

희소금속 재활용을 위한 ITU-T 국제표준 개발현황

이미혜^a · 최원정^a · 서석준^a · 김범성^{a,b,*}

^a한국생산기술연구원 한국희소금속산업기술센터

^b과학기술연합대학원 희소소재 및 반도체 패키징 공학

Status of ITU-T International Standard Development on Rare Metal Recycling

Mi Hye Lee^a, Won Jung Choi^a, Seok-Jun Seo^a, and Bum Sung Kim^{a,b,*}

^aKorea Institute for Rare Metals, Korea Institute of Industrial Technology, 9F Get Pearl Tower,
12 Gaetbeol-ro, Yeonsoo-gu, Incheon 21999, Korea

^bCritical Materials and Semiconductor Packaging Engineering, University of Science and Technology,
217 Gajeong-ro, Daejeon 34113, Korea

(Received July 18, 2016; Revised August 8, 2016; Accepted August 11, 2016)

Abstract Owing to increasing demand of rare metals present in ICT products, it is necessary to promote the rare metal recycling industry from an environmental viewpoint and to prevent climate change. Despite the fact that information for toxic substances is partly indicated, a legal basis and an international standard indicating usage of rare metals is insufficient. In order to address this issue, a newly created study group of environment and climate change at the ITU (International Telecommunication Union) is doing research to develop methodologies for recycling rare metals from ICT products in an eco-friendly way. Under this group, the Republic of Korea has established two international standards related to rare metals present in ICT products. The first is 'Release of rare metal information for ICT products (ITU-T L.1100)' and the other is 'Quantitative and qualitative analysis methods for rare metals (ITU-T L.1101)'. A new proposal for recommending the provision of rare metal information through a label by manufacturers and consumer/recycling businesses has been approved recently and is supposed to be published later in 2016. Moreover, these recommendations are also being extended to IEC, ISO and other standardization organizations and a strategy to reinforce the ability for domestic standardization is being established in accordance with industrial requirements. This will promote efficient recycling of rare metals from ICT products and will help improve the domestic supply of rare metals.

Keywords: ICT(Information and Communications Technologies), Rare metals, Recycling, E-waste, ITU-T(International Telecommunications Union Telecommunication)

1. 서 론

희소금속은 전 세계적으로 농축된 고품위의 광석이 적거나 광석으로부터 추출이 어려운 금속, 수요에 비해 매장량이 극히 부족하여 전 세계적으로 공급이 한정되어 있는 금속, 또는 매장 및 생산이 일부 국가에 편중되어 있는 희소성을 가지는 금속원소로서 산업적 수요가 지속적으로 증가하고 있다[1-3]. 희소금속의 안정적 공급은 산업의 경쟁력 강화와 유지를 위해 필수적인 요소로 인식된다. 이에

따라 많은 국가들은 공급불안 해소를 위해 자원개발, 재활용 기술개발, 대체·저감 기술 개발, 수출통제 정책 등의 대응을 하고 있다[4]. 그러나, 희소금속 등 유가금속을 포함하고 있는 제품은 ICT(Information & Communications Technology) 제품 기준으로 매년 1000만대 이상 전자폐기물(e-waste)로 시장에 버려지고 있는 실정이다. 국제기구들은 자원, 환경, 인권적 관점에서 전자폐기물이 미치는 부정적 효과를 줄이고 자원으로 재활용할 수 있는 정책, 제도, 표준 등을 개발하고 있다[5-9]. 대표적으로 유럽연합

*Corresponding Author: Bum Sung Kim, TEL: +82-32-458-5119, FAX: +82-32-458-5120, E-mail: bskim15@kitech.re.kr

(EU)은 WEEE(Waste Electrical & Electronic Equipment, 폐전기전자제품 처리지침) 제도를 통해 생산자에게 재활용을 위한 폐제품 수거 의무를 부여하고 있다[5]. 또한 RoHs(Restriction of the use of Hazardous Substances in electrical and electronic equipment, 전기전자제품 유해물질 사용제한) 지침을 통해 환경에 악영향을 주는 크롬(Cr) 등 6대 유해물질에 대한 사용량 제한을 규정하고 있다[6]. 그러나, 지식경제부(現산업통상자원부)가 2009년 지정한 56개 원소의 희소금속, 미국의 에너지국(Department of Energy)에서 지정한 42개 전략소재(Critical materials) 및 일본과 유럽이 지정한 희소금속 개념의 원소를 효과적으로 재활용하기 위한 제도는 아직까지 국제표준기관을 중심으로 개발 중인 상태이다.

국제표준은 회원국 정부 사이의 협의에 의해 제정되어진 표준이며 세계적으로 사용되는 보편적인 기준으로 합당한 분야를 대상으로 한다. 국제표준을 개발하는 UN(국제연합) 산하 기구는 스위스 제네바에 본부를 두고 있는 ITU(국제전기통신연합, International Telecommunication Union), IEC(국제전기기술위원회, International Electrotechnical Commission) 및 ISO(국제표준화기구, International Organization for Standardization)의 단 세 곳뿐이다. 우리나라에서는 미래창조과학부의 국립전파연구원이 ITU의 표준개발 영역을 담당하고 있고, 산업통상자원부의 국가표준원이 ISO, IEC를 담당하고 있다. 희소금속 재활용 분야의 국제표준 제정에 가장 활발한 활동을 하고 있는 ITU는 자원 확보와 환경오염 문제를 해결하기 위해 필수적인 제품, 기기, 장치에 포함된 희소금속의 정성·정량 정보를 측정, 보급 및 교환하기 위한 국제표준을 우리나라 주도로 2016년 6월 현재 권고안 총 2건을 제정하였고 3번째 표준을 추가 개발할 계획이다[7, 8]. IEC와 ISO는 각각 전자제품과 회

로류 원소를 대상으로 개발을 위한 조직은 구성하였으나, 개발 초기단계로 구체적인 내용에 대해서는 아직 회원국의 합의가 이루어지지 않은 상황이다.

본 본문에서는 우리나라 제안으로 제정된 ITU-T의 희소금속 재활용 관련 권고안을 중심으로 ITU-D, IEC, ISO의 관련 표준개발 현황을 제공하고자 한다. 이를 위해, 이미 제정된 국제표준에 활용된 기초 데이터를 사용하였다. 희소금속 소재의 재자원화를 체계적으로 실현하기 위한 국제표준을 이해하여 우리나라 주력산업인 전기전자, 반도체, 부품, 가전, 자동차, 방송통신 등의 다양한 산업분야에서 필수적으로 적용 가능한 방안에 기여할 것으로 기대한다.

2. 희소금속 관련 국제표준

표 1에 UN산하 국제표준기구의 희소금속 관련 분과, 개발범위 및 국내담당 조직을 기술하였다. ITU는 ITU-T(전기통신표준화부문), ITU-R(전파통신부문), ITU-D(전기통신개발부문)이 있으며 희소금속의 재활용 표준은 ITU-T의 연구반(SG, Study Group) 중에서 환경과 기후변화 연구반(SG5, Environment and climate change)에서 2009년부터 담당하고 있다. ITU-T SG5는 환경 친화적인 방법으로 ICT(정보통신기술)을 사용하고 기후변화에 미치는 ICT 영향을 평가하는 목표를 설정하고 운영되는 연구반이다. 우리나라에서는 미래창조과학부의 국립전파연구원이 한국생산기술연구원(KITECH)과 한국전자통신연구원(ETRI)의 전문가를 활용하여 2012년과 2014년에 각각 ITU-T L.1100(Procedure for recycling rare metals information and communication technology goods)과 ITU-T L.1101(Measurement methods to characterize rare metals in information and communication technology goods)의 제정을 주도하였다[7-9].

Table 1. International Standard Organization relating on Rare Metals

Organization	Study Group (SG)/ Technical Committees (TC)	Scope	Korean Agency
ITU	ITU-T SG5: Environment and climate change	Methodologies for evaluating ICT effects on climate change and publishing guidelines for using ICTs in an eco-friendly way	Ministry of Science, ICT and Future Planning (National Radio Research Agency)
	ITU-D SG2: ICT, Climate Change Adaptation and e-Waste	The impact of human activities on the environment	
IEC	TC 111:Environmental standardization for electrical and electronic products and systems	To prepare the necessary guidelines, basic and horizontal standards, including technical reports, in the environmental area, in close cooperation with product committees of IEC, which remain autonomous in dealing with the environmental aspects relevant to their products	Ministry of Trade, Industry and Energy (Korean Agency for Technology and Standards)
ISO	TC 298 Rare earth	Standardization in the field of rare earth ores, concentrates, metals, alloys, compounds, materials, including the reuse and recycling of waste rare earth products.	

ITU-T 이외의 국제표준기구의 회소금속 관련 활동은 다음과 같다. 먼저, 표 1의 ITU-D에서는 SG2(환경에 대한 인간 활동의 영향)에서 전자폐기물 관리를 통한 기후변화 대응에 관한 연구를 진행하고 있다. 이를 위해 2014년 ITU-D에서는 ‘정보통신/ICT 폐기물의 적절한 폐기 및 재사용을 위한 전략 및 정책(strategies and policies for the proper disposal or reuse of telecommunications/ICT waste material)’ 보고서를 발표하였다[10]. 이에 따라 우리나라는 정보통신정책연구원을 중심으로 국내 전문가로 구성된 연구반을 가동하고 있다.

표 1의 IEC에서는 기술위원회(TC, Technical Committees) 단위로 신규표준을 개발하고 있다. 규제 물질의 관점에서 국가표준원, 한국전자정보통신산업진흥회, 삼성전자, LG 전자, 전기전자 관련 연구소 및 대학 등이 적극 참여하여 서론에서 언급한 RoHS를 규정을 정의하고 있는 IEC 62321 표준을 개발하였다. 현재는 전기 전자 제품 및 시스템 환경 표준화를 목표로 운영되는 IEC/TC 111가 가장 회소금속과 관련성이 높다. 우리나라는 회소금속의 재활용과 관련된 신규 프로젝트를 IEC/TC 111에 신설할 목표를 설정하고 국내외 전문가들과 협력하고 있다.

중국의 주도로 ISO에서는 2015년 회토류 기술위원회(ISO/TC 298)을 신설하여 재사용 폐기물 회토류 제품의 재활용을 포함한 회토류 광석, 농축물, 금속, 합금, 화합물, 소재의 분야의 표준개발에 착수하였다. 중국은 한국, 일본,

미국, 호주, 인도 등 5개국과 공동으로 전문위원회를 구성하였고, 우리나라에서는 2016년 4월 국내전문위원회를 구성하고 표준개발에 대응하였고, 2016년 9월 중국에서 열릴 예정인 제1회 회의를 개최할 계획이다. 표준 개발의 목표는 규격 통일로 회토류의 수출입 과정에서 개별 기업이 회토류를 조사해야 하는 부담이나 비용을 줄이는 것으로 회토류의 보관 및 운송 방법, 화합물에 포함된 원소의 분석 방법을 포함하고 있다.

3. 회소금속 재활용을 위한 ITU-T 국제표준

3.1. ITU-T 회소금속 표준 로드맵

우리나라는 국가기고서 형태로 2012년 ITU-T 제네바 회의에서 회소금속을 효과적으로 재활용하기 위한 표준 개발 로드맵을 SG5에 제안하였다. 회원국으로부터 국제 표준 개발승인을 받은 로드맵을 요약하여 그림 1에 도시하였다. 생산자(A)가 제조한 ICT 제품은 그림 1의 실선으로 표시된 제품흐름을 따라 소비자(C)에게 판매되고, 제품의 수명이 끝나면 재활용 사업자(D)에 의해 소재로 순환된다. 기본적으로 재활용 사업자(D)는 회소금속의 정성과 정량 정보를 기존의 A-C-D의 경로로 제품과 함께 전달 받을 수 있다. 로드맵에서는 공공성격의 인증기관(B)을 두어 제품이 소비자에게 판매되기 이전에 제품의 인증절차를 두도록 권고하고 있다[7]. 따라서 그림 1의 점선으로 표시

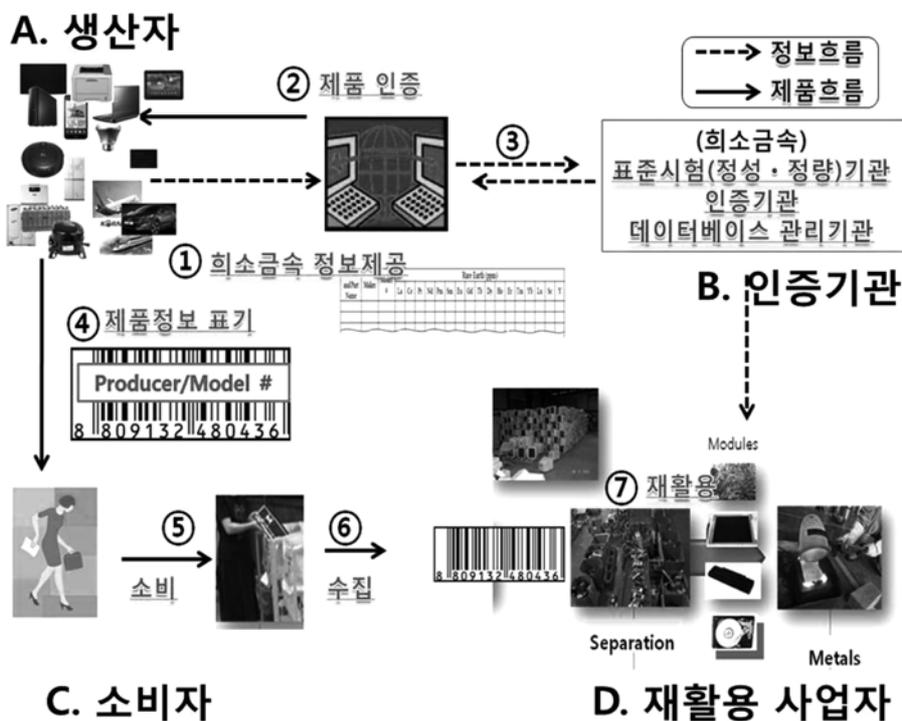


Fig. 1. Road Map for ITU-T Recommendation Development.

된 정보만의 흐름에 의해 A-B-D 경로로 재활용 사업자는 제품이 부분적으로 도달하는 경우에도 정보를 전달 받을 수 있다. 로드맵에 표시된 각 단계는 ① ICT 제품에 사용된 희소금속의 정성·정량 표기 및 평가, ② 제품의 인증, ③ 인증을 위한 정보제공 및 요청, ④ 제품내 정보 부착 ⑤ 소비자의 ICT 제품 사용, ⑥ 폐 ICT 제품의 수거 및 ⑦ 재활용을 의미한다.

로드맵에서는 재활용이 원활하게 이루어질 수 있는 그림 1의 희소금속 재활용 사회구조를 구현하기 위해 요구되는 국제표준을 다음의 5가지로 정의하고 있다. 그림 1의 ①단계에서 ‘희소금속의 정성 및 정량 정보를 제공하기 위한 표준양식’, ‘표준 측정방법에 의한 정성 및 정량 정보 생성’, ④단계에서 ‘제품에 부착할 표준 정보제공 방법’, ‘인증기관(B)이 재활용사업자(D)에게 전달할 표준 정보형식’, ‘각국의 인증기관(B)이 상호 데이터를 교환할 표준의 방법’이 해당된다.

이 중에서 ‘희소금속의 정성 및 정량 정보를 제공하기 위한 표준양식’, ‘표준 측정방법에 의한 정성 및 정량 정보 생성’은 각각 ITU-T L.1100과 ITU-T L.1101에 해당되는 제정된 국제표준이다. 특히, ITU-T L.1100은 ICT 제품에 포함된 희소금속의 정성 및 정량적 정보를 관리할 최초의 국제표준이다. 세 번째 국제표준인 ‘제품에 부착할 표준 정보제공 방법’은 2014년 초안이 우리나라에 의해 제안되어 ITU-T L.rareMetal_Label이란 명칭으로 개발되고 있다. ITU-T L.rareMetal_Label은 2016년 상반기 국제회의에서 제정을 승인받아 하반기에 ITU-T L.1102의 이름으로 제정될 예정이다.

3.2. ITU-T L.1100

ITU-T L.1100은 ICT 제품에 포함되어 있는 희소금속을 재활용하기 위해 제품에 포함되어 있는 희소금속의 정성 및 정량 정보를 제공하기 위한 표준양식을 정의하고 있다. 이를 위해 표준 전체에 대한 서술 목표 및 다루는 범위를 소개하고 있으며, 희소금속 재활용의 필요성 및 중요성, 희소금속 재활용 절차, ICT 기기에 포함된 희소금속 재활용 정보를 제공하기 위한 서식 예제와 방법에 대한 표준을 설명하고 있다. 또한, ICT 제품에 포함되어 있는 희소금속의 원생산, 수집, 재활용 단계의 각각에 대한 내용을 설명하고, 재활용 정보 제공 방법에 대한 예제를 제시함으로써 재활용 사업자가 희소금속 정보를 획득하고 ICT 제품의 분해, 분류 등을 통해 효율적인 희소금속 추출을 가능하게 함을 기술하고 있다.

특히, 우리나라, 일본, 미국 및 유럽이 각각 다른 희소금속의 정의를 사용하는 문제점을 해결하기 위해 4개 국가(지역)가 공통으로 지정한 희소금속만을 대상으로 국제공통 회

Table 2. World Common Rare Metals in ITU-T L.1100

Group	Elements
Alkaline Earth Metal	Li, Ce, Be, Sr, Ba
Metalloid	Ge, Bi, Se, Te
VII Group	Co
Boron Group	B, Ga, In, Tl, Cd
High Fusion Point Group	Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Re
Rare Earth	La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc, Y
Platinum Group	Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt

소금속(world common rare metal)이라는 개념을 도입하였다. 국제 공통 희소금속을 표 2에 도시하였다. 우리나라의 희소금속 분류법을 기본으로 희토류 등 7개의 그룹으로 분류하고 총 49원소가 해당된다. 제정된 표준에 의하면 재활용 사업자가 활용하여 희소금속의 재활용을 촉진할 수 있도록 제조사는 제조사명, 모델, 모델명, 모델 번호, 인증 기관, 인증 번호, 발급 일자 등을 희소금속정보와 함께 제공할 것을 권고하고 있다.

3.3. ITU-T L.1101

ITU-T L.1101은 2012년 제네바 회의에서 우리나라 국가기로서 권고문 초안이 발표되었고 2년간의 심의과정을 통해 2014년 제정되었다. 구체적으로는 희소금속 재활용의 중요성, 재활용 절차 및 재활용 정보를 제공하기 위해 정보통신 제품의 제조사가 제품에 활용된 희소금속의 정성정량을 표시하는 방법을 정의한 ITU-T L.1100을 작성하기 위한 표준 측정법을 정의하고 있다[8]. 희소금속 정성 및 정량 측정방법은 IEC62321에서 사용되고 있는 XRF(X-ray fluorescence)와 ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) 측정 방법을 기본으로 설정하고 개발되었다. 이를 위해 TOF-SIMS(Time-of-flight secondary ion mass spectrometry), XRD(X-ray diffraction), ICP-OES(Inductively coupled plasma optical emission spectrometer), AES(Auger electron spectroscopy) 등의 원소분석 방법들의 장점과 단점을 비교하였다. 또한, 체계적인 재활용을 위해 ICT 제품의 해체, 분리 및 물리·화학적 시편 준비 방법 등을 상세히 기술하고 있다.

본 표준의 측정방법의 신뢰성을 증명하기 위해 실험적으로 얻은 희소금속의 정성 및 정량 측정결과를 표 3에 나타내었다. XRF와 ICP-MS 방법을 이용하여 국내 제조사의 특정 모델 스마트폰(표 3-1)과 노트북 컴퓨터(표 3-2)를 각각 5대를 ITU-T L.1101의 표준법에 의해 분해, 분류, 전처리 및 후처리 과정을 거쳐 측정하여 평균값을 취하는 방법으로 제품에 함유된 희소금속의 정성·정량 분석 결

Table 3-1. Mobile Phone Analysis Results by ITU-T L.1101

Element	Al	Fe	Ni	Cu	Zn	Sn	Ba	Pb	Br	Be	Cr	Mn	Co	Ga	Ge	As
Unit	wt%	mg/kg														
Quantity	2.4	3.2	2.3	38	1.3	3	1.5	0.086	1.2	6	7000	1000	210	140	20	71
Element	Se	Mo	Ru	Rh	Cd	In	Sb	Te	Ce	Ta	W	Bi	Pd	Ag	Pt	Au
Unit	mg/kg															
Quantity	<1	200	11	<5	3	40	400	<1	<10	650	4500	1600	110	650	89	1200

Table 3-2. Note PC Analysis Results by ITU-T L.1101

Element	Al	Fe	Ni	Cu	Zn	Sn	Ba	Pb	Br	Be	Cr	Mn	Co	Ga	Ge	As
Unit	wt%	mg/kg														
Quantity	2.6	4.7	0.84	21	1	2.2	0.7	1.1	3	55	1000	7700	120	10	<10	17
Element	Se	Mo	Ru	Rh	Cd	In	Sb	Te	Ce	Ta	W	Bi	Pd	Ag	Pt	Au
Unit	mg/kg															
Quantity	<1	36	19	<5	2	<10	2500	<1	30	5800	11	100	360	1100	3	940

과 도출하였다. 표 3-1과 표 3-2의 결과는 ITU-T L.1100의 권고양식으로 기록되어 주금속성분과 희소금속 성분으로 분리되어 본 표준에 수록되었다.

3.4. ITU-T L.rareMetal_Label

희소금속 관련 국제표준 제정을 주도해온 ITU-T에서는 2014년 권고문 초안이 제안된 ITU-T L.rareMetal_Label을 2년 동안 논의되고 있다. 2016년 4월 회의에서 우리나라는 국가기고서로 ‘제품에 부착할 표준 정보제공 방법’으로 2차원 코드 중 하나인 QR코드를 제안하였다. 이를 위해 10종의 1차원 코드와 4종의 2차원 코드의 특성을 비교하였다. 또한, ITU-T L.1100의 희소금속 정성정보를 기본으로 ITU-T L.1101의 방법으로 측정된 정량치가 4자리 숫자로 가정하고 모든 국제 공통희소금속의 표기한 예제를 제안하여 최대 4,296개의 숫자와 영문이 인쇄 가능한 QR 코

드의 장점을 필역하였다.

국제표준 제정을 위해 상기의 방법으로 제작된 QR 코드를 그림 2(a)에 도시하였고, QR 코드를 데이터로 변환한 결과를 그림 2(b)에 나타내었다. 사용된 데이터는 ITU-T L.1100에 활용된 PCB (Printed Circuit Board)의 희소금속 분석 결과이다. ITU-T L.rareMetal_Label에서는 입력에 대한 규칙과 QR코드의 제한된 데이터량을 고려하고 있다. 제품의 다양한 정보 중에서 제조사(제 1열), 모델명(제 2열), 모델번호(제 3열) 정보를 정성-정량 정보(제 4열 이하)와 함께 입력하도록 권고하고 있다. 원소정보는 총 8개의 그룹으로 구분하여 아라비아 숫자로 표기하되 각 그룹의 번호는 L.1100에서 정의한 국제 공통 희소금속의 분류표를 따르도록 하고 있다.

또한, 데이터량을 줄이기 위해 정량정보의 단위를 다음과 같이 5종으로 제한하고 특정기호를 표기하도록 권고하

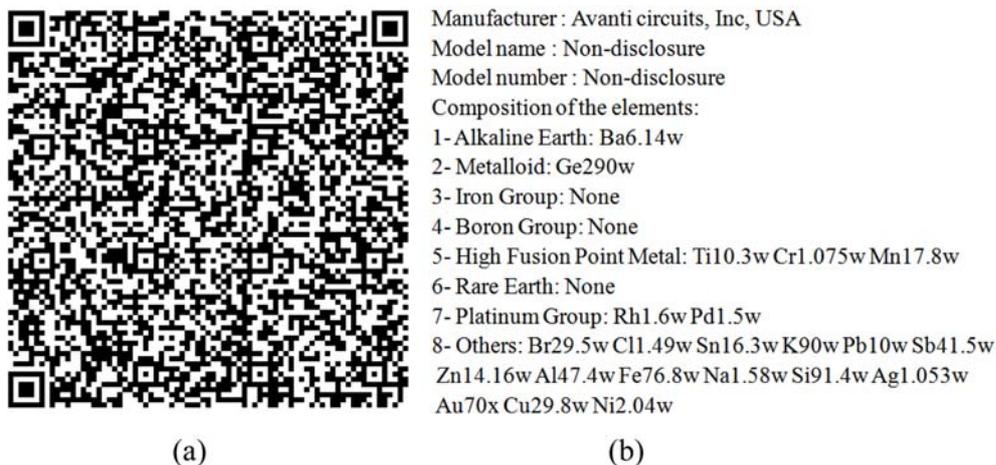


Fig. 2. QR Code Encoding for Rare Metals Containing in PCB (a), and its Decoding Results (b).

고 있다. 즉, weight percent(wt%, 1/100), parts-per-thousand(‰, 1/10³), parts-per-million(ppm, 1/10⁶), parts-per-billion(ppb, 1/10⁹), parts-per-trillion(ppt, 1/10¹²)의 5종의 측정단위를 각각 v, w, x, y, z로 기호로 입력하게 된다. 예를 들어 리튬(Li) 50 ppm과 베릴륨(Be) 200 ppb가 검출된 경우 ‘Li50x Be200y’의 형식으로 입력해야 한다. 추후 개발 예정인 데이터의 제공 및 교환에 관한 표준을 준비하기 위해 얻어진 데이터가 ASCII(American Standard Code for Information Interchange) 등으로 쉽게 변환될 수 있도록 상기의 규칙을 적용하였다. L.rareMetal_Label은 2016년 4월 회의에서 우리나라가 제안한 최종 권고문이 승인되어 2016년 하반기에 발행될 예정이다.

4. 결 론

우리나라는 정부의 주도로 국제표준기구에서 적극적으로 희소금속의 재활용을 위한 국제표준 제정에 노력해 왔다. ITU-T의 희소금속 재활용 국제표준 제정을 통해 매년 발생하는 ICT 전자폐기물로부터 희소금속을 추출하여 재활용함으로써 자원의 안정적으로 공급, 온실가스의 저감 및 에너지 감소를 실현할 수 있는 제도적 기틀이 마련할 수 있었다. 체계적이고 지속적인 희소금속 재활용을 위해서는 지속적인 표준화 활동이 필요할 것으로 전망된다. 앞으로도 희소금속 재활용의 국제 동향을 파악하고 국내 ICT 제품의 제품/부품 재활용과 회수를 위한 다양한 표준 활동이 요구된다. 이러한 활동을 위해서 ICT 제품 내 희소금속의 정성·정량을 인증하고 정보를 관리할 공공성격의 인증기관(그림 1. B) 설립이나 지정이 요구된다.

전자폐기물 내 희소금속 재활용 표준 개발은 재활용 산업 활성화, 원광으로부터 희소금속 생산에 소비되는 에너지 및 이산화탄소 감축, 국제적 환경 및 기후변화 대응 저탄소 친환경 촉진 관리·운영 체계에 기여할 것으로 판단된다. 우리나라는 법적, 제도적, 기술적 관점에서 전자폐기물에서 희소금속을 추출하는 신사업 영역 확대에 주목할 필요가 있다. 주력산업인 전기전자, 반도체, 부품, 가전, 자

동차, 방송통신 등의 다양한 산업분야에서 필수적으로 사용되는 희소금속의 재자원화를 실현하여 사용 후 폐기물이 새로운 가치 창출과 경제성장 원천으로 주목해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 국가기술표준원의 Green ICT 기반 조성을 위한 희소금속 재자원화(recycling) 국제표준 연구 개발 (과제번호: 10053618)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- [1] Marc Humphries: Rare Earth Elements, The Global Supply Chain, Specialist in Energy Policy (2012) 8.
- [2] H. S. Choi, Y. H. Kim and Y. G. Ji: Overview on Rare Metal Industries and Their Recycling, *Prospectives of Industrial Chemistry*, **13** (2010) 20.
- [3] C. S. Ha and S. S. Park: The Science & Technology, **201.01** (2012) 54.
- [4] M. H. Hong, I. S. Kang, C. K. Lee and W. B. Kim: *J. Korean Powder Metal. Inst.*, **22** (2015) 443.
- [5] Directive 2002/96/EC, Waste electrical and electronic equipment (WEEE).
- [6] Directive 2011/65/EU, Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment.
- [7] ITU-T L.1100, Procedure for recycling rare metals in information and communication technology goods.
- [8] ITU-T L.1101, Measurement methods to characterize rare metals in information and communication technology goods.
- [9] ITU-T Resolution 79, The role of telecommunications/information and communication technologies in handling and controlling e-waste from telecommunication and information technology equipment and methods of treating it.
- [10] ITU-D Study Group 1 Report, Strategies and policies for the proper disposal or reuse of telecommunications/ICT waste material.