J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 28, No. 2, 2019, 14-22
https://doi.org/10.7844/kirr.2019.28.2.14
pISSN : 1225-8326 eISSN : 2287-4380

≫ 총 설 ≪

LED 폐자원의 재활용 현황

이덕희 · 신동윤 · 김태형 · 이찬기 · §박경수 · 이기웅* · 이재령**

고등기술연구원 융합소재연구센터, *성일하이메탈㈜, **강원대학교 자원에너지시스템공학과

Current Status of Recycling of LED Waste

Duk-Hee Lee, Dongyoon Shin, Tae-Hyung Kim, Chan-Gi Lee, §Kyung-Soo Park, Ki Woong Lee* and Jaeryeong Lee**

Materials Science & Chemical Engineering Center, Institute for Advanced Engineering
**SungEel HiMetal Co., Ltd.*
***Dept. of Energy & Resources Engineering, Kangwon National University*

요 약

LED 산업은 기술의 발전과 함께 경제적으로 에너지 절감효과가 큰 동시에 환경친화적인 장점으로 보급이 확산되면서 시장은 급격히 확대되고 있다. 더욱이, 다양한 융합기술과 대규모 신시장의 출현 및 신규시장 확대 등으로 인해 향후 대량의 폐자원이 발생할 것으로 예견되면서 재활용 기술 개발이 요구되는 실정이다. 또한, 현재 발생하고 있는 LED 폐자원의 발생량 및 관리 체계의 부재로 인해 매립 및 소각으로 처리되는 것으로 보고되고 있다. 본 논문에서는 현시점에서의 LED 폐자원 재활용 현황을 살펴보고 재활용 기술 및 방안에 대해 소개하고자 한다.

주제어 : LED, 폐자원, 재활용, 유해물질, 무해화

Abstract

Development of technology makes LED an economical option because of lower energy consumption and better environmental impact. Because higher consumer demand the LED market is expanding rapidly due to its environment-friendly advantages. Expansion of LED application, development of various fusion technologies, the emergence of new markets, and the large-scale expansion of markets would lead to a large volume of e-waste generation with valorization potential. Currently, most of the generated waste being that landfilled and incinerated due to the absence of technology and management system. In this paper, we review the current status of LED waste recycling and analyzes the available recycling technologies.

Key words : LED, waste, recycling, toxic substance, detoxification

1. 서 론

Light Emitting Diode (LED)는 전기가 인가되면 일정한 파장의 빛을 발광하는 화합물반도체를 이용하여 제조된 반도체 소자이다. LED 조명의 경우, 장수명, 빠른 응답속도, 높은 광전환효율, 낮은 에너지 소모, 다양

· Received : March 25, 2019 · Revised : April 11, 2019 · Accepted : April 23, 2019
§ Corresponding Author : Kyung-Soo Park (E-mail : kspark@iae.re.kr)
Materials Science and Chemical Engineering Center, Institute for Advanced Engineering, 175-28, 51 Goan-ro, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Youngin-si, Gyeonggi-do 17180, Korea
ⓒThe Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

한 색상 구현 등의 장점들로 인해 일반 조명 제품을 대체하였고 자동차, TV 등에도 활용되면서 적용 범위가 다양해지고 있다[1-3].

국내 LED 시장은 2017년 기준 약 7조원 규모를 형성하고 있고 연평균 18.7%의 성장률을 나타내고 있다. LED의 사용량이 급격히 증가함에 따라 제품 생산 중 발생하는 공정폐자원의 발생량도 증가하고 있으며, 향후 파손 및 수명을 다한 LED 폐조명의 발생량도 상당히 많아질 것으로 전망되고 있다. 이러한 LED 폐자원에는 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등의 유가금속이 함유되어 있음에도 불구하고 재활용에 대한 투자나 기술개발이 매우 미흡한 상황이다[4,5]. 또한, 장파장 LED에 사용되는 1급 발암물질인 비소의 경우 무해화 하지 않고 단순 매립하고 있어 유해성에 대한 검증이나 체계적인 관리를 위한 기술적/제도적인 인프라가 미비한 실정이다.

현재 국내는 생산자책임재활용제도(EPR: Extended Producer Responsibility)를 도입하여 TV, 냉장고, 휴대폰 등의 10대 가전에 대해 생산자에게 재활용 의무를 부여하여 관리하고 있다. 하지만 LED 폐자원의 경우 전기·전자제품의 부속품으로써만 EPR에 의해 수거되고 있어 LED 폐조명 등과 같은 폐자원에 대한 수거 체계는 확립되지 않은 상태이다. 따라서, 재활용 기술개발을 통한 LED 폐자원의 재자원화 체계 구축 및 환경 오염 저감을 위한 국가적인 차원에서의 지원과 정책 확립이 동시에 요구되고 있다. 본 논문에서는 LED 시장현황, LED 폐자원의 재활용 기술, 정책 동향 등을 소개하고 LED 폐자원 재활용을 위해 향후 나아가야 할 방향을 제시하고자 한다.

2. 시장 현황

국내 LED 시장은 LED 보급률 60%를 달성하기 위한 'LED조명 2060계획', LED 융합시장 선도를 위한 'LED산업 제2도약 전략' 및 공공기관의 LED 조명설치 의무화 등의 정책을 통해 2017년 기준 7조원에서 2020년 12조원으로 연평균 18.7%의 성장률을 나타낼 것으로 전망되고 있다(Fig. 1a). 현재, 향후 건설되는 아파트의 전등을 모두 LED로 교체할 계획을 가지고 있으며, 공공 부분의 LED 조명 시장에도 적극 지원하고 있다. 특히 기술 융합을 통해 자동차 전조등, 피부치료용 의료기구, 미세조류배양용 바이오 시스템, 환경정화 등 분야가 점차 확대되면서 다양한 제품이 출시되어 그 시장이 더욱 활성화될 것으로 기대하고 있다.

해외의 경우 LED의 전력 효율과 밝기 특성을 향상시켜 디스플레이 분야에 접목시키려는 움직임이 LED 조명시장 확장의 원동력이 되고 있으며 가장 높은 성장세를 나타내고 있는 산업분야이다. 뿐만 아니라 자동차, 교육 및 기타 여러 분야에 적용되는 LED 융합 시장도 점차 확대될 것으로 기대됨에 따라 2017년 약 2억 달러 규모의 시장이 연평균 54.7%로 성장하여 2025년에는 약 200억 달러 규모가 될 것으로 전망된다(Fig. 1b).

3. 정책 동향

3.1. 국내 LED 폐자원 재활용 관련 정책 동향

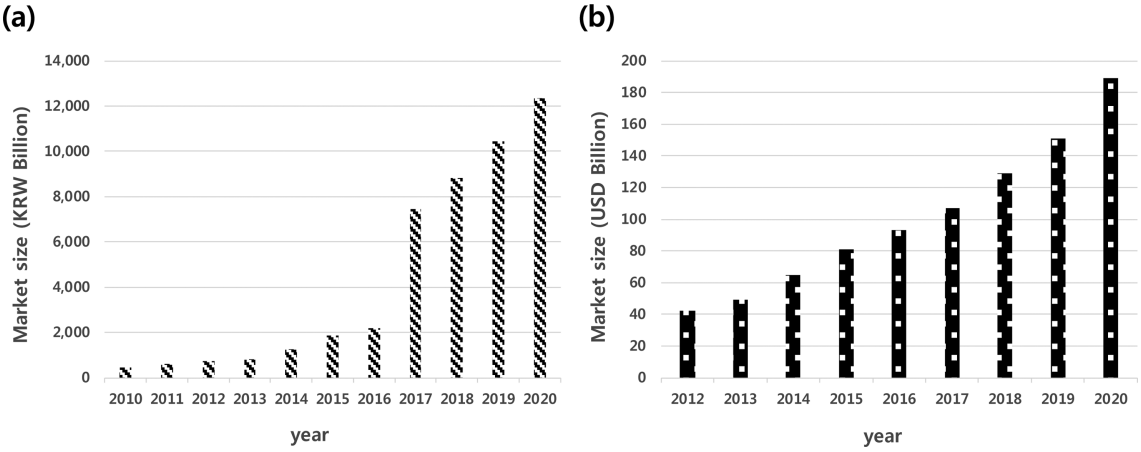

Fig. 1. Annual scale of (a) domestic LED market and (b) global LED market.

Table 1. Recycling directive related to domestic LED waste

Section	Extended Producer Responsibility (EPR)	Eco-Assurance System (EcoAS)	Waste charge system
Legal basis	Resource recycling of the 16 amendment etc.	Electronic equipment circulation of the 15 amendment etc.	Resource circulation of the 12 amendment etc.
Objectives	- Duty to producers to recycle and recover the wastes and packing materials from a fixed quantity of waste	- Suppress toxic materials to promote electronic equipment and automobile	- Charge expense to producers which contains harmful materials that it is difficult to recycle
Obligation duty target/allotment pay recipient	- Producers and importers of obligation duty products - Manufacturers and distributors of packing materials	- Recycle obligation in an establishment - Collection duty of an establishment	- Pesticide, toxic agents, antifreeze, gum, disposal diaper, cigarette producers/ importers and wholesaler - Plastic product of under billion exclude under 10 tons of plastic - Under 3 tons of Plastic in Imported goods, exclude imports under $ 90,000
Target goods	- 4 packing materials - Fluorescent light	- Electronic equipment - Automobile	
Supporting system	- Separating wastes - Empty bottle deposit system	- Comply with toxic materials contain standard - Materials, structure improvement	- Voluntary agreement system

국내의 경우, 다양한 폐자원의 재활용 관리를 위해 EPR, 환경성보장제도, 폐기물부담금제도 등의 관련 제도들이 시행되고 있다(Table 1[6]). 한편, LED는 TV, 냉장고, 휴대폰 등의 전기·전자제품에 대한 부속품으로 분류되면서 EPR이나 폐전기·전자제품 재활용 목표관리제의 품목으로 지정되지 않은 상태이다. 하지만, 최근에 환경부에서 LED 폐조명 재활용 제도 도입을 위해 LED 조명 제품의 생산량과 폐기량 실태 조사를 하였고 이르면 2019년에 EPR 품목으로 지정하려는 움직임이 있다.

3.2. 해외 LED 폐자원 재활용 관련 정책 동향

향후 대량으로 발생할 것으로 예상되는 LED 폐자원의 효율적인 처리를 위해 재활용 선진국에서는 다양한 관련 정책들을 마련하고 있다[6]. 대만은 2014년 폐기물처리법을 개정하여 LED 램프를 EPR 대상으로 추가하

Table 2. WEEE target product category

Term	Category	
2012.08.13~ 2018.08.14	1. Large household appliances	6. Electrical and electronic tools
	2. Small household appliances	7. Toys, leisure and sports equipment
	3. IT, telecommunications equipment	8. Medical devices
	4. Consumer equipment	9. Monitoring and control instruments
	5. Lighting equipment	10. Automatic dispensers
2018.08.15~	1. Temperature exchange equipment	
	2. Screens, monitors, and equipment containing screens having a surface greater than 100 cm^2	
	3. Lamps	
	4. Large equipment (any external dimension more than 50 cm)	
	5. Small equipment (no external dimension more than 50 cm)	
	6. Small IT and telecommunication equipment (no external dimension more than 50 cm)	

였으며 2015년 가정용 일반 LED 조명으로 범위가 확대되었다. 또한, 일반 가정용 LED 조명의 광원은 수은을 포함하고 있지는 않지만 니켈, 납 및 비소와 같은 환경이나 인체에 유해한 성분으로 구성되어 있어 적절한 재활용이나 처리가 필요하다고 명시하여 관리하고 있다. EU는 2012년 7월 WEEE 2를 발표하여 폐전기전자제품처리에 대한 목적 및 범위, 대상범주, 회수 및 회수율, 최소 재활용 및 재생 등의 주요내용을 변경하고 회원국들은 2014년 2월 14일까지 WEEE 2 지침을 준수하기 위한 법, 규정 등을 제정하였다. Table 2[6]에서 확인할 수 있듯이 기존의 WEEE 대상 10개 제품은 2018년 8월 14일까지 적용되며 2018년 8월 15일부터 LED 조명은 개정된 WEEE 2 상의 램프(category 3)의 대상 품목으로 분류되어 EPR 제도하에 관리되고 있다. 즉, EU는 LED 조명을 전기·전자제품으로 규정하여 의무적인 재활용률을 부여함으로써 대량으로 발생하는 LED 폐자원에 대한 대비를 하고 있다.

일본의 경우 개별 물품에 따라 리싸이클링법이 제정되어 시행되었으며, 폐전기·전자제품 재활용 정책은 2011년 4월부터 시행된 가전리싸이클링법(가정 등에서 배출되는 폐가전제품에 대하여 소비자, 소매업자, 제조업자 등의 역할분담의 명확화를 통해 폐기물 감량 및 리싸이클링 촉진)과 2013년 4월부터 시행된 소형가전리싸이클법(폐소형가전기기 등의 재자원화 촉진에 관한 법률로써 폐소형전자기기에 포함된 철, 알루미늄, 귀금속, 희유금속 등의 원활한 재활용을 위해 제정)에 의해 폐자원의 관리가 이뤄지고 있다. 하지만, 현재까지 LED 폐자원 재활용 관련 법률이 제정되어 있는 상태는 아니며, 향후에 EU의 WEEE 2 및 대량 발생 LED 폐자원의 대응을 위한 관련 법률이 제정 및 시행될 것으로 예상된다.

4. 기술 동향

4.1. 국내 LED 폐자원 재활용 기술개발 현황

해외 재활용 선진국에서는 LED 폐자원의 전처리 기술 확보를 중요시 여겨 연구개발을 진행하는 반면 우리나라는 금속 회수 측면에서만 접근하고 있는 실정이며 LED 폐자원 전처리에 대한 기술 확보를 기반으로 최종 금속회수를 용이하게 하는 전처리-금속회수 연계기술 개발이 요구되고 있다. 산업부의 지원 하에 수행된 기존 정부과제를 통해 LED 공정폐자원에서 Ga 및 In을 회수하는 기술이 개발되었으나 사실 LED에 함유되어 있는 Ga 및 In의 양은 매우 소량이라 경제성을 확보하는 것이 쉽지 않다[7-9]. 따라서, LED 폐자원으로부터 경제성 확보가 용이한 귀금속을 회수 기술개발이 필요한 실정이다. 한편, 현재 사용되고 있는 적색 및 IR LED에는 1급 발암물질인 비소가 함유되어 있어 이를 효율적으로 회수/무해화하는 기술이 개발되어야 LED 폐자원을 사용 물질에 상관없이 재활용하는 통합플랜트를 구축할 수 있다. 하지만, 현재까지 LED 폐자원으로부터 비소를 회수/무해화하는 기술은 시도된 사례가 거의 없는 것으로 파악된다. 국내 LED 폐자원 재활용 관련 전처리, 금속회수, 유해물질 무해화 처리 기술 수준은 Table 3에 나타낸 바와 같이 선진국 대비 낮아 격차를 줄이기 위한 다방면의 노력이 필요하다.

4.2. 해외 LED 폐자원 재활용 기술개발 현황

해외의 경우, 향후 다량 발생할 LED 폐자원의 재활용을 대비하여 수년 전부터 효율적인 재활용 기술 개발을 위해 다양한 프로젝트를 진행하고 있으며 특히, EU를 중심으로 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 독일에서는 Fraunhofer Institute for Reliability와 Microintegration IZM이 컨소시엄을 구성해 ‘CycLED project’를 수행

Table 3. Comparison between global and domestic LED waste recycling status

Performance indicator	Current technology level		Domestic development stage	Technology gap (year)	etc
	Domestic	World-class (100)			
Pretreatment technology of LED waste lamp	20	Germany	Technology acquirement	2	
Metal recovery technology from LED waste	50	Germany	Technology acquirement	2	
Detoxification of arsenic from LED waste	20	Japan	Technology acquirement	3	

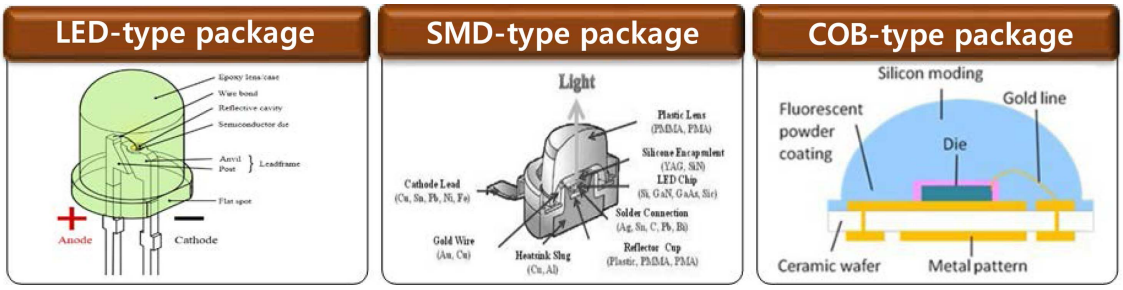

Fig. 2. Various types of LED package.

중이며, LED 폐자원으로부터 주요 금속을 경제적으로 회수하는 기술을 개발하고 있다[10]. 노르웨이에서는 증가하는 LED 판매량과 그에 따른 폐기물 처리에 대한 대책으로 산·학·연 컨소시엄이 중심이 되어 재활용 방법에 대해 고민하고 있으며, 대표적인 재활용 회사인 Nordic recycling AB 社에서는 현재 LED 폐자원 재활용 기술이 없기 때문에 기존 폐자원과 함께 처리하고 있다. 한편, EU에서도 아직까지는 LED 폐자원에 대한 명확한 수거 체계가 확립되지 않아 재활용 상용 공정 구축에는 어려움을 겪고 있다.

4.3. LED 폐자원 재활용 기술 소개

4.3.1. LED 폐자원 전처리 기술

가정 및 산업용 LED 폐조명이 다량 발생하고 있는 상태에서 이를 효율적으로 재활용하기 위해서는 다양한 종류의 LED 폐조명 맞춤 전처리를 통해 소재별로 분류할 수 있는 기술개발이 반드시 필요하다. 이를 위해 폐조명 해체 및 소재 선별 기술이 요구되고 있지만 다양한 LED 폐조명의 재활용을 위한 제품별 데이터베이스 및 효율적인 전처리 기술이 부족한 실정이다. 현재 가정용 및 산업용으로 사용되는 LED 조명의 종류가 너무 다양해서 사용 후 폐조명에 대한 맞춤형 또는 통합 전처리를 위한 데이터베이스 확보가 급선무이며, 이를 기반으로 효율적인 전처리 기술의 설계 및 개발이 필요하다.

Fig. 2와 같이 LED 패키지의 구조는 사용 용도에 따라 Lamp형, SMD (Surface Mount Device)형, COB (Chip on board)형으로 구분되며, 용도에 따라 신호용(Lamp형), 가전용(SMD형), 고출력 조명용(COB형) 등의 다양한 분야에 패키지 별로 적용되고 있다. 또한, LED 패키지, 모듈 및 조명의 종류가 다양하고, 각 종류별 LED 패키지, 모듈, 시스템 구조, 형태가 상이하며 발광 파장과 조도에 따라 구성 물질의 성분 또

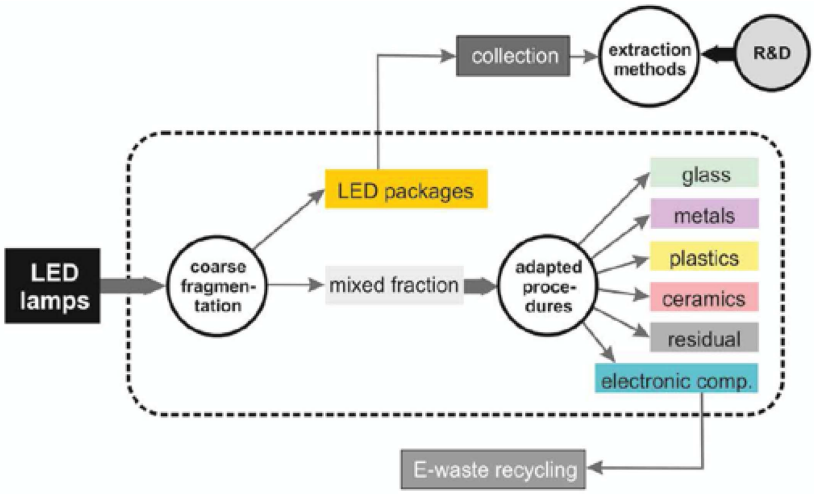

Fig. 3. Process example of LED lamp recycling (reprinted from ref. 10).

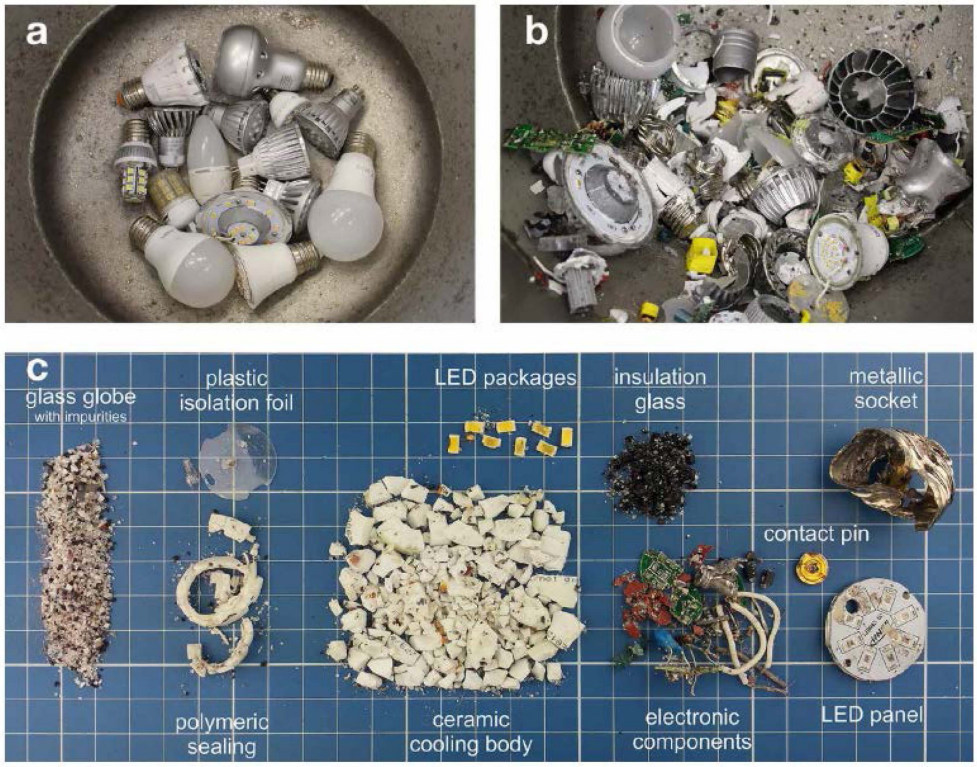

Fig. 4. (a) LED lamp waste, (b) raw material after EHF comminution, (c) separated LED waste component (reprinted from ref. 10).

한 다양하다. 따라서, 효율적이고 경제적인 LED 재활용 및 유가금속 회수를 위해서는 LED 폐자원에 공통으로 적용되는 해체, 분해, 선별의 대표 공정과 각 LED 시스템에 적용되는 개별 공정을 각각 개발하는 것이 요구된다.

Fig. 3[10]은 LED 조명의 재활용 공정 단계를 나타낸 것으로, LED 폐자원의 재활용을 위한 전처리 공정은 크게 파쇄 - 혼합물 선별 - 전자 부품 회수로 나뉘며 파쇄 공정에서는 일반적인 분쇄(crushing, cutting, shredding)법이 이용되고 있고 선별 공정에서는 자성, 부유, 체(sieving)를 이용한 방법이 적용되고 있다.

최근 독일에서는 수중에서 충격파를 이용해 물질의 계면을 약화시켜 효율적으로 분리하는 electrohydraulics fragmentation (EHF) 공정을 개발하였으며 기존 공정보다 효과적으로 선별이 가능하다는 것을 증명하였다 (Fig. 4[10]). EU에서는 'Illuminate'라는 LED 재활용 프로젝트를 통해 프로토 타입의 선별 기술을 개발하여 효율적으로 LED를 재활용하는 것을 목표로 연구를 수행 중이다.

4.3.2. 유가금속 농축 및 회수 기술

LED 제조공정 중에 발생하는 폐자원 및 사용 후 LED의 발생량이 지속적으로 증가하는 추세이나 현재까지 LED 폐자원으로부터 경제성 있는 Cu, Au, Ag 금속을 회수하는 기술개발은 미흡한 실정이다. LED 폐자원으로부터 경제성 높은 금속의 효율적인 회수를 위해서는 건/습식 복합기술을 통해 목적금속의 고농축 및 회수 공정이 확립되어야 한다.

기존 국내 LED 폐자원 재활용 연구는 원료가 공정 폐자원 및 폐모듈이었으며 현재까지 진행된 연구로는 주로 강산 및 강염기를 이용하여 분말화된 폐LED로부터 장시간 교반을 통해 침출시킨 후 전해채취, 세멘테이션 등을 통해 유가금속을 회수하고 있지만(Fig. 5)[4,7-9,11], 폐LED에 포함된 다양한 종류의 유가금속을 모두 회수하기 위해서는 여러 단의 공정이 필요하여 경제적/환경적인 면에서 효율성을 높이기가 쉽지 않다. 그

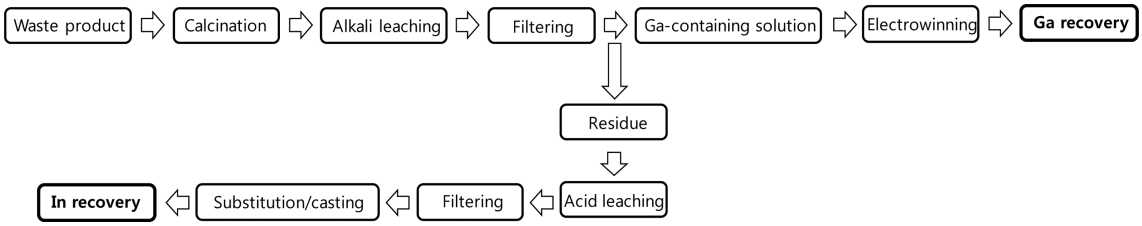

Fig. 5. Ga/In recovery process from LED waste.

로 인해 회수를 위한 목적금속이 Ga과 In에 국한되어 있어서 경제성을 확보하기 어려웠으나, 최근에는 Ga/In에 비해 고농도로 함유되어 있는 유가금속(Au, Ag, Cu)의 회수를 목적으로 LED 폐자원을 통합적으로 재자원화하고 제품화하는 연구가 진행되고 있다.

4.3.3. 유해물질 무해화 기술

일반적으로 LED의 active layer는 blue 파장의 GaN를 가장 널리 사용하지만 긴 파장을 요구하는 적색 및 IR LED에는 비소가 함유된 광활성 물질을 사용하고 있으며 특히, 최근에 미용을 위한 적색 LED mask 시장이 커지면서 비소가 함유된 LED가 시장에 다량 출현하고 있는 실정이다. 장파장 LED에 함유된 비소는 1급 발암물질로 취급될 만큼 독성이 강해서 재활용 공정 시 배출되는 용출량 및 대기배출량을 제어해야 한다. 현재는 일반폐기물과 함께 소각되거나 매립되고 있지만 향후 폐기물의 다량 발생이 예상되는 상황에서 LED 폐자원 통합 재활용 라인을 구축하기 위해서는 비소(증기 및 슬래그 내 함유)를 무해화하는 공정 개발이 반드시 필요하다.

유독성 물질인 비소 처리기술 관련하여 일본에서는 GaAs 반도체를 산용해 후 세륨계 비소 선택흡착제를 이용하여 갈륨과 비소를 분리하고 비소를 Arsenobetaine (AsB)로 변환시켜 무해화하는 연구를 진행하고 있다[12]. 중국에서는 GaAs scrap을 분쇄한 후 황을 첨가하여 약 180 °C의 질소분위기 관상로에서 40분간 열처리하면 황화비소/갈륨의 혼합물이 되는데 이를 다시 800 °C에서

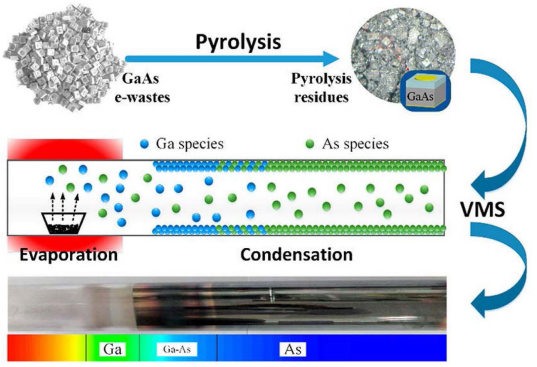

Fig. 6. Separation and recovery of Ga and As using pyrolysis-vacuum metallurgy system (reprinted from ref. 14).

열처리하여 황화비소를 제거하고 있다[13]. 또한 pyrolysis-vacuum metallurgy separation법을 이용해 고온(1000 °C)/고압(20 Pa)에서 열분해하여 비소를 회수하는 연구를 수행하였다(Fig. 6).[14] 하지만 이러한 공법은 연구단계에 머물러 있으며 현재까지 상용화된 기술은 없는 것으로 파악된다.

5. 향후 LED 폐자원 재활용 기술개발 방향

대량 발생이 예상되는 LED 폐자원 재활용에 대한 투자나 상용 기술개발 실적이 미흡한 상황에서 환경적인 이슈를 해결하면서 경제성을 확보하기 위해서는 고가의 Au, Ag와 같은 귀금속 및 함유량이 높은 Cu를

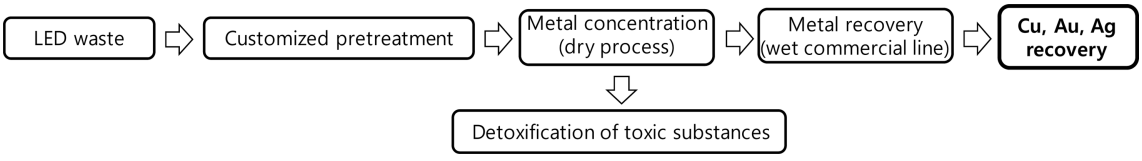

Fig. 7. Process for recovery of valuable metals from LED waste.

회수해야 하며, 비소 등의 유해물질을 무해화할 수 있는 기술도 동시에 개발되어야 한다. Fig. 7은 LED 폐자원 특히, 폐조명을 재활용하기 위한 공정도를 나타낸 것으로써, LED 폐자원의 효율적인 재활용을 위해서는 맞춤형 전처리, 유가금속 고농축화, 유해물질 무해화 기술이 핵심이라 할 수 있다.

LED 폐조명 전처리의 경우 조명 시스템의 타입, 구조, 봉지재 등을 고려한 물리화학적 방법이 개발되어야 하며, LED 폐조명의 해체/분리를 통해 패키지 또는 칩만 개별적으로 선별될 수 있게 처리가 되어야 한다. 또한, 전처리 시 화학약품의 발생으로 인한 2차오염물질 발생도 최소화 하는 방법이 강구되어야 할 것이다. 회수하고자 하는 유가금속의 고농축화 기술은 후단의 습식 금속회수 공정(기존 PCB로부터 귀금속 및 Cu를 회수하는 습식 라인의 적용이 가능함)의 효율성을 높일 수 있는 기술로써, 건식 환원/산화 용융 공정을 통해 경제성이 높은 금속이 농축된 crude metal을 제조하여 최종 금속 제품의 품위를 높이고 전체 공정의 효율성 및 경제성 향상이 가능할 것이다. 유해물질의 경우 앞서 서술한 바와 같이 장파장의 적색 및 IR LED 폐자원 내 함유되어 있는 비소가 대표적이며, 이러한 비소는 재활용 공정 중 증기 및 슬래그 형태로 발생할 수 있다. 따라서, LED 폐자원의 통합 재활용 플랜트 구축을 위해서는 비소를 효율적으로 무해화하여 국내 용출(≤ 1.5 mg/L) 및 대기배출기준(≤ 2.0 ppm) 이하로 제어하는 기술이 반드시 필요하다. 비소를 회수/무해화하는 기술로는 흡착 방법이 가장 대표적이나 확실한 처리를 위해서는 응축, 흡착, 용해, 침전 등의 건/습식 융합 공정 설계가 필요할 것으로 사료된다.

이와 같이, LED 폐자원 재활용을 위한 핵심기술(맞춤형 전처리 공정-금속 농축/회수 및 기존 상용 라인 적용을 통한 상용화 공정-유해물질 무해화 공정)을 단계적으로 개발하고 개선하여 최적 단위 공정을 도출함으로써 통합 LED 재활용 상용 플랜트 라인을 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결 론

LED 산업의 급격한 성장에 따라 근시일 내에 대량의 LED 폐자원(폐조명, 공정폐자원 등)이 발생할 것으로 예상되는 가운데, 해외의 경우 이를 대비하는 투자 및 기술개발이 이뤄지고 있으나 국내 상황은 아직까지 대비책 마련에 소홀한 실정이다. 따라서, LED 폐자원 재활용 기술개발 선진국과의 기술격차를 해소하고 국내 자체적인 재활용 상용기술 확보를 위한 노력이 절실하다. 이를 위해서는 선행적으로 정부차원에서의 LED 폐자원 수집 체계를 구축해야 하고, 산업적으로는 LED 구성 물질에 상관없는 통합 재활용 기술 확보를 위해 관련 업계의 투자 및 재활용 전문가들의 연구가 필요하다. 본 논문에서는 현 시점에서 LED 재활용 관련 국내외적 현황에 대해 알아보았으며, 향후 LED 폐자원 관련 정책 및 재활용 기술 확보에 조금이나마 기여할 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 환경부 유용자원재활용기술개발사업단 글로벌탑환경기술개발사업(과제번호: RE201902102)으로 연구가 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

References

1. Moon-Hwan Chang et al., 2012 : Light emitting diodes reliability review, Microelectronics Reliability, 52, pp.762-782.
2. Sinan Li et al., 2015 : A Survey, Classification and Critical Review of Light-Emitting Diode drivers, IEEE Trans. Power Electron., 31(2), pp.1503-1516.
3. Philips HUE, https://www.meethue.com/en-us
4. KR Patent No. 1020150113409, 2015 : A Recovery Method for Valuable Metal from The LED Wastes or Electronic Wastes
5. KR Patent No. 101528598, 2015 : A Selectively Recovery Method for Indium & Gallium from The Mixed Indium, Gallium and Zinc Scraps
6. Yess.org Co. Ltd., LED lamps recycling trend at home and abroad, Domestic IP Environmental trend report, KEITI
7. Basudev Swain et al., 2015 : Recycling process for recovery of gallium from GaN an e-waste of LED industry through ball milling, annealing and leaching, Environmental Research, 138, pp.401-408.
8. Basudev Swain et al., 2015 : Recycling of metal-organic chemical vapor deposition waste of GaN based power device and LED industry by acidic leaching: Process optimization and kinetics study, J. Power Sources, 281, pp.265-271.
9. Byoungyong Im et al., 2015 : Selective Solvent Extraction of In from Synthesis Solution of MOCVD Dust using D2EHPA, J. of Korean Inst. Of Resources Recycling, 24(5), pp.80-86.

10. LED Professional website : https://www.led-professional.com/resources-1/articles/led-lamps-recycling-technology-for-a-circular-economy
11. KR Patent No. 101567499, 2014 : A selective recovery method for valuable metal from the LED wastes
12. Koichiro Nakamura and Hiroshi Yamauchi, 2012 : Development of Arsenic Detoxification Method and Rare-Metal Recycling, Nippon Sheet Glass, Japan Technique
13. Lu Zhan, Jianguo Li, Bing Xie and Zhenming Xu, 2017 : Recycling Arsenic from Gallium Arsenide Scraps through Sulfurizing Thermal Treatment, ACS Sustainable Chem. Eng., 5(4), pp.3179-3185.
14. Lu Zhan, Fafa Xia and Bing Xie, 2018 : Recycle Gallium and Arsenic from GaAs-Based E-Wastes via Pyrolysis-Vacuum Metallurgy Separation: Theory and Feasibility, ACS Sustainable Chem. Eng., 6(1), pp.1336-1342.

이 덕 희

• 아주대학교 에너지시스템학과 석사
• 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 선임연구원

신 동 윤

• University of Tokyo 물리학과 석사
• 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 선임연구원

김 태 형

• 한양대학교 융합화학공학과 석사
• 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 연구원

이 찬 기

• 일본 큐슈대 물질이공학과 공학박사
• 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 수석연구원(센터장)

박 경 수

• 고려대학교 신소재공학과 공학박사
• 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 책임연구원

이 기 웅

• 인제대학교 화학과 석사
• 현재 성일하이메탈(주) 부설연구소 연구소장

이 재 령

• 일본동북대학 재료공학과 공학박사
• 현재 강원대학교 에너지자원공학과 교수