

제품 라이프 사이클 관리에서 RFID 응용에 관한 연구

전홍배[†]

스위스 연방 로잔 공대(EPFL), 제품 설계 및 생산 자동화 연구실(LICP)

RFID Applications in Product Lifecycle Management (PLM)

Hong-Bae Jun

EPFL (Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne),

Laboratory of Computer-Aided Design and Production (LICP)

This study introduces an overall framework for RFID applications in product lifecycle management(PLM). PLM is a new strategic approach to manage product related information efficiently over the whole product lifecycle. Recently, with emerging technologies such as radio frequency identification(RFID), global positioning system(GPS), and wireless communication, PLM provides a new environment that enables us to gather and analyze product lifecycle information, and make decisions on several issues without spatial and temporal constraints. However, a PLM system just provides us with new opportunities to gain the competitiveness. To remove ineffectiveness within product lifecycle and maximize the advantage of the PLM system, first and foremost, it is necessary to look into its overall framework in the viewpoint of hardware, software, and business model. For this purpose, in this study, first, we introduce the technical framework of the new PLM environment with the concept of extended RFID system, called product embedded information device(PEID). Then, for each lifecycle phase such as beginning of life(BOL), middle of life(MOL), and end of life(EOL), we explore several research problems that become highlighted under the new PLM environment.

Keyword: RFID, PLM, PEID, Hardware, Software, Business model

1. 서론

일반적으로 제품 라이프 사이클은 크게 BOL(Beginning of Life), MOL(Middle of Life), 그리고 EOL(End of Life), 이렇게 세 부분의 영역으로 나누어 볼 수 있다. BOL은 제품의 설계 및 생산 단계의 영역을 나타내며, MOL은 제품의 유통 및 고객의 사용, 그리고, 유지/보수 단계들을 나타낸다. 마지막으로, EOL은 사용가치가 끝난 제품의 수집(Collection), 해체(Disassembly), 재제조(Remanufacturing), 리사이클링(Recycling), 재사용(Reuse) 및 폐기(Disposal) 단계들을 가리킨다. 제품이 이 세 단계들을 거치는

동안에 수많은 제품 관련 라이프 사이클 데이터들이 생성되어진다. 지금까지는, 제품이 생산자를 떠나서 소비자에게 전달되는 순간부터, 즉 BOL 이후부터, 제품 라이프 사이클 데이터들에 대한 추적 관리가 제대로 이루어지지 못했었다. 하지만, 지난 10여 년 동안, 인터넷, RFID(Radio Frequency IDentification), GPS(Global Positioning System), GIS(Geographical Information System), 다양한 센서기술, MEMS(Micro Electro-Mechanical System) 및 무선 통신을 기반으로 하는 첨단 기술들의 등장으로 제품 자동 인식에 대한 기술(product identification technology) 발달을 유도하면서, 제품 라이프 사이클 데이터 관리에 대해 가지고 있었던 우리의

[†]연락처 : 전홍배 연구원, CH-1015, Institute of production and robotics (STI-IPR-LICP) EPFL, Station 9, ME B1 344 Lausanne, Switzerland, Fax : +41-21-693-3509, E-mail : hongbae.jun@epfl.ch
2005년 10월 접수, 1회 수정 후 2006년 6월 게재확정.

고정관념들을 변화시키고 있다. 이러한 제품 인식 기술들 덕분에, 이제는 제품의 생성에서부터 폐기에 이르기까지, 전체 제품 라이프 사이클에 걸쳐서 제품 관련 데이터들을 모니터링 및 추적 관리할 수 있는 시대가 되었다. 이미 물류 유통분야 부분에서는 RFID 기술을 이용하기 위한 많은 연구가 되어져 왔고, 이외에도 많은 제품 라이프 사이클 영역에 걸쳐서 적용이 확대되어지고 있다.

따라서, 이런 제품 인식 기술들은 제품 라이프 사이클 관리 (PLM, Product Lifecycle Management)에 큰 역할을 할 수 있게 되었다. PLM은 제품 설계 엔지니어, 생산 기술 엔지니어, 영업 사원, 유통업자, 서비스/정비 엔지니어, 제품 사용 고객, 재제조 엔지니어, 재사용업자, 폐기 업자들 간의 상호 협력을 제한해 왔던 장벽을 허무는데 초점이 맞추어져 있다. 즉, 제품 전체 라이프 사이클에 걸쳐서, 디지털화 된 제품 라이프 사이클 데이터들을 공유하고 이용함으로써 각 부분 및 전체의 효율성을 극대화하고자 하는 것이 PLM의 비전이라 할 수 있다. PLM에서 제품 라이프 사이클 데이터의 공유 및 활용을 위한 열쇠는 언제, 어디서나, 필요한 데이터를 모니터링, 저장, 추적 및 활용할 수 있는 인프라를 구축하는 일이라고 할 수 있다. 이러한 PLM 개념 및 비전은 이미 10여 년 전부터 나온 이야기이지만 그동안 이를 실현할 인프라를 뒷받침할 만한 기술이 없어서 그리 주목을 받지 못했었다. 하지만, 근래에 들어서 RFID 기술 및 무선 통신 기술이 가져오고 있는 산업계 전반의 획기적인 변화가 PLM의 비전을 구현할 수 있는 핵심 원동력으로 간주되면서, PLM이 다시 한 번 산업계로부터 주목을 받기 시작했다.

하지만, PLM은 단지 기업 전체의 효율성을 극대화하기 위해 필요한 비전 및 전략을 제공할 뿐이지, 그 이상도 그 이하도 아니다. PLM 비전을 구현하기 위해서는 새롭게 요구되고 있는 제조 기업의 기술 변화 추세에 맞추어, RFID 기술을 PLM에 응용하기 위해 어떤 인프라가 갖추어져야 하며, 이런 새로운 인프라를 어디에, 어떻게 운용하느냐를 파악하는 일이 무엇보다도 중요하다 할 수 있다. 즉, 인프라에 대한 자세한 연구와 그 인프라를 활용할 수 있는 응용 분야에 대한 연구가 선행되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는, RFID 기술을 PLM에 응용하기 위해 필요한 하드웨어, 소프트웨어 인프라 및 그 응용분야인 비즈니스 모델에 대해 자세히 살펴보고자 한다. 비즈니스 모델에 대해서는 BOL, MOL, 그리고 EOL 부문으로 나누어 주요 문제들을 살펴볼 것이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제품 인식 기술들과 기존 RFID 응용 연구들에 대해 살펴볼 것이다. 3장에서는 RFID를 PLM에 응용하기 위해 필요한 하드웨어 및 소프트웨어 인프라에 대해서 살펴볼 것이다. 그리고, 4장에서는 RFID 기술의 PLM 응용에 관한 비즈니스 모델에 대해서 살펴보기로 한다.

2. 기존연구

지금까지 제품인식 기술의 핵심인 RFID 기술을 범용화하기 위해서 많은 연구들이 수행되어져 왔다. 이를 크게, 하드웨어, 무선

통신기술, 소프트웨어, 그리고 비즈니스 모델 관점으로 분류해 보면 다음과 같다. 먼저 하드웨어 관점에서는 RFID 시스템 디자인을 위한 적지 않은 연구가 수행되어져 왔다. 예를 들어, Zhou 외 3인(2003)은 passive RFID tag의 전력소비에 관한 최적화 문제를 다루었다. 또한, Keskilammi 외 2인(2003)은 자동화된 생산 시스템과 로지스틱 운용에 적합한 RFID 시스템 디자인에 대한 연구를 수행하였다. 다른 한편으로는, RFID 시스템에 같이 쓰일 수 있는 센서에 대한 연구도 활발히 진행 중이다. 예를 들어, 식자제품의 온도를 체크할 수 있는 센서라든지, 식자제품의 박테리아 오염을 체크할 수 있는 센서등이 개발되어 RFID tag의 형태로 이미 사용 중에 있다(Want, 2004).

근래 들어 무선 통신기술에 있어서는 WAN(Wide Area Network), LAN(Local Area Network), 그리고 PAN(Personal Area Network)부문에 걸쳐서 여러 연구가 진행되어져 왔다. WAN 기술의 대표적인 예는 2세대(GSM, Global System for Mobile communications), 2.5세대(GPRS, General Packet Radio Service) 및 3세대(Wideband CDMA, CDMA-2000) 휴대폰 통신 네트워크 기술이라 할 수 있다. 또한, LAN 부분의 대표적인 무선 통신기술로는 WiFi로 알려진 IEEE.802.11 통신 프로토콜이 있으며, 요즘 들어서 많이 접하고 있는 RF통신, Bluetooth기술이나, Zig-Bee기술은 PAN 부분의 대표적인 기술들이라 할 수 있다.

제품 인식 기술들에 대해서는 비단 하드웨어에 관한 기술뿐만 아니라, 소프트웨어 측면에서도 여러 연구들이 행하여져 왔다. 주로, 어떻게 제품 ID와 제품관련 데이터들을 효율적으로 인지하고 얻을 수 있을 것인지에 대해 초점을 맞추었다. 예를 들어, Parlikad 외 3인(2003)은 AUTO-ID 개념을 제시하였다. AUTO-ID의 기본 프레임은 EPC(Electronic Product Code), Savant, ONS(Object Name Service), PML(Physical Markup Language)로 구성되어 있다. RFID tag에 어떻게 제품 ID를 효율적으로 부여하는지를 설명하기 위해 EPC를 제안했으며, 제품 ID와 연계된 제품 라이프 사이클 정보들을 사용자가 웹상에서 볼 수 있게 하기 위해 인터넷 기술의 DNS(Domain Name Service)와 비슷한 역할을 하는 ONS를 제안하였고, RFID tag와 reader간에 발생하는 커뮤니케이션을 처리하기 위한 방법으로 middleware 역할을 하는 Savant를 제시하였다. 또한, XML(eXtensible Markup Language) 기반의 PML 언어를 제품 라이프 사이클 정보를 표현하기 위해 제안하였다. 한편, 일본의 유비쿼터스 ID센터(www.uidcenter.org)에서는 바코드, RFID tag, 스마트 카드 등과 같은 매체를 통해 제품 정보를 인식하기 위한 방법으로, 128비트 길이의 Ucode(Unique code)를 제안하였다. 또한, Huvio 외 2인(2002)은 웹상에서 제품 관련 정보를 참조하고 수정할 수 있는 middleware 시스템(일명 Dialog)을 개발하면서 제품에 고유 ID를 부여하고, 웹상에서 제품 라이프 사이클 정보를 공유하기 위한 방법으로 ID@URI 개념을 제시하였다.

다른 한편으로는, RFID 기술을 PLM의 어떠한 분야에 응용할 수 있는지에 대한 연구, 즉 비즈니스 모델에 대한 연구가 수행되어져 왔다. 예를 들어, Brewer 외 2인(1999)은 GPS, GIS, RFID

기술 등을 이용해 어떻게 공급망상에서 효율적인 제품 추적을 할 수 있는지에 대해서 논하였다. 그들은 또한, RFID 기술이 제조 공정상에서 실시간 스케줄링을 하는데 쓰일 수 있다고 언급하면서 PCB(Printed Circuit Board) 공장을 대상으로 진행되어지고 있는 Pilot 연구에 대해 소개하였다. Saar와 Thomas(2003)는 PLM에서 원자재 및 제품에 바코드와 RFID tag를 어떻게 접목시킬 수 있는지에 대해 논하였다. 특히, RFID 기술이 제품 생산과 판매 유통뿐 아니라 리사이클링, 재사용 등 EOL 관리를 효율화하는데 기여할 수 있다고 언급하였다. Hans 외 3인(2004)은 자동차 범퍼의 리사이클링에 RFID 기술을 응용하는 예를 들면서, EOL 단계에서의 RFID의 활용성과 의사결정 틀에 대해 언급하였다. 마지막으로 정준호와 임석철 (2004)은 RFID의 전반적인 특징과 구성, 활용분야에 대해서 국내 및 해외 사례를 들어가며 자세히 언급하였다. 그들은 특히, 제조업뿐만 아니라 산업계 전반에 걸쳐서 어떻게 RFID가 응용되어질 수 있는지를 다루었다.

위에서 언급한 학계 차원에서 RFID 관련 연구들뿐만 아니라, 최근 들어서, RFID 기술들을 산업계 전반으로 확산시키기 위해, 전 세계적으로 많은 산학 협동 연구 과제들이 수행되어지고 있다. 대표적인 프로젝트들로 미국 MIT의 AUTO-ID 센터와 국방성 등이 1999년에 스마트 태그에 대한 연구개발을 추진하기 시작한 것이 계기가 되어, 현재는 미국의 MIT, 영국의 캠브리지, 일본의 게이오 대학, 스위스의 St. Gallen 대학 등이 주도하고, 수많은 글로벌 기업이 참여하는 AUTO-ID 센터의 EPCglobal 프로젝트가 진행 중에 있다. 이 프로젝트를 통해, 위에서 언급한 AUTO-ID의 개념과 EPC 제품 인식 코드를 국제 표준화하는 것을 목표로 하고 있다. 한편, EU(European Union)의 대표적인 RFID 기술 관련 프로젝트로는 PROMISE(Product Lifecycle Management and Information Tracking using Smart Embedded Systems)가 있다. PROMISE 프로젝트는 EU 프로젝트와 국제 IMS(Intelligent Manufacturing Systems) 프로젝트로 나누어 동시에 두 개의 프로젝트가 같은 개념을 가지고 2004년 말부터 진행되어지고 있다. PROMISE EU 프로젝트에는 스위스를 포함한 8개의 유럽 국가, 25여 개의 업체 및 연구기관이 참여하고 있으며, IMS 프로젝트에는 EU, 스위스, 일본, 오스트레일리아, 미국의 주요 연구기관과 업체가 참여하고 있다. PROMISE 프로젝트의 목적은 제품 라이프 사이클 전 영역에 대해 RFID 기술을 응용한 새로운 비즈니스, 하드웨어, 그리고 소프트웨어 모델을 창출하고 이를 구현하는 것이다.

지금까지 살펴본 바와 같이 비록 이렇게 RFID에 관한 많은 연구가 여러 부문에 걸쳐서 수행되어지고 있기는 하지만, PLM과 연계하여 RFID 기술을 어떻게 제품 라이프 사이클 전반에 응용할 것인지에 대한 연구는 부족한 실정이라 할 수 있다. 특히, 하드웨어, 소프트웨어 및 비즈니스 모델 관점에서 RFID 기술을 PLM에 응용하기 위해 필요한 인프라에 대한 연구가 절실히 필요하다. 하드웨어 및 소프트웨어 측면에서는, 제품 라이프 사이클 전체 영역에 걸쳐서 쓰일 수 있는 확장 RFID 시스템의 개념과 시스템 응용 기술에 대한 연구가 이루어져야 한다. 즉, 다양한 센서, RFID tag, 기타 하드웨어 장치, 네트워크 통신 및 네트워크

프로토콜로 이루어진 하드웨어 인프라와 응용 소프트웨어들에 대한 연구가 이루어져야 한다. 비즈니스 모델 측면에서는, 이러한 확장 RFID 시스템을 어느 분야에 응용할 수 있는지를 제품 라이프 사이클 관점에서 살펴 보아야 한다. 기존 문헌들에서 RFID 기술의 로지스틱 응용 및 EOL 응용 모델에 대한 언급들은 있어 왔지만, 체계적이지 못했으며, BOL 및 MOL 응용 모델에 대한 연구와 이들 모델들 간의 상호연계에 대한 연구가 부족했다 할 수 있다.

3. 하드웨어 및 소프트웨어 프레임워크

본 장에서는 기존의 RFID 기술에 대한 소개와 PLM에서 이를 응용하기 위해 필요한 확장 RFID 개념 및 PLM 활용을 위해 필요한 기술적인 프레임워크에 대해서 논의하고자 한다. RFID 기술에 대한 내용은 이미 다른 문헌들에서 자세히 다루어져 왔으므로, 본 연구에서는 간단히 기본 특징들만을 언급하고 넘어가고자 한다. RFID에 관한 보다 자세한 내용을 알고 싶은 사람은 Sarma 외 2인(2001)의 문헌이나 Schneider(2003)의 문헌을 참조하기 바란다.

RFID 기술은 최근에 발명된 새로운 기술이 아니라, 이미 세계 2차 대전 때부터 쓰이기 시작한 오래된 기술이다. 20여 년 전부터, 생산단가가 많이 낮아지면서, 바코드 대용으로 주목 받기 시작했으며, 현재는 여러 분야에 걸쳐서 많은 각광을 받고 있다. RFID 운용 시스템은 기본적으로 transponder(RFID tag), reader, host data processing system으로 구성되어 있으며, transponder는 보통 IC(Integrated Circuit)와 antenna로 구성되어 있다. 근래에는 RFID tag에 센서를 장착한 제품까지도 선보이고 있다. RFID 기술의 기본 기능은 tag와 reader 사이에 radio wave를 이용한 무선 통신을 통해 데이터를 교환하는 것이라 할 수 있다. 바코드와는 달리, RFID tag는 정보를 읽고, 쓰고, 전송하고, 저장하며, 수정할 수 있는 기능을 가졌다. RFID tag는 한 번에 여러 제품의 정보를 먼 거리에서 읽어 들일 수 있으며, 무엇보다도 이 과정에, 사람의 개입이 없다는 것이 장점이다. 또한, 열악한 환경에서도 작동할 수 있으며, 상대적으로 바코드에 비해 인식 정확도가 뛰어나다 할 수 있다. 이와 덧붙여, 한꺼번에 빠른 속도로 제품 정보를 추적할 수 있으며, 많은 데이터의 저장과 처리능력을 가질 수 있는 장점이 있다. RFID는 battery 장착 유무에 따라 battery를 포함하고 있는 active tag와 그렇지 않은 passive tag로 나누어 볼 수 있다. Active tag는 battery를 포함하기 때문에 passive tag에 비해서 다소 크기가 크며, 가격이 비싸고, 수명이 짧은 편이다. 하지만 reader와의 통신거리가 상대적으로 긴 것이 장점이라 할 수 있겠다. Passive tag는 이와는 반대이다. 즉, 수명이 길어지고, 사이즈가 작아지고, 비용이 저렴해지는 장점이 있는 반면, 통신거리가 짧은 편이다.

일반적으로, RFID 기술이 적용되어지는 제품의 종류 및 비즈니스 모델에 따라 제품 정보 디바이스로서 요구되어지는 사

항이 무척 다양할 것이다. 이에 따라, RFID 시스템도, 단순한 RFID tag에서부터 센서의 유무, battery의 장착 여부, 전파 수신 거리, 메모리의 특성 및 사이즈 등의 사양에 따라서 여러 가지가 있을 수 있다. 이러한 여러 가지 RFID 시스템을 통칭하기 위해 본 연구에서는 PEID(Product Embedded Information Device)라는 용어를 사용하기로 한다. PEID는 제품 라이프 사이클 전주기에 걸쳐서 발생하는 제품 정보의 저장과 활용을 목적으로 제품에 내제되어 있는 정보 디바이스를 지칭하는 용어이다. 이 PEID를 통해, 제품 전체 라이프 사이클에 걸쳐서, 제품이 스스로 제품관련 데이터를 수집, 가공, 저장하고 외부와 데이터를 교환할 수 있다. Wong 외 3인(2002)은 이러한 개념을 가지는 제품을 intelligent product라고 언급하였다. 그들은 제품이 intelligent product가 되기 위해서 다음과 같은 특성을 가져야 한다고 주장하였다. 첫째, 유일한 아이덴티티를 가져야 한다. 둘째, 외부와 통신할 수 있어야 한다. 셋째, 데이터를 자체적으로 가지고 있거나 저장할 수 있어야 한다. 넷째, 제품 특성이나 생산 조건등과 같은 것을 표현할 수 있는 고유의 언어가 있어야 한다. 마지막으로, 자기 자신의 운명과 관련된 의사결정에 참여하거나 직접 의사결정을 할 수 있어야 한다. 여기서 네 번째 소프트웨어 관점의 특성을 제외하면 나머지 네 개의 특성들은 intelligent product가 되기 위해 제품 정보 디바이스로서 필요한 기능들을 말해주고 있다. 이러한 intelligent product 개념을 구현하기 위해, PEID는 기본적으로 Power management, Data gathering, Data processing/diagnosis, Data storing, Product identification, Short range communication, Long range communication의 기능들을 가져야 한다. 응용되어지는 영역에 따라 이러한 기능들 전체, 혹은 그 중 일부만을 필요로 할 수 있을 것이다. 그에 따라 PEID를 sensor, passive RFID tag, active RFID tag, 그리고 on-board computer 형태로 나누어 볼 수 있다. 이것들이 개별적으로 쓰여질 수도 있고, 특정 응용 분야에서는, 이것들의 조합이 쓰여질 수도 있다. 예를 들어 조그마한 비즈니스 서류 같은 것에는 passive RFID tag를, 그리고 차량과 같은 큰 규모의 제품에는, sensor, RFID tag, on-board computer를 조합한 PEID를 생각해 볼 수 있다. <그림 1>은 지금까지 설명한 PEID의 개념을 도식화하여 정리해 놓은 것이다.

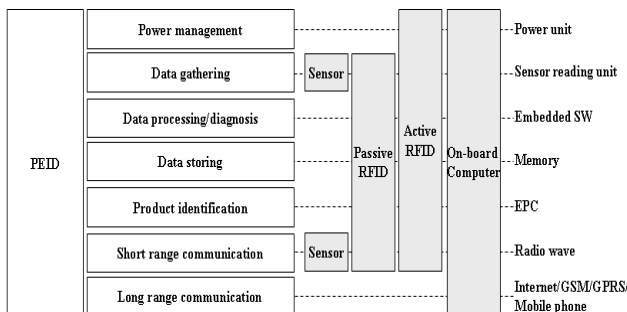


Figure 1. PEID architecture.

<그림 2>는 이런 PEID를 PLM에 응용하기 위해 필요한 기본 워크플로우를 도식화하여 나타낸 것이다. 이 워크플로우는 기

본적으로 세 명의 액터들(Product, PLM system, PLM agent)에 의해서 수행되어진다. 제품에는 PEID가 내장되어 있어서, 제품 라이프 사이클 동안 제품과 관련된 데이터들을 수집하고 기록할 수 있다. 이렇게 기록된 데이터들은 필요에 따라 직접 또는 PLM agent에 의해 간접적으로 중앙의 PLM 시스템으로 보내진다. PLM agent는 제품 라이프 사이클 데이터를 PEID로부터 읽는 reader의 역할을 하며, 비즈니스 모델에 따라, PDA를 reader기로 가지고 다니는 유지/보수 엔지니어가 될 수도 있고, 공급망에서의 무인 PEID reading gateway가 될 수도 있다. 중앙의 PLM 시스템으로부터 직접 지시를 받아 유/무인 PLM agent가 제품 라이프 사이클 데이터를 읽을 수도 있고, 또는 주기적으로, 또는 특정 조건하에서, 자동 혹은 수동으로 라이프 사이클 데이터를 읽을 수도 있다. 이렇게 취합된 데이터들은 PLM 지식 agent에 의해 분석되어져서 각 분야별 필요로 하는 정보와 지식들로 만들어지게 되며 이것들이 따로 PDKM(Product Data and Knowledge Management) 데이터베이스에 저장되어지게 된다. PDKM에 저장되어 있는 정보 및 지식들은 다시 필요에 따라 PLM 운용을 위한 의사결정에 쓰이거나, 제품에 피드백되어 제품 정보가 수정될 수도 있다. 제품과 PLM agent간에 근거리 통신은 RFID 기술을 이용한 무선통신에 의해 이루어질 수 있으며, 제품과 PLM system간의 장거리 통신을 위해서는 인터넷과 유무선 이동 통신 기술 등이 사용되어질 수 있다.

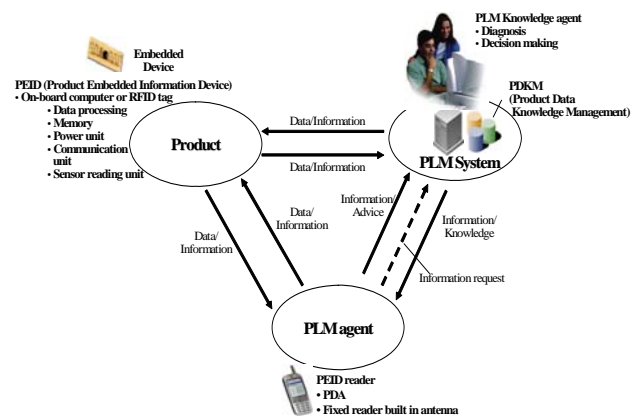


Figure 2. Workflow framework for PEID application in PLM.

PEID를 PLM에 잘 응용하기 위해서는 하드웨어, 소프트웨어 및 비즈니스 모델들이 잘 통합 관리되어져야 한다. 이를 위해서 어플리케이션 계층에 대한 설계가 필요하다 할 수 있겠다. <그림 3>은 어플리케이션 계층에 대한 설계의 한 예로 맨 밑의 PEID부터 시작해서 맨 위의 비즈니스 모델까지, PLM에 RFID 기술을 응용하기 위해 필요로 하는, 하드웨어, 소프트웨어 및 비즈니스 모델들에 대한 계층들을 표현해 놓은 것이다. PEID layer는 제품 라이프 사이클 데이터를 수집, 보관하고 처리하는 역할을 하는 계층이며, embedded 소프트웨어 계층은, PEID 안에 내장되어, 위에서 언급한 PEID 기능들을 지원하는 역할을 하는 계층이다. Middleware와 Network 계층은 PEID 안에 저장

되어 있는 제품 라이프 사이클 데이터들을 중앙의 데이터베이스로 전송하는데 필요한 역할을 하는 계층이다. Middleware라는 것이 비단 여기에서만 쓰이는 것이 아니라, 전 부분에 걸쳐서, 데이터 형식이 다른 이종 시스템 간에 원활히 데이터를 주고 받기 위해서 쓰여지긴 하지만, 여기에서는 PEID와 중앙 데이터베이스 간에 데이터의 교환을 위한 프로토콜 디자인이 보다 중요하기 때문에, Middleware 계층을 상징적으로 이 부분에 삽입하였다. Information/knowledge transformation and decision support 계층은 취합된 제품 라이프 사이클 데이터들을 필요한 정보 및 지식으로 변환하는 역할을 한다. PEID로부터 수집된 데이터들을 응용 부분에 따라, 필요로 하는 정보 및 지식으로 변환하는 작업은 반드시 필요한 일이며, 이 부분의 디자인 결과에 따라 PLM 시스템의 활용도가 좌우된다고 할 수 있겠다. Knowledge management 계층에서는 제품 라이프 사이클 동안에 생성되어진 제품과 관련된 정보 및 지식들을 관리하는 역할을 한다. 이를 위해 PDKM이라는 repository가 필요하다. 이 PDKM은 decision support system, back-end system 등과 직접적으로 연결되어 언제라도 필요로 하는 정보 및 지식들을 교환하거나 새로 갱신할 수 있다. 또한, 이 PDKM을 통해 내외부 라이프 사이클 액터들이 필요로 하는 정보 및 지식들을 참조할 수 있으며, 새로 생성된 정보 및 지식들을 업데이트 할 수도 있다. 최상위 계층인, PLM 비즈니스 어플리케이션 층은 이런 정보 및 지식들을 PLM에 응용할 수 있는 여러 가지 비즈니스 모델들을 가리킨다.

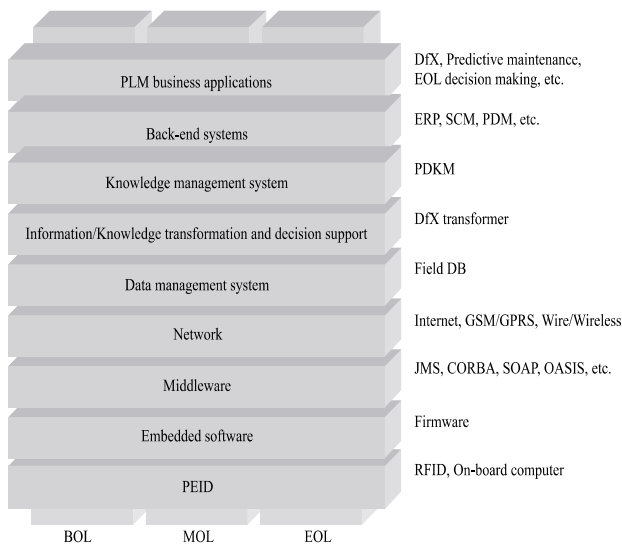


Figure 3. Application layers.

4. RFID 응용 비즈니스 모델

본 장에서는 확장 RFID시스템인 PEID를 제품 라이프 사이클 각 부분에 응용할 수 있는 비즈니스 모델들에 대해 살펴보기로 하자. 본 연구에서는 크게, BOL, MOL, 그리고 EOL 부분으로 나누어, 각각의 영역에서 필요한 비즈니스 모델들을 살펴보고자 한다.

4.1 BOL(Beginning of Life)

BOL은 제품 컨셉이 만들어지고 물리적으로 이것이 구현되어지는 단계이다. RFID기반 PLM 시스템 환경에서는 마케팅 엔지니어, 제품 디자이너 및 제조/생산 엔지니어들이, 로지스틱 관련 엔지니어, 서비스/정비 엔지니어, 제품 사용 고객들, 재제조 엔지니어 및 제품 폐기업자들로부터, 제품의 유통 및 사용에서부터 제품 폐기에 이르기까지의 방대한 제품 라이프 사이클 정보들을 얻을 수 있다. 이를 바탕으로, 제품 디자인과 제조/생산에 관한 다음과 같은 획기적인 변화를 꾀할 수 있다.

(1) Design improvement

MOL과 EOL 단계에서 얻어진 제품 사용 및 재활용에 관한 정보들은 다시 피드백 되어져서, 새로운 제품을 디자인하거나, 기존 제품을 향상시킬 때, 재사용 되어질 수 있다. 이는 제조업체가 항상 고민해왔던 과제였으나 지금까지 제품 사용 정보에 대한 추적이 용이치가 않아서 해결하기가 쉽지 않은 과제였다. 하지만, RFID 기술을 이용함으로써 인해서, BOL 단계에서 MOL 및 EOL 데이터들의 피드백에 대한 가시성을 확보할 수 있으며 이를 통해 제품 성능의 향상을 꾀할 수 있다. 예를 들어, 제품의 사용 중에 모니터링 되는 정보들을 신속히 제품 디자인에 반영하여 제품의 품질 향상을 위해 쓰여질 수 있다. 기존까지는 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)를 통해 제품 설계의 문제점을 파악하고 이의 개선을 통해 제품 신뢰도의 향상을 꾀하여 왔지만, FMEA는 제품이 failure가 날 때까지의 제품 degradation 상태 정보들을 반영하지 못하는 단점을 가지고 있었다. 즉, FMEA의 RPN(Risk Priority Number)이 주는 정보로는 제품 사용 환경에 따라 어떻게 제품 성능이 영향을 받는지를 알 방법이 없었다. 하지만, PEID를 이용하면 제품 degradation 상태 정보들을 추적할 수 있고, 이를 통해 RPN을 보다 의미 있는 지표로 개선할 수 있다. 개선된 RPN을 통해 제품 신뢰도에 영향을 미치는 주원인들을 보다 자세히 찾을 수 있으며, 이를 제품 성능 향상을 위해 이용할 수 있다. 또한, DfX(Design for X) 측면에서는, 유지/보수, 해체 및 재제조 작업등을 거치는 동안 얻어진 각종 제품 관련 정보들을 각각, 차기 제품 설계 단계에, design for maintenance, design for disassembly, design for remanufacturing등을 위한 중요한 입력 자료들로 이용할 수 있다.

이를 구현하기 위해서는, 수집되어진 정보를 바탕으로 제품 degradation 상태를 분석할 수 있는 degradation function을 정의하는 일이 필요하다. 이 함수 값이 주는 결과를 토대로 제품 디자인 개선을 위한 컴포넌트들을 찾고, 주원인을 발견하여 해결하기 위한 방법론을 개발하여야 한다. 또한, DfX를 적용할 때 수집된 제품 라이프 사이클 데이터들을 반영하기 위해서, 각 DfX 마다 필요로 하는 정보를 미리 정의하고 이를 어떻게 수집된 라이프 사이클 데이터로부터 얻을 수 있는지를 살펴 보아야 한다. 덧붙여, 이렇게 해서 얻어진 정보를 어떻게 DfX를 위해 체계적으로 적용할 수 있는지에 대한 연구가 이루어져야 한다.

(2) Real time production planning and scheduling

생산계획과 스케줄링은 전통적으로 제조 기업이 다루어 왔던 문제들로, 장기적인 관점과 단기적인 관점에서 생산과 관련된 자원문제들을 어떻게 효율적으로 배분하고 통제하는가에 초점이 맞추어져 있다. 지금까지는 바코드 및 DAS(Data Acquisition System)와 같은 정보시스템을 통해 shop floor상의 데이터들을 실시간으로 얻고자 하는 노력이 이루어져 왔다. 하지만, 바코드가 갖는 한계점 때문에, 많은 데이터들을 효율적으로 수집할 수 없는 단점이 있었다. 또한, DAS를 통해 얻을 수 있는 정보들은 생산 프로세스 구간과 구간 사이의 정보들로만 한정되어 있으며, 제품과 기계사이의 실시간 상태 정보를 얻기가 불가능했다. 따라서, 생산 중에 발생하는 긴급한 상황 등에 대처하기가 어려웠다. 그러나, 새로운 환경하에서는 제품 인식기술을 shop floor상의 제품과 기계에 적용하면, 하나의 제품이나 부품단위로 shop floor상의 제품 상황을 파악할 수 있고, 이와 동시에, 기계의 상태 정보를 보다 신속히 파악할 수 있다. 이를 바탕으로 조기에 shop floor상의 문제점을 파악할 수 있어서 이상 상황에 대한 빠른 대처가 가능하게 된다. 또한, 제품의 유통 및 판매 상황 등에 관한 정보를 바탕으로 미래에 발생할 수 있는 수요를 보다 정확히 예측할 수 있기 때문에, 이를 바탕으로 실시간 생산 계획 및 스케줄링을 실행할 수가 있다.

이를 구현하기 위해서는, 실시간 생산계획 수립 시 창고/재고 관리 및 공급망 관리와 연계가 이루어져야 하며, 실시간 shop floor 스케줄링을 위해 긴급한 상황에 대응할 수 있는 대처방안에 대한 모델링이 먼저 이루어져야 한다. 이를 바탕으로 제품과 기계, 시스템 간에 실시간으로 정보들을 교환하고 의사결정을 할 수 있는 프로토콜 및 프레임워크가 개발되어야 한다. 또한, 실시간 생산계획 및 스케줄링을 위해 어떠한 데이터들을 새롭게 필요로 하는지가 조사되어야 한다.

(3) Efficient warehouse/inventory management

RFID tag를 제품에 부착하면, 입출고에 관한 정보가 자동적으로 관리시스템에 들어가기 때문에, 언제든지 원하는 경우에 창고 및 제품 재고에 관한 현황을 정확히 한 눈에 파악할 수 있다. 즉, 제품이 입고되어 적재, 패키징, 출하되는 모든 작업 과정과 그 과정상에서 발생하는 데이터를 지속적으로 파악할 수 있으며, 또한, 재고를 직접 눈으로 보고 확인하지 않아도, 제품이 정확한 위치에 놓여졌는지, 제품의 상태는 어떠한지, 어떠한 제품이 얼마나 많이 줄어들었는지(shrinkage), 또는 매진, 품절(out of stock)되었는지를 훨씬, 손쉽게 체크할 수 있다. 이를 통해 입출고 작업자의 부담경감과 작업효율의 대폭적인 향상이 예상되는 것은 물론, 창고 내의 재고 현황이 시스템 상에서 실시간으로 파악될 수 있으므로 최적의 재고 수준을 유지할 수 있게 된다.

이를 구현하기 위해서는 제품들에 대한 위치 추적을 가능하게 하는 트래킹 쿼리 알고리즘이 개발되어야 한다. 또한, 창고 및 재고 관리의 효율화를 위해, 작업자의 작업 할당 및 순서 결정 문제, gantry robot의 order picking 순서를 생성하는 문제들을 풀

어야 한다. 또한 공급망 관리 및 생산계획과 연계하여 효율적인 재고 보충을 위한 알고리즘이 개발되어야 한다.

4.2 MOL(Middle of Life)

MOL은 생산출하 시점에서부터 소비자에게로부터 버림을 받기 직전까지의 제품의 라이프 사이클 과정을 나타낸다. 즉, 제품의 유통, 사용 및 유지/보수의 활동들이 MOL에 속한다고 할 수 있다. MOL에서는 RFID기술이 제품의 유통 및 사용 내역을 기록하는데 쓰일 수 있다. 예를 들어, 제품 로지스틱 경로, 시간, 사용 조건, 불량 내역, 정비 기록 등의 데이터들을 수집할 수 있다. 이러한 데이터들이 중앙 서버로 취합되어져서 분석되어지고, 분석 가공된 정보 및 지식들은 전체 제품 라이프 사이클에 걸쳐 여러 부분에서 운용의 효율화를 위해 이용될 수 있다. 특히, 다음과 같은 이슈들을 생각해 볼 수 있다.

(1) Efficient supply chain management

공급망 관리 부문은 RFID기술에 대한 응용이 제일 먼저 시작된 곳이라 할 수 있다. 새로운 RFID기술을 이용해 공급망상의 제품 추적 및 상태 조회를 할 수 있고, 이를 통해 유통의 효율화를 도모할 수 있다. 즉, 물자 조달에서부터 제조, 물류, 유통, 영업, 마케팅을 거쳐 고객의 손에 이르기까지의 모든 물자와 정보 및 자금의 흐름을 제품과 장비 정보의 공유를 통해, 언제, 어디서나, 세밀하게, 실시간으로 파악할 수 있다. 이를 바탕으로 새로운 주문이 접수되면 실시간으로 가용 재고 및 생산능력, 운송 및 유통 비용 등을 분석하여 어떻게 생산하여, 어디에 보관하고, 어떻게 배달하는 것이 좋으며, 예상 납기는 언제가 될 지에 대해 최적의 방법으로 계획하고 관리 할 수 있다. 이는 기존의 공급망 관리가 다루지 못했던 세밀한 부분의 정보까지, 즉 item레벨의 정보까지, RFID 기술을 이용함으로써 인해 기존의 공급망 관리가 지향했던 목표, 즉, 시스템의 왜곡 현상(Bullwhip effect)을 줄이고 고객의 요구에 신속한 대응이 진정으로 가능하도록 하게 만든다.

지난 십 수년간 이미 공급체인 네트워크 설계, 공급체인계획, 공급체인 통제 및 관리, 공급체인 파트너간의 정보공유, 판매 및 영업관리, 수요예측, 주문계획 및 관리, 재고관리, 생산계획, 유통 계획, 운송계획 및 관리, 물류 추적 등, 실로 많은 부분들에 있어서 공급망 관리의 최적화를 위한 개선들이 이루어져 왔다. 이제는 RFID item 레벨 단위의 손쉬운 제품 인식 기술을 감안하여 위에서 언급한 부분들에 대한 방법이 재고되어야 할 시점이다. 이와 더불어 전체 공급망 관리의 최적화를 위한 알고리즘이 개발되어야 한다.

(2) Decision methods for efficient predictive maintenance/service operation

새로운 환경하에서는, 사용 중인 제품에 대해 현재까지의 제품 상태 및 제품 사용 환경 정보(product mission profile)를 손쉽게 파악할 수 있다. 예를 들어, 다양한 센서를 통해 제품 사용에 따라

발생할 수 있는 성능 저하(performance degradation) 현상을 파악할 수 있다. 또한, 제품이 어떠한 환경하에서 쓰여졌으며, 제품 사용자의 습관은 어떠한지를 데이터 수집을 통해 분석할 수 있다. 제품의 성능 저하는 제품 사용 환경 정보와 밀접한 연관이 있으므로 이들 간의 관계 분석을 바탕으로 특정 사용 환경에서의 제품의 성능을 예측할 수 있고 제품 failure가 일어나기 전에 미리 적절한 조치를 취할 수 있다. 즉, 제품의 예방보전(preventive maintenance)이 아닌 예측 보전(predictive maintenance)을 수행할 수가 있다. 이는 확률 관점에서 일정한 정비구간을 정하는 예방보전에 비해 실시간 모니터링을 통해 제품 failure가 나기 직전에 필요한 보전조치를 취하는 진일보한 보전 전략이라고 할 수 있다.

이를 구현하기 위해서는, 제품 성능 저하 정보와 사용 환경 정보 간에 relation에 대해서 자세한 통계분석이 필요하며, 이를 바탕으로 예측 보전을 하기 위한 밑바탕이 되는 reference 데이터를 구축해야 한다. 또한, reference 데이터와 제품 사용 환경정보를 바탕으로 현재의 제품 성능 정보를 예측할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것이 필요하다. 이와 더불어, 언제 제품을 수리하는 것이 최적인지를 결정하는 의사결정 알고리즘의 개발도 필요하다. 또한, 한 제품에 대한 예측 보전뿐만 아니라, 비슷한 사용 환경을 갖는 제품 그룹들에 대해, 효율적으로 예측정비/서비스를 시행할 수 있는 방법이 만들어져야 한다. 즉, 복수 개의 제품들에 대한 예측 보전 정책을 같이 고려하여 수립함으로써, 전체 보전비용을 최적화하는 방법을 개발하는 것이 필요하다.

4.3 EOL(End of Life)

EOL은 사용가치를 잃은 제품이 취합(Collection), 해체(Disassembly), 검사 및 분류(Inspection and sorting), 수리(Reconditioning), 재조립(Reassembly)을 통해 리사이클링 및 재사용 되어지거나 폐기 처분되어지는 단계라 할 수 있다. 근래 들어, 짧아진 제품 사용 수명, 환경문제에 대한 관심의 증가, 한정되어 있는 자원의 양, 그리고 폐기물에 대한 기업의 사회적, 법적인 책임 문제때문에, 사회적으로 EOL 관리에 대한 관심이 증가되어지고 있다. 이에 더하여, 이제는 제조 기업이 EOL 관리를 기업의 의무라는 관점에서 접근하기 보다는, 기업의 수익을 증대시킬 수 있는 또 다른 모델로 간주하기 시작했다.

새로운 환경하에서는 BOL의 제품 사양 및 제조정보와 MOL 단계에서의 제품 사용에 관한 정보를 바탕으로, EOL 단계의 제품들의 가치를 효율적으로 제고할 수 있게 되었다. 이를 위해 다음과 같은 두 가지 이슈들을 생각해 볼 수 있다.

(1) EOL product recovery optimization

전체 제품 라이프 사이클에서의 RFID기술의 응용은 제품이 어떤 자재(material)로 누구에 의해 어떻게 만들어졌으며, 어떤 경로를 통해 어떻게 사용되어져 왔는지에 대한 데이터들을 획득할 수 있게 만든다. 이런 데이터들을 바탕으로, 수집되어진 EOL 제품들의 사용가치를 효율적으로 제고할 수 있다. 즉, 현재 제품

의 사용가치를 평가하여, 각 제품 혹은 부품들의 처리에 대한 최적의 의사결정을 통해, EOL 단계의 제품들의 가치를 최대화할 수 있다. 예를 들어, 재제조에 의한 리사이클링인가? 혹은 재처리에 의한 리사이클링인가? 혹은 해체 후 재활용하는가? 아니면 바로 폐기하는가? 등의 제품 사후 처리에 관한 문제들을 제품 상태와 전체 복원 비용 및 수익에 관한 정보들을 고려하여 기업의 이익이 최대가 되는 방향으로 풀어야 한다.

이를 위해서는 무엇보다도 먼저, EOL 제품의 사용 가치를 평가할 수 있는 모델이 개발되어져야 한다. 이를 바탕으로 전체 이익을 최대화 할 수 있는 EOL 제품 복원 최적화를 위한 의사결정 문제가 정의가 되어져야 하며 그 해결책이 제시되어져야 한다. 결정변수로는 각 사후처리(리사이클링, 재사용, 폐기등)에 대한 수량이 될 수 있을 것이며, 제약식으로는, 각 EOL 사후 처리 옵션들의 최대 혹은 최소 수량에 대한 제약, 그리고 환경 및 품질에 대한 제약들을 이 문제에 고려해 볼 수 있을 것이다.

(2) EOL reverse logistics optimization

역물류(reverse logistics)란, 제품의 사용가치가 없어졌을 때, 고객으로부터 회수되어지는 시점부터 시작해서, 선별작업 및 재제조 후에 고객에게 다시 돌아가거나 폐기되기까지의 유통 과정을 말하는 것이다. 언제, 어디로부터 얼마만큼의 제품들이 회수되어지고, 어떤 EOL 과정들(예를 들어, 리사이클링, 재사용, 폐기)을 거치느냐에 따라 물류비용이 틀러지기 때문에 전체 역물류 비용을 최소화할 수 있는 적절한 의사결정이 필요하다 할 수 있겠다. 기존까지는 제품 사용 상태에 대한 분석이 제품을 수거하기 전에는 이루어지지 못했으므로, 역물류에 대한 효율적인 계획을 세우기가 어려웠다. 하지만, 새로운 환경하에서는, 미리 제품을 수거하기 전에, 제품 상태를 예측할 수 있기 때문에, 이를 바탕으로 효율적인 역물류 계획을 수립할 수가 있다. 즉, 제품 상태에 대한 예측을 바탕으로, 리사이클링, 재사용 및 폐기 처분을 위한 제품 공급 물량을 미리 예측할 수 있다. 따라서 재제조 업체나 폐기업자로부터 필요한 제품 혹은 부품에 대한 리사이클링, 재사용, 및 폐기 물량에 대한 수요를 알 수만 있다면, 역물류 계획을 최적화할 수 있을 것이다.

이를 위해서는 전체 역물류 비용을 최소화하는 역물류 계획에 관한 문제가 정의되어져야 한다. 이 문제의 결정변수로는, 수집 및 재배포시의 라우터 정보 및 수량 정보 등을 고려해 볼 수 있을 것이다. 또한, 환경 문제에 관한 사항, 예를 들어, 최대 폐기 처분비용을 제약식으로 고려해 볼 수 있다. 전체적인 관점에서는 앞에서 제시한 EOL product recovery optimization 문제와 같이 맞물려서 이 문제를 생각해야 한다.

지금까지 RFID기술을 제품 라이프 사이클 전반에 걸쳐 응용하기 위한 하드웨어, 소프트웨어 프레임워크 및 비즈니스 모델에 대해 살펴 보았다. <표 1>은 PEID 타입을 sensor, passive RFID tag, active RFID tag, 그리고 on board computer의 조합으로 분류해 놓은 것이다. Type 1과 2는 RFID tag 타입의 PEID를 나타내며, 서류와 같은 작은 크기의 제품들과 소비재 및 캠코더, 컴퓨터, 텔레비전, 오디오 기기등과 같은 가정용 엔터테인먼트 제품들

Table 1. Type of PEID

Classification	Sensor	Passive RFID tag	Active RFID tag	On board computer	Example of application data
Type 1		•			Small-sized products, Consumer goods, Brown goods
Type 2			•		
Type 3				•	
Type 4	•	•			Brown goods, White goods
Type 5	•		•		
Type 6	•			•	White goods, Machinery
Type 7		•		•	
Type 8			•	•	
Type 9	•	•		•	
Type 10	•		•	•	Machinery, Vehicle

(brown goods)에 쓰일 수 있다. Type 3은 on board computer 타입의 PEID를 나타내며, Type 4와 5는 센서와 RFID tag의 조합의 PEID를 나타낸다. 이들 타입의 PEID는 가정용 엔터테인먼트 제품들과 가정용 청소, 주방, 냉난방 기기들과 같은 제품들(white goods)에 주로 쓰일 수 있다. 그리고 Type 6은 on board computer와 센서의 조합을 나타낸 것이며 Type 7과 8은 RFID tag와 on-board computer 조합의 PEID를 가리킨다. 이들 타입의 PEID는

주로 white goods이나 공작기계와 같은 장치, 설비 기계류 제품들(machinery products)에 적용되어질 수 있을 것이다. 그리고 마지막으로 Type 9와 10은 센서, RFID tag 및 on-board computer 조합의 PEID를 나타낸 것으로, machinery products를 포함해서 자동차, 기차, 중장비 기계와 같은 보다 큰 사이즈의 제품들에 적용되어질 수 있을 것이다. <표 2>는 위에서 언급한 비즈니스 모델들과 이의 운용에 필요한 필수 정보들에 대해 정리해 놓은 것이다.

Table 2. PEID application area and necessary information in PLM

Product lifecycle	Business application area	Necessary information
BOL	Design improvement	<ul style="list-style-type: none"> - Product mission profile, maintenance/service and failure information - BOM and updated BOM by repair and replace - Product/Part/Component specification and life time - Dismantling information - Recycling/reuse rate of each component - Environmental effect information
	Real-time production planning and scheduling	<ul style="list-style-type: none"> - BOM information - Product order, sales, and inventory information - Manufacturing system layout and machine information
	Efficient warehouse and inventory management	<ul style="list-style-type: none"> - Production planning information - Product order, sales, production planning, and inventory information - Facility location information
MOL	Efficient supply chain management	<ul style="list-style-type: none"> - Product order, production, inventory, logistics, and sales information
	Decision methods for efficient predictive maintenance/service operation	<ul style="list-style-type: none"> - BOM information - Product mission profile and product performance information - Maintenance/service instructions and spare part information
EOL	EOL product recovery optimization	<ul style="list-style-type: none"> - Production and disassembly information - BOM and updated BOM by repair and replace - Product/Part/Component specification - Product performance information - Ratio of EOL options (e.g. cost for reuse or remanufacturing) - Cost and benefit of EOL options
	EOL reverse logistics optimization	<ul style="list-style-type: none"> - Logistics information for each EOL process (collection, remanufacturing, recycle, reuse, disposal) <ul style="list-style-type: none"> • Frequency of collecting • Volume of collecting • Logistics cost

5. 결 론

RFID 기술은 현재 product identification 기술의 핵심으로써 최근 들어 낮아진 생산단가와 무선 통신 기술들과의 접목을 통해, 그 응용 범위가 산업계 전반으로 급격히 확대되고 있다. 그에 맞추어 RFID 기술도, 단순한 RFID tag에 대한 연구에서, 보다 다양한 제품 정보 디바이스(PEID)로의 연구로 옮겨가고 있는 중이다. 이러한 추세에 발맞추어 제조기업의 경쟁력을 향상시키기 위해서는 무엇보다도, RFID 기술을 전체 제품 라이프 사이클에 걸쳐서 응용할 수 있는지에 대한 연구가 우선 되어야 한다. 하지만 비교적 짧은 제품 인식 기술 및 PLM의 역사 때문에, 이에 대한 많은 연구가 진행되어지지 않았던 것이 사실이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 PLM에서 PEID를 어떻게 응용할 수 있는지에 대하여 하드웨어와 소프트웨어 관점의 기술적인 프레임워크와 비즈니스 모델 관점에서 살펴보았다. 본 연구가 앞으로 진행 될 제품 라이프 사이클 운용의 최적화를 위한 여러 연구들과 기업들의 성공적인 PLM 도입 및 활용에 밑거름이 될 수 있으리라 생각한다.

추후 연구과제로는, 먼저, BOL, MOL, 그리고 EOL 단계에서 제시된 응용 문제들을 효율적으로 해결하기 위한 방안이 상세하게 제시되어야 할 것이다. 또한, PEID 도입으로 인한 수익 효과 분석이 비즈니스 모델 별로 이루어질 수 있을 것이다. 이 밖에 제품 종류에 따라서, 제품 라이프 사이클 프로세스와 정보의 흐름을 파악하기 위한 참조 모델들이 만들어져야 할 것이다. 기술적인 측면에서는 PEID의 PLM 응용 모델 적용 시에 발생할 수 있는 제품 정보 보안에 대한 문제가 필히 다루어져야 할 것이다.

참고문헌

- Brewer, A. Sloan, N., and Landers, T. L.(1999), Intelligent tracking in manufacturing, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 10, 245-250.
- Hans, C. et al.(2004), Using transponder technology to support the end-of-life phase in product life cycle management, *Proceedings of International IMS Forum 2004: Global Challenges in Manufacturing*, 2, 1448-1455.
- Huvio, E., Grönvall, J., and Främmling, K.(2002), Tracking and tracing parcels using a distributed computing approach, *Proceedings of NOFORMA 2002 conference*, Trondheim, Norway.
- Jung, J.-H. and Rim, S.-C.(2004), RFID-Review Paper, *Proceedings of the joint conference on Korean Industrial Engineering and Korean Management Science*.
- Keskilammi, M. et al.(2003), Radio Frequency Technology for Automated Manufacturing and Logistics Control. Part 1 : Passive RFID systems and the Effects of Antenna Parameters on Operational Distance, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21, 769-774.
- Parlikad, A. K. et al.(2003), The Role of Product Identity in End-of-Life Decision Making, White paper, Auto-ID center, Institute for manufacturing, Cambridge.
- Saar, S. and Thomas, V.(2003), Toward trash that thinks: Product tags for environmental management, *Journal of Industrial Ecology*, 6(2), 133-146.
- Sarma, S., Brock, D., and Engels, D.(2001), Radio Frequency Identification and the Electronic Product Code, *IEEE Micro RFID system*, 50-54.
- Schneider, M.(2003), Radio Frequency Identification(RFID) Technology and its Application in the Commercial Construction Industry, Master thesis of university of Kentucky, April 24.
- Want, R.(2004), Enabling ubiquitous sensing with RFID, *IEEE Computer*, 37(4), 84-86.
- Wong, C. Y., McFarlane, D., Zaharudin, A. A., and Agarwal, V.(2002), The intelligent product driven supply chain, *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 4.
- Zhou, F., Jin, D., Huang, C., and Hao, M.(2003), Optimize the power consumption of passive electronic, *Proceedings of 5th International Conference on ASIC 2003*, 2, 1213-1217.



전 홍 배

연세대학교 응용통계학과 학사
 한국과학기술원 산업공학과 석사
 한국과학기술원 산업공학과 박사
 현재 : 스위스 연방 로잔 공대 (EPFL) 연구원
 관심분야 : PLM, RFID, 온톨로지, Predictive maintenance