

# 국내 폐가전제품의 회수 및 재활용을 위한 RFID 기반 통합관리시스템 설계

김현수<sup>†</sup> · 한대희 · 정해준 · 이성현

경기대학교 산업경영공학과

## Design of RFID-based Integration System for Collection and Recycling Process of EOL Household Electric Appliances in Korea

Hyunsoo Kim<sup>†</sup> · Daehee Han · Haejun Jeong · Seonghyun Lee

Department of Industrial and Management Engineering, Kyonggi University

Most world-leading companies are aware that Environment and Health and Safety Issues are critical to the product quality and sustainable growth of their company. Environment-friendly efforts are seen in almost all aspects of business operations in an advanced nation. The Extended Producer Responsibility(EPR) and EU Directive on Waste Electric and Electronic Equipment(WEEE) attempt to tackle the growing quantity of WEEE by making producers responsible for the costs of the collection and recycling of their products at the End-of-Life(EOL).

To implement the RFID-based integration system for EOL household electric appliances, such as washing machines and refrigerators, we analyzed the process of collecting, recovering, and recycling the EOL products returned from the distribution points. Furthermore, we proposed a soon-to-be process using the RFID-based integration system in the metropolitan recycling center(MRC). This soon-to-be process model is composed of RFID tags, readers, ALEs, applications and several devices. Through the introduction of the RFID-based integration system, we are expecting to see increasing traceability and real-time management for EOL products from customers, and also improvements in valuable reusable materials(VRM) produced from recycling processes.

**Keywords** : Recycling, RFID, End-of-Life(EOL) Household Electric Appliance

### 1. 서 론

#### 1.1 연구 배경 및 동향

고객의 수요가 다양화되고 제품 성능이 빠르게 발달

함에 따라, 제품 구매의 주기가 빨라지고 제품의 수명 주기가 단축되어 많은 양의 가전제품들이 빠르게 폐기되고 있다. 이러한 문제는 한정된 지구 자원을 빨리 소모하게 되며, 폐기 처리로 인한 환경오염을 유발시킨다. 유럽연합(EU)에서는 WEEE(Waste Electrical and Elec-

논문접수일 : 2008년 12월 23일    논문수정일 : 2009년 05월 25일    게재확정일 : 2009년 06월 09일

<sup>†</sup> 교신저자 hskim@kyonggi.ac.kr

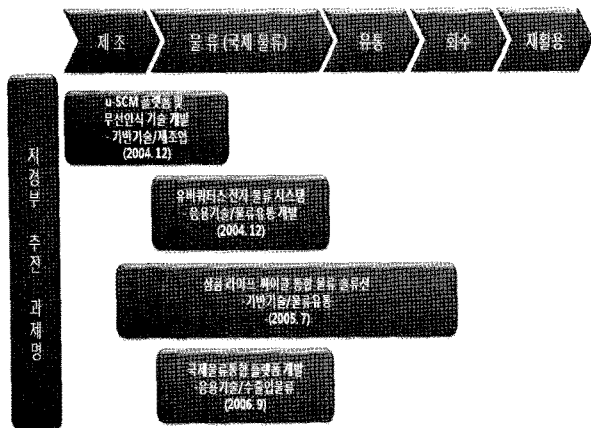
※ 본 논문은 지식경제부 “지식서비스 전략기술개발사업” 지원으로 연구되었음.

tronic Equipment) 지침을 마련하여 폐가전제품의 회수를 권장함으로써 제품 폐기단계에서의 환경오염을 감축하기 위해 노력하고 있다. 우리나라에서도 2003년부터 확대생산자책임제도(EPR, Extended Producer Responsibility)를 도입하여 소비자가 사용하던 제품이 폐기물로 배출될 때 생산자에게 일정량을 회수하도록 의무를 부여하고 있다. 또한 2008년 1월부터는 EPR 제도에서 전기전자제품을 별도로 구별하여 ‘전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률’을 제정하여 시행하고 있다.

국내 전자제품 생산기업들은 자체적으로 운영하던 리사이클링센터를 1997년부터 공동으로 이용할 것을 협정하였으며, 2000년 9월 한국전자산업환경협회(AEE)를 창립하여 그 산하에 수도권, 중부권, 영남권, 호남권, 제주권의 5개 권역별 리사이클링센터를 운영함으로써 연 100만 대 이상의 폐가전제품을 재활용 처리할 수 있는 능력을 보유하고 있다. 하지만 소비자로부터의 폐가전제품 발생시점이 불특정하며, 배출된 폐가전제품의 수거량이 불확실하고, 폐가전제품을 리사이클링센터로 수배송하는 거점(지방자치단체와 생산자 물류센터)이 약 250여 곳으로 매우 다양하여 폐가전제품에 대한 추적관리 및 운영관리에 대한 애로사항이 많이 발생하고 있다[8].

1.2 연구 범위 및 방법

RFID(Radio Frequency Identification)란 안테나와 칩으로 구성된 무선주파수를 이용하여 대상을 식별할 수 있는 기술로서 칩의 저장능력과 인식능력이 향상되면서 SCM 분야에서 RFID의 적용이 확산되고 있다. <그림 1>과 같이 2004년부터 정부 추진과제로 제품의 프로세스 단계인 제조 및 생산, 물류, 유통, 회수, 재활용 중 Forward Logistics에 대한 연구가 진행되어졌으나, 회수 및 재활용 단계인 Reverse Logistics에 대한 연구는 매우 미비하였다.



<그림 1> 지식경제부 RFID 추진 과제

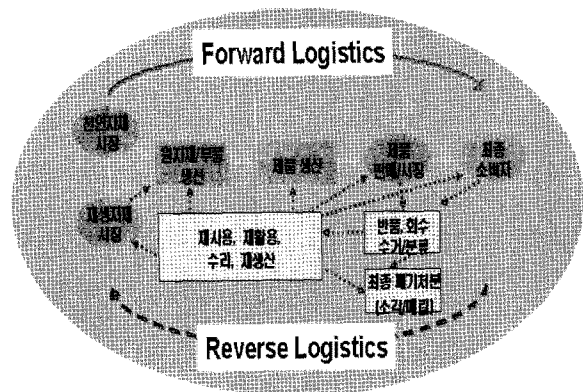
따라서 본 연구에서는 폐가전제품의 회수 및 재활용 프로세스에 대하여 분석하고, 자원순환 과정의 운영 효율성을 얻기 위하여 폐가전제품에 대한 RFID 통합관리 시스템을 설계하고, 설계된 통합관리시스템의 특성과 기대효과를 분석함으로써 폐가전제품의 회수 및 관리에 대한 효율성과 폐가전제품의 재활용 처리 후 2차 시장으로 판매되는 유가물 정보에 대한 활용성을 분석하고자 한다.

이를 위하여 제 2장에서는 환경물류의 정의 및 폐가전제품 회수관련 연구 동향과 RFID 기술에 대한 사례에 대하여 설명하고, 제 3장에서는 폐가전제품 리사이클링센터의 운영 프로세스를 분석하였으며, 현행 폐가전제품의 회수 및 재활용 프로세스의 문제점에 대하여 지적하였다. 제 4장에서는 폐가전제품의 회수 및 재활용을 위한 RFID 기반 통합관리시스템을 제안함으로써 이를 통한 기대효과를 분석하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 환경물류

환경물류란 <그림 2>와 같이 기존의 생산에서부터 시작하여 유통과정을 거쳐 최종소비자에게 제품이 전달되는 전통적 물류활동에 초점을 맞추고 있는 ‘Forward Logistics’와 고객 및 소비자의 제품 사용 중 또는 사용 후 발생하는 반품, 회수, 수리, 재판매, 재활용, 재사용, 폐기 등을 다루는 ‘Reverse Logistics’가 통합된 Closed-Loop Supply Chain 상의 지속가능성, 경제성, 친환경성을 추구하는 Logistics로 정의될 수 있다[3].



<그림 2> 환경물류

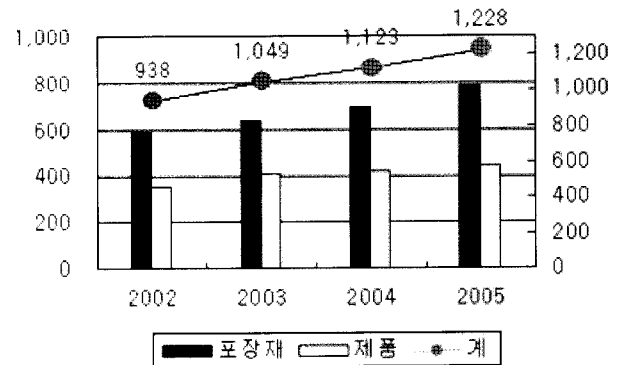
환경물류를 구현하기 위해 독일의 경우, WEEE 대응 프로젝트의 중점 영역으로 파쇄 및 자동선별기술 개

<표 1> WEEE 관련 중점영역별 프로젝트 개요(독일)

중점영역	세부사항	연구수행기관	연구비 지원기관	향후 전망
파쇄 및 자동선별 기술개발	해체 및 선별기술개발, 해체자동화	프라운호퍼 ICT, 베를린공대	유럽연합(EU), 독일연방교육부(BMBF), 독일과학재단(DFG), 독일환경재단(DBU)	해체를 고려한 제품개발을 통한 제품의 해체효율향상
자원순환형 종합관리시스템 구축	재활용 비용관리, 물류체계관리, 공정관리	스투트가르트대학, 베를린공대, 프라운호퍼 IML	유럽연합(EU), 독일연방교육부(BMBF)	재이용률 향상을 위한 제품관리전략개발
환경친화적 제품개발 (LCA 포함)	환경친화적인 제품 및 생산공정 개발, 실용화 및 평가	뮌헨공대, 관련업체	독일연방교육부(BMBF), 독일환경재단(DBU)	제품에 대한 재활용데이터활용 (Recycling pass)
유해물질에 대한 대체물질 개발	무납 용접공정의 개발 및 실용화	프라운호퍼 IZM, 관련업체	유럽연합(EU), 프라운호퍼재단(FhG)	무납 용접기술의 실용화연구

발, 환경친화적 제품 개발, 유해물질에 대한 대체물질 개발 및 자원순환형 물류체계 관리시스템 등을 구축하고 있다(<표 1> 참조).

독일 재활용연합에 따르면, 자원순환형 종합관리시스템의 효율적 구축을 통하여 유해물질을 함유하고 있는 소형 폐가전제품을 많은 비용이 소요되지 않게 수거하여 효율적으로 재활용하였다. 이를 위해 정부차원에서는 폐기물 처리업체에게 최소한의 수거율 달성을 의무화하고, 연구 기관에서는 자원순환형 종합관리시스템 구축을 위한 비용관리, 물류체계관리 그리고 재활용 공정관리 등의 영역에서 연구를 수행하였다[11].



출처: 환경부 www.me.go.kr.

<그림 3> 재활용 실적(단위: 천톤)

## 2.2 폐가전제품 회수물류 연구 및 국내 EPR 동향

### 2.2.1 폐가전제품 회수물류 연구

박찬혁 등(2003)은 국내 폐가전제품 회수처리현황 데이터를 토대로 선진국의 폐가전제품 관리 현황을 분석하여 폐가전제품의 재이용 및 재활용 활성화 방안에 관한 연구를 다루었으며[2], 정진기 등(2007)은 폐가전제품 재활용기술의 국내현황을 분석하였다[5]. 김현수 등(2007)은 회수물류 데이터와 운송거리데이터, 운송비용데이터를 토대로 선형계획 모델링 방법을 통해 회수경로 최적화 연구를 진행하여 신규 리사이클링센터 선정에 관한 연구를 하였다[1]. 진준수 등(2006)은 정보기술로 주목받는 RFID를 이용한 물류네트워크 구조를 살펴보고 RFID 시스템의 도입 시 고려해야할 요인들을 제시하였다[4].

### 2.2.2 국내 EPR 동향

환경부는 생산자책임재활용(EPR) 제도를 3년간(2003~2005) 시행한 결과, <그림 3>과 같이 재활용률은 매년 7~12% 증가하고 있으며, 총 재활용량은 340만 톤으로 경제적 가치로 환산하면 약 1조 2,439억 원에 이른다고 발표하였다[10].

환경부는 “기후변화 대응 종합대책안” 발표를 통하여, 2003년 EPR 제도 시행 이후 대상품목을 15개에서 형광등, 필름류 포장재, 이동전화단말기, 사무용기기 등을 추가하여 2006년 21개 품목으로 확대하였으며, 2008년 현재 폐기물 재활용 의무대상 24개 품목을 2012년까지 40 품목으로 확대한다고 하였다. 또한 EPR 대상 생활폐기물 재활용율도 2006년 기준 50.3%에서 2012년 60%까지 끌어올릴 것이라고 밝혔다[9]. EPR 제도를 시행한 결과, 재활용 대상 품목별 분리수거체계의 개선, 재활용시설의 확충, 적극적인 홍보 실시 등의 효과가 있었으며 유가 급등, 원자재 파동 등의 외부적 요인과 더불어 재활용이 활성화되고 있다.

## 2.3 RFID 관련 기술

RFID 시스템은 대상제품에 정보를 담고 있는 마이크로칩과 안테나로 이루어진 무선 인식용 RFID 태그(Tag)를 부착하여 리더(Reader)와 안테나(Antenna)의 상호작용에 의해 리더가 태그의 정보를 비접촉(Contactless) 방식으로 읽어 들여 정보시스템에 전송하는 시스템이다[6].

RFID 태그는 데이터를 저장하고 있는 메모리, IC 회로, 마이크로프로세서, 안테나 등을 내장하고 있으며, 태그 내부의 에너지원의 존재 여부에 따라 능동형 태그(Active tag)와 수동형 태그(Passive tag)로 구분된다. 능동형 태그의 경우 자기 자신의 전원공급장치를 가지고 있기 때문에, 리더의 유도 전류에 의해서 전원을 공급 받는 수동형 태그에 비해 먼 거리에서도 인식이 가능하다. 리더 내부의 안테나에서 지속적으로 전파를 발산하고 있고 ID와 데이터가 저장된 태그가 그 전파 범위 안에 들어가면 자신이 지니고 있는 ID와 데이터를 안테나로 전송하며, 안테나는 카드에서 전송된 ID를 데이터 신호로 변환하여 정보시스템에 저장된 데이터베이스와 비교하여 필요한 서비스를 제공한다. 수동형 태그의 경우 내부에 별도의 전원을 가지고 있지 않으며, 리더로부터 송출된 전자파를 정류하여 자신의 동작 전원을 얻는다. 따라서 수동형 태그의 안테나는 가능한 최대의 전력을 손실 없이 태그 칩으로 전달하여야 하며, 태그 칩과의 완벽한 정합이 이루어져야 하기 때문에 능동형 태그와 차이를 보인다.

RFID 시스템은 생산 방식의 변화, 소비자 의식의 변화, 문화 및 기술의 진보, 바코드와 마그네틱 카드의 단점 해소 요구에 의해 공장자동화, 물류 및 유통분야, 교통 분야, 의료 분야, 레저 활동 등 우리 생활주변에서 다양하게 적용분야가 확대되고 있다. 현재 RFID 주요 적용 분야는 <표 2>와 같고, RFID의 주파수 대역별 특징과 응용 분야는 <표 3>과 같다[6, 12].

<표 2> RFID 주요 적용 분야

활동 분야	세부 분야	내 용
자산 추적 관리	공급망 관리	상품, 팔레트에 태그 부착을 통한 유통망, 창고 관리
	수화물 관리	수화물의 자동검사 및 자동 목적지 이송
	공장 자동화	제품 생산 완전 자동화
	실시간 위치 추적	고가품, 우편물, 차량의 실시간 위치 파악
	대여물품 관리	도서, DVD, 비디오 등
출입 통제 보안	출입통제 및 보안	카드형 출입증 및 근태 관리
	차량 보안	주차 관리
교통	자동 통행료 징수	도난 방지 및 ID식별 시동 장치
	교통카드	버스, 지하철의 자동 요금 징수 수단

<표 3> RFID Tag의 주파수 대역별 특징과 응용분야

주파수 대역	특징	동작 방식	응용 분야
126kHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>인식거리 : 50Cm 미만</li> <li>물, 금속이 있는 환경에 강함</li> <li>데이터 전송 속도 낮음</li> <li>고가격대 형성</li> <li>No Anti-Collision</li> </ul>	수동형	<ul style="list-style-type: none"> <li>출입통제</li> <li>가족관리</li> <li>차량원격시동</li> </ul>
13.56MHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>인식거리 : 60Cm 미만</li> <li>물이 있는 환경에 강함</li> <li>급속 환경에 약함</li> <li>데이터 전송 속도 양호</li> <li>Anti-Collision(10~40tags/sec)</li> </ul>	수동형	<ul style="list-style-type: none"> <li>스마트카드</li> <li>도서관리</li> <li>FA재고관리</li> </ul>
433.92MHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>인식거리 : 50~100Cm 미만</li> <li>실시간 추적, 컨테이너 내부 습도, 충격 등 환경 센싱 가능</li> <li>Anti-Collision(50tags/sec)</li> </ul>	능동형	<ul style="list-style-type: none"> <li>유통/물류 분야</li> </ul>
860 ~ 960MHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>인식거리 : 50Cm 미만</li> <li>물, 금속이 있는 환경에 강함</li> <li>데이터 전송 속도 낮음</li> <li>No Anti-Collision</li> </ul>	수동/능동형	<ul style="list-style-type: none"> <li>유통/물류 분야</li> </ul>
2.45GHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>인식거리 : 50Cm 미만</li> <li>물, 금속이 있는 환경에 강함</li> <li>데이터 전송 속도 낮음</li> <li>고가격대 형성</li> <li>No Anti-Collision</li> </ul>	수동/능동형	<ul style="list-style-type: none"> <li>차량 통제</li> <li>위조 방지</li> </ul>

## 2.4 RFID 관련 기술의 적용 사례

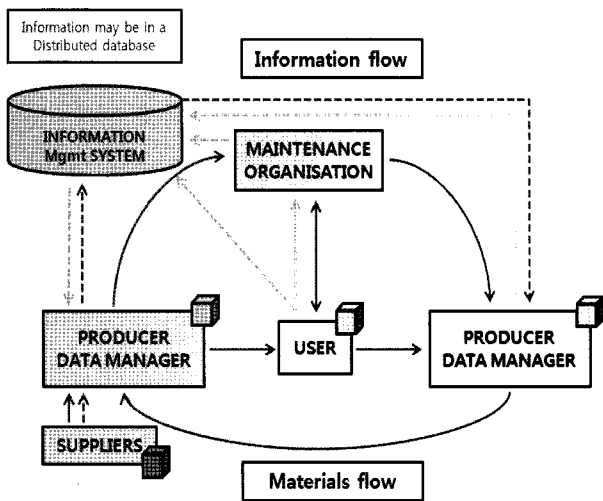
### 2.4.1 ELIMA프로젝트

EU에서 연구자금을 제공하여 소비자 제품의 환경관련 전 과정에 대한 정보시스템 구축 프로젝트로서, 2001년부터 4년 간 제품의 전 과정을 보다 효율적으로 관리할 수 있는 시스템 구축을 목적으로 추진되었다. Sony, Motorola를 비롯한 8개 기관에서 프로젝트에 참여하였으며, ELIMA 시스템은 하드웨어와 소프트웨어 그리고 커뮤니케이션 및 관리 도구들의 연합형태로 구성되어 있다. ELIMA 프로젝트 기대효과는 다음과 같이 몇 가지로 요약할 수 있다[13].

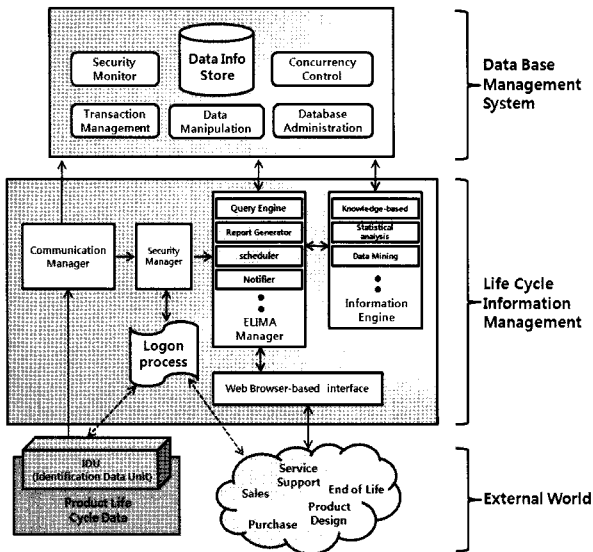
- 소비자가 제품을 어떻게 사용하는지에 대한 명확한 파악으로 제품 디자인의 개선이 가능하며,
- 사용 후 제품에 대한 정보로부터 부품, 소재 등의 재활용을 향상시키며,
- 소비자에게 향상된 물류체계, 유지보수 그리고 부가가치를 높인 서비스의 제공하며,
- 에너지 사용량 저감, 자원 생산성 향상 등에 의한 환경개선효과를 가져올 수 있다(<그림 4>, <그림 5> 참조).

### 2.4.2 감염성폐기물 적용사례

환경부와 한국환경자원공사는 의료기관 등에서 발생하는 폐기물중 병원균에 의한 2차 감염의 우려가 있는



<그림 4> ELIMA 프로젝트



<그림 5> ELIMA 구성도

폐기물의 유통정보를 환경적으로 적정하게 관리하고자 RFID 기술을 감염성폐기물 관리 업무에 도입하여 폐기물 배출자, 수집·운반업자, 처리 업체에 적용하고 있다. 2005년에 시범사업, 2006년에 시스템 구축사업을 통해 고정형리더기, 휴대형리더기 등의 RFID 장비를 보급·설치하고 응용시스템을 구축하였다. RFID 관리시스템은 전자태그가 부착된 감염성폐기물 전용용기가 리더기를 통과하거나 인식되는 순간 폐기물 관련 정보가 한국 환경자원공사 중앙전산시스템에 실시간 전송된다. 이러한 RFID 기반의 감염성폐기물 관리의 기대효과는 배출, 수집운반, 처리까지의 모든 과정을 투명하게 관리할 수 있고, 취급업체인 병원을 비롯하여 수집업체, 처리업체까지 업무의 효율성이 증대되었으며, 관련 행정

기관 및 사용자들에게도 정확한 폐기물 정보를 제공할 수 있게 되었다. 이렇듯 Green Logistics 내에서 RFID 기술이 상용화되고 있다(<그림 6> 참조)[7].



<그림 6> 병원의 감염성폐기물 관리 체계

### 3. 폐가전제품 재활용 프로세스 분석

본 장에서는 폐가전제품 리사이클링센터의 현 프로세스를 분석함으로써 회수 경로 상의 문제점과 그 원인을 파악하고자 한다.

#### 3.1 폐가전제품 회수 프로세스 개요

폐가전제품 회수자(지자체 또는 생산자 물류센터)는 고객으로부터 수거된 폐가전제품 정보를 한국전자산업환경협회의 EPR 정보시스템에 입력하여 입고처리하고 분별작업을 마친 후, 지방자치단체 선별집하장이나 물류센터에서 리사이클링센터로 출고시 출고정보를 EPR 정보시스템에 입력하여 리사이클링센터에 입고예약을 신청한다. 폐가전제품 수송자는 입고예약정보의 확인을 위해 “폐가전제품 회수운반확인서”를 출력한다. 폐가전제품 운반차량은 폐가전제품 리사이클링센터 입구에서 회수운반확인서를 확인받은 후 IC카드를 발급받게 된다. 폐가전제품 운반차량은 폐가전제품 리사이클링센터 입구에 있는 계근시스템(Load scale)을 지나게 되는데 발급받은 IC카드를 이용하여 폐가전제품 운반차량의 중량정보를 확인하게 된다. 폐가전제품 운반차량은 폐가전제품을 하역장에 모두 하역한 후, 공(空) 차량으로 폐가

전제품 리사이클링센터 입구에 있는 계근시스템을 지나게 된다. 이때 폐가전제품 입고 시와 같은 방법으로 차량의 중량을 측정하여 폐가전제품 리사이클링센터에 입고된 폐가전제품의 중량을 확인하게 된다. 입고된 폐가전제품은 야적장에 있다가 전처리과정과 자동화 폐기처리설비를 통해 유가물로 출고된다(<그림 7> 참조). 출고된 유가물은 유가물창고에 적재된다. 적재된 유가물은 일정한 분량이 되면 유가물 업체 수송차량을 통해 2차 시장으로 판매되며, 리사이클링센터의 계근시스템을 이용하여 측정 중량(유가물 적재차량중량 - 공 차량중량 = 유가물중량)으로 유가물 출고량을 확인하게 된다. 계근대에서 발생하는 모든 정보는 관리자의 수동 작업으로 EPR 정보시스템에 입력된다.

### 3.2 폐가전제품 재활용 관련 정보

#### 3.2.1 회수자 입고정보 관리

소비자에서 발생한 폐가전제품은 지방자치단체 또는 판매 대리점에서 수거하여 지방자치단체의 선별 집하장이나 가전 회사의 물류센터에 보관한 후 폐가전제품 리사이클링센터로 입고하게 된다.

회수업자가 수거한 폐가전제품에 대한 정보는 한국전자산업환경협회의 EPR 정보시스템에 입력되어 회수업체명, 회수 일자, 품목, 수량에 대한 정보를 발생시켜 저장된다.

#### 3.2.2 회수자 출고정보 관리

폐가전제품 회수자(회수 업체)는 회수한 폐가전제품

에 대하여 리사이클링센터로 출고하기 전에 예약등록을 하게 된다. 여기서 회수자 입고등록 정보를 바탕으로 예약일자, 리사이클링 업체, 운송방법, 관리번호, 배송상태, 실적업체 등의 정보를 추가하여 출고예약 등록을 하게 된다. 이렇게 발생한 출고예약 정보는 리사이클링센터에서 입고예약조회를 통하여 확인하게 된다. 회수자는 “회수(운반)확인서”를 발급하여 폐가전제품을 리사이클링센터로 입고하게 된다.

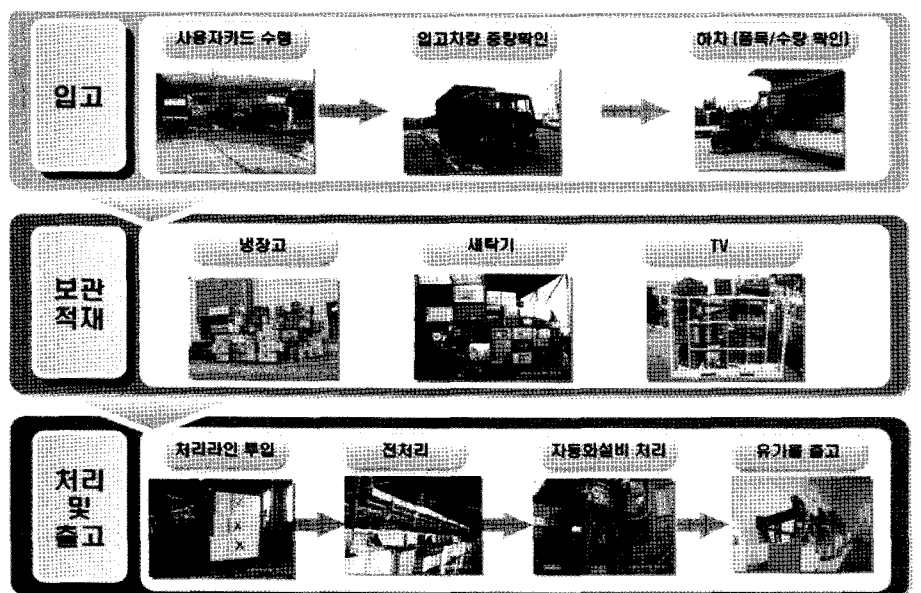
#### 3.2.3 폐가전제품 리사이클링센터 입고정보 관리

리사이클링센터에서는 입고된 폐가전제품에 대한 정보를 입고정산과 회원사별 회수현황에 대한 정보로 관리하게 된다.

- 1) 입고정산 : 입고정산은 수송비 정산과 처리비 정산 두 가지 정보로 나누어 관리하게 되는데 수송비 정산에서는 수송에 대한 관리번호를 토대로 청구금액과 공급가액, 부가세의 정보로 관리하게 되며, 처리비 정산에서도 관리 번호를 토대로 처리에 대한 청구금액과 공급가액, 부가세 등의 정보로 관리하게 된다.
- 2) 회원사별 회수 현황 : 회원사별 회수 현황 정보는 입고일자 정보를 토대로 EPR 대상구분 정보와 품목 및 수량으로 회원사별 정보를 관리하게 된다.

#### 3.2.4 재활용 실적정보 관리

EPR 정보시스템에서는 실적관리 항목을 통하여 입고 실적등록과 출고실적등록으로 정보를 나누어 관리한다. 입고실적등록에서는 입고된 품목에 대하여 입고수량과



<그림 7> 폐가전제품 재활용 프로세스

입고품목을 대상으로 반영여부를 결정하여 실적에 반영 시키게 된다. 또한 출고실적등록에서는 계산서 번호 및 순번, 일자, 품목코드, 품목, 수량 등의 정보를 확인할 수 있다. 또한 실적 현황 항목을 통하여 입고에 대한 총괄적인 통계 현황도 세부적으로 확인할 수 있다. 공정 상에서 재활용 실적을 확인하기 위한 카운터 센서는 EPR 정보시스템과는 별개의 독립적 시스템이며 해당 자료는 관리자가 별도로 출력하여 EPR 정보시스템에 입력한다.

3.2.5 유가물정보 관리

기존 EPR 정보시스템에서는 재활용 처리 후 발생한 유가물에 대한 관리시스템이 없으며, 유가물 구매 차량이 유가물을 적재한 후 리사이클링센터의 계근시스템을 통한 유가물 중량(유가물 적재차량중량 - 공 차량중량 = 유가물중량)으로만 유가물 출고정보를 알 수 있다.

3.3 폐가전제품 회수 프로세스의 문제점

폐가전제품의 원활한 회수를 위해서는 성숙한 시민의식에 입각한 적절한 폐기활동이 기본적으로 필요하겠지만 그에 앞서 폐가전제품에 대한 회수 및 재활용 방법의 선진화된 정보시스템이 필요하다.

기존의 폐가전제품 회수 프로세스 상에서는 <표 4>와 같은 문제점들이 파악되었다. 첫째, 폐가전제품의 회수시 소비자가 신고한 물량보다 리사이클링센터로 회수되는 물량이 상당히 적다. 이는 폐가전제품의 배출시 스티커 부착방식으로 수행되기 때문에 폐가전제품의 리사이클링센터 수송에 대한 주체(지자체, 3자 물류 수거업체, 지자체 선별집하장)들의 책임 또는 의무 의식이 부족하기 때문이다. 또한 회수 경로 상에서 폐기처리 시설이 부족하거나 공정품질이 저하되는 소규모 재활용 처리업체로 배송되거나 중고판매점에 재판매되든지 또는 불법폐기까지도 일어나고 있다. 이러한 경우 환경의 오염은 불가피할 수밖에 없다.

둘째, 지방자치단체 또는 물류센터 폐가전제품 집하장에서 리사이클링센터까지의 폐가전제품 추적정보가 미흡하다. 셋째, 폐가전제품의 환경유해물질정보 파악이 미흡하다. 이는 재활용 처리공정에서 환경유해물질을 오인하여 더욱 큰 환경오염을 유발할 수 있다. 넷째, 리사이클링센터 내의 수작업 처리로 인한 프로세스 공수가 크다. 이는 계근 시스템과 재활용 공정카운터 센서 시스템이 EPR 시스템과 별개로 구성되어 있어 비효율적이다. 다섯째, 폐가전제품의 실시간 재고파악이 불가능하다. 마지막으로, 유가물 관리에 있어 유가물의 실시간 생산관리 및 재고관리가 시행되지 않아 2차 시장으로의 정보를 제공하는 시스템이 절실히 요구된다. 그러므로 이

<표 4> 폐가전제품의 회수 프로세스상의 문제점

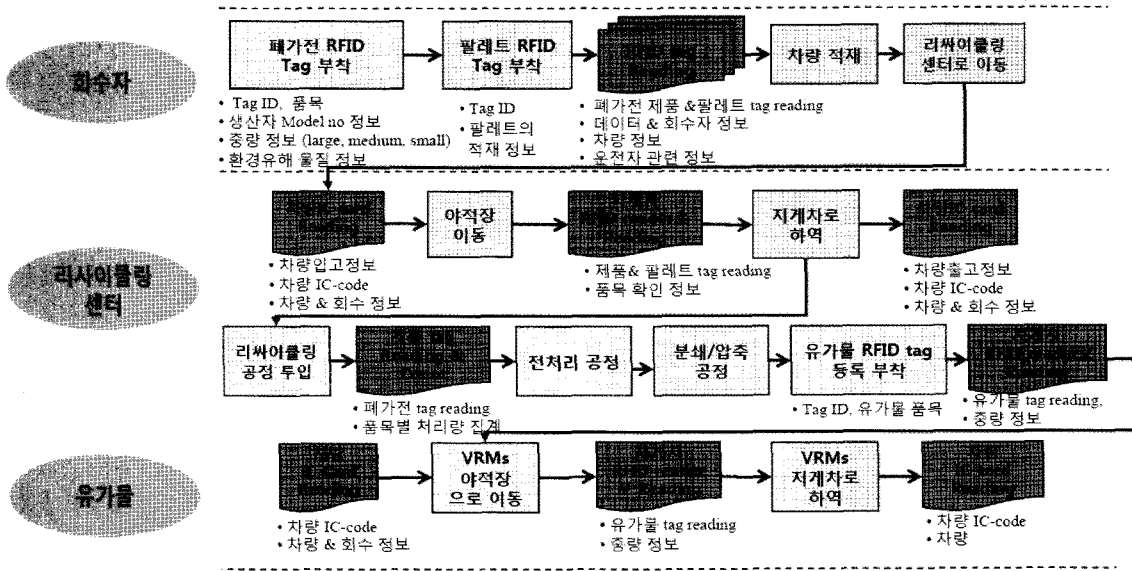
문제점	원인
지자체에서 리사이클링센터로의 회수 물량 감소	지자체가 재활용설비가 낙후된 처리장에서 자체적으로 처리
판매점의 폐가전제품 회수량 부족	회수의무 규정에 대한 인식 부족으로 회수 거부
중고 판매시장으로 유통되거나 재자원화 업체에서 재활용하는 등의 국가 관리범위에서 벗어나 음성적으로 처리될 수 있음	추적이 가능한 시스템 미비
폐가전제품 회수 운반과정에서 타 경로로의 유출	추적이 용이한 공식적인 양식 없이 스티커 부착식으로 관리
지자체와 리사이클링센터의 실입고량 데이터 오차	공무원과 수거원의 데이터 공동관리 부재
지자체의 폐가전제품의 양과 처리경로별 처리량에 대한 표준 집계양식의 부재(회수의 규모 및 처리 현황 파악 어려움)	리사이클링센터 내에서 폐제품의 입고 여부를 제품의 평균중량으로 대체하여 처리함
환경유해물질 정보파악 미비 · 불법 폐기처리시 환경오염 가능성	생산자로부터의 마스터 데이터 획득이 사실상 불가능하고 폐제품의 부품속성 가이드가 없음
지자체 또는 물류센터 집하장에서부터 리사이클링센터까지의 추적 미흡 · 정상적인 폐기절차인 리사이클링센터 입고율 파악 부족 · 중요 유가물의 유실	폐가전제품 집하장에서 리사이클링센터까지의 추적 기능 부재
리사이클링센터 내에서의 수작업 데이터 처리로 인한 공수 증가 · 차량입고시 계근시스템 데이터의 수동 입력 · 공정 투입대수 관측데이터의 수동 입력	리사이클링센터 내 3개의 정보시스템 존재(EPR, 계근, 공정카운터)
폐가전제품의 실시간 재고파악 미비	데이터 집계가 입고 폐가전제품 수량이 아닌 평균 중량으로 처리됨으로써 실시간 모니터링 기능 부재
유가물의 실시간 재고관리	벌크 형태의 포장으로 실시간 모니터링 파악 부족

를 개선하기 위한 RFID 기반의 폐가전제품 통합관리시스템이 필요하다.

4. RFID 기반 통합관리시스템 설계

RFID 기반 통합관리시스템 구축의 가장 큰 목적은 소비자로부터 발생한 폐가전제품을 회수하는 회수자, 폐가전제품을 분리·파쇄 처리하여 유가물을 생산하는 리사이클링센터, 생산된 유가물을 구매하는 2차 소비자까지 폐가전제품의 추적 정보를 공유할 수 있는 정보연계 시스템 개발에 있다.

<그림 8> RFID 기반 폐가전제품 리사이클링센터 정보 흐름



#### 4.1 RFID 기반 통합관리시스템 설계

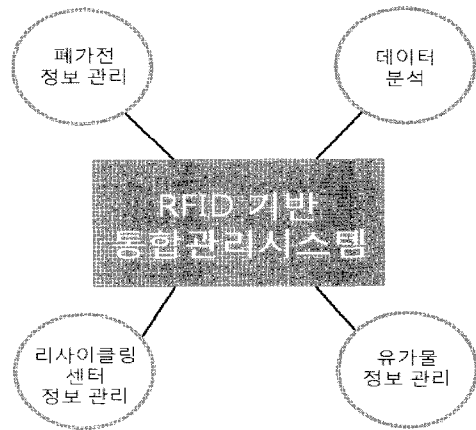
앞에서 분석한 폐가전제품 재활용 프로세스 정보 분석을 토대로 RFID 기반의 통합관리시스템을 <그림 8>과 같이 설계하였다. RFID 기반의 통합관리시스템은 폐가전제품이 회수자로부터 운송되어 리사이클링센터로 입고되고, 입고된 폐가전제품은 재활용 공정을 거쳐 유가물로 생산되며, 생산된 유가물이 2차 시장으로 판매되는 정보흐름을 대상으로 설계되었다.

RFID 시스템의 장점인 실시간 정보 확인 기능을 활용하여 각각 처리되는 폐가전제품에 대한 정보와 재고량, 일일 재활용 처리량을 실시간으로 파악함으로써 일일 생산 계획을 비롯한 월간, 연간 계획을 수립할 때 정보의 활용을 용이하게 하였다. 또한 각 회수업체별 수거량과 처리량을 관리 통합하여 활용할 수 있도록 설계되었다.

RFID 기반의 통합관리시스템의 실시간 정보를 통하여 일일 유가물의 발생량을 예측·계획함으로써, 수송상의 탄소배출량을 저감할 수 있는 출하계획을 수립할 수 있고 아울러 유가물의 시장가격에 맞추어 출하계획을 세움으로써 리사이클링센터의 이익 증가를 향상도 기대할 수 있었다.

RFID 기반 통합관리시스템의 전반적인 설계 시나리오는 <표 5>와 같다. 추적성을 확보하기 위하여 입고된 폐가전제품에서부터 발생된 유가물을 획득하기까지의 정보를 모니터링 할 수 있는 응용프로그램을 설계하였다. 폐가전제품 정보관리, 리사이클링센터의 정보관리, 유가물 정보관리, 데이터분석 시스템으로 크게 나누어 설계

하였으며, 다양한 형태의 어플리케이션을 구현함으로써 정보의 흐름 및 분류되는 데이터의 인식률을 높여 최종 사용자의 작업능률을 향상시키고, 의사결정자에게 제공될 수 있는 인터페이스를 구현하는 목적으로 설계하였다(<그림 9> 참조).



<그림 9> RFID 기반 통합관리시스템의 구조

이와 같이 설계된 RFID 기반 폐가전제품 재활용 통합관리시스템을 크게 3가지로 정리해 보면 다음과 같다. 첫째, 리사이클링센터 입고까지의 회수 단계에서의 폐가전제품 정보관리이다. 각 폐가전제품별로 정보 분류가 가능하며 폐가전제품에 포함되어 있는 유해물질에 대한 정보 확인 및 모니터링이 가능해졌다. 둘째, 리사이클링센터에서의 폐가전제품 재활용처리 관련 정보관리이다. RFID 기반의 통합관리시스템에서는 실시간으로



<표 5> RFID 기반 통합관리시스템의 설계 시나리오

장 소	프로세스	RFID 기반 통합정보시스템
물류센터	폐가전제품에 태그 부착 후 Reading(태그 발행, 휴대형 리더기)	태그 Reading시 화면에 폐가전제품 목록
	태그 Reading 후 팔레트 위에 쌓은 후 트럭에 적재	해당트럭의 제품 목록 제품이 팔레트 단위로 그룹핑
폐가전제품 차량 입고 (리사이클링 센터 정문)	트럭 통과	사무실 컴퓨터에 계근정보, 트럭정보 화면
	계근대 진입 후 운전기사가 IC카드를 리더기에 인식	
야적장	지게차가 팔레트 하역시 폐가전제품 태그 Reading	지게차 MDT에 관련 입고 정보 화면
	하역된 팔레트를 야적장에 적재	재고 관리 화면
폐가전제품 차량 출고	계근대 진입 후 운전기사가 IC카드를 리더기에 인식	사무실 컴퓨터에 계근정보, 트럭출차 정보 화면
	트럭 출차	N/A
공정투입	지게차가 야적장에서 팔레트를 공정대기 구역으로 이동	지게차에서 태그 리딩하여 재고관리
	공정투입 입구에 위치	N/A
	폐가전제품을 작업대 위에 로드	N/A
	리더기를 이용해 폐가전제품 Tag 리딩	폐가전제품 정보가 통합정보시스템에 전송 유가물 생성 파트의 폐가전제품 입력정보 화면
	전처리 공정을 통해 분해된 유가물이 유가물통에 쌓임	N/A
	전처리 공정 후 파쇄 공정 투입	N/A
유가물 생성	전처리로 분해된 유가물을 유가물 통에 담음	태그 부착
	파쇄된 유가물을 유가물 자루에 담음	Active 형 재활용 태그 부착
	지게차 저울로 유가물 무게 측정	지게차 MDT 정보 화면
	지게차 운전자가 MDT로 유가물 정보 입력	측량된 유가물이 통합정보시스템에 등록 유가물 재고관리 화면
	유가물을 유가물 야적장에 적재	N/A
유가물 차량입고 (리사이클링 센터 정문)	트럭 계근대 진입 후 운전기사가 IC 카드를 리더기에 인식시킴	사무실 컴퓨터에 계근정보, 트럭정보 등 화면
유가물 야적장	지게차 운전기사가 MDT로 유가물 정보 입력	출고될 유가물이 통합정보시스템에 등록 유가물 재고관리 화면 유가물 출고관리
유가물 차량출고 (리사이클링 센터 정문)	트럭 계근대 진입 후 운전기사가 IC카드를 리더기에 인식시킴	사무실 컴퓨터에 계근정보, 트럭정보 등 화면

입고량 정보 및 유가물 발생정보를 확인할 수 있으며, 재활용 공정의 사이클 시간 파악이 가능하여 폐가전제

품의 처리량에 따른 PULL 시스템의 입고/재고전략 변경이 가능해졌다. 셋째로, 유가물 정보관리이다. 실시간으로 발생하는 유가물 정보를 이용하여 가격 동향 대비 판매일 결정, 유가물 재고관리 등의 정보를 통합 관리할 수 있다.

RFID 기반 통합관리시스템을 구현하기 위한 하드웨어는 주파수와 태그 유형별 인식률을 테스트하여 3가지로 나눠 태그를 구성하였다. 도입된 태그는 모두 3가지 유형으로 아래와 같이 900MHz, 13.56MHz, 433MHz로 나눠 적용하였다;

- 폐가전제품 태그(900MHz, Passive, Class 1 Gen2, metal)
- 차량 태그(13.56MHz, Passive)
- 유가물 태그(433MHz, Active)

이 외에도 리더기, 서버, 지게차 장착용 저울, 무선 Access Point 등의 하드웨어가 설치되었다.

#### 4.2 RFID 기반 재활용 통합관리시스템의 개발

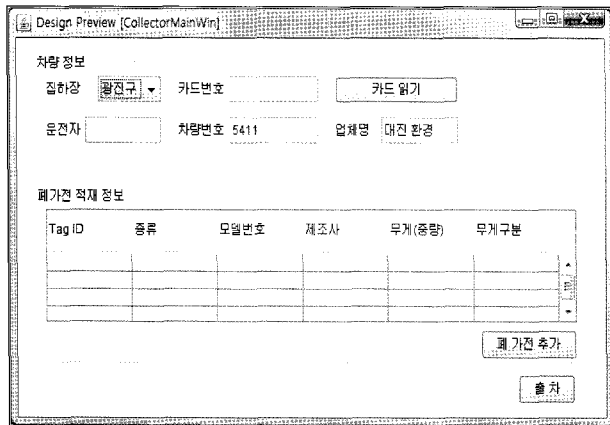
폐가전제품에 대한 RFID 기반 통합관리시스템은 회수업체, 지자체, 리사이클링센터, 유가물 업체 간의 정보연계시스템 개발을 목적으로 설계된 정보관리시스템으로써, 회수자별 실적관리, 폐가전제품 적재 차량의 이동 및 폐가전제품에 대한 실시간 추적, 재활용 공정에 대한 실시간 모니터링, 유가물관리시스템을 포함한다 (<그림 9> 참조).

폐가전제품의 입고 및 처리 단계에서는 차량정보, 제품정보, 집하장정보, 수집물품에 대한 정보, 차량에 대한 시간정보, 통계정보 등 6가지 기본 정보로 구성되며, 회수업체에서 폐가전제품 및 운반차량에 부착된 RFID 태그정보는 회수업체와 리사이클링센터에 설치된 RFID 리더기를 통해 실시간으로 수집된다. 실시간으로 수집된 정보는 모니터링 어플리케이션을 통하여 실시간으로 모니터링 할 수 있으며 폐가전제품 정보 및 회수업체별로 수집된 통계 정보를 도출할 수 있다.

##### 4.2.1 폐가전제품 정보관리시스템

회수자는 회수된 폐가전제품을 지방자치단체 또는 가전회사 물류센터의 집하장에서 RFID 태그를 부착한 후 RFID 리더기를 통하여 폐가전제품 정보를 읽는다. 이는 본 연구 범위가 폐가전제품이 발생하는 시점부터 적용되기 때문이다. 읽은 정보는 통합관리시스템을 통하여 저장되어지며, 폐가전제품을 운반할 팔레트에도 RFID 태그를 부착하여 적재된 폐가전제품 정보를 세트(set)로 통합하여 관리하게 된다. 이와 같은 방법으로 폐가전제품 운반 차량에도 차량용 태그를 부착하여 세트 정보로

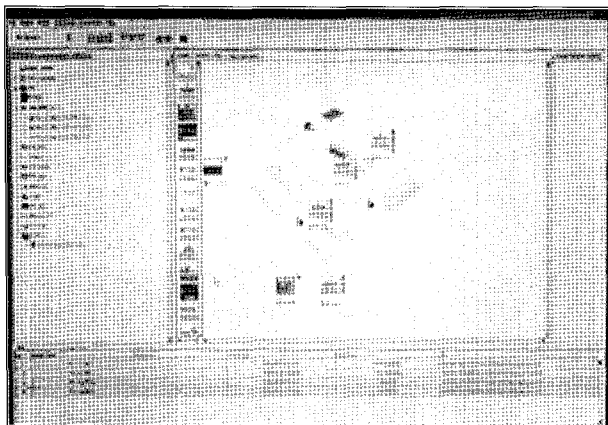
관리하게 된다. 폐가전제품 외에 팔레트에도 태그를 부착하는 이유는 지게차에서 태그를 읽을 때 제품중 하나의 태그만 읽히더라도 팔레트 세트 정보를 통해 제품의 입고를 알 수 있기 때문이다. 폐가전제품의 경우 팔레트에 여러 가지 모양으로 적재되어 있고 세탁기의 경우 물이 제품 구조 속에 들어있기 때문에 동시에 완벽하게 태그를 읽지 못하는 애로사항을 해결하기 위함이며 폐가전제품의 유실을 예방하기 위함이다. <그림 10>은 운반 차량에 어떤 폐가전제품이 적재되어 있는지를 알 수 있는 화면이다.



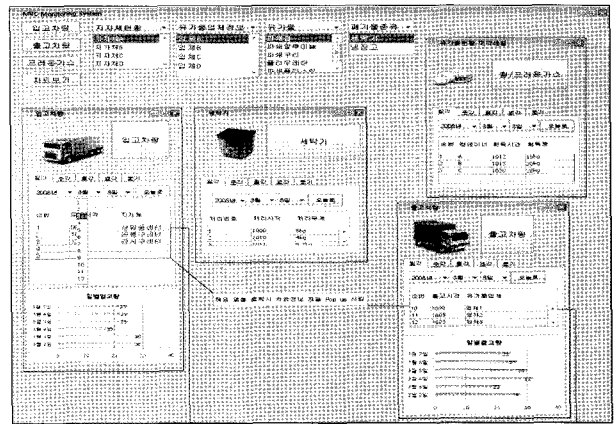
<그림 10> RFID 기반 통합관리시스템의 집하장 폐가전제품 세트설정 화면

4.2.2 폐가전제품 리사이클링센터 정보관리시스템

입고된 폐가전제품 적재차량은 리사이클링센터 입구에 설치된 계근시스템을 지나게 된다. 계근대에 설치된 RFID 리더기를 통하여 폐가전제품 차량정보를 읽게 되며, 차량 정보는 RFID 기반 통합관리시스템의 위치정보 및 입고정보로 모니터링 된다(<그림 11>, <그림 12> 참조).

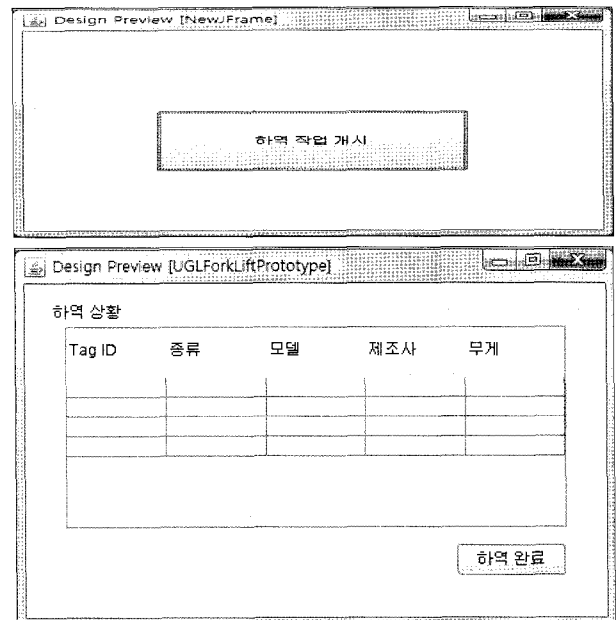


<그림 11> RFID 기반 통합관리시스템의 위치정보 모니터링 화면



<그림 12> RFID 기반 통합관리시스템의 차량, 폐가전제품 정보 모니터링 화면

계근 시스템을 지난 폐가전제품 적재차량은 하역장으로 이동하여 지게차로 폐가전제품을 하역한다. 이때 지게차에 설치된 RFID 리더기로 폐가전제품의 하역 정보를 읽음으로써, RFID 기반 통합관리시스템에 하역된 폐가전제품 정보를 저장한다. 하역작업이 시작되면 지게차가 하역시키는 모든 폐가전제품 정보를 화면에 표시한다(<그림 13> 참조).



<그림 13> RFID 기반 통합정보 시스템의 하역 작업 진행 화면

하역을 끝낸 공 차량은 계근 시스템을 지나면서 하역한 폐가전제품 중량 정보를 확인하게 되며 RFID 기반 통합관리시스템으로 정보를 전송한다.

하역된 폐가전제품은 리사이클링센터의 일일계획에 따라 재활용 공정에 투입되며, 공정라인에 설치된 RFID

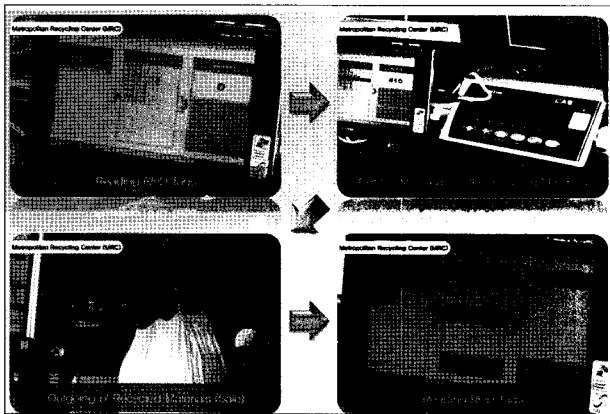
리더기를 통하여 투입되는 폐가전제품 정보와 일별 폐가전제품 투입량을 카운트한다. 이 정보는 RFID 기반 통합관리시스템으로 전송되어 실시간으로 재고관리 및 생산 모니터링이 가능하다.

4.2.3 유가물 관리시스템

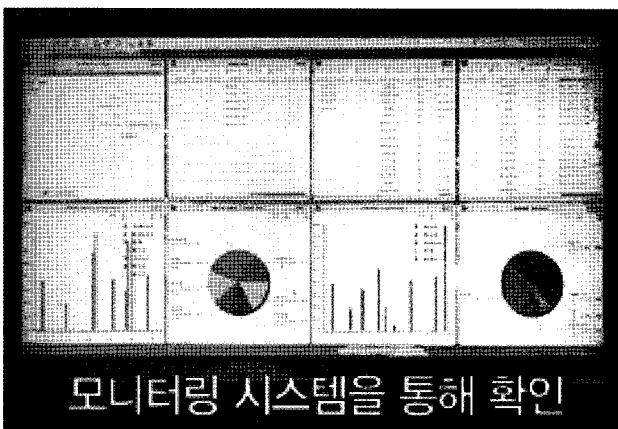
재활용 공정에 투입된 폐가전제품은 전처리과정(파쇄, 선별)과 공정처리과정을 마친 후 철, 구리, 알루미늄, 플라스틱 등의 유가물을 생산하게 된다.

생산된 유가물은 <그림 14>와 같이 RFID 태그를 부착하여 지게차에 설치된 RFID 리더기를 통하여 읽히게 되며, RFID 기반 통합관리시스템으로 유가물정보를 전송하게 된다.

유가물 관리자는 유가물 재고를 <그림 15>와 같이 모니터링하며, 유가물 구매자에게 유가물 불출을 요청한다. 리사이클링센터에서 불출요청을 하게 되면 유가물 구매자는 유가물차량을 입차하여 유가물을 가져가게 된다.



<그림 14> 리사이클링센터의 RFID 시스템 유가물 정보 Reading 화면



<그림 15> RFID 기반 통합관리시스템의 유가물 정보 모니터링 화면

4.3 RFID 기반 통합관리시스템의 기대효과

RFID 기반 통합관리시스템의 가장 큰 특징은 정보의 추적성과 유해물질 정보의 파악, 공급체인(회수업자와 리사이클링센터, 2차 유가물시장)간의 실시간 정보공유를 들 수 있으며, 개발된 RFID 기반 통합정보시스템의 기대 효과를 요약하면 다음과 같다.

- 소비자로부터 발생된 폐가전제품 정보 및 물류센터 집하장으로 회수된 시점 이후의 폐가전제품 정보에 대한 추적 가능.
- 중요 유가물의 유실 방지로 환경오염 예방.
- RFID 태그에 입력된 폐가전제품의 환경유해물질 정보 파악.
- 분산된 별개 시스템의 통합관리로 리사이클링센터 내에서의 공수 감소.
- 현 폐가전제품 재고의 실시간 파악.
- 폐가전제품의 처리 후 발생하는 유가물의 실시간 생산량 및 폐가전제품 대비 유가물 산출량 파악.
- 유가물 2차 시장(재생시장)의 유통 정보 파악.
- EPR 제도의 준수 용이.
- WEEE 제도 및 RoHS 제도의 금지 물질 산출관리 용이.

5. 결 론

20세기 후반에 들어서면서 환경문제는 전 세계가 신속히 해결해야 할 매우 중요한 이슈로 등장하게 되었다. 천연자원의 고갈현상, 지구온난화, 오존층 파괴, 공해문제, 수질문제, 유해물질 문제 등과 같은 많은 환경관련 이슈들은 그 중요성이 매우 비중 있게 자리매김하고 있다. 이에 따라 많은 관련법규, 규제, 조항들이 특히 유럽의 선진 국가들을 중심으로 새롭게 제정되어 시행되고 있는데 이는 환경보전 및 자원순환사회로 나아가기 위한 일환이라고 파악된다.

매년 배출량이 증가되고 있는 폐가전제품에는 플라스틱, 철, 구리, 알루미늄, 금 등의 다양하고 소중한 도시광산(금속물질)이 포함되어 있다. 따라서 우리나라에서 점차 폐기량이 증가하고 있는 폐가전제품의 도시광산(Urban mining)을 적절히 재활용처리 할 수 있다면 금, 은, 팔라듐, 탄탄륨 등의 유가자원 확보를 통해서 현재 약 2,000억 상당의 가치가 획득할 수 있을 것으로 예측되지만, 실질적으로는 폐기된 폐가전제품 중 다량의 물량이 적절히 재활용처리 되지 못하고 매립/폐기되거나 해외로 수출되고 있는 문제점들이 발생하고 있다.

따라서 본 연구를 통하여 폐가전제품의 회수 및 재활용 처리를 위한 프로세스에 RFID 기반 통합관리시스템이 적용될 경우 소비자로부터 발생된 폐가전제품의 정보 추적이 가능해짐으로써, 회수 가능한 유가자원의 물량 파악, 중요 유가자원의 유실방지 및 유출방지, 폐기/매립의 방지를 위한 제도적 보완 및 환경오염 예방, WEEE 및 RoHS 제도 등의 환경유해물질 관리, EPR 제도 관련 정보의 일관성 있는 통합적 관리, 리사이클링센터 내에서 발생하는 공수시간의 감소, 유가자원 2차 시장에서의 유통 정보 파악 등의 다양한 부분에서의 개선 및 효과를 기대할 수 있다.

향후 연구 과제로는 본 연구에서 설계된 RFID 기반 통합정보관리시스템의 효율성 분석, ROI(Return on investment) 분석 등과 다른 EOL 제품의 재활용 프로세스에 RFID 기술을 확대 적용하기 위한 연구가 필요할 것이다.

**참고문헌**

[1] 김현수, 류재환 외 2명; “폐가전제품 회수물류 네트워크 최적화”, 대한산업공학학회지, 20(2) : 154-161, 2007.  
 [2] 박찬혁, 정재춘 외 3명; “폐가전제품의 재이용 및 활성화 방안에 관한 연구”, 폐기물자원화학회지, 11(2)

: 74-85, 2003.  
 [3] 산업자원부; “환경친화적 물류시스템 구축 방안 연구”, 물류표준활성화기술 기반조성사업, 2002.  
 [4] 전준수, 김대진; “RFID를 이용한 회수물류 네트워크 구축에 관한 연구”, 한국해운물류학회지, 51 : 117-139, 2006.  
 [5] 정진기, 김민석 외 3명; “폐가전제품재활용 기술의 국내 현황”, 응용화학학회지, 11(2) : 590-593, 2007.  
 [6] 조대진; “RFID 이론과 응용”, 홍릉과학 출판사, 2005.  
 [7] 지식경제부; “U-Green Logistics Solution 및 Service 개발에 관한 연구보고서”, 2008.  
 [8] 한국전자산업환경협회; www.aee.or.kr.  
 [9] 환경부; 서울경제뉴스 “생산자책임 재활용제도 경제 효과”, 2006.  
 [10] 환경부 정책 자료실; “재활용으로 1조 2400억 원 벌었다”, 2006.  
 [11] 환경부 한국환경기술진흥원; “유럽의 선진 환경 기술교류 활성화방안 연구”, 2004.  
 [12] Bhyotani Manish and Moradpour Shahram; “RFID Field Guide,” Prentice-Hall, 2005.  
 [13] ELIMA 프로젝트, “ELIMA deliverable report(2005)”, www.elima.org.