韓國 컴퓨터情報學會 2006동계학술발표논문집&학회지
第14卷 第2號, 2006. 12.

# 제품추적을 위한 RFID기반 제조실행시스템에 대한 연구

김 봉 석*, 이 홍 철*

# A Study of MES for the Product Tracking Based on RFID

Kim Bong Seok*, Lee Hong Chul*

## 요 약

제조실행시스템(MES: Manufacturing Execution System)은 현장(shop floor)에서 작업을 수행하기 위한 제반 활동 (스케줄링, 작업 프로세스, 품질관리, 등)을 지원하기 위한 관리 시스템이다. 특히, MES는 생산계획과 실행의 차이를 줄이기 위한 시스템으로 현장상태의 실시간정보제공을 통하여 관리자와 작업자의 의사결정을 지원하는 기능을 수행한다. 실시간 정보처리를 위한 MES는 최근 많은 관심을 가지고 있는 RFID의 Data를 모델링하고, 제조부터 판매까지 각 프로세스 내의 제품을 모니터링 하는 기능이 필요하다. 그러나, RFID가 부착된 제품이 프로세스 과정에 있어서, tag, reader의 오작동, 고의적 파손, 분실, 주변 영향으로 인해, 리더기가 tag를 읽지 못하는 경우, 제품의 위치를 모니터링 할 수 없다. 이러한 경우, 불확실한 정보를 가지고 제품의 경로를 추적하여야만 한다. 본 논문은 신속하게 제품을 찾기 위해, RFID와 Bayesian Network을 이용한 MES를 제안하고 성능을 평가하였다.

## Abstract

MES(Manufacturing Execution System) is a control system which supports basic activities (scheduling, working process and quality management, etc) to execute working on the shop floor. As especially MES is a system to decrease the gap between production planning and operating, it executes functions that make decision between management and labor using real-time data. MES for real-time information processing requires certain conditions such as data modeling of RFID, which has recently attracted attentions, and monitoring of each product unit from manufacture to sales. However, in the middle of processing the unit with a RFID tag, transponders(readers) can't often read the tag due to reader's malfunctions, intentional damages, loss and the circumstantial effects; for that reason, users are unable to confirm the location of the product unit. In this case, users cannot avoid tracing the path of units with uncertain clues. In this paper, we suggest that the unique MES based on RFID and Bayesian

• 제1저자 : 김봉석
* 고려대학교 공과대학 산업시스템정보공학과

Network can immediately track the product unit, and show how to evaluate it.

▸ Keyword : MES(Manufacturing Execution System), RFID(Radio Frequency Identification), 베이지안 네트워크(Bayesian Network)

# Ⅰ. 서 론

21세기 들어 제조환경의 변화로 인한 공장자동화로 인한 생산 내 간접비의 비중이 커지고 있고, 컴퓨터의 발전으로 생산라인을 탄력적으로 활용함으로써 다품종 소량 생산 체제로의 변화가 가능하게 되었다. 이러한 변화 속에서 모든 생산 및 업무 프로세스는 그 복잡성을 더해가고 있는 추세이다. 이와 같이 복잡하고 다양한 제조환경에서 선진 제조업체들은 이러한 목적에 따라 도입한 ERP (Enterprise Resource Planing), SCM (Supply Cycle Management), PDM (Product Data Management)등의 각 시스템의 정보를 신속히 공유하고 의사결정에 도움을 주는 한편 생산현장에는 빠른 정보 획득과 처리를 하여, 종합적 정보 관리를 효율적으로 할 수 있는 제조실행시스템(MES : Manufacturing Execution System)을 사용하게 되었다. MES기능 중에서 고객의 클레임, 또는 제조 프로세스 상의 제품의 유실, 문제점 발생 시 공정이력과 제품의 추적성 관리를 중요시 하고 있다. 실례로 미국의 델타항공에서는 100개의 수화물중 4개의 수화물이 분실되는 사고 발생하고 있고, 〈표1〉은 상거래에 있어서 많은 문제점을 보여준다.

표 1. 전자상거래 분쟁조정신청 동향분석(2)
Table 1. A trend analysis about E-commerce dispute arbitration claim

| 분쟁유형 | 2001년 | 2002년 | 2003년 | 2004년 | 2005년 | 증감대비율 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 배송지연 · 미인도 · 배송비 | 183(40.0) | 120(14.1) | 154(13.4) | 149(14.4) | 289(16.5) | 94.0 |
| 계약취소 · 반품 · 환불 | 126(27.6) | 313(36.7) | 457(39.7) | 570(55.2) | 878(50.2) | 54.0 |
| 계약변경 · 불이행 | 20(4.4) | 116(13.6) | 266(23.1) | 48(4.7) | 103(5.9) | 114.6 |
| 상품정보(가격 등)오기 | 5(1.1) | 20(2.3) | 13(1.1) | 26(2.5) | 70(4.0) | 169.2 |
| 물품하자 | 48(10.5) | 72(8.4) | 28(2.4) | 29(2.8) | 55(3.1) | 89.7 |
| 허위 · 과장광고 | 18(3.9) | 29(3.4) | 14(1.2) | 29(2.8) | 80(4.6) | 175.9 |

본 논문에서는 보다 효율적인 속도로 제품 추적을 위해 RFID를 기반으로 한 MES 프레임워크를 제안하고 성능을 평가한다.

# Ⅱ. 관련연구

## 2.1 재조실행시스템(MES)

국제 MES협회(MESA : International Manufacturing Execution System Association International)에서는 "주문 받은 제품을 최종 제품이 될 때까지 생산 활동을 최적화 할 수 있는 정보를 제공하며 정확한 실시간 데이터로 공장 활동을 지시, 대응, 보고한다. 이에 따라 공장에서 가치를 제공하지 못하는 활동을 줄이는 것과 함께, 변화에 빨리 대응할 수 있게 함으로써, 공장 운영 및 공정의 효과를 높이며, 납기, 재고, 회전율, 총수익, 현금 흐름 등을 개선 할 뿐 만 아니라 운영 자산에 대한 회수율도 좋게 한다. MES는 양방향 통신으로 기업 전체 및 공급 회사에 걸쳐 생산 활동에 대한 중요한 정보들을 제공한다."라고 MES에 대해 설명하였다.[3] 〈그림 1〉은 MES구축 후 정량적 성과에 대해 보여준다.

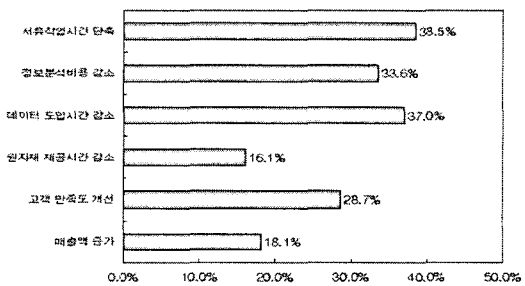


그림 1. 제조실행시스템 구축 후 정량적 성과[4]
Fig 1. A fixed quantity after constructing Manufacturing Execution System

## 2.2 RFID (Radio Frequency IDentification)

RFID는 바코드를 대체할만한 기술로서 제품에 붙이는 태그(Tag)에 생산, 유통, 보관, 소비의 전 과정에 대한 정보를 담고 자체 안테나를 갖추고 있으며, 비접촉식으로 읽어내는 기술로서 상품, 수화물, 등 모든 물건 및 동식물 등에 부착이 가능하고 국방, 물류, 교통, 유통, 판매 등에 있어서 관리효과 및 고객만족도를 실현시키게 하는 기술이다.

〈그림 2〉은 RFID의 동작 원리를 보여주고 있다.

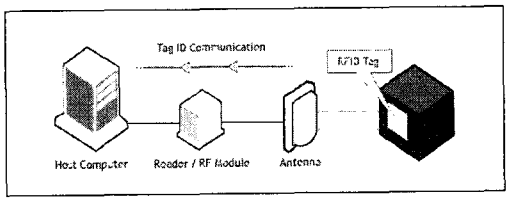


그림 2. RFID 동작 원리
(www.epcglobal.org.hk)
Fig 2. The RFID working principles

## 2.3 RFID Data Modeling

제조에서는 소·도매로 부터의 RFID 데이터 분석하고 필터링하여 제3자 물류에 도움이 되도록 하고 있다.[5] RFID data를 사용하기 위해 산업 전반에서도 Data 모델링 작업이 필요하다.

제안하는 MES에서도 제품 추적을 위한 실시간 RFID Data를 이용하기 위해서 모델링 작업이 필요하다. 기존의 RFID Data에 대한 연구에 있어서, Harrison은 EPCIS를 이용하기 위해 RFID 리더기에 의해 읽힐 때의 Event Data를 고려했다.[6] 이것은 제품을 추적하거나 EPCIS로 쿼리를 할 때 비효율적이다. RFID가 읽힐 때마다 계속 EPCIS에 쿼리를 하여 timestamp의 필드에 저장이 되는 문제점이 발생될 수 있다. 또한 모든 EPC(Electronic Product Code)와 제품의 위치가 변동될 때마다 트랜잭션이 일어나는 비효율적인 문제점이 발생될 수 있다. 이러한 문제점에 대해 Wang은 SCM에 적합한 RFID Data를 Harrison의 모델에 위치, 집합소의 제품관계에 대해 추가하여 설명을 하고 있다.[7] 그러나, MES에서 제품위치를 찾기에는 그 관계가 부족하다. 제품이 프로세스를 통해 이동을 함에 따라 각 프로세스별 도착 시간, 책임자, 프로세스 이름을 통해 문제 발생 시 예측을 용이하게 해야 한다. 제품뿐만이 아니라 리더기 위치나 각 검색포스트의 정보를 통해 원하는 정보를 효율적으로 만들 수 있다. RFID를 사용함에 있어서 RFID 내의 입력될 정보뿐이 아닌 프로세스 내에 RFID와 리더기 등의 하드웨어적인 모델링이 필요하다. 〈표 2〉는 기존 연구에 대한 RFID data format과 제안하는 data format의 비교에 관한 표이다.

표 2. RFID data format 비교
Table 2. RFID data format comparison

| | Harrison | Wang | Proposal Model (그림 3) |
|---|---|---|---|
| Product/service groups data | O | O | O |
| Instance data | - | O | O |
| Temporal data | - | O | O |
| Information management | Only store and manage events | events and states changes | events and states changes |
| Expected Arrived time to a Process | - | - | O |
| Non/existence of product in the process | - | - | O |

제품추적을 하기 위해 7개의 엔티티로 구성을 한다. 리더와 제품과 위치는 가장 중요한 정보를 가진다. 복수개의 리더와 제품들을 관리하기 위해 프로세스 내에서의 위치가 또한 중요하다. 리더기는 프로세스 내로 제품이 들어올 때와 나갈 때를 확인함으로서 제품이 프로세스 내·외부의 위치를 판단하게 된다. 〈그림 3〉은 MES내에서 사용될 RFID 데이터 모델이다. 그림의 회색박스는 기존의 연구 모델에서 MES에 적용하기 위해 추가된 속성들이다.

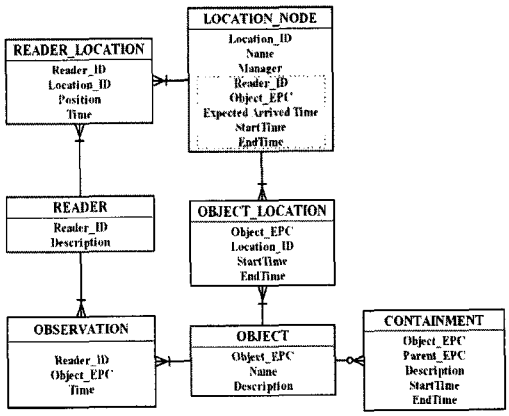


그림 3. 제품 추적을 위한 E-R 다이어그램
Fig 3. An E-R Diagram for a product tracing

## 2.4 베이지안 네트워크

베이지안 추론은 베이지안 네트워크 환경에서 주어진 정보들을 이용하여 어떤 현상이 사실인지를 추론하는데 사용한다.[8],[9] 특히 수학과 공학의 응용에서 발생하는 불확실성과 복잡성에 문제들을 쉽게 처리할 수 있도록 한다. 최근, 베이지안 네트워크를 이용하여 제한된 공간 내에 Reader가 공간 내 Tag의 위치를 파악하는데 많은 연구가 이루어지고 있다.[10],[11] 이러한 베이지안 네트워크를 이용할 경우 성분들 간의 인과관계를 이용하여 제품의 문제가 발생된 지점의 근거를 제시해 줄 수 있다.

# III. 제품 추적을 위한 제조실행시스템 프레임워크

## 3.1 RFID기반 MES 프레임워크

본 논문에서는 베이지안 네트워크와 RFID를 이용한 〈그림 4〉와 같이 제품 추적을 위한 MES를 제안한다.

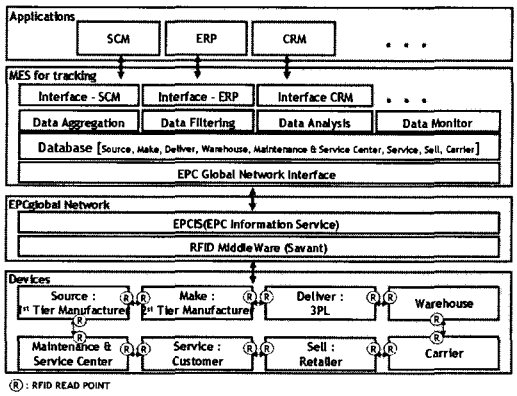


그림 4. 제안하는 제품 추적을 위한 MES 프레임워크
Fig 4. MES framework proposal for a product tracking

최하단의 Devices는 SCM과 물류, 유통 등의 일련의 프로세스들을 나타낸다. MES는 이러한 프로세스 등의 정보들을 관리하는 시스템들(SCM, PDM 등)의 정보를 효율적으로 사용하기 위한 시스템이다. 각 프로세스의 제품정보를 RFID 리더기를 통해 각 프로세스 내에 있는 제품들의 EPC(Electronic product code)정보는 RFID 미들웨어와 EPCglobal Network 서비스를 통하여 제품의 세부정보를 제공할 수 있도록 한다.

## 3.2 프로세스 구성

본 논문에서는 제조되어 소비자가 제품을 구매까지 거치는 제조, 물류, 유통 등의 프로세스에서 제품을 추적하는 외부 성능 평가와 각 프로세스의 내부에 다양한 특징에 맞춰 Reader기의 Read Point가 구성되어 제품 추적을 위한 내부 성능 평가를 위해 외·내부적인 부분에 나눠서 베이지안 네트워크를 설계한다.

### 3.2.1 외부 프로세스 구성

배송, 저장, 적재, 소·도매, 소비자까지의 프로세스에 있어서 앞에서 모델링한 RFID Raw Data 정보를 통해 MES에서 일괄적으로 관리를 하게 된다. 초기 외부 프로세스에 대해 베이지안 네트워크를 구성함에 있어서, 편의성을 위해 각 프로세스간 제품의 문제가 발생될 기본 확률은 RFID 시스템의 설계시 고려되는 확률에 맞춰 디자인 했다.[5] 예를 들어 창고에서 제품이 보관중일 경우, 창고의 구분이 될 수 있다. 세부적인 창고 정보를 통해 제품이 저장 위치를 알 수 있다. Reader_ID는 제품의 RFID 태그를 읽는 리더기의 정보를 통해 언제, 어느 리더기가 제품을 읽었는지 정보를 연동하여 알 수가 있다. 또한, 제품을 추적함에 있어서 가장 많은 문제를 발생시키거나 가장 많은 시간이 소비되는 프로세스에서부터 베이지안 네트워크가 계산한 중요도에 의해 MES의 데이터베이스를 검색한다.

이러한 제품의 추적이나 고장 또는 장애 이상 상태와 같은 불확실성을 포함하는 문제영역은 빈번하게 발행할 수 있다.

### 3.2.2 내부 프로세스 구성

프로세스의 내부 베이지안 네트워크 구성은 각 프로세스들에는 제품을 추적함에 있어서 Location_Node 사이에서 세 가지의 요인에 의해 문제가 발생하도록 발생되는 요인이라고 가정을 한다.

$PF_{ij}$ : 두 노드 $i$ 와 $j$ 사이의 이동하는 제품수량

$FP_{ij}$ : 두 노드 $i$ 와 $j$ 사이의 문제 발생 빈도

$D_{ij}$ : 두 노드 $i$ 와 $j$ 사이의 거리

이 세 가지의 요인의 가중치는 단순의사 가중치를 적용한다. 실험의 편의를 위해 $D_{ij}$의 경우 1로 동일하게 적용한다. $PF_{ij}$와 $FP_{ij}$는 랜덤하게 발생시키고 노드의 수는 100개로 한정한다. 그 수식은 다음과 같다.

$$P_{ij} = w_1 PF + w_2 FP_{ij} + w_3 D_{ij}$$

이러한 확률을 기반으로 〈그림 5〉의 베이지안 네트워클 구성을 한다. 모든 프로세스는 이 세 가지의 원인에 의해 제품의 문제가 생기고 베이지안 네트워크는 내부 프로세상의 제품 추적을 할 수 있게 된다.

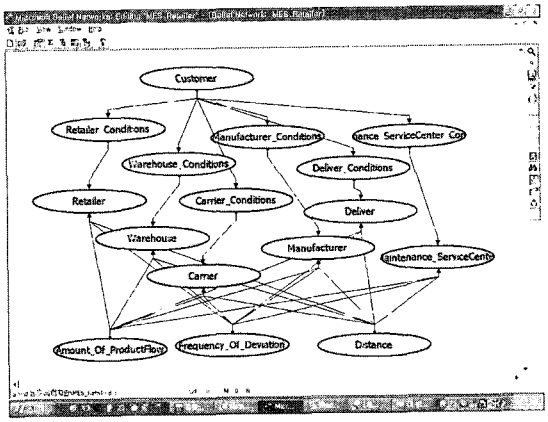


그림 5. 프로세스의 베이지안 네트워크
Fig 5. A bayesian network of the process

## IV. 실험

외부와 내부 프로세스 내에서 제품을 추적하기 위한 가정은 다음과 같다.

가정 1. 데이터베이스에서 EPC를 통해 제품을 찾는 쿼리는 동일하다.

가정 2. 데이터베이스의 인덱스는 EPC로 대체한다. EPC는 제품의 고유한 키로서 인덱스로 사용을 해도 무방하다.

가정 3. 제품의 검색은 100%이다. RFID의 인식율은 99%를 상회하고 있고, 제품이 인식되면 제품을 추적함에 있어서 정확도는 100%가 된다. 따라서 정보를 찾는 속도와 데이터의 효율성이 중요한 요소가 된다.

비교 모델은 MES 미도입 모델, MES 도입모델, MES에 베이지안 네트워크를 도입한 모델 세 가지로 분류하여 성능을 측정한다.

표 3. 시뮬레이션 환경
Table 3. A Simulation Environment

| | |
|---|---|
| Operation System | Windows XP |
| CPU | Pentium 4, 2.4Ghz |
| Memory | 256Mbyte |
| DB | My-SQL |
| Develop Program | MS Visual Stdio.NET |

베이지안 망을 통해 구성한 MES에서 제품을 랜덤하게 분실하게 한 뒤, 1000번을 제품을 찾는 정확도는 〈그림 6〉과 같다. Warehouse에서 문제가 발생하였을 때, 추적을 할 경우, 구성된 베이지안 망의 확률에 따라 제품을 Warehouse에 있다고 판단한 정확도는 92.79%이다. 이 정확도는 2000번을 테스트하고 평균값이다. 허나, Retailer나 Customer 등의 추적은 각각, 83.49%와 72.06%의 값으로 나타났다. 프로세스가 복잡하고 길어질 수 도록 정확도가 떨어짐을 알 수 있었다.

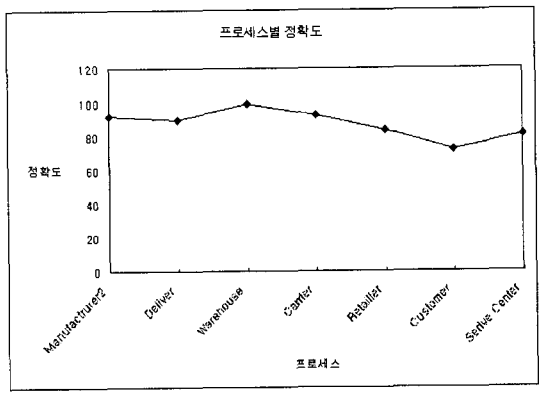


그림 6. 프로세스 별 추적 정확도
Fig 6. An accuracy of tracking by process

## V.결론

본 논문에서는 실시간 데이터 처리를 위해 RFID를 이용하고, 베이지안 네트워크를 이용하여 제품 추적에 유용한 MES 프레임워크를 제안하였다. RFID Data의 모델링을 통해 MES 시스템에서 EPC를 이용하여, 제품을 추적하였다. 모델링을 함으로서 RFID를 이용한 시스템을 도입하였을 때, 필요한 외부적인 데이터가 무엇인지를 정의하였다. 또한, 모델링한 데이터를 바탕으로 제품을 추적하는데 있어서 MES 시스템을 도입하고, 프로세스 내에 베이지안 네트워크를 이용하면 좀 더 신속하고 정확하게 제품 추적을 할 수 있었다. 또한, MES내에서 데이터를 관리하고 모니터링하여 정보를 효과적으로 사용할 수 있는 프레임워크를 구성한 점에 있어, 본 논문의 의의가 크다고 할 수 있겠다.

향후 연구과제로는 제품 추적을 함에 있어서 효율적으로 의사결정을 할 수 있는 향상된 알고리즘을 개발하여 데이터 마이닝의 효율적인 모델을 제시한다. 또한, RFID의 모델링된 정보를 가지고 MES에서 필요한 정보를 필터링하고 분석하는 알고리즘을 연구해야할 것이다.

## 참고문헌


[1] Qiu, R., Zhou,M., "Mights MESs- State-of-the-Art and Future Manufacturing Execution Systems", IEEE Robotics & Automation Magazine, March 2004.

[2] 전자상거래 분쟁조정 동향분석. 산업자원부. 2006.

[3] MESA International, http://www.mesa.org, "MES Functionalities & MRP to MES Data Flow Possibilities",White Paper No. 2, 1997.

[4] "생산설비정보화로 생산성 27% 향상", 중소기업청, 2005.

[5] RFID Journal, "Problems With RFID Data", 2005.

[6] Harrison, M., "EPC Information Service - Data Model and Queries", Auto-ID Center White Paper, 2003.

[7] Wang, F., Lie, P., "Temporal Management of RFID Data", Proceeding of the 31th VLDB Conference, Trondheim, Norway, pp. 1128-1139, 2005

[8] Neal, R., "Connectionist Learning Of Belief Networks," Artificial Intelligent, pp. 71-113, 1992.

[9] Stephenson, T., "An introduction to Bayesian network theory and usage", IDLAP-RR00-03, 2000.

[10] Christian, F., "A probabilistic approach to address uncertainty of RFID", Auto-ID Labs Reaserch Workshop, 2004.

[11] Yusuke H., "Research on supporting situation Awareness using Expressed Sound", Japan Advanced Institute of Science and Technology, 2006


## 저 자 소 개

**김 봉 석**

2004년 2월 : 중앙대학교 산업정보 학사

2006년 ~ 현재 : 고려대학교 산업 시스템정보공학과 대학원

관심분야 : RFID, Simulations

**이 홍 철**

1983년 : 고려대학교 산업공학 석사

1988년 : Texas A&M Univ. 산업공학 박사

2002년 ~ 현재 : 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수

관심분야 : 웹기반 생산 및 물류정보시스템, Simulations, SCM