Journal of Korea Multimedia Society Vol. 24, No. 12, December 2021(pp. 1653-1662)
https://doi.org/10.9717/kmms.2021.24.12.1653

소형 폐가전 수거 시스템 개발

차 현 철†

Development of a Small Waste Appliance Collection System

Hyun Chul Cha†

ABSTRACT

In this paper, we propose a small waste appliance collection system that can be used for efficient waste appliance collection, and implement an unmanned automatic small waste appliance collector system. First, we collected cases related to the collection of waste home appliances, compared and analyzed methods, and arranged the characteristics. We analyzed at the requirements for the collection and management system of waste appliances by dividing it into the aspect of the discharger and the recycling business company. The collection system consists of a client-server structure, which is a collector system and a collection management server. The unmanned automatic collector system is divided into a control unit and a machine/mechanical unit. We identified the functions that the collector system must perform and the hardware required to perform these functions. Based on this, the collector system was implemented as an embedded system. The hardware and software used in the implementation are described and the implementation results are described. The collection system developed in this paper will contribute to the development of urban mining industry by enabling the efficient collection of waste appliances.

Key words: Urban Mining, Waste Appliances, Collector System, Embedded System

1. 서 론

우리나라는 세계적인 금속 소비국이지만 천연광석의 99.3%를 수입에 의존하고 있는 자원빈국이다[1]. 이러한 지역적인 한계성은 최근 자원수요 증가와 그에 따른 국가 간 자원전쟁이라는 시대적 상황 속에서 더욱 심각한 문제점으로 대두되고 있다. 천연자원의 확인매장량을 연간 생산량으로 나눈 지표인 가채연수가 30년 이하인 금속은 아연, 주석, 금, 은 등을 비롯한 10개에 달하며[2], 첨단기술 발전에 의한 천연자원 사용량의 급증을 고려할 경우 천연자원의 고갈 속도는 더욱 증가될 것으로 예측되고 있다. 더구나 매장량이 적고 추출이 어려운 희소금속은 소수 국가로의 편재성이 높아 최근 국가별 자원무기화 정책의 강화에 따라 외교적 문제까지로 확대되고 있으며 가격 변동성이 크고 수급 불안요인이 항시 존재한다[2].

이러한 자원수급의 위기를 극복하기 위하여 우리나라 정부에서는 해외 금속자원 확보, 국내 부존자원 개발, 비축 확대, 금속 재활용 활성화 등의 다양한 정책을 추진하고 있다. 이와 연관된 정부정책 분야 중 하나가 도시 광산 산업 육성이며, 가장 대표적인 정책이 2009년 관계부처합동으로 발표된「폐금속자원 재활용 대책」이다[1,3]. 이 정책에서 폐금속 자원화 전략을 통해 2019년까지 무역역조를 12.5억 달러/년 이상 개선하겠다는 정책을 발표하였다. 즉, 희소금속을 안정적으로 확보하고 무역역조 현상을 극복할 수 있는 주요 정책 중 하나로 도시 광산 산업 육성

※ Corresponding Author : Hyun Chul Cha, Address: (36040) Dongyangdae-ro 145, Punggi Youngju, Kyoungpook, Korea, TEL : +82-54-630-1088, FAX : +82-54-630-1179, E-mail : hccha@dyu.ac.kr
Receipt date : Sep. 27, 2021, Revision date : Nov. 9, 2021
Approval date : Dec. 6, 2021
† Dept. of Railway Control & Information, Dongyang University
※ This study was supported by grant from Dong Yang University in 2020.

을 선택한 것이다[3].

도시 광산(Urban mining)이란 산업원료인 광물금속이 제품 또는 폐기물 형태로 생활 주변에 소량으로 넓게 분포되어 양적으로 광산규모를 가진 형태를 의미하며, 같은 지하자원이라도 석유나 석탄은 사용하면 원래의 형질이 소멸되는 반면 금속은 사용 후에도 폐기물 속에 소재의 특성과 기능이 그대로 남아 있다는 점에 착안한 것으로 1980년대 일본에서 최초로 사용하였다[4].

폐가전제품, 폐전선 등 산업 폐기물은 천연광석보다 높은 비율의 광물자원을 포함하고 있다. 자원의 대부분을 수입하는 우리나라에서 이러한 도시 광산 산업의 부상은 시사 하는바가 크다. 광석 채취의 효율성을 고려하면 도시 광산의 폐기물이 광석에서 채취하는 원석에 비해 금속 함유비율이 훨씬 높아 경제성이 높기 때문이다. 예를 들면 원석 1톤에서 채취하는 금은 평균 4 g 정도이지만 휴대전화 1톤에 포함된 금은 약 280 g에 달하며 은 1.5 kg과 희소금속을 추가로 회수할 수 있다고 한다. 도시 광산 대상 폐금속 자원으로는 철을 제외한 비철금속, 귀금속, 희소금속이 포함된다. 희소금속은 소량을 첨가하여 소재의 기능을 다양하게 결정하는 핵심물질 역할을 하고 있기 때문에 제품구조 및 기능이 고도화 할수록 더 많이 사용되는 특징을 가진다[4].

도시 광산의 잠재적 축적량과 규모 및 효용성에 대해 살펴보면 다음과 같다. 일본 도시 광산의 금 매장량은 6,800톤에 달하며 이는 세계 금 매장량의 16%에 해당하는 규모로 세계 최대 금 자원보유 및 생산국인 남아프리카공화국(6,000톤)을 제치고 금 매장량 1위 국가가 된다. 마찬가지로 은(세계 매장량의 23%)과 인듐(세계 매장량의 61%)도 세계 1위로 올라선다[5].

국내 도시 광산의 경제적 규모에 대한 연구는 다음과 같다. 2011년에 보고된 삼성경제연구소의 국내 도시 광산의 잠재가치는 최소 50조원이고, 희소금속의 잠재가치는 약 2.8조원 수준이라고 조사되었다. 또한, 도시 광산 재자원화 규모를 산정한 결과 국내 도시 광산 산업에서 회수하는 금속의 경제적 가치는 2014년 기준 약 19.6조원으로 산정하였으며, 금속별 재자원화 규모를 살펴보면 철 9.5조원(48%), 범용비철 5.4조원(28%), 귀금속 2.7조원(14%), 희소금속 2조원(10%)으로 구성되었다[1]. 한편, 한국무역협회 수출입통계 자료를 토대로 계산한 결과 2014년 기준 국내 천연 금속자원의 수입액은 약 69.9조 원으로 계산되었으며 국내 금속자원의 총 수요 규모는 89.5조 원으로 추정되었다. 국내 금속자원 수요 대비 도시 광산 자원 생산 비율은 국내 산업의 금속 수요 중 21.9%를 도시 광산을 통하여 산업계로 재공급 되는 것으로 파악되었다[1].

도시 광산은 회수-분리-선별-정련 과정을 거쳐 자원을 재활용하게 된다. 이 때 가장 큰 문제는 회수 단계라 할 수 있다. 일반적으로 경제적 효용 가치가 별로 없는 것은 배출이 잘 되는데 비해, 가치가 있는 것은 재활용 단계까지 흘러오지 않게 되므로 효율적인 회수 시스템의 개발이 절실히 필요하다. 도시 광산 산업이 활발히 이루어지기 위해서는 먼저 폐가전제품의 회수가 반드시 선행되어야 한다. 일본, 유럽 등의 선진국에서는 국민 1인당 연평균 폐가전 수거량이 4~6 kg인데 비해 우리나라는 2 kg 중반에 그치고 있으며 이 때문에 현재 우리나라 폐가전 처리업체의 평균 가동률은 50% 수준에 머물러 있다[6].

현재 디스플레이, 반도체, 자동차, 휴대폰 등 우리나라에서 만들어진 첨단 기기들이 세계시장을 누비고 있지만 안타깝게도 제작에 꼭 필요한 희소금속은 거의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 그러므로 우리나라에도 도시 광산 개발의 선결과제인 효율적인 폐가전제품의 회수가 절실히 필요한 상황이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 폐가전 배출자의 자발적 참여를 유도하기 위해 포인트를 지급하는 방식을 적용한 소형 폐가전 수거 시스템을 제안한다. 또한 소형 폐가전 수거 시스템의 핵심 구성 요소인 무인 자동 수거기 시스템을 구현한다. 구현된 무인 자동 수거기 시스템은 도시광산 산업 발전에 필수적인 효율적 폐가전제품 회수에 기여하게 될 것이다.

논문의 구성은 1장의 서론에 이어 2장에서는 국내외 사례를 분석한다. 3장에서 제안 방안을 설명하고, 4장에서는 수거기 구현 내용과 구현 결과에 대해 기술한다. 마지막으로 5장에서 결론을 기술한다.

2. 사례 분석

일본, 유럽 등 도시 광산 산업 선진국조차 폐가전제품의 수거는 대부분 수작업을 통해 이루어지고 있

는 실정이다. 외국의 경우 일부 자동화 기기가 존재하나 이는 빈병의 수거나 캔류를 압축하여 수거하는 정도의 기능만 수행 하고 있는 실정이다. 실례로 스웨덴에서는 재활용품 자동수거기를 일부 슈퍼마켓 내에 설치하여 PET병, 캔, 유리병 등을 넣으면 해당 마트에서 사용할 수 있는 현금영수증으로 보상하는 방식을 채택하고 있다. 영국에서는 쓰레기 처리는 물론 외부에 달린 LCD를 통해 뉴스와 날씨 등 다양한 정보를 제공하며 와이파이 송출기능, 방폭 기능 등을 갖춘 스마트 쓰레기통을 만든 바 있다. 이와 같이 외국의 경우에도 폐가전제품을 자동으로 수거하는 장치는 사용되고 있지 않은 실정이다.

우리나라에서 폐가전제품의 배출을 위해 일반적으로 사용하는 방법은 크게 네 가지 정도로 구분해 볼 수 있다. 이들 기존 배출 방법의 특징과 문제점을 정리해 보면 아래 Table 1과 같다. 먼저, 신제품을 구입할 때 배출하는 방법이 있다. 이 방법은 사용하던 것과 같은 종류의 전자제품을 구입할 경우에 판매 대리점 배송 요원에게 요청하여 배출할 수 있으며, 현재 전국 약 3,300여개 판매 대리점과 80여개 생산자·판매자 지역물류센터를 통해 배출할 수 있다. 이 방법은 비용이 들지 않으나 신제품 구매 시에만 가능하다는 제약사항이 있다. 두 번째로 신제품을 구입하지 않고 기존에 쓰던 폐가전제품을 배출할 때에는 해당 자치단체에 수거 수수료를 납부하고 스티커를 발부받아 지정된 장소와 시간에 배출하는 방법을 사용할 수 있다. 이 방법은 비용 부담과 더불어 폐기물을 본인이 직접 운반해야 하며, 날짜와 장소에 제약이 따른다는 문제점을 갖는다. 세 번째 방법으로 『한국전자제품자원순환공제조합』에서 운영하는 폐가전 무상방문 수거 서비스를 이용하여 배출하는 방법이 있다. 이 방법은 온라인 또는 콜센터 등을 통해 배출 등록을 하고 희망하는 날짜에 배출하는 방법으로, 냉장고, 세탁기, 에어컨, TV 등 1 m 이상의 대형 제품을 대상으로 한다. 그러나 중소형 폐가전을 폐기하기 위해서는 5개 이상의 물품을 모아야 서비스를 신청할 수 있는 제약이 있으므로, 희망할 때 즉시 폐기할 수 있는 즉시성이 떨어지는 문제점을 갖는다. 마지막으로 일부 지방자치단체, 우체국 등 공공기관 혹은 대형 마트에서 부분적, 일시적으로 진행하는 재활용품 수거박스를 통한 배출 방법이 있다. 그러나 이 방법은 주로 휴대폰 등으로 대상이 한정되어 있고 또 수거박스가 설치된 곳까지 가야한다는 어려움을 갖고 있다.

한편, 최근 일부 회사에서 폐휴대폰을 자동 수거하고 이에 대한 보상을 하는 시스템을 출시하고 있으나 아직 일부에만 보급되고 있으며 그 대상을 폐휴대폰 만으로 한정하고 있어 대중성을 갖고 있다고 보기는 힘들다.

이와 같이 기존의 폐가전제품 배출 방법은 시간과

Table 1. Comparison of existing waste home appliance disposal methods.

Method	Description	Feature
Disposal when purchasing a new product	Ask the store delivery person	• Free • Limited to new product purchases
Disposal using local governments	After paying the collection fee, a sticker is issued and disposed	• Pay fee • Carry your own waste / cumbersome procedure • Only available on specified dates and locations
Disposal using visiting collection	Reservation for visiting collection through the 『Korea Electronics Recycling Cooperative』 Website(15990903.or.kr)	• Free • Only available on specified dates • Items limited to large appliances over 1 m (Refrigerator, washing machine, air conditioner, TV, etc.) • In the case of 15 small and medium -sized home appliances, limit to 5
Disposal using simple collection box	Dispose through simple collection boxes provided in some local governments, post offices, marts, etc.	• Restriction of disposal items mainly to mobile phones • Must go to the place where the collection box is installed

품목 및 장소 등에 제한이 있으며 비용이 발생하는 경우도 있어 원활한 배출이 되지 않고 있으므로 기존 방법의 문제점을 개선하고 보완할 필요성이 대두되고 있다. 현재, 일부 대형 폐가전의 경우 무상 수거 서비스가 제공되고 있으나 소형 폐가전의 경우 마땅한 배출 및 수거 시스템이 존재하지 않는 상황이다. 그러므로 소형 폐가전의 자발적 배출을 유도할 새로운 자동화된 수거기 시스템의 개발이 절실히 필요하다 하겠다.

3. 제안 방안

본 장에서는 소형 폐가전 수거 시스템의 개념을 정립하고 시스템 요구사항을 분석하며 요구사항을 구현하기 위한 필요 사항을 제시한다.

3.1 요구사항 분석

폐가전제품의 수거와 처리 시스템에 대한 요구사항은 크게 배출자와 재활용 처리 사업자 측면으로 나누어 살펴볼 수 있다. 먼저 배출자 측면의 요구사항을 살펴보면 다음과 같다. 배출자는 폐가전의 배출이 용이해야 하며 자발적 배출을 유도할 수 있어야 한다. 자발적 배출이 가능하려면 배출에 대한 보상 방안이 필요하다. [7]에서는 가전제품 수거와 처리시스템 방안을 서비스 디자인 방법론을 사용하여 연구하였다. 사용자들을 인터뷰하고 관찰한 결과, 가정의 전자제품 관리는 주로 살림을 도맡는 주부들이 하는 것으로 파악되었다. 또한 주부들의 인터넷 이용 접근성이 떨어진다는 점, 정보와 홍보 부족으로 가전제품 수거의 필요성에 대한 인식이 부족한 점, 주부의 특성상 알뜰한 가계유지를 원하며 가전제품 처리에 대한 보상이나 혜택이 주어지길 원하는 점, 대형 가전제품의 경우, 인터넷 접수로만 수거신청이 가능하고 특정일에 맞추어 예약을 해야 하는 번거로운 절차가 있고, 소형 가전제품은 특정 장소에만 전용 수거함이 있어 접근성이 용이하지 않은 점 등의 문제점을 발견하였다[7]. 그러므로 우리는 폐가전 배출에 대한 보상으로 포인트를 지급하는 방식을 채택하고자 한다.

한편, 재활용 처리 사업자 입장에서는, 현행 수작업에 의한 수거 방법은 배출량을 정확히 예측할 수 없으므로 수거 및 운반비용이 증가하고, 원료수급이 불안정해져 생산계획 등을 수립할 수 없어 사업 영위에 어려움을 겪는 문제점이 있다. 그러므로 안정적 원료 확보와 생산 설비의 최적 운전 계획 수립 등을 위해서라도 수거 상황의 파악이 가능한 수거 시스템을 필요로 한다.

이러한 요구사항들을 종합해 볼 때, 개발하고자 하는 목표 시스템은 개인이 쉽게 배출할 수 있는 소형 폐전기전자 제품을 주 수거대상으로 하며, 배출자의 자발적 배출을 유도하기 위해 배출의 대가로 포인트를 지급하는 방식이어야 하고, 수거기의 배출량 등의 수거 상황 정보가 파악 가능하여야 한다.

본 논문에서 제시하는 수거 시스템은 배출자가 겪게 되는 여러 가지 제약사항과 불편을 해소하고 아울러 배출의 대가를 지불함으로써 자발적 참여를 유도하는 새로운 시스템을 목표로 한다. 또 폐기되는 폐가전제품에 식별코드를 부착하여 폐기 과정에서 폐기 물품의 관리를 안전하고 정확하게 할 수 있으며 폐기 처리과정을 파악하여 소형 폐가전 수거관리에 소요되는 인건비와 관리비용을 획기적으로 줄일 수 있도록 한다.

3.2 목표 시스템 개념

본 논문은 폐가전 배출자의 자발적 참여를 유도하기 위해 포인트를 지급하는 방식의 소형 폐가전 수거 시스템을 제안하고 수거 시스템의 주요 구성 요소인 수거기 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다. 배출 대가의 지불은 포인트의 형태가 될 것이며 이는 비트코인(bit coin)과 같은 가상화폐 이거나 OK-Cashbag과 같은 기존의 포인트 제도와 연동한 포인트가 될 수 있다. 수거 품목은 휴대폰, 컴퓨터, 프린터, 복사기, 팩시밀리, 복합기, 오디오 등 일정 크기 이하의 소형 폐전기전자 제품의 수거에 초점을 맞춘다.

위와 같은 목표를 달성하기 위한 소형 폐가전 수거 시스템의 개념은 아래 Fig. 1과 같다. 시스템의 구성 요소는 좁게는 무인 자동 수거기 시스템(Unmanned Automatic Collector System: UACS)와 수거 관리 서버(Collection Management Server: CM Server)로 이루어지며 넓게는 폐가전 배출자(Discharger)와 수거자(Collector)까지 포함하여 이루어진다.

배출자(Discharger)는 폐가전제품의 배출을 희망하는 사람으로서, 본 수거 시스템을 사용하기 위해서는 먼저 수거 관리 서버(CM server) 홈페이지를 통

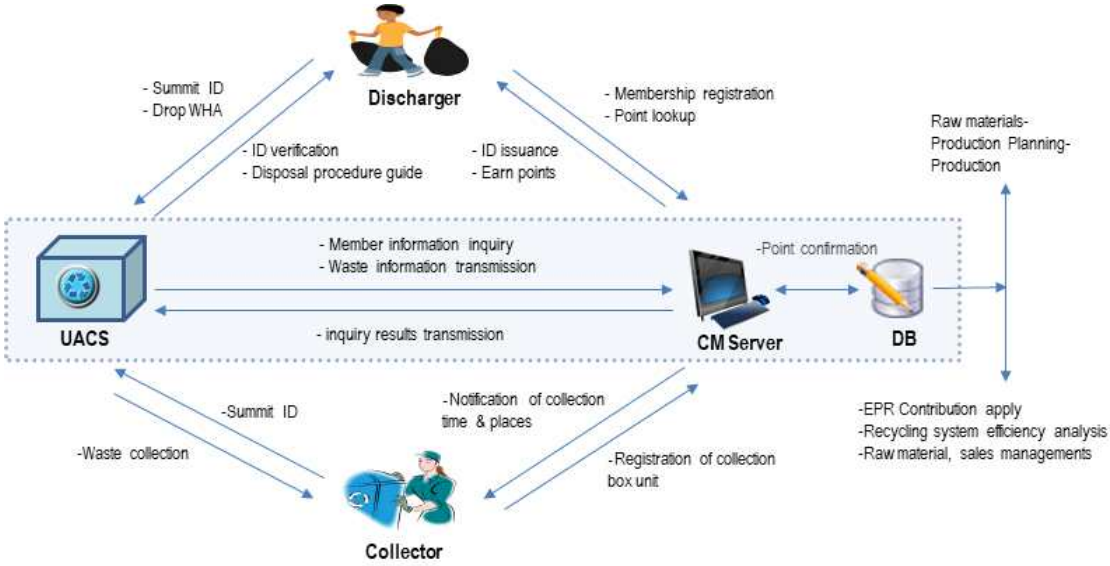

Fig. 1. The concept of a small waste home appliance collection system.

해 회원 가입을 하고 아이디(ID)를 부여 받아야 한다.

소형 폐가전 무인 자동 수거기 시스템(이하 수거기(UACS)라 함)은 다음과 같다. 수거기는 아파트 등의 주거 밀집 지역에 설치되어 폐가전을 무인 수거할 수 있도록 하는 자동화 시스템을 말한다. 회원 가입을 완료한 배출자는 폐가전의 배출을 희망할 경우 수거기에서 먼저 자신의 아이디와 패스워드를 제출하여 신원 확인 절차를 거친다. 정당한 사용자임이 확인되고 나면 수거기의 안내에 따라 소형 폐가전(Waste Home Appliances: WHA)을 수거기에 투입할 수 있게 되고, 수거 작업이 완료되면 수거기는 수거 관리 서버에 관련 내용을 전송한다.

수거자(Collector)는 배출된 폐가전의 수거를 담당하는 사람을 말하며, 수거 관리 서버(CM Server)는 배출자, 수거자, 배출 폐가전 등에 관련된 정보를 유지하며 전체 수거 시스템을 관리하는 서버(server) 시스템을 말한다. 수거 관리 서버 및 수거자에 대한 설명은 다음과 같다. 수거 관리 서버는 특정 수거기에서 폐가전을 수거할 적절한 시점이 되었다고 판단되면 수거자에게 수거 시점을 통보할 수 있다. 수거자는 수거기로부터 폐가전을 수거하여 회사에 입고하고 수거 관리 서버에 등록하여 수거 사이클을 완료하는 역할을 수행한다. 수거 사이클이 완료되고 나면 배출된 폐가전에 대한 확인과 포인트 산정 과정을 거친 후 사용자에게는 적절한 포인트를 지급한다. 수거 관리 서버는 폐기물, 포인트 등의 관련 정보를 데이터베이스에 유지, 관리한다. 데이터베이스에 유지되는 정보들은 원재료 입고, 생산 계획 및 생산, 재활용 업체에 지급되는 생산자 책임 재활용(Extended Producer Responsibility: EPR) 분담금 신청 등 수거 후 프로세스를 위한 기초 자료로 활용하게 되며 이외에도 분석과 관리를 위한 자료로 활용할 수 있다.

3.3 수거기 설계

수거기(UACS)는 주거 밀집지역에 설치되어 폐가전제품을 무인 수거할 수 있도록 하는 독립된 자동화 기기이다. 수거기를 통해 배출한 폐가전에 대해 포인트를 지급하기 위해서는 수거 대상 폐가전제품의 종류를 선정하여야 하며 선정된 대상 각각에 대해 내재가치를 평가하여 지급 가능 포인트를 미리 산정해두어야 한다. 포인트는 수거 완료 후 폐가전의 상태 등에 따라 최종 확정되므로 배출자가 폐가전을 배출하는 시점부터 포인트 확정시까지 배출된 품목의 추적이 가능해야 한다. 이를 위해 각 폐기물들에는 식별코드가 발행·부착 되어야만 한다. 또한 배출된 품목은 포인트와 같은 경제적 가치와 관련되는 만큼 폐기의 과정이 사진과 동영상 등을 통해 기록하여 발생 가능한 분쟁에 대비한 증빙으로 사용할 수 있어야 한다. 아울러, 수거기에서 폐기 과정 중에 발생되는 모든 데이터는 수거관리 서버에서 관리하게 되므

```
while do
{
   READ Id & Password
   if Id is valid then
   {
       while waste-item remains do
       {
            READ type
            PRINT waste code
            TAKE photo
            parbegin          // parallel begin
            {
              RECORD video
              {
                OPEN inlet
                WAIT 10 seconds
                CLOSE inlet
              }
            }
            parend            // parallel end
            TRANSMIT waste Info.
       }
       TRANSMIT photos & videos
   }
}
```

Fig. 2. Pseudo-code of UACS operation.

로 수거관리 서버와의 통신이 가능해야 한다.

Fig. 2는 수거기(UACS)의 동작을 슈도-코드로 보여주고 있다. 수거기를 사용하기 위해서는 먼저 아이디와 패스워드를 사용하여 사용자 인증 과정을 거쳐야 한다. 인증을 통과하면 배출자는 자신이 배출하고자 하는 폐가전의 종류(type)를 입력하여야 한다. 배출자 정보와 폐가전 정보 및 폐기 일시 정보를 포함하는 폐기물 식별코드(waste code)가 발행되며 발행된 폐기물 식별코드는 폐가전에 부착되어야 한다. 폐기 준비가 완료되고 나면 기구부의 개폐구(inlet)가 작동하여 폐기물을 투입구를 통해 투입하게 된다. 개폐구의 작동 직전부터 작동 완료까지의 전 과정은 사진과 동영상 촬영을 통해 녹화되어야 한다. 투입을 완료하고 나면 수거기는 폐가전과 관련된 정보를 수거 서버로 전송한다. 배출자가 폐가전을 두 개 이상 폐기할 수도 있으므로 남은 폐가전이 있다면 종류 선택 과정으로 돌아가야 한다. 배출자가 폐기를 마치고 난 후 수거기는 사진과 동영상 등의 폐기과정 정보를 서버로 전송하고 폐기과정을 종료한다.

수거기는 크게 제어부(control part)와 기계/기구부(machine/mechanical part)로 나뉜다. 제어부는 수거기 내의 특정부분에 설치되며 마이크로프로세서 등이 위치하여 수거기의 제어를 담당한다. 제어부를 제외한 나머지 부분이 기계/기구부이며 제어기의 제어에 따라 실제 기계나 기구의 동작 기능을 담당하게 한다.

제어부(control part)가 수행해야하는 기능들은 다음과 같다. 먼저, 배출자의 폐기과정과 수거자의 수거 과정을 안내하는 기능(Procedure guide function)이 있어야 한다. 이는 터치스크린 LCD를 사용하여 수행하며 사용자에게 시각적 안내를 하고 필요한 정보를 입력 받는 기능이다. 시각적 안내뿐만 아니라 소리를 이용한 청각적 안내 역시 필요하므로 스피커를 이용한 음성 안내 기능(Voice guidance function) 역시 필요하다. 배출자 및 수거자가 정당한 사용자인지를 확인할 수 있는 신원 확인 기능(Identity verification function)이 필요하다. 신원 확인은 터치스크린 LCD에서 아이디와 패스워드 입력을 통해 확인하거나 카드 리더를 이용해 회원 카드를 읽는 방법 등이 사용 가능하다. 폐기하고자 하는 폐가전의 식별을 위해 식별코드 출력 기능(Waste code issuing function)이 요구되며 이는 라벨 프린터 등을 이용하여 QR 코드나 바코드 등을 출력하고 이를 폐기물에 부착하여야 하므로 접착식 라벨 용지를 사용하여야 한다. 포인트 지급 과정의 증빙이나 분쟁 등에 대비해 폐기 과정을 촬영할 수 있는 기능(Disposal process recording function)이 필요하며 촬영은 사진과 동영상 등이 대상이 될 수 있다. 사용자 인증 정보와 폐기물 관련 정보 및 사진과 동영상 등은 서버와 통신을 통해 확인하고 전송하여야 한다. 이를 위해 정보 전송 기능(Information transmission function)이 요구된다. 정보 전송 과정에서 사용자 정보 등은 보호되어야 하므로 정보 보안 기능(Security function)이 필요하다.

기계/기구부(machine/mechanical part)가 수행해야하는 기능들은 다음과 같다. 먼저, 폐가전의 투입 준비가 끝났으면 모터를 사용하여 투입구 문을 개폐하여 폐가전을 보관함(storage box) 안으로 투입할 수 있도록 하는 투입구 개폐 기능(Inlet opening and

closing function)이 있어야 한다. 또 투입 과정에서 사용자가 투입구 문에 끼이는 사고가 발생하지 않도록 광학 센서 등을 사용하여 끼임 사고를 방지할 수 있는 기능(Accident prevention function)이 필요하다. 제어부 및 기계/기구부의 동작을 위해서는 전원 공급 기능(Power supply function)이 필요하다. 또, 외부 프레임을 제작하여 제어부의 방진/방수와 물리적 보안 기능을 수행하여야 한다. 마지막으로 투입된 폐가전을 수거 시까지 보관하기 위한 저장 기능(Storage function)으로 보관함이 수거기 내부에 설치되어야 하며 수거자는 보관함 째로 수거하게 된다. 수거기 시스템의 구성 요소별 요구 기능의 정의와 이를 구현하기 위해 필요한 하드웨어는 아래 Table 2와 같다.

4. 수거기 구현

본 장에서는 소형 폐가전 수거 시스템 구성 요소 중 핵심적인 역할을 담당하는 무인 자동 수거기 시스템의 구현과 관련된 내용을 기술한다.

4.1 구현 내용

수거기 개발에 사용된 하드웨어 및 소프트웨어 환경은 Table 3과 같다. 수거기는 임베디드 시스템으로 구현하기 위해 텍사스 인스트루먼트(TI)사의 비글본 블랙(BeagleBone Black) Rev. C 보드를 기준으로 개발을 진행하였다. 비글본 블랙은 신용카드 크기를 갖는 저비용 개발 플랫폼이다. 512MB DRAM, 4GB 온보드 플래시 메모리, 온보드 마이크로 HDMI 포트

Table 2. Defining required features and hardware by UACS component.

Component	Function	Description	H/W
Control Part	Procedure guide function	• Display disposal and collection procedures using touch screen LCD and receive required input from user	• Touch screen LCD
	Voice guidance function	• Voice guidance to the trash discharger or collector	• Sound card & Speaker
	Identity verification function	• Check whether the user is a valid user through communication with the collection management server	• Touch screen LCD or Card reader
	Waste code issuing function	• Print waste code such as QR code or bar code to check the thrash discharger and waste after collection	• Label printer
	Disposal process recording function	• Take photos and videos for proof of the disposal process	• Camera
	Information transmission function	• Transfer information to and from the collection management server	• Communication card
	Security function	• Security of identity and communication	
Machine/ Mechanical Part	Inlet opening and closing function	• Automatic opening and closing of the inlet door using a motor to put waste home appliances into the storage box	• Motor
	Accident prevention function	• Prevention of jamming accidents that may occur during the opening and closing process of the inlet using a sensor	• Sensors
	Power supply function	• Power supply to each part	• Power supply
	External frame function	• Consider dustproof, waterproof and physical security with external frame	• External frame
	Storage function	• Stored waste in a storage box until collection	• Storage box

Table 3. Development environment of UACS.

Division		Item and Devices
Hardware	Board	• TI BeagleBone Black Rev. C
	Monitor	• 4D Systems 7" TFT-LCD • Resolution: 800×480
	WebCam	• Logitech C260
	Label Printer	• Bixolon D220 with Auto-peeler • 4" Direct Thermal
	Wireless LAN card	• AnyGate XM200UA
	Sound Card	• Coms USB 8.1 Sound Channel
	Sensors	• Z type Micro Switch • Photo Sensors
	Motor	• AC Motor
Software	OS	• Bone Debian 7.11 Lxde
	Programming Language	• Qt 4.8 & C++

를 갖추고 있으며 1GHz의 TI AM3358 프로세서가 제공하는 실시간 분석을 위한 풍부한 I/O 및 처리 능력을 갖추어 소형 임베디드 애플리케이션 개발에 적합한 저전력 오픈 소스의 하드웨어 개발 플랫폼이다[8]. BeagleBone 보드 상의 운영체제는 Bone Debian 7.11 Lxde를 사용하였다.

사용자 인터페이스를 위한 모니터는 4D 시스템사의 7인치 TFT-LCD 터치스크린을 사용하였으며 폐기과정 증빙을 위한 사진과 동영상 촬영을 위해 로지텍사의 C260 웹캠을 사용하였다. 사용자가 폐기한 소형 폐가전은 수거 후에 검증 과정을 거쳐 포인터를 지급하여야 하므로 각각의 폐가전은 식별되어야만 한다. 이를 위해 식별용 바코드를 발행하고 폐기일시와 배출자 ID 및 폐기물 종류 등의 정보를 담은 라벨지를 출력하여 폐가전에 부착 후 투입하도록 한다. 이를 위해서는 라벨 프린터가 사용되어야 하고 본 과제에서는 빅솔론사의 4인치 직접감열식인 D220 모델에 Auto-peeler를 부착하여 사용하였다.

수거기의 통신은 개발 단계에서는 와이파이 환경을 가정하였다. 통신을 위한 무선 랜카드로 AnyGate XM200UA 모델을 사용하였다. 수거기가 설치되는 지역이 주거밀집 지역인 경우가 많으므로 와이파이 환경을 가정하였으며 추후 LTE 혹은 5G 환경에 대한 개발도 추가할 예정이다.

사용자에게 터치스크린 LCD를 통해 제공되는 기본적인 시각정보 외에 투입구 개폐시 등의 안전을 위해 음성 정보도 같이 제공될 필요가 있다. 이를 위해 사운드 카드와 스피커를 사용하여 녹음된 음성파일로 안내를 제공하도록 하였다.

개폐구 동작을 위한 모터는 파워와 효율성을 고려해 AC 모터를 사용하였으며 Z형 마이크로 스위치를 사용하여 모터 동작/정지를 결정함으로써 개폐구 동작의 범위를 설정하였다. 또한 포토센서를 사용하고 포토센서 검출 시 투입구 동작을 중지하여 투입구의 닫힘 시에 발생할 수 있는 손 끼임 등의 안전사고를 예방을 할 수 있도록 하였다. 또한, 비글본 보드의 GPIO를 사용하여[9] 센서와 모터를 제어한다. GPIO의 출력을 받아 AC모터를 구동하기 위한 릴레이와 센서의 입력을 GPIO로 전달하는 등의 기능을 수행하는 부분은 별도의 제어보드를 설계/제작하여 구현하였다.

소프트웨어 개발 환경은 데비안 리눅스 11[10] 상에서 Qt 4.8[11]과 C++를 사용하였다. Qt를 사용하여 GUI를 구현하였으며 하드웨어 제어는 C++를 사용하여 각 장치별 객체중심으로 구현하였다.

4.2 구현 결과

Fig. 3에서는 구현된 수거기의 사용자 인터페이스 중 일부를 보여주고 있다. LCD를 통해 사용자에게 보이는 화면의 일부로서 사용자로부터 폐기물의 종류를 입력받는 과정을 보여준다.

Fig. 4는 폐기물 식별을 위해 출력하는 라벨지의 출력을 보여주고 있다. 출력된 라벨지는 폐기물 코드

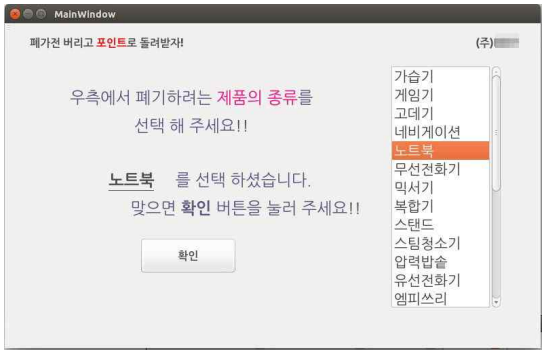

Fig. 3. Example of User Interface.

Fig. 4. Example of Printed Label.

등을 포함하고 있으며 폐기물에 부착하여 폐기물을 식별하는데 사용된다.

Fig. 5는 외부 하우징을 포함하여 개발된 수거기 프로토타입의 외부 모습을 보여주고 있다. 수거기는 외부 환경에서 사용되므로 제어보드 등의 전자기기를 내장하고 있는 제어부는 별도의 하우징으로 설계

Fig. 5. Development of an UACS prototype.

하였으며, IPX2 등급의 방수를 달성하도록 제작하였다.

5. 결 론

도시 광산은 산업원료인 광물금속이 제품 또는 폐기물 형태로 생활 주변에 소량으로 넓게 분포되어 양적으로 광산규모를 가진 형태를 의미한다. 도시 광산은 회수-분리-선별-정련 과정을 거쳐 자원을 재활용하게 되는데 이 때 가장 큰 문제는 회수 단계라 할 수 있다. 일반적으로 효용가치가 작은 폐가전은 배출이 잘 되는 반면 가치가 높은 폐가전은 재활용 단계까지 흘러오지 않는 경우가 일반적이므로 효율적인 폐가전 회수 시스템의 개발이 절실히 필요하다.

논문에서는 먼저, 국내외 폐가전 수거와 관련된 사례를 분석하였다. 우리나라에서 폐가전제품의 배출을 위해 일반적으로 사용하는 방법들을 비교 분석하고 특징을 정리하였다. 기존 폐가전 수거 방식의 문제점을 해결하기 위해 새로운 자동화된 수거 시스템의 개발 필요성을 확인하였다.

폐가전 제품의 수거와 처리 시스템에 대한 요구사항을 배출자와 재활용 처리 사업자 측면으로 나누어 살펴보았다. 그 결과 배출자에는 수거에 대한 보상으로 포인트 지급이 필요하며, 재활용 처리 사업자는 수거 및 운반비용 절감, 안정적 원료 확보, 생산 설비의 최적 운전 계획 수립 등을 위해 수거 상황의 파악이 가능해야 함을 알 수 있었다.

본 논문에서는 폐가전 배출자의 자발적 참여를 유도하기 위해 포인트를 지급하는 방식의 소형 폐가전 수거 시스템을 제안하였다. 수거 시스템은 수거기와 수거 관리 서버의 클라이언트-서버 구조로 이루어져 있다. 수거기는 주거 밀집지역에 설치되어 폐가전을 무인 수거할 수 있도록 하는 독립된 자동화 기기로서 배출자가 폐가전을 배출하여 수거자가 수거할 때 까지 이를 보관하는 역할을 담당한다. 이러한 역할을 수행하기 위해 필요한 절차와 기능을 분석하였다. 수거기는 제어부와 기계/기구부로 나누어지며 제어부에서는 절차안내, 음성안내, 신원확인, 식별코드 출력, 폐기과정 촬영, 정보전송, 보안 등의 기능을 수행하여야 한다. 기계/기구부는 투입구 개폐, 끼임 사고 방지, 전원 공급, 외부 프레임, 보관 등의 기능을 수행하여야 한다. 또, 이러한 기능을 수행하기 위해 필요한 하드웨어들을 식별하였다.

우리는 폐가전 수거 시스템의 구성요소 중 수거기 시스템을 구현하였다. 수거기는 비글본 블랙 보드를 사용하는 임베디드 시스템으로 개발하였으며, 개발에 사용된 하드웨어와 소프트웨어를 설명하였다. 또한 개발 결과인 사용자 인터페이스와 수거기 프로토타입 등을 보였다.

본 연구에서 제안된 소형 폐가전 무인 자동 수거 시스템은 수거기 외에 수거관리 서버 역시 구현되어야 한다. 수거관리 서버의 구현과 관련된 내용은 향후 연구과제로 남겨둔다. 또, 본 논문에서 제시한 소형 폐가전 수거 시스템의 성공적인 개발을 위해서는 무엇보다 대상 폐가전을 확정하고 각 폐가전의 내재가치 평가와 이에 기초한 합리적인 포인트 기준이 마련되어야 할 것 이다. 이에 대한 후속 연구가 진행되어야 할 것 이다.

REFERENCE

[1] L.J. Kim, H.J. Shin, and H.Y. Kang, “Investigation and Analysis for the Status of Urban Mining Industry in Korea,” *Journal of Korean Institute of Resources Recycling*, Vol. 25, No. 5, pp. 3-13, 2016.

[2] Y.G. Hwang, S.C. Kil, and J.H. Kim, “Technical Trends of Rare Metal Recycling in the Next Generation Automobile,” *Journal of Koran Institute of Resources Recycling*, Vol. 23, No. 2, pp. 3-16, 2014.

[3] Interagency partnerships (The Ministry of Knowledge Economy, Ministry of Education, and Science Technology, Ministry of National Defense et al.), *Waste Metal Resources Recycling Measures*, pp. 1-32. 2009.

[4] E.M. Jung, “Efficient Promotion of Urban Mining Projects and Policy Tasks,” *KIET Industrial Economic Review*, pp. 15-26, 2010.

[5] M.W. Song, “Urban Mining Industry Status and Prospect,” *Weekly Technology Trend*, Vol. 1419, IITP, 2009.

[6] Urban mining, dig gold in the trash(2013), http://m.blog.naver.com/mocienews/100179671821 (accessed July 18, 2021).

[7] J.E. Bae, S.K. Kwon, S.A. Baek, and S. I. Kim, “A Suggestion of Collection and Recycling Systems of Home Appliances for Invigoration of Urban Mining Industry - Mainly with Service Design Methodology,” *Journal of Digital Design*, Vol. 13, No. 3, pp. 245-254, 2013.

[8] BeagleBone Black - BeagleBoard.org, http://beagleboard.org/black (accessed September 19, 2021).

[9] D. Molloy, *Exploring BEAGLEBONE - Tools and Techniques for Building with Embedded Linux*, Jon Wiley & Sons Inc., Indianapolis, IN, 2015.

[10] Debian - The Universal operating system, https://www.debian.org(accessed September 19, 2021).

[11] Qt Documentation Archives, https://doc.qt.io/archives/qt-4.8/index.html(accessed September 19, 2021).

차 현 철

1989년 경북대학교 통계학과 학사
1993년 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
1998년 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
1995년~현재 동양대학교 철도관제정보학과 교수
1999년~2000년 (미)애리조나주립대학 방문교수