韓國의 都市鑛山(사용후제품) 資源과 金屬再資源化[†]

‡吳在賢 · 金俊秀* · 文碩敏** · 閔芝源***

延世大學校 名譽教授, *韓國地質資源研究院, **ACN, ***韓國資源리싸이클링學會

Urban Mine Resources and Metal Recycling in Korea[†]

‡Jae-Hyun Oh, Joon-Soo Kim*, Suk-Min Moon** and Ji-Won Min***

Professor Emeritus of Yonsei University,

**Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, **ACN,*

****The Korean Institute of Resources Recycling*

요 약

우리나라의 도시광산 재자원화실태와 전망을 파악하기 위하여 금속소비량을 산출하였다. 연간 금속소비량으로부터 금속 축적량을 추정할 수 있고, 도시광산자원을 전망할 수 있다. 금속소비량을 산출함에 있어 다양한 자료 즉 비철협회, 철강협회, 관세청 HS 코드, 연구용역 보고서, 학술회의자료 및 생산회사 탐문자료 등을 인용하였다. 도시광산개발의 요건(key point)을 설명하기 위하여 T.E.Graedel에 의해서 작성된 표(Principle Uses and Recycling Potential of Metals in the Periodic Table)를 인용하였다.

주제어 : 금속소비량, 금속축적량, 고철리싸이클링, 자동차리싸이클링, E-waste 리싸이클링

Abstract

In order to review the recycling status of urban mine resources in Korea, metal consumption, metal stock reserves and metal scraps and wastes such as iron scrap, end of life vehicles(ELV), E-waste were surveyed. In making up the list of the metal consumption, the statistical data from the Korea Non-Ferrous Association, the Korea Iron and Steel Association, the HS code of Korea Custom Service, the symposium and the related companies were collected. Finally, "Principle uses and recycling potential of metals in the periodic table" by T.E.Graedel was introduced. This paper suggested the key point for development of urban mine resources.

Key words : Recycling, Iron scrap, ELV, E-waste

1. 머리말

자연광산이나 도시광산이나 그 개발에 있어서 가장 중요한 요소는 매장량과 품위이다. 도시광산의 매장량은 금속축적량으로 추정할 수 있고, 금속축적량은 금속 소비량으로부터 추정할 수 있다. 이러한 까닭에 본고에서는 한국의 금속소비량을 탐색하고 산출하는데 정성을 다하였다. 본고에서 제시한 한국의 금속소비량 표는 완

벽한 것은 아니더라도, 40종의 금속소비량 통계표를 처음으로 발표한 점에서, 이 통계표가 여러분에 의해서 수정·보완되어 신뢰성이 두터운 자료가 구축될 것이라는 기대감에서 그 의의를 찾고 싶다. 한편, T.E.Graedel¹⁾에 의해서 작성된 각종 금속의 용도와 재자원화 타당성(recycling potential)을 나타낸 표는 도시광산 개발의 타당성을 검토하는데 많은 것을 시사하고 있다.

본고에서는 이상의 기술(記述) 이외에 한국의 도시광산 재자원화산업, 즉 고철, ELV(End of life vehicle), E-waste(WEEE), 사업장폐기물(석유탈황폐촉매, EAF더스트)에 관해서 약술하였다. 한국의 재자원화산업의 개

[†] 2011년 10월 27일 접수, 2011년 11월 21일 수정

2011년 12월 7일 수리

*E-mail: krrr@krrr.or.kr

관은 후일 한국, 일본 및 대만의 도시광산재자원화산업을 비교 검토함에 있어서 귀중한 자료가 될 것이다.

2. 도시광산개발의 요건(Key point)

자연광산개발에 있어서 중요한 요소는 매장량, 품위, 존재형태 및 금속가격 등을 예거할 수 있다. 도시광산 개발의 조건도 자연광산과 대동소이하다. 매장량은 금속소비량(금속축적량)으로부터 추정할 수 있고 품위는 분석에 의해서 판정할 수 있다. 존재형태에 있어서는 자연광산의 경우 순금속, 산화물, 황화물, 탄산염물 등으로 분류할 수 있고 또 이들이 치밀하게 결합되어 단체 분리가 어려운 형태의 것도 있다. 도시광산의 경우는 순금속, 합금상태(예, 스테인리스), 복잡혼합물(예, 컴퓨터 칩) 및 분산형태(예, 페인트) 등으로 분류할 수 있다. 금속가격은 양자에 미치는 영향이 동일하며 매우 중요한 요소로 작용한다. 자연광산과 도시광산의 중요한 차이점 중 하나는 도시광산의 광석(사용후제품)중에는 유해한 중금속(예, Pb, Cd, Hg, Be 등)이 함유될 수 있다는 점이다. 이런 경우는 시장경제원리와 관계없이 자원으로 회수하든지 또는 무해화처리를 해야 한다. Table 1은 T.E.Graedel¹⁾에 의해서 작성된 각종 금속의 용도와 재자원화타당성(recycling potential)을 나타낸 표이다. 이 Table과 금속가격으로부터 도시광산개발의 타당성(경제성)을 검토할 수 있다.

3. 한국의 금속소비량

한국의 도시광산자원을 논함에 있어 한국의 금속소비량을 파악하는 것은 매우 중요하다. 즉 금속소비량이 축적되어 도시광산자원이 되기 때문이다. Table 2에 한국의 금속소비량을 나타내었다. 현재(2011.8)까지 공공기관에서 금속종이 망라된 금속소비량을 발표한 통계자료는 없는 것으로 알고 있다. Table 2를 작성함에 있어 자료원은 매우 다양하다. 베이스메탈(Al, Cu, Zn, Pb)과 Ni 및 Sn은 한국비철금속협회(1)의 내부자료(2011)²⁾에서 인용하였다. Fe 이외의 6개 금속종(Al, Cu, Zn, Pb, Ni, Sn)은 비철금속협회에서 관리하고 있어 항상 최신자료를 접할 수 있다.

이중 베이스메탈 Fe는 한국철강협회(2)에서 매년 출판하는 “철강통계연보”³⁾에서 역시 최신자료(2011)를 접할 수 있다. 2009년도의 자료는 관세청 HS code⁴⁾ 21, 28, 81류(수입)(3)에서 수록한 것이다. 국내생산이 없는

금속종은 수입량을 소비량으로 간주하였다. 2007년도 자료는 지식경제부 지원으로 한국비철금속협회가 주관한 “산업용 원자재 중장기수급 안정화방안 연구(희유금속을 중심으로)” 연구용역 보고서(4)⁵⁾에서 인용하였다. 그 외 비철금속생산회사(7, 8)⁶⁾ 등을 탐방하여 2011년도 자료(5)를 입수하기도 하였고, 학술대회에서 발표자료(6)로부터 직접 입수(2011년도)하기도 하였다. 가급적 최신자료와, 정확한 자료를 확보하려고 노력하였지만, Table 2가 완벽한 한국의 금속소비량 통계자료로 신뢰하기에는 부족한 점이 있을 것으로 안다. 앞으로 많은 관련자가 이 Table 2의 미숙한 점을 수정 보완하여 자타가 공인하는 도시광산개발에 유익한 금속소비량 통계자료가 되기를 바란다.

Fig. 1은 한국에 있어서 금속소비량의 순위를 나타낸 것이다. 철이 58,912천톤으로 가장 많고, 이트륨이 75 kg으로 가장 적다. Fig. 1은 한국의 금속소비량을 거시적으로 전체상을 파악하기 위해서 그린 것이다.

4. 도시광산 금속 축적량의 추정

전술한 바와 같이 도시광산 개발 즉 재자원화산업에 있어 금속 축적량은 대단히 중요하고, 이 축적량은 금속소비량으로부터 추정할 수 있다. 철강통계연보³⁾에 의하면, 2009년도 철강누계축적량은 522,212천톤으로 되어 있다. 즉 2009년도 철강소비량 47,339천톤의 11배가 된다. 이것이 한국에 있어서 유일한 금속축적량 자료이다.

일본에 있어서 철강축적량⁹⁾은 1,200,000천톤이고, 연간 소비량¹⁰⁾은 120,000천톤이므로 철강축적량은 연간 소비량의 10배가 된다. 즉 일본과 한국은 철강 연간소비량의 10-11배의 철강축적량을 가지고 있다. 이러한 맥락과 시나리오로 한국의 도시광산 금속축적량을 작성하였다. 즉 일본의 각 금속의 도시광산 축적량은 각 금속 연간소비량의 몇 배인가를 산출하여, 이 배수를 한국의 해당금속에 적용시켰다.

Table 3은 일본에 있어서 도시광산 금속축적량(A)이 연간 금속소비량(B)의 몇 배인가를 비교한 대비표이다. Table 4는 Table 3의 대비표를 참고로 작성한 한국의 금속축적량을 추정한 것이다.

T.E.Graedel¹⁾은 “The prospects for Urban Mining”에서 금속축적량은 연간 금속소비량의 약 20배가 된다고 말하고 있다. Table 3에서도 평균 배수가 22로 산출되고 있다. 우연이겠지만 근사한 배수가 나와서 매우 흥미롭다.

Table 1. Principal uses(by percentage of total use) and recycling potential of metals in the periodic table

Metal	Principal Uses [#]	Reference
Li	Batteries(25,b), glasses(18,c), greases(12,d)	SQM,2007
Be	Electronics(60,c), aerospace(20,c), appliances(10,c)	USGS,2010
B	Ceramics(76,c), soaps(5,d), agriculture(4,d)	USGS,2010
Mg	Refractories(40,d), chemicals(37,d), Al alloys(16,b)	USGS,2010*
Al	Transport(28,b), buildings(25,b), electrical(18,a)	IAI,2006
Sc	Al alloys(85?,b), lamps(?,b), electrical(?,c)	USGS,2010
Ti	Pigments(94,d) aerospace(4,b)	USGS,2010
V	Steels(85,b), Ti-Al alloys(10,b), chemicals(5,d)	Perron,2001
Cr	Metal goods(30,b), buildings(25,b), indust. machinery(25,b)	Johnson et al., 2006
Mn	Steel(6,b), Al alloys(1,b)	Nakajima et al., 2008
Fe	construction(45,b), transport(24,b), indust. machinery(20,b)	Wang et al.,2007
Co	Superalloys(49,b), chemicals(27,c), metallurgy(15,b)	USGS,2010
Ni	Stainless steel(68,b), superalloys(11,b), plating(6,b)	Reck et al.,2008
Cu	Buildings(50,a), electronics(21,a), transport(11,a)	USGS,2010
Zn	Galvanizing(55,b), Zn alloys(21,b), brass/bronze(16,b)	USGS,2010
Ga	Electronics(67,c), optoelectronics(31,c)	USGS,2010
Ge	Fiber optics(35,c), infrared optics(30,c), catalysts(15,c)	USGS,2010
As	Wood preservatives(50,d), batteries(?,d), electronics(?,c)	USGS,2007
Se	Glass(25,d), metallurgy(22,b), agriculture(19,d)	Kirk-Othmer,2009
Sr	Pyrotechnics(30,d), magnets(30,b), alloys(10,b)	USGS,2010
Y	Lighting(45,c), flat panel displays(33,c), glass additives(12,c)	Du and Graedel,2011
Zr	Ceramics(54,d), refractories(13,d), metallurgy(13,b)	TZ Minerals Int'l,2007
Nb	Steel(76,b), superalloys(24,b)	USGS,2010
Mo	Steels(50,b), stainless steel(25,b), chemicals(14,d)	IMO,2010
Ru	Electrical(59,c), chemical(20,d), electrochemical(14,c)	Butler,2010
Rh	Autocatalyst(86,a), chemical(8,c), glass(4,c)	Butler,2010
Pd	Autocatalyst(54,a), electrical(17,c), jewelry(12,c)	Butler,2010
Ag	Industrial(57,c), jewelry(20,b), photography(16,a)	Silver Institute,2011
Cd	Batteries(83,b), pigments(8,d), platings(7,b)	USGS,2009
In	Monitors(33,c), TV(24,c), computers(15,c)	Matos et al.,2005
Sn	Electrical(50,b), cans(18,b), chemicals(14,c)	Tin Technology Ltd.,2006
Sb	Flame retardant(40,d), transport(22,b), chemicals(14,c)	USGS,2010
Te	Metallurgy(60,b), chemicals(25,d), electrical(8,c)	Kirk-Othmer,2009
La	Catalysts(30,b), metallurgy(22,b), batteries(14,b)	Du and Graedel,2011
Ce	Autocatalyst(35,b), metallurgy(31,b), glass additives(16,c)	Du and Graedel,2011

Table 1. Continued

Metal	Principal Uses [#]	Reference
Pr	Computers(27,b), audio systems(21,b), wind turbines(12,b)	Du and Graedel,2011
Nd	Computers(29,b), audio systems(22,b), wind turbines(13,b)	Du and Graedel,2011
Sm	Defense applications(70,b), batteries(30,b)	Du and Graedel,2011
Eu	Lighting(50,c), flat panel displays(33,c), plasma(12,c)	Du and Graedel,2011
Gd	Computers(32,b), audio systems(25,b), wind turbines(15,b)	Du and Graedel,2011
Tb	Lighting(27,c), flat panel displays(20,c), computers(15,c)	Du and Graedel,2011
Dy	Computers(33,b), audio systems(26,b), wind turbines(15,b)	Du and Graedel,2011
Ho	Magnetics(100,b)	Du and Graedel,2011
Er	Fiber optics(75?,c), lasers(20,c), optical glass(5?,c)	Du and Graedel,2011
Tm	X-ray(75?c), lasers(20?c), electronics(5?,c)	Du and Graedel,2011
Yb	X-ray(75?c), lasers(20?c), electronics(5?,c)	Du and Graedel,2011
Lu	Electronics(80?,c), medical(20?c)	Du and Graedel,2011
Hf	Superalloys(40?,b), nuclear power(30?,a), electronics(5?,c)	USGS,2009*
Ta	Capacitors(68,c), other electronics(11,c), superalloys(8,b)	Nassar,2010
W	Cutting tools(60), metallurgy(15?,b), superalloys(10?,b)	USGS,2010
Re	Superalloys(77,b), catalysts(15,a), crucibles(8,a)	USGS,2008
Ir	Electrochemicals(25,c), chemical(21,c), electrical(15,c)	Butler,2010
Pt	Autocatalyst(46,a), jewelry(26,a), chemical(5,d)	Butler,2010
Au	Jewelry(72,a), electronics(7,c), dental(2,b)	USGS,2010
Hg	Mining(75?,d), medicine(10?,a), lighting(10?,c)	USGS,2010*
Tl	Medicine(40?,d), radiation detection(30?,c)	USGS,2010*
Pb	Batteries(75,a), pipe and sheet(5,a), cable sheathing(2,a)	Mao et al.,2008
Bi	Metallurgical(45,b), alloys(29,b), chemicals(25,d)	USGS,2010

#(a) Largely existing or readily recoverable in pure form; (b) largely in multicomponent alloy form; (c) largely in complex assemblages; (d) largely dissipative uses.

*Use percentages are estimated in the present work, based on the cited text information.

5. 한국의 도시광산 재자원화산업

5.1. 철의 리사이클링

Table 5³⁾는 최근 5년간의 조강생산량을 나타낸 것이다. 2010년 전로(轉爐)에 의한 생산이 34,111,463톤, 전기로(電氣爐)에 의한 조강생산이 24,800,790톤, 합계 58,912,253톤이다. 전기로 조업원료는 고철이므로 철스크랩의 수입과 수출을 고려하지 않는다면, Table 2에서와 같이 철의 리사이클링률은 $24,800,790/58,912,253 = 42\%$ 가 된다. 한편 철스크랩의 수급은 Table 6³⁾과 같다.

철 스크랩의 소비는 전기로 메이커가 주력이고 일부는 고로 제철 메이커 및 주물 메이커에서 여러 가지

철강제품으로 생산된다. 한국의 전기로 메이커는 (주)포스코, 현대제철(주)를 위시하여, 동국제강(주), 한국철강(주), 대한제강(주), 두산중공업(주), 와이케이스틸, 포스코특수강(주), (주)세아베스틸, 환영철강공업(주), 한국제강(주), 한국특수형강(주) 및 함양제강(주)의 13개 회사가 있다. 이들 회사가 배출하는 제강분진(EAF Dust)이 약 40만톤/년으로 추정되며 이 제강분진에서 아연(평균 20% 함유)의 회수가 추진 중에 있다.

5.2. ELV(사용이 끝난 자동차)의 리사이클링

5.2.1. 한국 ELV리사이클링의 전체상(全體像)¹¹⁾

Fig. 2에 2009년도 한국의 말소(자진)등록차의 처리흐

Table 2. Metal consumption in Korea

(a) 베이스메탈(2010)						
종류	단위	소비량	생산량	수입량	비고	자료출처
Fe	천톤	58,912	58,912		전기로 24,800/58,912 =42.1% 리사이클링률	(2)
Al	천톤	1,318		순괴 986 합금계 332		(1)
Cu	천톤	1,313	전기동 20(고려아연) 전기동 562(LS-니꼬) 동스크랩 350	전기동 332 동스크랩 49	350/1,313=26.6% 리사이클링률	(1)
Zn	천톤	815	734	81	생산능력 : 영풍 300, 고려아연 450	(1)
Pb	천톤	321	전기연 191 재생연 130		130/321=40.5% 리사이클링률	(1)
(b) 독성이 강한 레어메탈(2009)						
Sb	톤	21,000(Sb금속 및 Sb산화물로 추정, 2007)	고려아연 Sb ₂ O ₃ 600톤	6,165(2009)	Sb ₂ O ₃ 수입량 3,420톤(2009)	(3)(4)(5)
Cd	톤	3,000	3,000톤(고려아연)	639(2009)		(3)(5)
As	톤					
Se	톤	400	400톤(LS-Nikko)		세계 최대 생산국	(5)
Hg	톤					
Be	톤	10(2007)		4.0		(4)
(c) 고가이고 역사가 있는 레어메탈(2010)						
Ag	톤	2,009	LS-Nikko 600 고려아연 1,290	89.3	스크랩 30	(5)
Au	톤	105.3	LS-Nikko 50.6 고려아연 2.7	수입 12 수출 35	스크랩 40	(5)
Pt	톤	30(2007)	LS-Nikko 0.36 고려아연 0.002			(4)(5)
(d) 기타 레어메탈						
Si	천톤	금속 400			수요 금속합금 40만톤, 화합물 130만톤	(4)
Cr	톤	455,000	-	1,746(2009)		(3)(4)
Mn	톤	Mn광석 520,000	-	57,683(2009)	MnO ₂ 수입(2009) 6,238톤	(3)(4)
Ni	톤	79,635 (2010) (Ni base)	유틸리티 13,300 FeNi 150,000	Ni 괴 34,014 FeNi 21,014	코리아니켈 32,000, 에너지 6,000, SNNC(FeNi) 150,000 (Ni base 30,000)	(1)(5)
REE	톤	22		22(2009)		(3)
Ti	톤	TiO ₂ 100,000(2006) Ti금속 8,000톤	-	7,439(2009)	TiO ₂ 수입(2009) 8,255톤 Ti 광과 그 정광 수입(2009) 120,466	(3)(4) (6)

- (1) 한국비철금속협회(2011) 내부자료
 (2) 한국철강협회(2011) 철강통계연보
 (3) 관세청(2009) HS code 21,28,81류(수입)

- (4) 연구보고서(2007)
 (5) 생산회사(2011)
 (6) 학회발표자료(2011) 재료마당(2011) Vol.24, No.4, p.104

Table 2. Continued

(d) 기타 레어메탈						
종류	단위	소비량	생산량	수입량	비고	자료출처
Sn	톤	18,068(2010)	삼화비철공업 50톤	18,068		(1)
Sr	톤					
Mo	톤	9,000(2010) (Mo base)	광양합금철 FeMo 4,800톤 삼정피앤에이 FeMo 710톤	988	FeMo 15,000소비(2010) Mo광과 그 정광수입 11,771톤 MoO ₃ 수입(2009) 125톤	(3)(5)
B	톤					
Co	톤	5,700(2007)	고려아연 220톤 (Co cake)Co:40%	1,190(2009)		(3)(4)(5)
Zr	톤	1,700(2007)	-	355(2009)		(4)(3)
W	톤	6,000(2007) (W base)	-	343(2009)	W광과 그 정광수입 406톤 WO ₃ 수입(2009) 2,000톤	(3)(4)
V	톤	11,453(2007)	-	1.0(2009)	산화바나듐 및 수산화바나듐 수입(2009) 2,354톤	(3)(4)
Nb	톤	4,000(2007)	-	7.0(2009)		(3)(4)
Li	톤	19,557		산화리튬(2009) 19,557		(3)
Bi	톤	1,000	고려아연 500톤	500(2009)	LS-Nikko Bi cake 30 Bi > 25%	(3)(5)
In	톤	482(2010)	482 (2010)	57(2009) 378(2007)	2010년 토리컴 100, ICK 120, 고려아연 250, 나인디지트 12 생산	(3)(5)
Ta	톤	110~150 (2011)			금속 70-80톤, Ta target 20-30톤, 업체 자체수입 10-20톤, 합계 약 110-150톤	(5)(6) ⁸⁾
Ga	톤	13	고려아연 7톤 나인디지트 6톤			(5)
Te	톤	1,500(2007)	LS-니꼬 30톤, 고려아연(Te oxide)23톤 생산(2010)			(5)
Ge	톤	44 kg	고려아연 500 kg	44(2009)	산화게르마늄 수입(2009) 7톤	(3)(5)
Pd	kg	2,320	LS-Nikko 2,300 kg 고려아연 20 kg			(5)
Hf	톤					
Mg	톤	27,195	8,840(스크랩)	Mg ingot 9,500 Mg Alloy 6,200 기타 2,655	8,840/(8,840+18,355)= 32.5% 리사이클링률	(6) ⁷⁾
Nd	톤	6,000(2007)				(4)
Ce	kg	19,301(2009)		19,301(2009)		(3)
Eu	kg	504(2009)		504(2009)		(3)
Y	kg	75(2009)		75(2009)		(3)
Sc	kg	757(2009)		757(2009)		(3)

- (1) 한국비철금속협회(2011) 내부자료
 (2) 한국철강협회(2011) 철강통계연보
 (3) 관세청(2009) HS code 21,28,81류(수입)

- 4) 연구보고서(2007)
 (5) 생산회사(2011)
 (6) 학회발표자료(2011)

Fig. 1. The order of the metal consumption in Korea.

Table 3. The comparison with the metal stock reserves(A) to the annual metal consumption(B) in Japan

	단위	A	B	A/B
Fe	천톤	1,200,000	120,000	10
Al	천톤	85,000	4,400	19.3
Cu	천톤	70,000	1,250	56
Cr	천톤	25,000	630	40
Zn	천톤	11,000	650	17
Pb	천톤	8,000	300	26
Ni	천톤	7,000	236	29
Sn	톤	800,000	36,000	22
Re	톤	600,000	40,000	15
Mo	톤	300,000	27,700	1
Li	톤	200,000	3,468	57
V	톤	150,000	6,400	23
Co	톤	150,000	14,500	10
Ag	톤	80,000	4,490	18
W	톤	80,000	9,600	8
Au	톤	8,000	280	28
Ta	톤	7,000	629	1
Pt	톤	5,000	32.5	15
In	톤	2,000	905	2
평균				22

Table 4. The metal stock reserves from the Urban mine in Korea (estimation)

	단위	연간 금속 소비량	배수	추정 금속 축적량
Fe	천톤	58,912	10	589,120
Al	천톤	1,318	19.3	25,437
Cu	천톤	1,313	56	73,528
Cr	천톤	815	17	13,855
Zn	천톤	455	40	18,200
Pb	천톤	321	26	8,346
Ni	천톤	79.635	29	2,309
Sn	톤	18,068	22	397,496
V	톤	11,453	23	263,419
Li	톤	19,557	57	1,114,749
Mo	톤	9,000	11	99,000
W	톤	6,000	8	48,000
Co	톤	5,700	10	57,000
Ag	톤	2,009	18	36,162
In	톤	482	2	964
Ta	톤	150	11	1,650
Au	톤	105	28	2,940
Pt	톤	30	15	450
Re	톤	22	15	330

Table 5. Production of crude steel

(단위 : MT)

	전로			전기로			합계 Total
	특수강 Specialty	보통강 Ordinary	B.O.F.	특수강 Specialty	보통강 Ordinary	E.A.F.	
2010	2,256,309	31,855,154	34,111,463	4,797,107	20,003,683	24,800,790	58,912,253
2009	1,496,333	26,170,583	27,666,916	3,781,895	17,123,463	20,905,358	48,572,274
2008	2,680,193	27,546,375	30,226,568	4,709,120	18,689,242	23,398,362	53,624,930
2007	2,877,992	24,682,962	27,560,954	4,926,825	19,029,530	23,956,355	51,517,309
2006	1,658,061	24,632,946	26,291,007	4,699,675	17,464,772	22,164,447	48,455,454

Table 6. Demand and supply of Fe scrap

(단위 : MT)

년도	내수 (Apparent Consumption)	수출 (Exports)	총수요 (Total Demand)	생산 ¹⁾ (Production)	수입 (Imports)
2010	30,496,786	457,695	30,954,481	22,864,786	8,089,695
2009	27,084,194	479,738	27,563,932	19,763,512	7,800,420
2008	29,089,726	369,491	29,459,217	22,144,620	7,314,597
2007	29,386,338	213,177	29,599,515	22,715,502	6,884,013
2006	25,836,364	321,698	26,158,062	20,537,900	5,620,162

(주) 1) 생산은 국내구입 및 자가발생 철 스크랩의 합계

를 도시하였다. 2009년도의 말소등록대수는 965천대이다. 이중 264천대(말소등록 차량의 약 27%)가 중고차로서 수출되었으므로 701천대가 해체장에서 폐차되었다. 평균 차량중량이 1,110 kg이므로 2009년도는 701천대 $\times$ 1.11톤 = 778.1천톤의 ELV가 처리된 셈이다.

해체장에서는 여러 가지 액체와 프레온가스를 회수 혹은 제거한 다음 1대당 재사용부품 294 kg과 재활용물질 186.8 kg을 회수한다. 즉 해체단계에서 206천톤의 재사용부품과 131천톤의 재활용물질¹²⁾이 회수된다.

해체가 완료된 차피(616.7 kg)는 슈레더 처리되어 금속류(445.4 kg) 및 ASR(171.3 kg)로 선별된다. 즉 312.2천톤의 재활용물질이 회수되고, ASR은 50%가 매립되며, 50%가 시멘트공장에서 에너지로 회수 된다.

또한, 해체단계 및 슈레딩에서는 자동차 구성성분을 참고로 2009년도의 ELV로부터

- 철 $778.1\text{천톤} \times 73\% = 567\text{천톤}$
 - 알루미늄 $778.1\text{천톤} \times 6.0\% = 46.7\text{천톤}$
 - 구리 $778.1\text{천톤} \times 1.0\% = 7.7\text{천톤}$
- 의 회수가 이론적으로 산출된다.

ELV 리사이클링률의 산출은 매립처분량으로부터 계산 즉, 95%의 리사이클링률의 달성은 매립 처분량을 5% 이내로 한다는 것과 같은 의미로 해석해도 좋다는

견해도 있다. 이 해석의 조건은 ASR 이외의 ELV 구성물질은 100% 재사용 또는 재활용하고 있다고 가정한 것이다. 현 해체시스템에서 이 가정이 수긍되는 것도 사실이다. 한편, 자동차용으로 사용되는 원재료의 추이¹³⁾로부터 철강재 73.0%, 비철금속 7.8%, 합계 80.8%가 회수되고, 고무(타이어) 4.5%, 유리 1.0%(도어유리 두 쪽), 액류 1.0% 및 범퍼회수 등을 고려할 때 Reuse + Recycle 이 85%가 초과할 것이 분명하다. 2009년말 현재 444개의 ELV해체업체와 2010년말 현재 12개의 슈레딩업체가 한국의 자동차리사이클링산업을 담당하고 있다.

5.2.2. 중고차 수출

Table 7은 중고차 수출 일람표이다. 수출대수, 수출금액, 1대당 수출금액, 수출국가수 및 1,000대 이상 수출한 국가수를 표시하였다. 2009년도의 중고차 전체의 수출금액은 13억 6천만불을 넘어서고, 2003년도의 약 3배가 되고 1대당 수출금액도 2.4배가 되었다. 수출국가수도 증가추세에 있다.

5.2.3. 자동차리사이클링의 경제적 가치

Fig. 2에서 자동차 폐차처리 시 논술한 바와 같이 철 567천톤, 알루미늄 46.7천톤, 구리 7.7천톤의 발생이 추

Table 7. The overview of used cars exported in Korea

구분 \ 년도	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
수출대수	217,066	312,181	199,333	202,452	217,559	267,559	264,742
수출금액(천불)	465,870	767,680	735,230	707,530	773,242	1,175,265	1,362,047
1대당 수출금액(\$)	2,146	2,459	3,688	3,495	3,562	4,392	5,145
수출국가수	-	-	-	-	126	132	145
1,000대이상 수출국가수	-	-	-	-	24	25	26

주 : 관세청자료를 인용해서 필자가 작성

* 본 그림은 국토해양부, 관세청, 한국자동차해체재활용협회 및 LG환경연구원¹²⁾의 자료와 시멘트업계의 의견*을 참고로 필자가 작성하였음.

Fig. 2. The overview of processing flow and recycling rate of ELV in Korea(2009).

정된다. 이들의 경제적 가치(2011년 7월의 LME가격 및 환율 1,060원 적용)는

- 철 $567\text{천톤} \times 500\text{천원/톤} = 2,835\text{억원}$
- 알루미늄 $46.7\text{천톤} \times 2,706\text{천원/톤} = 1,264\text{억원}$
- 구리 $7.7\text{천톤} \times 10,615\text{천원/톤} = 817\text{억원}$,
합계 4,916억원으로 추산된다.

그리고 해체시 철의 경제적가치와 동등한 금액의 재사용부품을 회수 판매한다고 가정하면, ELV의 해체·슈레딩에서 7,751억원의 매출고를 추정할 수 있다. 한편, Table 7에 의하면 2009년도 중고차 수출금액은 1,362,047천불(1조 4,438억원)이다. 위의 양자를 합하면

ELV리사이클링시 발생하는 총 경제적 가치는 연간 약 2조 2천억원으로 추산된다.

5.3. E-waste의 리사이클링¹⁴⁾

Fig. 3은 2009년도 E-waste(법정) 물질흐름을 도시한 것이다. Fig. 3에 의해서 다음 사항들을 알 수 있다.

① 생산자에 의한 E-waste 재활용량(63,627톤+51,974톤)은 115,601톤으로, 소비자 배출량의 25.9%에 해당된다. 즉 생산자는 배출량의 25.9%만을 재활용하고 있고 생산자재활용책임제도 안에서 운영됨을 알 수 있다.

② 제품 소매시 무료로 회수된 E-waste는 82.6%만이 R/C(생산자리사이클링센터) 및 계약리사이클링업자에게

Fig. 3. Material flow of the E-waste(2009).

공급되고 17.4%(24,363톤)는 위탁리사이클링과 중고품 수출업자에게도 공급되고 있다.

③ 소비자가 배출한 E-waste는 지자체에서 유료로 회수된 E-waste량이 가장 많고(38.8%), R/C, 위탁리사이클링업자 및 중고품수출업자에게 공급량으로 이어진다.

④ E-waste의 눈에 보이는 투명한 흐름은 25.9%에 불과하고, 74.1%가 통계가 집계되지 않는 흐름에 의해 유통되고 있다. 특히 지자체 이후의 흐름이 불명료하다. 다만 중고컴퓨터 6,243톤이 수출된 것으로 확인되고 (Table 9), 2006년 기준으로 휴대전화 수거량의 37.9%가 수출된 것으로 추정¹⁵⁾하고 있다.

Table 8은 법정 E-waste의 품목별 출고량, 재활용 의무량 및 실적량을 나타낸 것이다. 법정 10개 품목의 총 재활용실적량(2009)은 115,601톤으로 모든 품목에서 의무량을 초과달성하고 있다.

Table 9는 2008년도와 2009년도 E-waste 재료별 재자원화량을 표시한 것이다. 전체 재자원화량(2009년도) 100,733톤 중 고철이 45,511톤으로 45%, 합성수지가 24.7%, 비철이 약 6.5%를 차지하고 있다. 재활용실적량(2009)이 115,601톤이었으므로 약 87%의 물질이 회수되었고, 약 15,000톤의 최종잔재물이 발생했음을 시사하고 있다.

이들 재활용 물질들은 법정 E-waste의 26%에 해당되는 재활용량이고 제도 밖(비 법정)의 E-waste의 재활용량까지 포함한다면 더욱 많은 재활용량을 추산할 수 있다. E-waste의 재자원화산업은 44개의 한국전자산업 환경협회 산하의 협력업체(수집, 분쇄, 선별)와 역시 40여개의 한국도시광산협회 산하 비철제련업체가 담당하

고 있다. 이 도시광산협회 회원 중에는 LS-Nikko동제련(주), 고려아연(주)와 같은 대기업 제련회사도 가입되어 있고 오랫동안 귀금속 추출 제련을 개발한 희성피엠텍(주)와 애강리메텍(주)도 포함되어 있다.

5.4. 사업장폐기물의 리사이클링

5.4.1. 석유탄황 폐촉매¹⁶⁾

석유 정제과정에서 대량으로 발생하고 있는 탈황폐촉매는 유가금속의 함량이 높아 재활용의 대상이 되고 있다. 폐촉매에는 촉매 자체성분 금속(Ni, Mo, Co, W) 외에도 원유에 포함되어 있는 V, Ni 및 Fe 등이 침적되어 상당량의 중금속을 함유하고 있다. Table 10에 직접탈황 및 간접탈황 폐촉매의 평균적인 성분 조성 예를 나타내었다.

국내 정유사들 대부분은 석유 수급 구조의 경질화 및 석유제품의 저유황화 추세에 대처하기 위해 최근 중질유 분해 및 탈황설비를 도입하여 가동 중에 있다. 중질유 경질화의 주공정은 상압잔사유 수소화탈황공정(AR-HDS), 감압잔사유 수소화탈황공정(VR-HDS), 잔사유 유동접촉분해공정(R-FCC), 등·경유 수소화분해공정(VGO-HC) 등이 있다. Table 11에 국내 중질유 경질화 공정에서 발생하는 폐촉매의 양을 연도별로 요약 정리하였다.

우리나라에서는 2005년부터 V, Mo 가격의 폭등에 따라 일부 기업들이 폐촉매에서 V, Mo를 회수하는 사업에 관심을 가지기 시작했다. 2005년에 (주)범아가 중국에서 기술을 도입하여 이 사업을 시작하였으나 다투메탈이 이 공장을 인수하여 조업 중이다. 비슷한 시기에 영신금속도 폐촉매에서 V, Mo를 회수하는 사업을

Table 8. Amount for domestic market of the EEE and amount for due recycling and recycling practice of the WEEE (단위 : 톤)

년도	품목	출고량	의무량	실적량	비고
2008	냉장고	230,795	43,620	53,555	123%
	세탁기	79,760	20,179	22,035	109%
	에어컨	117,706	2,438	2,432	100%
	TV	95,108	13,791	19,538	142%
	컴퓨터	226,789	8,569	10,022	117%
	오디오	16,642	892	1,174	132%
	이동전화단말기	3,154	566	721	127%
	프린터	10,999	1,232	1,232	100%
	복사기	3,806	488	497	102%
	팩시밀리	721	82	111	135%
	합계	785,480	91,857	111,317	121%
2009	냉장고	211,000	43,526	56,777	130%
	세탁기	95,381	24,894	26,046	105%
	에어컨	126,000	2,887	2,887	100%
	TV	73,676	11,788	18,544	157%
	컴퓨터	42,700	4,920	8,312	169%
	오디오	3,974	616	685	111%
	이동전화단말기	3,177	629	629	100%
	프린터	8,255	982	1,181	120%
	복사기	3,179	423	423	100%
	팩시밀리	462	56	117	209%
	합계	567,804	90,721	115,601	127%

시작했으며, 2007년에는 (주)EG와 (주)유니온도 이 사업에 뛰어들었다. 국내에서 조업 중인 폐촉매로부터 유가금속 회수 공정의 개요를 Fig. 4에 나타내었다.

국내 폐촉매 처리업체의 처리능력은 폐촉매의 종류와 상태에 따라 약간씩 차이가 있으나 대략적으로 GS에코메탈(구, 다우메탈) 7,000톤/년, 영신금속 8,000톤/년, (주)EG 9,000톤/년, (주)유니온 11,000톤/년으로 합계 3만5,000톤의 처리능력을 보유하게 되었다. 이는 국내에서 발생하는 폐촉매 16,000톤/년을 상회하는 처리능력으로서 당분간은 국내 기업 간의 경쟁이 치열할 것으로 예상된다.

한편, 금속 함량이 낮은 유동접촉분해촉매(FCC)의 경우 주성분이 상대적으로 저부가가치의 광물인 Al_2O_3 와 SiO_2 로 되어 있어 부가가치를 창출하기 어려워 전량 매립하였으나, 1999년 (주)유니온이 시멘트 제조시 첨가물로 사용하기 시작하면서 재활용이 가능하게 되었으며, 현

재는 각 시멘트 회사에서 이 촉매의 배출량 전체를 재활용하고 있다.

5.4.2. 전기로 제강분진(EAF Dust)¹⁷⁾

전술(철의 리사이클링)한 바와 같이 우리나라에는 전기로 제강법에 의하여 24,800,790톤의 철강을 생산하고 있다(2010년). 이때 제강 톤당 약 15 kg의 분진이 발생(Fig. 5 참조)하므로 약 37만톤/년의 분진이 발생하고 있다. 이 분진 중에는 약 20%의 아연(Table 12)이 함유되어 있고 Pb, Cr, Cl 등의 유해성분이 함유되어 있으나, 현재 매립 및 Ascon의 충전제 등으로 처리되어 있어 매우 안타까운 실정이다.

만일 이 EAF Dust를 일본 혹은 대만과 같이 리사이클링시에는 약 7만톤(1,700억원 상당)의 아연을 매년 회수할 수 있고, 환경오염을 방지할 수 있다. 시기적

Table 9. Amount of the recycling materials from the E-waste

(단위 : 톤)

년도	품목	재자원량							
		재사용 부품	고철	알루미늄	기타 비철	합성수지	유리	기타	합계
2008	냉장고	0	27,046	574	1,951	11,671	478	2,855	44,575
	세탁기	0	9,566	351	1,295	7,011	73	2,221	20,518
	에어컨	0	1,162	46	174	520	34	383	2,320
	TV	0	3,253	9	538	3,339	10,698	1,335	19,171
	컴퓨터	6,953	1,304	18	291	314	330	261	9,472
	오디오	0	398	12	63	349	0	141	963
	이동전화 단말기	0	5	1	210	266	0	196	677
	프린터	0	488	10	55	401	17	50	1,021
	복사기	0	310	1	5	95	9	32	452
	팩시밀리	0	47	0	4	39	0	6	96
	합계	6,953	43,579	1,022	4,586	24,006	11,639	7,480	99,265
2009	냉장고	0	27,775	682	1,928	12,756	501	3,415	47,056
	세탁기	0	11,260	524	1,952	7,339	146	2,289	23,510
	에어컨	0	1,372	86	264	291	6	246	2,265
	TV	0	3,131	33	431	3,232	9,490	1,213	17,531
	컴퓨터	6,243	912	11	225	216	0	85	7,692
	오디오	0	272	12	45	200	0	52	581
	이동전화 단말기	0	11	7	240	267	0	69	593
	프린터	1	511	3	60	457	1	21	1,054
	복사기	0	211	10	6	91	6	19	344
	팩시밀리	0	54	0	3	43	0	4	104
	합계	6,244	45,511	1,368	5,155	24,892	10,151	7,412	100,733

Table 10. Chemical composition of the waste catalyst generated from the desulfurization of petroleum

(단위 : wt%)

종류	Mo	V	Ni	Co	Fe	P	S	Al	수분+유분
직탈 촉매	3~6	0.5~12	2~3	0.5~1	0.5~1	< 0.1	8~12	bal.	5~20
간탈 촉매	6~9	< 0.5	0.5~1	1.5~3	1~2	0.5~3	3~8	bal	3~15

Table 11. Generation of the waste desulfurization catalyst from the petroleum processing

(단위 : 톤)

연도 공정	1993	1995	1996	1997	1998	2001	2002	2004	2007	2008	2009*
VR-HDS	1,300	1,300	1,300	3,500	5,500	5,500	5,500	9,000	9,000	11,000	11,000
AR-HDS	0	0	0	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	7,000
R-FCC	0	2,000	10,000	16,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	28,000

*현재 증설이 완료되어 가동 중인 공정에서 촉매 사용기간을 감안하여 2009년도에 발생한 폐촉매를 계산하였음.

Fig. 4. Processing flow sheet of the waste desulfurization catalyst.

Fig. 5. Generation of the EAF dust from the electric arc furnace.

Table 12. Typical composition of EAFD

Constituent	Content (wt%)
ZnO	13-30 (typically 18 - 26)
Fe	28 - 38
Pb	1 - 6 (usually 1)
CaO	1 - 14 (typically 4)
Mn	4 - 5
Mg	2
Cl	1 - 7
F	1.3 max.
Cd	300 - 500 ppm
Cr	< 0.025

으로 낮은 값은 있으나 다음 두 회사가 현재 EAF dust 리사이클링공장을 건설하였고, 또 건설 중에 있다.

① 한국아연(주)

한국제강(주)가 투자하여 2009년 경남 함안군 칠원면에 10만톤 처리규모의 공장(Fig. 6 참조)을 건설하였으나, 행정상의 어려움으로 현재 안타깝게도 가동대기 중이다. 이 공장의 process flow sheet는 Fig. 7과 같으며 일본의 Sotetsu Metal(曹鐵メタル)의 process와 흡사하다.

함안(咸安) plant의 처리공정은 두 공정으로부터 성립되었으며, 제1공정에서는 No. 1 rotary kiln에 의해서 EAF dust의 환원 휘발 배소를 행하여 제강 더스트 중에 함유되어 있는 아연을 환원한다. 고온이기 때문에 가스상으로 된 아연은 로내에서 산화아연 미립자가 되어 집진장치에 의해서 포집된다. 산화아연 더스트 중에는 Pb, Cd, Na, K, Cl, F 등이 혼입되어 있기 때문에 조산화아연이라고 한다. 제2의 공정에서는 산화분위기로 유지된 고온의 No. 2 Rotary kiln에 의해서 조산화아연을 처리하고, 혼입된 제 성분을 휘발 분리해서 정제

Fig. 6. The EAF dust recycling plant located at Haman, Gyeongsangnam-do.

Fig. 7. Process flow sheet of the Haman plant.

산화아연으로 만든다. 이 정제 산화아연으로부터 阿座上 竹四 교수가 개발한 철환원회발법(Fig. 8 참조)에 의해서 금속아연을 직접 회수하려고 시도하고 있다.

② ZincOX(주)¹⁸⁾

고려아연(주)가 투자하여 ZincOX(주)와 공동으로 2011년 4월 경주산업단지 내에 10만톤 처리규모의 rotary hearth furnace process에 의한 공장건설이 시작되었다. 2012년 초에는 가동이 기대된다.

6. 맺는말

본고의 주목적은 한국의 금속소비량 제시에 있다. 소비량 통계표 작성에 있어 그 신뢰성에 약간의 불안감도 있다. 금속축적량의 추정은 더욱 불안감을 가중시킨다. 그러나 대담하게도 금속소비량 통계표를 제시하였다. 본고의 다른 목적은 한국의 도시광산 재자원화산업을 개관하는데 있다.

Fig. 8. Flow sheet for EAF dust processing proposed by Prof. Azakami at the Haman plant.

도시광산 재자원화산업의 탐색에 있어서 bottom up 방식으로 또는 top down 방식으로 조사한 것이다. 본 고가 국내 금속소비량 통계를 지속적으로 작성하는데 바탕이 되기를 기대하고, 도시광산 재자원화산업을 파악하는데 도움이 되기를 바란다.

감사의 글

본 연구는 국가청정생산지원센터의 에너지정보화 및 정책지원사업의 일환으로 수행되었으며, 본 연구를 지원해주신 국가청정생산지원센터에 감사드립니다.

참고문헌

1. T.E.Graedel, 2011: The prospects for urban mining, The Bridge, Spring 2011, pp. 43-50.
2. 한국비철금속협회 내부자료, 2011.
3. 한국철강협회, 2011: 철강통계연보 2011
4. 관세청 HS code 내부자료, 2011.
5. 한국비철금속협회, 2008: 산업용 원자재 중장기 수급안정화 방안연구(희유금속을 중심으로) 보고서, 한국비철금속협회.
6. LS-Nikko동제련(주), 고려아연(주), 2011: LS-Nikko copper 및 Korea Zinc 홍보물
7. 박형규, 강민철, 2011: 국내 마그네슘 스크랩 리사이클링 현황, 2011년도 춘계임시총회 및 제36회 학술발표대회 자

8. 우상모, 2011: 탄탈륨사업 추진전략, 비철금속 제조 및 응용 심포지엄 자료집, (사)대한금속-재료학회 비철금속 분과위원회
9. 오재현, 김준수, 문석민, 민지원, 2010: 日本의 都市鑛山(사용후제품) 資源과 金屬再資源化産業, 資源리사이클링, 19(6), pp. 11-26, 한국자원리사이클링학회.
10. ibid 9)
11. 오재현, 김준수 외 2명, 2011: 變革期の 韓國 自動車 리사이클링시스템과 發展課題, 資源리사이클링, 20(2), pp. 16-29, 한국자원리사이클링학회.
12. LG환경연구원, 2006: 자동차 재활용 전략수립 보고서, p.81, LG환경연구원.
13. 日本自動車工業協會, 2002: 日本の自動車工業, p.51, 日本自動車工業協會
14. 오재현, 김준수 외 2명, 2011: 韓國의 E-waste 리사이클링시스템과 再資源化産業, 資源리사이클링, 20(5), pp. 16-33, 한국자원리사이클링학회.
15. 장용철, 강희석 외 6명, 2008: 폐휴대폰의 발생량 산정, 수거 및 유통체계, 한국폐기물학회지, 25(1), pp. 82-89.
16. 이재천, 이진영, 2009: 폐촉매 재활용(일반 금속 폐촉매 재활용), 리사이클링 백서(2009), pp. 287-292, 한국자원리사이클링학회, 자원재활용기술개발사업단.
17. 윤재홍, 2009: 한국아연(주)의 전기로 제강분진 자원화설비 현황 및 운전, 제철(제강분진 자원화 국제심포지엄 자료집), pp. 109-122, 한국자원리사이클링학회.
18. 고려아연(주) 내부자료

吳 在 賢

- 현재 연세대학교 명예교수
- 현재 한국자원리사이클링학회 명예회장
- 당 학회 제 10권 2호 참조

金 俊 秀

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
- 당 학회 제 17권 2호 참조

文 碩 敏

- 현재 ACN 기술이사

閔 芝 源

- 현재 한국자원리사이클링학회 실장

감동의 여로 오재현 지음

도서출판 행길

2011년 9월 27일 출간

152*224 | 320쪽 | 15,000원

분류 : 국내도서>기행·에세이>해외여행기행

주제어 : 여행, 기행문, 우루무치, 키웨스트, 바이칼, 슬로베니아, 크로아티아, 장사, 대리

담당자: 정경아 편집장

전화: 070-7530-3128

팩스: 02-6442-2515

이메일: roadgraphy@gmail.com

여든이 훌쩍 넘은 나이에든 스무살 청년의 꿈을 갖고 있는
오재현 교수의 담백한 여행 이야기.

그는 여행 목적지가 정해지면 먼저 지도를 펴놓고 지상 답사를 하며 현지를 그려보고 관련서적을 구매해서 읽는다. 그리고 현지로 떠난다. 현지에서는 가급적 많은 것을 보고 많은 것을 확인하느라 분주해진다. 여행에 돌아와서는 사진을 정리하고 기행문을 쓴다. 기행문을 씌우면서 여행의 내용이 충실히 정리되고 역사적 배경과 현실의 근본을 추구하다보면 한층 수준 높은 여행으로 마무리된다. 아름다운 감동과 더불어 슬픈 감동 또한 마음의 재산이 된다. 이러한 벅찬 감동을 기억으로만 남기기가 너무 애석해 오래오래 간직하고자 책으로 만들었다.

50년 넘게 연을 맺고 있는 대학 동창들과의 여행, 곁에서 함께 나이 먹어 가는 부인 손을 잡고 떠나는 여행, 학회와 세미나 일정을 마치고 잠깐 동안의 여행, 3대가 함께 떠나는 여행, 소년시절의 추억을 더듬어 가는 여행, 최근 허락된 곳을 향하는 설렘의 여행 등 다양한 이야기가 있다.