질흐름

Abstract

Typical examples as unrecycled materials in Korea were Zinc from the electric arc furnace dust (EAF Dust), and Molybdenium and Vanadium from the desulfurizing spent catalyst of petrochemical industries. In the otherwise, though recovery of valuable metals from the waste electronic scrap such as printed circuit boards (PCBs) and platinum group metals (PGM) from the waste automobile catalyst have been interesting issues, it is difficult to collect the exact informations or statistics on their material flow system. In this article, The current domestic research trends for unrecycled or less recycled materials have been reviewed, and material flow and recycling technologies on the desulfurizing spent catalyst were surveyed.

Key words : EAF dust, desulfurizing spent catalyst, PCBs, PGM, material flow

1. 머리말

우리나라 미이용 금속자원하면 제일 먼저 떠오르는 것이, 전기로제강 시 발생하는 분진(EAF Dust) 중의 아연과 석유탈황폐촉매 중의 몰리브덴(Mo), 바나듐(V), 니켈(Ni) 등이 있다. 이 외에 폐전지부터의 Ni, 카드뮴(Cd), 코발트(Co) 및 리튬(Li), 폐회로기판(PCBs)부터의 금(Au), 은(Ag), 동(Cu) 그리고 자동차폐촉매로부터 백

† 2007년 3월 5일 접수, 2007년 4월 2일 수리
✞ E-mail: kirr@kirr.or.kr

금족 금속(PGM) 등도 거론할 수 있으나, 엄밀히 말해서 미이용 금속자원에 속하는지는 단정하기 어렵다. 다만 이들은 유통경로와 물질수지흐름이 복잡하여 회수 파악이 확실하지 않고, 백금족 금속같은 경우에는 우리나라에서 제련이 어려워 전량 수출에 의존하고 있다. 이러한 관점에서 전자를 언리싸이클드 머티리얼(unrecycled materials), 후자를 레스리싸이클드 머티리얼(less recycled materials)로 분류하고 싶다.

본고에서는 이와 같이 리싸이클이 어렵고 문제점이 많은 상기 금속에 관해서 1992년부터 2005년까지의 연구동향을 조사하였다. 그리고, 석유탈황 폐촉매에 관해서는 유효이용을 위한 물질흐름 및 회수기술에 관해서 비교적 상세히 언급하였다. 한편 우리나라 비철금속 리싸이클링 현장을 탐방하여 리싸이클현황을 확인하였다. 전기로 제강 분진[1]에 관해서는 후일로 미루었다. 우리에게 너무 절실하고 중요하기 때문에 별도로 기술하고자 한다.

2. 미이용 금속자원의 연구동향 및 고찰[2]

우리나라의 미이용 금속자원에 관해서 우리가 얼마만큼의 연구를 수행했는가를 알아보기 위해서, 먼저 "자원리싸이클링(한국자원리싸이클링 학회지)"에 수록된 논문 및 보고를 발취하여 Table 1부터 Table 6으로 정리하였다. 또한 이 Table에서 탐지할 수 있는 연구동향을 검토하기 위하여, 몇 가지 잡지와 서적 그리고 개인적인 정보를 참고하였다. 1992년부터 2005년까지의 "자원리싸이클링"에 게재된 논문 및 보고만으로 연구동향을 파악할 수 있는지 의심스러우나, 상당부분 커버될 것으로 사료된다. 논문 · 보고의 저자는 첫 저자 이름만을 표에 포함시켰다. 혹 누락된 논문 · 보고도 있을지 모르는데 그점은 양해 바란다.

2.1. 석유탈황 폐촉매 및 중유회 등부터 Mo, V, Ni 회수 (Table 1)

① Material flow에 관계되는 자료는 전혀 없고, 자원회수에 관한 기초연구가 대부분임

② 정유사 탈황폐촉매 시장 탐문 현황

- 2004년 기준 연간 약 12,000톤이 발생하고 있음(S-Oil : 7,000톤, SK정유 : 5,000톤)
- 현재 저유황 추세에 따라 기업의 탈황 설비투자(증설)가 꾸준히 진행되고 있음
- 2008년에는 약 40,000톤이 발생될 것으로 예상(GS 약 6,000톤, SK 10,000톤 이상(인천정유 인수로 설

Table 1. Research on Recovery of Molybdenum, Vanadium and Nickel from the Desulfurizing Spent Catalyst

문헌번호 및 목적	원료명	원료 중 품위			원료특성	비고
		Mo	V	Ni		
1. Mo회수	석유탈황 폐촉매	1,100 ppm	150 ppm	33 ppm	석유정제공정의 탈황시설의 시료	용매추출법에 의한 기초연구(김종화)
2. Mo, V 회수	중유 VRDS 폐촉매	1.36 (%)	18.6 (%)	4.74 (%)	정유회사의 탈황공정	배소 · 침출 기초연구 (장희동)
3. Mo. V, Ni 회수	석유탈황 폐촉매	40 (mg/g)	128 (mg/g)	64 (mg/g)	Co-Mo/Al_2O_3계 폐촉매	배소 · 침출 용매추출 기초연구(김종화)
4. V, Ni 회수	중유회		2.71 (%	3.57 (%)	'94년도 한국의 중유회 량 6,519톤	수 침출에 의한 기초연구 (박경호)
5. V, Ni 회수	중유회	4.14 (%)	4.14 (%)	2.13 (%)		H_2SO_4 침출에 의한 기초연구(박경호)
6. V, Ni 회수	중유회 소각재		4.9 (%)	3.7 (%)	국내 6개 발전소에서 수집	H_2SO_4 침출에 의한 기초연구(유연태)
7. V 회수	Orimulsion ash		16.2 (%)	3.92 (%)	방거C油→오리멀젼유로 대체, 울산화력발전	H_2SO_4 침출에 의한 기초연구(박경호)
8. Mo 회수	전구용 필라멘트 제조 공정에서 발생된 폐산	100 g/l			안산소재 (주)동성산업으로부터 시료제공	NH_3에 의한 중화 Pilot시험 (차우열)
9. V 회수	LD제강 Slag		2.5% V_2O_5		독일 듀스브르크제철소에서 제공	용융환원법에 의한 기초연구(박현서)

발생 공정	성분(%)							발생량	처리	판매가 (천원/톤)
	Ni	Mo	V	Co	유분	S	Al_2O_3			
중질유 탈황	3	12	5-10	-	10	일부	bal.	4,000 T/Y	중국수출	50

Mo/V촉매의 경우 국내 2개 공장에 각각 년간 1회씩 교체되고 있으므로 회수가능량은 Mo 1,152톤/년, V 720톤/년 정도임

비신설 포함 시 더 늘어날 것임), S-Oil 약 12,000톤 등)

- SK정유의 폐촉매 발생량은 9천톤/년 수준이며, 이중 탈황 폐촉매 4천톤/년이 관심 부분임(위표 참조).

2.2. 폐전지로부터 Ni의 회수 (Table 2, 3)

① Material flow에 관계되는 자료는 없고, Ni-Cd 폐전지 및 폐액 중의 Ni 회수 기초연구가 전부임

② 우리나라 도금폐수 처리오니는 약 19만톤 발생하고, 그 성분은 평균 Ni 5.9%, Cu 6.0%, Zn 2.8%, Cr 5.4%임(오종기 외 2001년 산자부 보고서[3], 오재현 외 2004년 J. of KIRR, 오니의 발생과 처리[4])

③ 2000년도 Li이온전지 국내시장규모는 6,700만개였으나, 2003년도 12,200만개로서 2배로 신장

2.3. 폐 PCBs부터 Au, Ag, Cu의 회수 (Table 4)

① 폐 PCBs(Printed Circuit Boards)로부터 Au, Cu의 회수에 관한 기초연구가 주임

② 금광산 폐광미로부터 Au 및 SiO_2 회수에 관해서는 계속적인 연구가 바람직함

③ 폐 PCBs 처리 물량의 파악이 요망됨

Table 2. Research on Recovery of Nickel from the Spent Batteries

문헌번호 및 목적	원료명	원료 중 품위			원료특성	비고
		Ni	Co	Cd		
10. Ni 회수	폐Ni-Cd 전지	55.0 (%)	1.82 (%)	486 ppm	창원소재 한일재생금속(주) 2,700톤 처리 Cd회수, 잔여수출	황산침출에 의한 기초연구 (박제신)
11. Ni 회수	폐Ni-Cd 전지	24.0 (%)		18.5 (%)	휴대폰용 Ni-Cd 2차전지사용	침출과 용매추출에 의한 기초연구(김종화)
12. Ni 회수	폐적층형 세라믹콘덴서(MLCC)	15.0 (%)	Ba 37.8 (%)	Ti 10.5 (%)	2004년 세계적으로 630억개 정보통신기기에 사용	침출에 의한 기초연구 (김은영)
13. Ni 회수	STS산세공정의 산세폐액	8.7 g/l	0.1 g/l	Cr 7.9g/l	유리질산 및 불산이 제거된 산세폐액으로부터 Ni 회수	중화침전 및 용매추출 기초연구(김성규)
14. Ni 금속 회수	$FeCl_3$ 에칭폐액으로부터 Ni 금속회수	4.8 g/l			Ni프레임 에칭과정에서 발생한 $FeCl_3$에칭폐액	용매추출과 화학침전의 기초연구(이만승)

Table 3. Research on Recovery of Cobalt and Lithium from the Spent Batteries

문헌번호 및 목적	원료명	원료 중 품위		원료특성	비고
		Co	Li		
15. Co, Li 회수	폐리튬 이온전지			Co계 리튬이온이 사전지의 양극활 물질 $LiCoO_2$	황산침출 (이철경)
16. Co 물질 흐름	Co 물질흐름 현황조사				기술보문(손정수)
17. Co 회수	리튬이온전지 폐양극활물질			$LiCoO_2$ 로부터 Co침출	99.99% 이상의 황산코발트 용액회수(Basudev Swain)
18. $LiCoO_2$ 나노분만 제조	리튬이온전지 폐양극활물질			화염분무열분해법으로 $LiCoO_2$ 나노분말 제조	(이철경)

Table 4. Research on Recovery of Gold, Silver and Copper from the Waste Printed Circuit Boards

문헌번호 및 목적	원료명	원료성분			원료특성	비고
		Au	Ag	Cu		
19. Au 및 SiO_2 회수	금광산 폐광미	4.5 ppm		36 ppm	청양(靑陽) 금광의 광미	307 g/ton 품위의 정광 0.6 wt(%)회수(채영배)
20. Au회수	전지(IC) 스크랩	0.43 (%)	0.11 (%)	14.19 (%)	3-0.3 mm 입경에 대부분 (crushed IC) 금이 함유	왕수처리와 전해에 의한 기초연구(이철경)
21. Au, Ag 회수	폐 PCBs	비자성체 0.023(%)	비자성체 0.07(%)	비자성체 48.9(%)	폐컴퓨터의 인쇄회로기판, -1 mm로 분쇄	비자성체58%는 단계별 침출로 회수(오치정)
22. CuO회수	PCB에칭 폐액($CuCl_2$)			10-15(%) solution	$CuCl_2$+2NaOH → CuO+2NaCl+H_2O	CuO의 입자형상 제어(김영희)
23. Cu회수	폐 PCBs			37.6(%) (비자성체중)	폐프린터의 인쇄회로기판	염소침출에 의한 기초 연구(김민석)
24. Copper oxy-chloride [$CuCl_2$·3Cu(OH)$_2$] 제조	PCB에칭 폐액 ($CuCl_2$)			10-15 (%)	4$CuCl_2$+6NaOH→$CuCl_2$; 3Cu (OH)2+6NaCl	농약용 copper oxy-chloride 제조 기초연구 (김영희)
25. Fe-Ni 회수 Cu 회수	폐컴퓨터 기판	socket류(자성) Cu 45.23, Ni 13.4%80%회수, board류 Cu 77% 회수가능, chip류 Fe-Ni 97%, Cu 95% 회수가능				3종류를 각 각 별도 장치에 의해 회수(현종영)
26. Cu, Al, Zn, Ni, Co, Sn, Pb 회수	폐전자 스크랩				Thiobacillus ferrooxidans에 의한 침출	미생물을 이용한 침출 (안재우)
27. Cu, Al, Zn, Ni, Co, Sn, Pb 회수	폐전자 스크랩				곰팡이균(aspergillus niger)에 의한 침출	미생물을 이용한 침출 (안재우)
28. 유가금속 회수	개인용 폐컴퓨터의 PCBs	Au 0.072%	Cu 19.4%	Ni 2.59%	금속성분 40%, 플라스틱 성분 30% 내화산화물 30%	총설(이재천)
29. 유가금속 회수	폐PCBs	Cu 28.3%	Sn 1.93%	Pb 1.14%	금속성분을 단체분리 한 후 경사진 동판으로 분리	형상분리법(이재천)
30. 금속성분의 분쇄	폐PCBs				충격형 분쇄기에 의한 금속성분의 단체분리	금속성분의 분쇄특성 (이재천)

예. ㉠ 국내처리
㉡ 수출
㉢ 국내 제련소 처리

④ 전자스크랩의 경우 bacterial leaching 효율이 양호하므로 계속적인 연구가 바람직함

⑤ 폐 PCBs 처리의 전처리로서 형상분리법 및 분쇄특성의 규명은 매우 바람직함

⑥ PCBs는 전자제품을 작동하도록 하는 반도체 칩 등과 같은 주요 전자부품들이 부착되어 있는 핵심 구성요소로서 거의 모든 전자 제품에 탑재되어 있음. PCBs는 기판재와 기판에 장착되어 있는 전자부품으로 구분되는데, 구성성분은 플라스틱이 30%, 난용성 산화물이 40%, 금속이 30%로 되어 있음. PCBs 1톤당 Au 400~800g, Ag 200g, Pd 20g 정도 함유되어 있으며, 그 밖에 Cu, Fe 등의 중금속들이 포함되어 있다고 보고 되고 있음

⑦ 회수된 폐전자제품의 재활용, 재사용 및 처리현황 확대생산자책임(EPR)제도 도입기와 수행시기에 있어 폐전자제품 회수량이 급격히 증가하고 있고 회수에 있어 생산자의 비중이 높아지면서 재활용되는 양도 '01년 822천대(64.2%)에서 '04년 2,130천대(79.4%)로 연평균 53%씩 크게 증가한 것으로 나타났다. Table 5에 폐전자제품 재활용현황[5]을 표시하였음

Table 5. Recycling Status of Waste Electronic Products (단위 : 천대, %)

구분	회수량	재활용 및 처리		
		재사용	재활용	처리(압축, 소각 · 매립)
2001년	1,281(100.0)	185(14.4)	822(64.2)	274(21.4)
2002년	1,757(100.0)	204(11.6)	1,214(69.1)	339(19.3)
2003년	2,506(100.0)	236(9.4)	1,964(78.4)	306(12.2)
2004년	2,683(100.0)	250(9.3	2,130(79.4)	303(11.3)
연평균 증감율(%)	(+) 36.5	(+) 11.7	(+) 53.0	(+) 3.5

자료 : 한국전자산업환경협회 자체조사(2005)

Table 6. Research on Recovery of Platinum group Metals (PGM) from the Various Waste Resources

문헌번호 및 목적	원료명	원료 중 품위			원료특성	비고
		Pt	Pd	Rh		
31. 백금족 금속의 회수	국내 자동차 폐촉매	Recovery 96.1(%)	Recovery 93.6(%)	Recovery 97.3(%)	-3.36 mm로 분쇄 후 산침출	산침출 후 Al분말로 cementation (이재천)
32. 백금족 금속의 회수	국내 석유화학 폐촉매	0.3(%)	0.3(%)	Re 0.3(%)		배소, 침출 환원 기초연구(김준수)
33. Pd 회수	HCl용액 중의 $Pd(PdCl_2)$					염산침출 후 전기화학적 회수 기초연구(김민석)
34. Te 회수	Cu anode Slime	Te 21.7(%)	Cu 32.9(%)		Te-cement 분쇄 후 침출	Cementation → 침출 → Na_2S로 침출 → NaOH로 용해 후 전해(이철경)

Table 7. Production and Consumption of Molybdenium in the World

광석생산국	칠레	26%
	중국	24%
	미국	23%
	페루	8%
	캐나다	7%
	상위 5개국 합계	88%
소비국	서구	35%
	미국	21%
	일본	13%

(출전 : WMSY, CRU MONITOR)

2.4. 백금족 금속의 회수 (Table 6)

① Pd계 폐촉매 : 대림산업에서 5.4톤/년 발생
Pt/Re계 폐촉매 : 경인에너지(주)에서 1.3톤/년 발생 γ-Al_2O_3 담체에 Pt와 Re가 각각 0.3% 함유

3. 석유 탈황 폐촉매의 유효이용을 위한 Mo, V 및 Ni의 물질흐름(material flow)과 회수기술

3.1. Mo에 관해서

3.1.1. 생산과 수급[6]

Table 8. Supply and Demand of Molybdenium in the World (단위 : 純分千ton)

	1999년	2000년	2001년	2002년	2003년
공급	112.8	118.2	129.9	124.3	125.3
수요	108.9	117.9	128.0	128.0	129.3
수지(밸런스)	3.9	0.3	1.9	-3.74	-4.0

(출전 : (사)특수금속비축협회 보고서)

Table 7에 주 광석생산국과 소비국을 표시하였다. 그리고 세계의 Mo 수급은 Table 8과 같으며, 2001년은 1999년과 비교해서 수급 다같이 증가. 2002년 이후는 수급 다같이 큰 변동은 없지만, 수요가 공급을 약간 상회하는 상황이다.

3.1.2. 일본에 있어서 Mo의 material flow(Fig. 1)와 리싸이클 현황[7](Table 9)

Fig. 1에 일본에서의 Mo 물질흐름을 나타내었으며, 리싸이클현황은 Table 9에 요약 정리하였다.

3.1.3. 국내 몰리브덴의 물질 흐름[8]

Fig. 2에 몰리브덴 국내 물질 흐름을 나타내었다. 국

Table 9. Recycling Status of Molybdenium in Japan

주요 응용 제품	이용형태	사용후의 존재형태 · 량		리싸이클형태			리싸이클 현상평가 (A-G) (주③)	비고 (주④)
		형태	량 (주①)	리싸이클 실태	리싸이클의 싸이클 (주②)	리싸이클율		
특수강	스텐레스강, 고장력강, 고속도강	동좌 (同左)	(2,900)	철스크랩으로서 회수	(5-10년)		B	
촉매	석유정제용 석유화학 공업용	폐촉매	(826)	리싸이클되는 촉매의 대부분은 석유정제용 직접법	(1-7년)	불명		
무기 약품	방청안료 착색안료	도막	불명	리싸이클 없음		불명	B	도막으로 한 경우, 제품전체에 대해서 미량
몰리브덴 제품	만도레루, 음극, 히터, 전극봉, 보트, 로재	전구, 전극봉, 마그네트론제품, 폐로재	불명		(1년미만 -3년)	불명	A	
슈퍼 아로이	터빈부재 화학플랜트 부재	동좌 (同左)	(특수강 포함)	공장내는 거의 전량 리싸이클제품으로서 스크랩 리싸이클 없음	(5-10년)	불명	B	
윤활재	그리스	동좌				0%	A	소모품

(주) ① 량의 단위 :
( )내 사용량순분ton
기타 머티리얼량ton
② 싸이클 :
( )내는 추정사용년수
기타는 실리싸이클년수

③ 현상평가 :
A. 응용제품이 소모품임
B. 첨가제로서 사용되고 있음
C. 리싸이클의 유통시스템이 없음
D. 효과적인 리싸이클기술이 없음
E. 경제성이 없음
F. 수요개발이 충분치 않음
G. 기타

④ 리싸이클의 bottle neck와 해결의 난이도. 독성, 보관의 위험성 유무 등

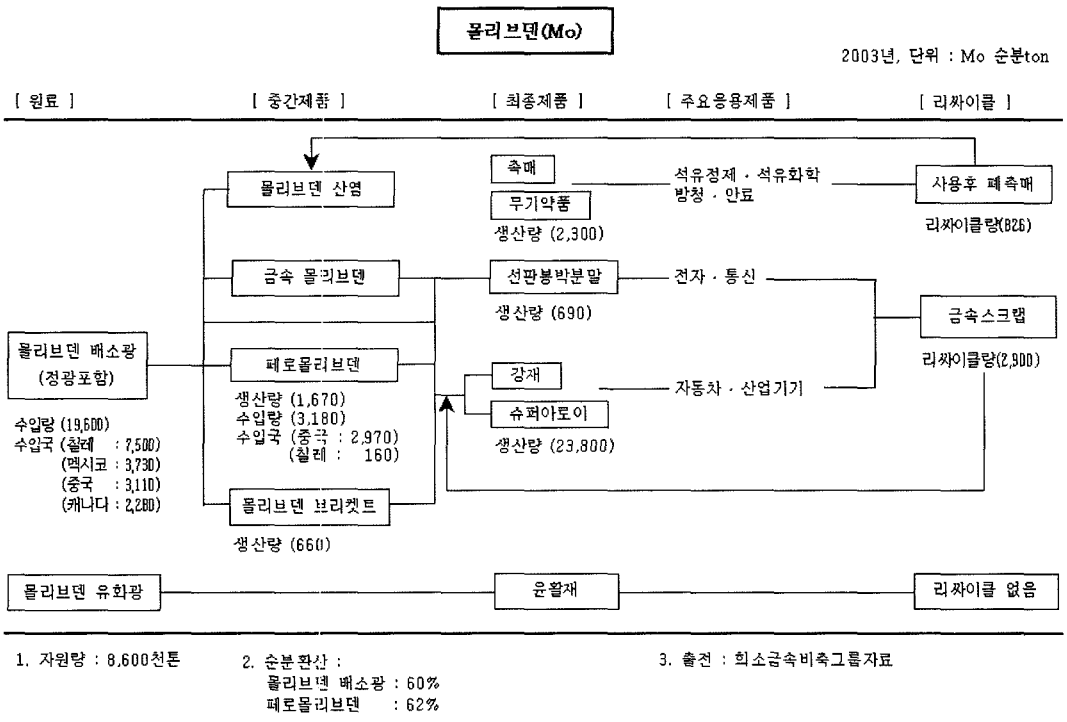

Fig. 1. Material Flow of Molybdenium in Japan.

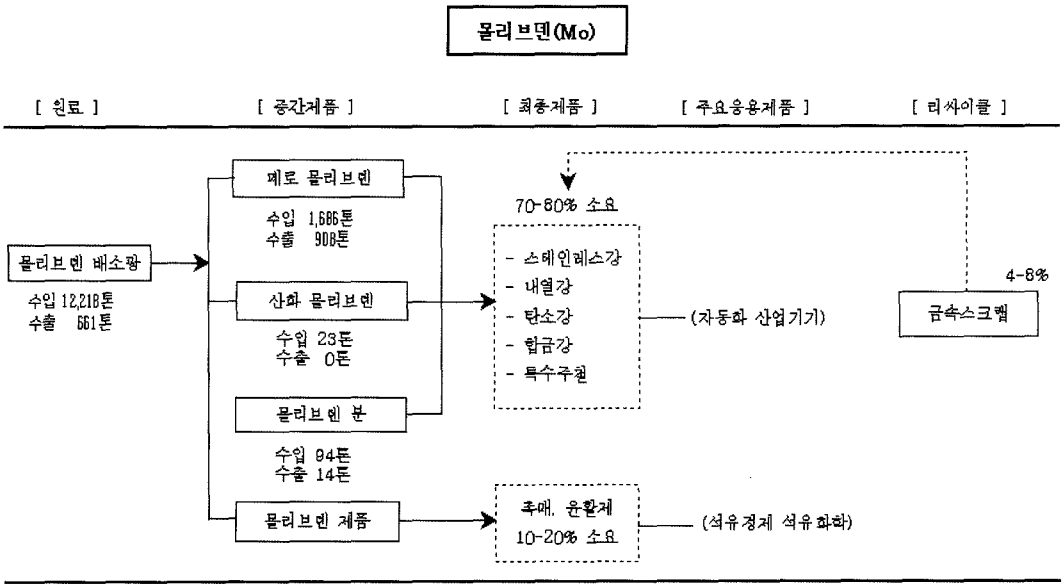

Fig. 2. Material Flow of Molybdenium in Korea

Table 10. Production and Consumption of Vanadium in the World

광석생산국	중국	58%
	남아프리카	25%
	러시아	15%
	상위 3개국 합계	98%
소비국	서구	23%
	미국	22%
	일본	11%
	중국	10%

(출전 : MCS, 工業레아메탈)

내에서 소비되는 페로 몰리브덴은 전량 중국에서 수입하고 있다. 페로몰리브덴, 산화몰리브덴, 몰리브덴 분에서 70~80%가 철강에 사용되고 있으며 몰리브덴 제품으로 촉매, 윤활제로 10~20% 소요되고 있는 것으로 추정된다. 웨이스트와 스크랩을 약 130톤을 수출하고 있으며 수입되는 양은 약 7톤으로 미미한 상황이다. 국내 특수강 회사에서 발생하는 4~8% 정도의 스크랩은 자가 리싸이클하고 있는 것으로 알려져 있다.

3.2. V에 관해서

3.2.1. 생산과 수급[9)]

Table 10에 주광석 생산국과 소비국을 표시하였다. 그

Table 11. Supply and Demand of Vanadium in the World

(단위 : V_2O_5천톤)

	1999년	2000년	2001년	2002년	2003년 (예상)
공급	65.8	72.6	83.5	76.7	73.9
수요	57.2	68.0	65.8	68.0	65.8
수지(밸런스)	8.6	4.6	17.7	8.7	8.1

(출전 : (사)특수금속비축협회 보고서, 2003년 일본 페로알로이 협회 청취)

리고, 세계의 바나듐의 수급은 Table 11과 같으며, 공급에 관해서는 1999년 이후 증가하고 있었지만 2001년을 경계로 감소로 바뀌고 있다. 수요는 년도에 따라 증감이 있었지만, 기본적으로는 공급이 수요를 상회하고 있다.

3.2.2. 일본에 있어서 V의 material flow와 리싸이클[10)] 현황

Fig. 3에 일본에서의 V 물질흐름을 나타내었으며, 리싸이클현황은 Table 12에 요약 정리하였다.

3.2.3. 국내 바나듐의 물질 흐름[11)]

2004년의 국내 오산화 바나듐의 수입량은 2,603톤, 제품의 페로바나듐의 수입량은 751톤이다. 국내에서는 오산화 바나듐 전량을 수입에 의존하고 있고, 페로 바나듐의 경우는 남아공, 중국 및 러시아로부터 약 81%

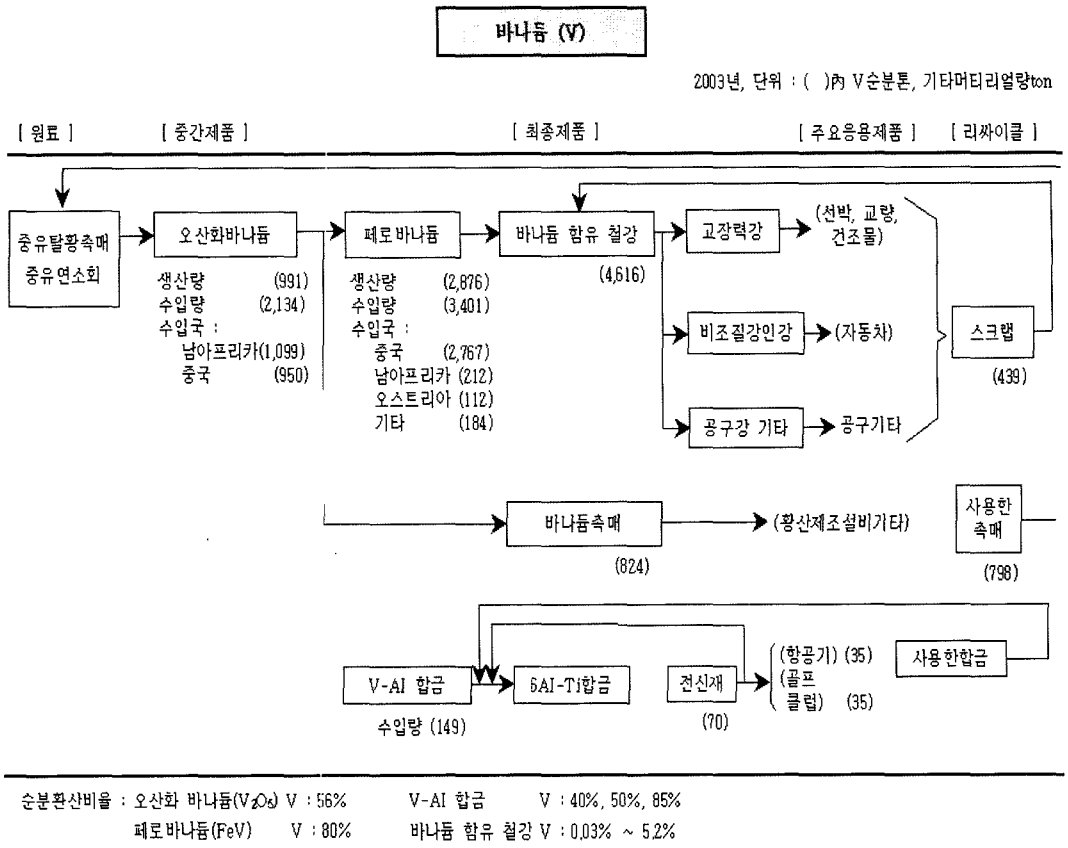

Fig. 3. Material Flow of Vanadium in Japan

를 수입하고 있는 실정이다. 수입된 오산화바나듐은 대부분이 페로바나듐 원료로서 사용된다. 오산화 바나듐으로부터 특수강을 만들때 발생하는 폐스크랩은 자가 리싸이클되고 있다. Fig. 4는 국내의 바나듐 물질흐름을 나타내었다.

3.3. Ni에 관해서

3.3.1. 생산과 수급[12)]

Table 13에 주 광석 생산국과 소비국을 표시하였다.

그리고 세계의 니켈수급은 Table 14와 같으며, 공급에 관해서는 1999년 이후 변함없이 약간 증가 추세에 있다. 한편, 수요에 관해서는 2001년 세계적인 IT거품 붕괴의 영향에 의하여 전년보다 감소하였지만, 그 후 회복하고 있다.

3.3.2. 일본에 있어서 Ni의 material flow와 리싸이클 현황[13)]

Fig. 5에 일본에서의 Ni 물질흐름을 나타내었으며, 리싸이클현황은 Table 15에 요약 정리하였다.

3.3.3. 국내 니켈의 물질 흐름[14)]

니켈의 주 용도는 스테인레스강, 특수강, 도금판, 자성재료, 비철합금, 전지, 촉매 등으로 석유 · 화학 등의 플랜트, 자동차, 산업용기기, 가전, 통신기기, 석유정제 등 다방면으로 사용되고 있다. 니켈의 용도별 수요현황을 살펴보면 페로니켈로부터 스테인레스강에 약 80~90%, 특수강에 10~20%, 기타 주물, 전기도금에 소비되고 있는 것으로 추정된다. 니켈은 대부분 스테인레스 스틸 제조시 합금원소로 사용되고 그 외에 화학 플랜트 탱크 용기 등으로 사용되기 때문에 니켈 덩어리로서의 스크랩 발생은 별로 없는 데다 아직 국내에서 니켈만을 재생하는 업체가 없기 때문에 재활용 통계를 추정하기는 어렵다. 다만 2004년도 니켈 스크랩 수입은 444톤, 수출은 8,149톤으로 금속으로서의 재활용은 없

Table 12. Recycling Status of Vanadium in Japan

주요 응용 제품	이용 형태	사용후의 존재 형태;량		리싸이클 형태			리싸이클 현상평가 (A-G) (주③)	비고 (주④)
		형태	량 (주①)	리싸이클 실태	리싸이클의 싸이클 (주②)	리싸이클율		
교량, 선박, 건조물, 자동차, 공구 등	고장력강, 비조질강, 공구강, 내열강	철설 스텐레스설	439	리싸이클 없음	수년 - 수십년	0%	B	
항공기	6Al-4V-Ti합금 등	Ti 합금설		전문업자에 의하여 대부분 리싸이클	수년 - 수십년	80% 이상		성분별 보관이 추진되고 있음
골프클럽 등	동상(同上)	동상 (同上)		리싸이클 없음	(수년)	0%	A	
황산제조용 촉매	K_2O-V_2O_5 규조토	사용한 촉매	798	촉매 교체업자에 의하여 리싸이클	10-20년	80%		
배가스탈초 용촉매	V_2O_5, WO_3, TiO_2 혼성의 허니컴형	사용한 촉매			10년이상	0%	G	내구성이 있고 교환 수명이 길음
직접 탈황사용 전 촉매	MoO_3-NiO-CaO-Al_2O_3	사용한 촉매	바나듐 환산	발생원 - 재생업자	수개월 - 2년	80%		
중유 보일러 스켈		보일러 스켈			수개월 - 1년	80%		바나듐제품의 리싸이클이 아니고 중유중의 바나듐을 리싸이클함
중유 연소회		연소회						

(주) ① 량의 단위 :
( )내 사용량순분ton
기타 머티리얼량ton
② 싸이클 :
( )내는 추정사용년수
기타는 실리싸이클년수

③ 현상평가 :
A. 응용제품이 소모품임
B. 첨가제로서 사용되고 있음
C. 리싸이클의 유통시스템이 없음
D. 효과적인 리싸이클기술이 없음
E. 경제성이 없음
F. 수요개발이 충분치 않음
G. 기타

④ 리싸이클의 bottle neck와 해결의 난이도. 독성, 보관의 위험성 유무 등

Table 13. Production and Consumption of Nickel in the World

광석생산국	러시아	23%
	호주	17%
	캐나다	13%
	인도네시아	9%
	뉴칼레도니아	8%
	상위 5개국 합계	70%
소비국	일본	16%
	미국	10%
	독일	10%
	중국	8%
	대만	8%
	상위 5개국	52%

(출전 : WMS, INSG 자료)

는 것으로 추정된다. 스테인레스강 및 특수강을 제조할 때 발생하는 스크랩은 자가 리싸이클링하고 있는 것으로 알려져 있다. Fig. 6은 니켈의 국내 물질흐름에 대하여 나타내었다. 다음 글은 포스코신문(2006. 1. 19.)에 게재된 포스코의 니켈광산 제련회사 설립에 관한 기사이다. 참고로 전재한다.

3.4. V, Mo의 회수기술[15)]

석유탈황 폐촉매로부터 Mo, V 및 Ni의 회수는 배소와 침출에 의한 습식프로세스가 일반적이다. 미국 AMAX Co., 일본의 타이요광공(太陽鑛工), 그리고 대만의 福誼(Full Yield)가 그렇다.

먼저 폐촉매를 소다회(Na_2CO_3)와 혼합 후 배소하고 물 침출을 행한다. 이때 Ni, Co, Al등은 잔사쪽으로,

니켈광산 · 제련법인 설립
뉴칼레도니아 SMSP 와 합작 투자, 니켈 안정 확보
포스코는 12일 포스코센터에서 열린 이사회에서 스테인리스 주원료인 니켈의 안정적 · 경제적 확보를 위해 뉴칼레도니아(New Caledonia)의 최대 니켈 광석 수출 회사인 '니켈광산회사'를, 한국에는 광양에 '니켈제련회사'를 각각 설립하기로 의결했다. 이에 따라 포스코와 SMSP는 오는 4월 합작법인을 설립하고 2007년 5월 광양제철소 동호안 매립지에 니켈제련공장을 착공해 2008년 12월 준공할 계획이다. 합작기간은 30년으로 SMSP는 광권을 출자하고 포스코는 니켈제련공장 건설비용 3억 5200만달러를 출자하여, 법인별로 각각 포스코가 49%, SMSP가 51%의 지분을 갖는다. 뉴칼레도니아는 니켈의 보고로 알려진 프랑스령 섬으로 호주 북동부에서 약 2000 km 떨어진 남태평양에 위치해 있다. 면적은 남한의 2분의 1 수준이며 인구는 21만 6000명이다. 포스코는 뉴칼레도니아의 니켈광산 합작법인에서 채굴한 니켈을 선박으로 수송해와 광양에 건설하는 니켈제련공장 합작법인에서 페로니켈 제품을 연간 3만톤 생산할 계획이다. 법인운영은 양사의 전문성을 고려해 니켈제련공장 합작법인은 포스코가, 니켈광산 합작법인은 SMSP가 담당하기로 하고 상호 법인 운영에 협력키로 했다.

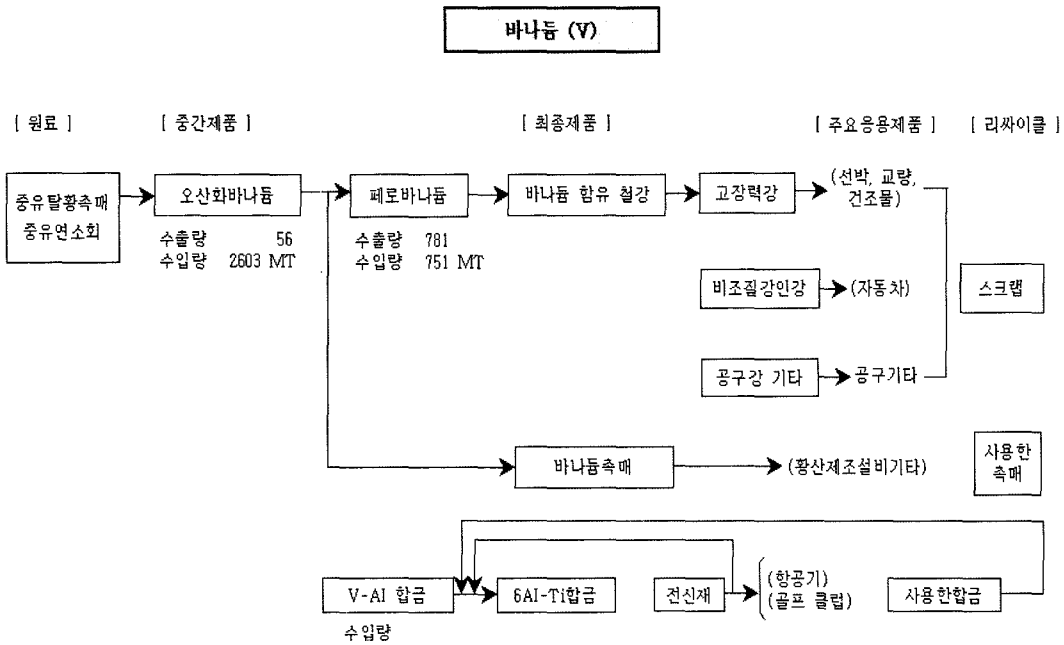

Fig. 4. Material Flow of Vanadium in Korea

Table 14. Supply and Demand of Nickel in the World (단위 : 순분천톤)

니켈	2003	2004	2005(예측)	03/04 증가율(%)	04/05 증가율(%)
광석생산량	1,266 5	1,296.9	1,377.6	2.4	6.2
일차지금생산량	1,192.3	1,254.3	1,309.9	5.2	4.4
소비량	1,220.1	1,252.4	1,304.2	2.6	4.1
비축방출	0.0	0.0	1.6		
지금수급밸런스	-27.8	1.9	6.3		

(출전 : 국제니켈연구회통계)

Mo 및 V는 용액 속에 남는다. 이 용액에 염화암모늄(NH_4Cl)을 첨가하여 V를 NH_4VO_3로 침전시킨 후 원심분리기로 탈수, 그리고 침전물을 하소해서 오산화바나듐(V_2O_5) 제품을 얻는다.

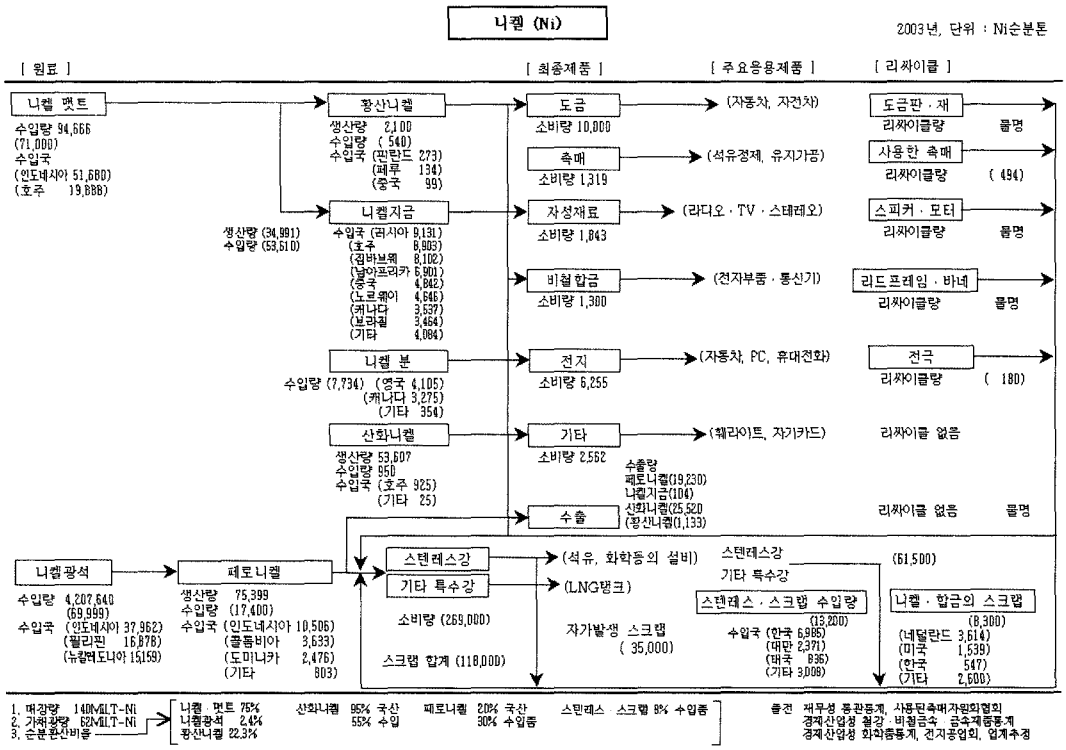

Fig. 5. Material Flow of Nickel in Japan

Table 15. Recycling Status of Nickel in Japan

주요 응용제품	이용형태	사용후의 존재형태·량		리싸이클형태			리싸이클 현상평가 (A-G) (주③)	비고 (주④)
		형태	량 (주①)	리싸이클 실태	리싸이클의 싸이클 (주②)	리싸이클율		
알카리 전지	Ni-MH, Ni-Cd	전극	(180)	리싸이클 업자	3년	70		
스텐레스강	니켈계 판 · 조 함유량 9%	판 · 조	(118,000)	리싸이클 업자	11년	40	D	
기타 특수강	니켈계 판 · 조 함유량 50%	판 · 조		리싸이클 업자	8년	40	D	

(주) ① 량의 단위 :
( )내 사용량순분ton
기타 머티리얼량ton
② 싸이클 :
( )내는 추정내용년수
기타는 실 리싸이클년수

③ 현상평가 :
A. 응용제품이 소모품임
B. 첨가제로서 사용되고 있음
C. 리싸이클의 유통시스템이 없음
D. 효과적인 리싸이클기술이 없음
E. 경제성이 없음
F. 수요개발이 충분치 않음
G. 기타

④ 리싸이클의 bottle neck, 해결의 난이도. 독성, 보관의 위험성 유무 등

한편 용액 중의 Mo는 용액을 증발 그리고 씨드를 첨가하여 몰리브데늄산(H_2MoO_4)으로 침전 하소하여 삼산화몰리브데늄(MoO_3) 얻는다. 염화칼슘($CaCl_2$)을 첨가하여 칼슘염으로 침전 회수할 수도 있다.

필자는 대만의 福誼化學工業有限公司를 방문한 바 있으며, 그 당시 이 회사의 석유탈황폐촉매 처리공정도를

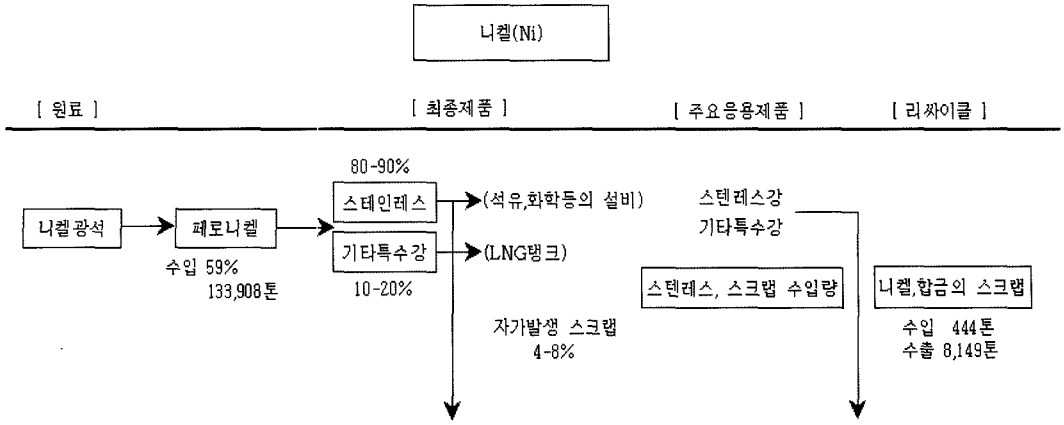

Fig. 6. Material flow of Nickel in Korea

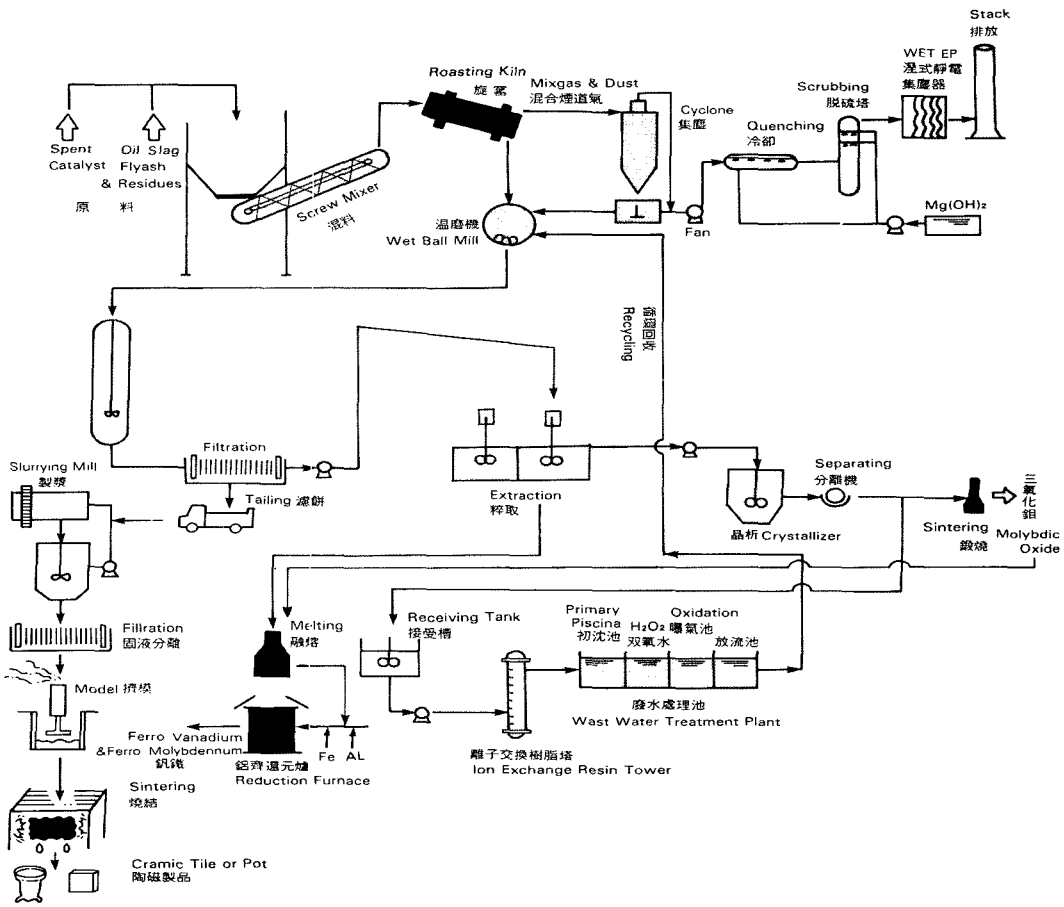

Fig. 7. Flow Diagram on Processing of the Desulfurizing Spent Catalyst in Full Yield Industry Co., LTD. Taiwan

Fig. 7에 도시한다.

우리나라의 경우는 후술하는 바와 같이 3개회사가 상기와 같은 방법으로 처리하는 공장이 건설 중에 있다. 그리고 이와는 별도로 중국과 칠레에서 MoO_3와 V_2O_5

Table 16. Recycling Activities in Recytech Korea

리싸이클 종류	방법	처리량
Computers	Crush (refining) Repair, Refurbish	20,000ea/M → Expansible to more than 40,000ea/M (15%)
Monitors (CRT)	Crush (refining) Repair, Refurbish	20,000ea/M → Expansible to more than 40,000ea/M (15%)
Mobile phones	Crush (refining) Repair, Refurbish	40,000,000ea/Y (5%) * Refurbish : 100,000ea/M (9$×100,000ea=$900,000)
Batteries	Smelting	40,000,000ea/Y (1,200 Tons)
Communication/ Network equipment	Crush (refining) Repair, Refurbish	50T/M (10%)
PCB	Crush (refining)	300T/M (75%)
LCD/PDP	R & D	Glass, Back light, Re-use for LCD Indium recovery for PDP

*( )은 2005년도 실적

를 수입해서 밀스케일과 혼합 알루미노써밑 환원법으로 페로알로이(FeV, FeMo)를 제조하고 있는 몇 회사가 있다. 필자는 2006년 8월 9일 (주)삼선로직스(김포시 대곶면 율생리 산 72-3, Tel 031-997-0955)를 방문한 바 있으며, 이 회사는 FeMo와 FeV를 제조해서 포스코와 창원특수강등에 6,000톤/년을 납품하고 있었다.

4. 전기 · 전자기기 리싸이클링 현장 탐방

필자는 2006년 상반기 3개 리싸이클링업체를 방문하여 리싸이클현황을 점검하였다.

4.1. 리싸이텍코리아 (Recytech Korea)

(주)리싸이텍코리아의 리싸이클종류, 방법 및 처리량 개황을 Table 16에 표시하였다.

4.2. 리컴 (주)

- 종업원 : 12명(2명 외국인)
- PCB : LS-Nikko에 100톤/월 납품, 2004년도 2,000 천톤 납품실적
- PCB의 품위 : Cu 18~20%, Au 100~150g/t, 기타 - Ag, Pd, Pt
- 원료확보방법 : 매입 50%, 입찰 50%
- 특수금속 : W, Co, Ti, Mo 수집 개시
- 폐기물 : 선진국에서 수입계획
- PCB 습식 : 경제성 없음
- EPR → 업체난립 → 가격입찰유도 → 휴대전화 4 배로 앙등, 보증금 1억 예치
- PCB 분쇄칩, 반도체칩, WC가 주 영업
- 슈레더(100마력 독일제) 우수

4.3. (주) 나래리싸이클센터

- 종업원 : 80명
- PCB → Recytech에 납품
- 처리규모 : 냉장고 540천대/년, 세탁기 150천대/년, TV/모니터 250천대/년
- 에어컨 해체(세관에서 의탁)
- TV유리 → recycle
- 가전제품 → 모두 해체, re-use가 아쉬움

5. 맺는말

5.1. 전기로 제강 분진 (EAF Dust)으로부터 아연금속 회수

우리나라에는 전기로 제강업체로부터 년 2천만톤 이상의 철강을 생산하고 있으며, 이때 전기로에서 고철 용해 시 분진이 발생한다. 평균 철강 톤당 약 15 kg의 분진이 발생하며, 우리나라 전기로 제강업체 전체로부터 년간 35만톤의 분진이 발생하고 있다. 이 분진 중에는 아연이 평균 20% 정도 함유되어 있으나, 매립 혹은 아스콘필라로 활용하고 있다. 더욱 안타까운 것은 아연 회수는 고사하고, 분진 중에 4.0%대의 납과, 미량 혹은 소량이지만 카드뮴(Cd), 크롬(Cr) 등의 유독 중금속도 함유되고 있다. 지하수와 토양을 오염시킨다는 것은 두

말할 것 없고 후세에 미치는 영향이 매우 두렵다. 그럼에도 불구하고 제강업계는 현재의 시스템을 고집하고, 분진의 리싸이클링에 대해서 소극적이다. 그것은 법·제도가 현재의 시스템을 허용하고 있고, 매립비 혹은 아스콘필라로의 처리비가 너무 염가인 탓도 있다.

이러한 환경에서도 외국기업 혹은 국내기업에서 이 분진의 리싸이클링을 추진하고 있다. 특히 고려아연(주)이 개발한 TSL(Top Submerged Lance)프로세스[16]는 새로운 EAF 더스트 처리방법으로 주목된다. 다행히 근년 금속시세가 세계적으로 급등하여, 이제 EAF 더스트에서 아연 회수만으로 리싸이클 플랜트가 운영될 수 있는 시점에 도래한 것 같다. 따라서 현 시스템 하에서도 EAF 더스트로부터 아연금속의 회수가 실현될 것으로 전망된다.

5.2. 석유탈황폐촉매로부터 Mo, V, Ni 등의 회수

석유탈황 폐촉매로부터 Mo, V, Ni 등의 금속을 회수하려고 처음으로 시도한 업체는 2002년 (주)TMC였으나 자금 사정상 애석하게도 중단하게 되었다. 그동안 금속값이 몇십배 몇백배로 폭등함에 따라 현재 3개 회사 (주)유니온, (주)다우엠(TMC의 후신) 그리고 (주)EG가 울산과 포항 등지에 리싸이클링공장을 건설중이며, 금년중에는 제품이 생산될 전망이다.

후 기

본 연구조사는 에너지관리공단의 재정적 지원으로 이루어졌으며, 지원해주신 에너지관리공단에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 오재현, 2003 : 제강(E.A.F.)더스트 리싸이클링에 있어서 臺灣과 韓國, 資源리싸이클링, 12(1), pp. 11-17
2. 資源리싸이클링, 1992-2004 : (사)한국자원리싸이클링 학회지, Vol.1 - Vol.14
3. 오종기 외, 1998 : 도금산업슬러지의 리싸이클링기술현황 및 전망, 슬러지리싸이클링 기술현황 및 전망 특별심포지엄, pp. 60-69.
4. 오재현, 2004 : 우리나라 重金屬 함유 汚泥의 發生과 處理, 資源리싸이클링, 13(5), pp. 3-16.
5. 한국전자산업환경협회, 2005 : e리싸이클링, 14(14), p. 9.
6. (獨)石油天然ガス・金屬鑛物資源機構, 2005 : メタルマイニングデータブツク 2004, p. 218.
7. (獨)石油天然ガス・金屬鑛物資源機構, 2005 : 鑛物資源マテリアル・フロー 2004, pp. 63-64.
8. 산업자원부, 2006 : 금속광물 자원의 Material Flow 정립 및 전략적 자원 회수 방안 연구, p. 222.
9. ibid 6) p. 222.
10. ibid 7) pp. 67-68.
11. ibid 8) p. 163.
12. ibid 6) p. 198.
13. ibid 7) pp. 41-42.
14. ibid 8) p. 245.
15. 臺灣, 福誼化學工業有限公司(Full Yield Industry Co., Ltd.), 2001 : 홍보 및 참고자료에 의함.
16. 문남일, 이용학, 김명배, 강탁, 백영현, 2005 : EAF Dust 중 유가금속 회수공정의 현황과 발전방향, (사)대한금속·재료학회, 재료마당, 18(5), pp. 54-65.

吳 在 賢

• 현재 연세대학교 명예교수, 한국자원리싸이클링학회 명예회장
• 당 학회지 제10권 5호 참조

金 美 星

• 현재 에너지관리공단 기술개발기획실 부장

申 熙 德

• 현재 한국과학기술정보연구원 전문연구위원
• 당 학회지 제12권 3호 참조

閔 芝 源

• 현재 한국자원리싸이클링학회 과장