韓國 컴퓨터情報學會 論文誌
第11卷 第5號, 2006. 11.

2006-11-5-2-7

RFID와 베이지안 네트워크를 이용한 제품추적 MES

김 봉 석*, 이 홍 철**, 천 현 재***

MES for the Product Tracking using RFID and Bayesian network

Kim Bong Seok*, Lee Hong Chu**, Cheon Hyeon Jae***

요 약

MES는 산업전반에서 시스템의 정보를 빠르게 공유하고 의사결정에 도움을 주며, 생산현장에서의 신속한 정보 획득과 처리를 하여, 종합적 정보 관리를 효율적으로 할 수 있다. 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

Manufacturing Execution System(MES) immediately enables users to share the information of systems industrywide, efficiently manages synthetic information with data collection through treating the data in a fast way, and helps their decision-making. 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 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).

• 제1저자 : 김봉석
• 접수일 : 2006.10.09, 심사일 : 2006.10.18, 심사완료일 : 2006.11.18
* 고려대학교 공과대학 산업시스템정보공학과 ** 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수
*** 고려대학교 BK21 유비쿼터스 정보보호사업단 박사후 과정
※ 이 논문은 2006년도 두뇌한국21 사업에 의하여 지원되었음.

Ⅰ. 서 론

21세기 들어 정보화 사회에 접어들면서, 정보는 산업 전반에도 많은 영향을 미치게 되었다. 산업, 제조부분에 있어서는 제품이 생산, 적재, 포장, 출하, 유통되는 모든 과정들이 정보화되어 관리되는 e-Manufacturing의 시대가 다가왔다. 이러한 정보통신의 발달은 글로벌화 되고 있는 제조업체에게 신속한 대응을 요구하고 있다.

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 생산성 향상과 경쟁력 강화를 위해 관리시스템을 도입하여 경쟁력을 확보해 왔다. 이러한 목적에 따라 도입한 ERP (Enterprise Resource Planing), SCM (Supply Cycle Management), CRM (Customer Relationship Management), PDM (Product Data Management) 등의 다양한 관리 시스템으로는 해결하지 못했던 다양해진 문제점들을 보다 혁신적으로 합리적인 관리 체계를 위한 시스템의 도입이 시급하게 되었고, 각 시스템의 정보를 빠르게 공유하고 의사결정에 도움을 주는 한편 생산현장에는 신속한 정보 획득과 처리를 하여, 종합적 정보 관리를 효율적으로 할 수 있는 MES (Manufacturing Execution System)을 사용하게 되었다. MES는 계획시스템과 현장에서의 실제 정보의 차이를 줄이고, 현장에 필요한 정보를 제공 및 가공, 수집하고, 현장의 변화에 신속히 대응하게 한다. 정보시스템과 현장 사이의 중심에서의 총체적 정보를 관리하게 된다.

MES의 기능 중에는 고객의 클레임, 또는 제조 프로세스 상의 제품의 유실, 문제점 발생 시 문제 파악을 위한 공정이력과 제품에 대한 추적성 관리를 중요시 하고 있다. 추적성 관리는 제품의 품질, 파손, 소비자의 구매욕구 변화, 클레임 등의 문제점 발견 즉시, 신속히 대응하여, 제조사와 소비자 사이에서의 최상의 서비스를 제공할 수 있도록, 추적성 관리를 위한 기능이 MES에서는 필요하다.

그러나, 현재 구축된 MES들의 다음과 같은 문제점이 제기되고 있다[1].

첫째, 데이터를 실시간으로 가져오는 것이 MES의 주 기능이지만, 이러한 실시간 데이터를 제대로 이용하기 위해서는 통제 시스템 및 여타 사무 관리 시스템들과의 연계가 잘 이루어지지 않고 있다. 둘째, 자동화된 생산 시스템의 적용 및 이들의 통합에는 많은 비용이 들기 때문에 MES의 실시간이라는 장점이 잘 활용되고 있지 못하다. 예를 들어, 다양한 자동화 기기가 사용되는 반도체 제조 공정에서 MES에 데이터를 집어넣는 것은 수동으로 하는 경우가 있다. 또한 MES가 실시간 데이터를 수집한다 하더라도 ERP에서 일 단위의 계획만을 세움으로서 이러한 데이터가 유용하게 사용되지 못하는 경우가 있다. 셋째, 여러 컨트롤 시스템에서 수집되는 정보량은 기하급수적으로 늘어나고 있고, 제품의 기능이 늘어남에 따라 생산 시스템은 점점 복잡한 프로세스를 요구하고 있지만, MES 의 확장성은 현재 만족할만한 수준이 아니다. 넷째, 글로벌화 된 제조환경에서의 생산성 향상을 위해서는 지리적으로 분리된 공장들의 정보를 MES 가 모두 관리할 수 있어야 한다. 다섯째, 대부분의 업체는 다양한 개발업체의 소프트웨어를 구매사용하기 때문에 표준화된 데이터 통신 방법이 필요하다. 여섯째, 실시간으로 수집되는 데이터의 양이 늘어남에 따라 적당한 레벨의 필터링이 요구된다. 실례로 미국의 델타항공에서는 100개의 수화물중 4개의 수화물이 분실되는 사고 발생하고 있고, 〈표1〉은 상거래에 있어서 많은 문제점을 확인할 수 있다.

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

분쟁유형	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	전년대비 증감률
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

물품에 하자가 있거나, 상품 정보가 오기되어 있거나, 배송지연이 되는 경우에 있어서 제품에 문제가 발생하는 것은 해마다 증가하고 있다.

이러한 문제점들 속에서 MES의 실시간 데이터의 관리와 처리를 하기 위해 전자식별태그 (Radio Frequency IDentification : RFID)를 통해 효율성을 높일 수 있다. RFID는 유비쿼터스 환경의 그 중심에서 u-SCM, ID-Commerce, D-SCM 등의 용어를 생산해 냈고, 제조뿐만이 아니라 다양한 산업의 패러다임을 바꾸고 있다. RFID시스템에 대한 관심의 증대는 기존의 바코드시스템에 비해 RAID 시스템이 갖는 잠재적인 이점에 있다. RFID시스템이 갖는 이점은 인식률이 99% 이상으로 높고 비접촉식 기술이기 때문에 한 번에 다양한 물품의 정보를 동시에 읽을 수 있으며 다른 통신망과의 연계가 쉽기 때문에 확장성이 높고 실시간으로 물품추적이 가능하다는 점을 들 수 있다.

본 논문에서는 보다 효율적인 속도로 제품 추적을 위해 베이지안 네트워크를 이용하고, 실시간 처리를 위해 RFID를 기반으로 한 MES 프레임워크를 제안한다.

II. 관련연구

2.1 MES (Manufacturing Execution System)의 정의 및 기능

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.

MES의 기능을 살펴보면, 공정진행 정보 Monitoring 및 Control, 설비제어 및 Monitoring, 품질정보 Tracking 및 Control, 실적정보 집계, 창고운영 관리, 재고품 관리, 자재투입 관리, 인력 관리, 공무관리 등 생산 현장에서 발생할 수 있는 모든 정보를 통합 관리한다고 할 수 있다. MESA에서 정의한 기능은 다음과 같다.

① 자원할당 및 상태관리(Resource Allocation and Status)
② 작업 및 상세일정 관리(Operation/Detail Scheduling)
③ 생산 단위 분배 (Dispatching Production Units)
④ 문서제어 (Document Control)
⑤ 데이터 집계 및 취득(Data Collection/Acquisition)
⑥ 근로관리 (Labor Management)
⑦ 품질관리 (Quality Management)
⑧ 공정관리 (Process Control)
⑨ 유지보수 관리 (Maintenance Management)
⑩ 생산추적 및 이력(Product Tracking and Genealogy)
⑪ 실행분석(Performance Analysis)

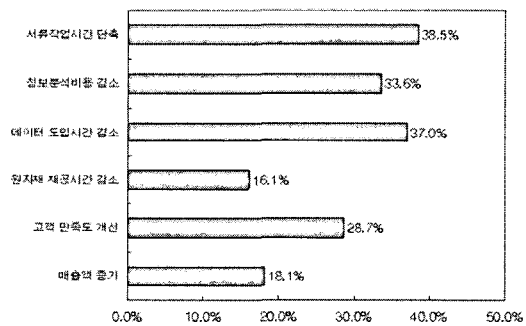

그림 1. 생산설비정보시스템 구축 후 정량적 성과[4]
Fig 1. A fixed quantity after constructing MES

2.2 MES 미래

MES는 사무환경에서의 정보시스템을 보완하고 그 능력을 확장시킨다. MES는 제조환경을 다양화하도록, 좀 더 현실적으로 주기 시간을 단축하고, 프로세스 내에서의 업무량을 감소시키며, 제조 프로세의 가치를 증진시키도록 하는 스케줄을 제공한다. 이러한 이점들은 거대 제조 환경에서의 가시적인 제품생산 증진, 고객 만족 그리고 경쟁적이고 격동적인 시장 환경에서의 경쟁적 우위로 나타날 것이다. 이러한 MES의 트렌드는 다음과 같다.[5]

① 통합 (Integration) : shop floor 제어와 사무환경 내의 정보 시스템을 연결
② 이질적인 지식의 종합화 (Heterogeneous knowledge synthesis) : 미래의 e-Manufacturing을 위한 용이한 기업 시스템의 통합하도록 설계
③ 실시간 처리능력 (Real-time performance) : 프로세스, 재료, 자원, 개업업무, 그리고 적시에 올바른

소비자에게 제품이 배달될 수 있 수 있는 것 등의 각각의 상황에 맞춰진 적절한 정보처리

④ 웹 기반의 구조 (Web-based architecture) :이질적인 어플리케이션과 새로운 기술의 이점을 수용할 수 있도록 정보처리의 상호 운영상에 있어서 개방형과 모듈화된 시스템의 구조

⑤ 확장성과 재구성 (Scalability and reconfigurability) : 비즈니스의 역동성과 성장에 맞춤

⑥ 협업 제조환경 (Collaborative manufacturing) : 공급자의 공급과 소비자의 소비가 협력적으로 흘러가기 위한 미래의 제조환경에 요구에 따라 유연하고, 효율적이고 신속히 반응할 수 있는 비즈니스 가치 사슬을 갖는 미래형 제조 모델

2.3 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.

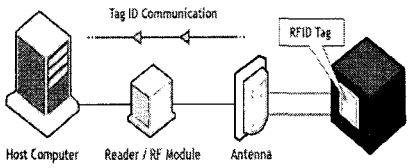

그림 2. RFID 동작 원리
(www.epcglobal.org.hk)
Fig 2. The RFID working principles

2.4 RFID Data Modeling

제조에서는 소·도매로 부터의 RFID 데이터 분석하고 필터링하여 제3자 물류에 도움이 되도록 하고 있다[6]. P&G는 EPC data의 전반적인 히스토리를 기록하여 관리하고 분석하는 소프트웨어를 개발하여 사용하고 있다. 산업 전반에서도 RFID data를 사용하기 위해 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[7]. 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[8]. 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 하기에 적합한 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〉의 RFID 데이터 모델링은 "EPC Tag Data Standards Version 1.1 Rev.1.24"에 의거하여

96bit 포맷으로 가정하고 디자인을 한다. 또한, 그림의 회색박스는 기존의 연구 모델에서 MES에 적용하기 위해 추가된 속성들이다.

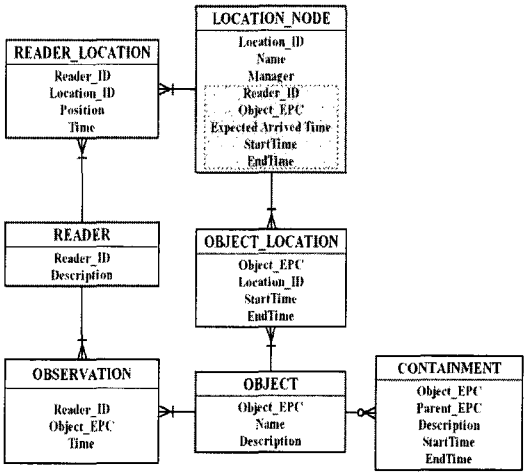

그림 3. 제품 추적을 위한 E-R 다이어그램
Fig 3. An E-R Diagram for a product tracing

E-R 다이어그램을 구성하는 엔티티들의 내용은 다음과 같다.

① OBJECT_EPC
제품의 EPC와 상태를 나타내는 엔티티
- Object_EPC : 물체들의 EPC
- Name : 제품의 종 분류
- Description : 세부사항

② OBSERVATION
리더기가 읽은 제품의 정보를 파악하는 엔티티
- Reader_ID : 제품의 태그를 읽는 리더기의 ID
- Object_EPC : 읽은 제품의 EPC
- Time : 제품을 읽은 시간

③ READER
RFID 태그를 읽는 리더기 엔티티
- Reader_ID : 리더기의 ID
- Description : 세부사항

④ READER_LOCATION
프로세스 내에서 RFID 리더기의 위치를 표시하는 엔티티로 프로세스의 진입과 진출 시 리더기의 태그리드 시간을 체크
- Reader_ID : 리더기의 ID
- Location_ID : 현재 프로세스 내에서 위치 ID
- Position : 위치 정보
- Time : 현재 위치에서 리더기가 태그를 읽은 시간

⑤ LOCATION_NODE
제품의 위치를 파악하는 정보 엔티티
- Location_ID : 제조부터 소비자까지 프로세스별 추적 위치
- Name : 검색 위치 노드의 이름
- Reader_ID : 검색할 프로세스에서 보유한 리더기들의 ID
- Object_EPC : 검색할 위치에서 검색된 Object들의 EPC
- Manager : 각 프로세스의 책임자
- Expected Arrival Time : Object의 도착 예정 시간
- StartTime : 제품이 프로세스 내부로 진입 시 리더기가 제품의 태그를 읽은 시간
- EndTime : 제품이 프로세스 외부로 진출 시 리더기가 제품의 태그를 읽은 시간

⑥ OBJECT_LOCATION
프로세스 내에서 제품 위치 정보를 확인하는 엔티티
- Object_EPC : 프로세스 내에 있는 제품들을 관리하는 테이블
- Location_ID : 제품을 관리하는 위치의 고유 ID
- StartTime : 제품이 위치 프로세스 내부로 진입 시 리더기가 읽은 시간
- EndTime : 제품이 위치 프로세스에서 진출한 시간

⑦ CONTAINMENT
Object들을 담는 유닛(팔레트, 컨테이너)을 지칭한다.
- Object EPC : 제품 자체의 EPC 정보
- Parent_EPC : 제품을 담을 RFID 태그가 붙여진 단품, 케이스, 팔레트, 컨테이너 등의 EPC
- Description : 세부 내용
- StartTime : 제품이 프로세스 내부로 진입 시 리더기가 태그를 읽은 시간
- EndTime : 제품이 프로세스 외부로 진출 시 리더기가 태그를 읽은 시간

2.5 제품 추적 사례연구

산업전반의 물류나 유통 내에서의 제품 추적에 대한

기존 연구는 그 수는 많지 않다. 제품 추적에 관한 기존 연구는 거대한 SCM 시스템에서 제조 부분에 국한하여, 공정 프로세스 내의 리더기로 읽은 두 지점 간 제품의 양과 유실 빈도와 거리의 세 변수에 가중치를 부여하여 제품을 찾는 연구가 있다[9].

화장품 추적에 있어서 과거 바코드를 대체하기 위해 RFID를 이용하여 시스템을 구축하였지만 제품에 대한 추적 알고리즘에 대한 언급은 없었다[10].

일본의 유비쿼터스 네트워킹 연구소는 식품 이력 관리의 실증 실험을 하여 농작물의 안정성 확보를 위해 생산 이력과 유통이력을 확인하도록 하였다.

문제가 발생된 제품을 추적하기에 있어서 RFID를 이용한 것은 농산물, 화장품 등 현재 연구가 되고 있지만 추적에 관련된 기존 연구는 아직 그 수가 많지 않음을 밝힌다.

2.6 베이지안 네트워크

실세계는 매우 불확실한 요인이 산재되어있지만, 이러한 환경 속에서 여러 행동을 결정해야만 한다. 베이지안 확률 추론은 시스템이 불충분한 지식을 가지고 표시하고 추론하는 대표적인 방법이다. 베이지안 추론은 베이지안 네트워크 환경에서 주어진 정보들을 이용하여 어떤 현상이 사실인지를 추론하는데 사용한다[11],[12]. 특히 수학과 공학의 응용에서 발생하는 불확실성과 복잡성에 문제들을 쉽게 처리할 수 있도록 한다. 베이지안 네트워크의 추론은 확률 분포를 이용한다. 예측작업에서는 베이지안 네트워크를 가지고 원인과 결과를 표현하여 문제를 모델링한다. 환경에서 어떤 정보들이 관측되었을 때, 경험적으로(결과에서 원인을 추론하는) 관측을 설명할 수 있는 원인을 추론하게 된다. 원인이 확인되면 인과방향으로 아직 환경에서 관측되지 않은 다른 변수들의 값을 예측하기 위해 추론을 진행하는 방법이다.

베이지안의 장점은 모든 변수들 간의 의존관계(dependency)를 표현하기에 결측치(missing value)가 많이 포함된 데이터를 자연스럽게 처리할 수 있고, 노드들 간의 인과관계를 알 수 있으므로, 특정 조건하에서의 결과를 예측할 수 있다. 또한 인과관계의 분석에서 모델 자체가 원인(causality)과 확률적 의미(probability semantics)를 표현하고 있기 때문에 사전 지식(prior knowledge)과 학습 데이터를 결합하는데 적합하다.

최근, 베이지안 네트워크를 이용하여 제한된 공간 내에 Reader가 Tag의 위치를 파악하는데 많은 연구가 이루어지고 있다[13],[14]. 이러한 베이지안 네트워크를 이용할 경우 성분들 간의 인과관계를 이용하여 제품의 문제가 발생된 지점의 근거를 제시해 줄 수 있다. 베이지안 네트워크를 이용하면 MES의 시스템에서 제품의 문제가 발생된 지점을 판단했을 때 타당한 근거를 제시하므로 원인 분석이 가능하게 된다. 따라서 제품의 문제가 발생한 지점을 찾고 신속하게 정보를 얻어내는 데에 있어서 효과적으로 판단할 수 있다.

III. 베이지안 네트워크를 이용한 제품 추적을 위한 MES 프레임워크

3.1 RFID MES 프레임워크

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

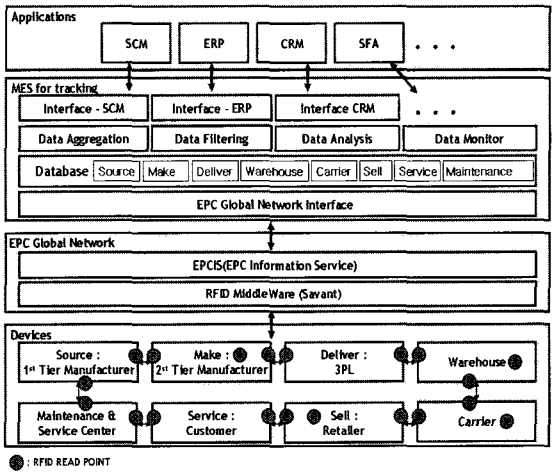

그림 4. 제안하는 제품 추적을 위한 MES 프레임워크
Fig 4. MES framework proposal for a product tracking

Devices라는 MES의 하단에는 SCM과 물류, 유통 등의 일련의 프로세스들이 이루어진다. MES는 이러한 프로세스 등의 정보들을 관리하는 시스템들(예를 들어,

SCM, PDM)의 정보를 효율적으로 사용하기 위한 시스템이다.

각 프로세스내의 제품정보를 RFID 리더기를 통해 각 프로세스 내에 있는 제품들의 RFID Raw Data 중 EPC정보는 RFID 미들웨어와 EPCglobal Network의 서비스를 통하여 EPC 코드를 통해 세부정보를 제공할 수 있도록 한다.

EPCglobal Network는 MES 관리자뿐만이 아니라 소비자, 제조사, 유통사 등 각 프로세스에서 EPC를 가지고 제품 정보를 조회할 수 있다. MES는 이러한 EPC와 RFID Raw Data들을 MES 데이터베이스에 정보를 분산처리 하여 관리한다. RFID를 이용한 서비스를 연동하기 위해 MES에는 ONS(Object Name Service)와 EPC-DS(EPC Discovery Service)의 기능이 추가되어야 한다[15]. ONS API는 EPCGlonal에서 2005년에 버전 1.0을 발표하였다. MES의 EPCGlobal Network Interface은 Auto-ID에서 제안하는 ONS와 EPC-DS의 프레임워크를 이용하고, 그 프레임워크의 모습은 <그림 5>와 같다.

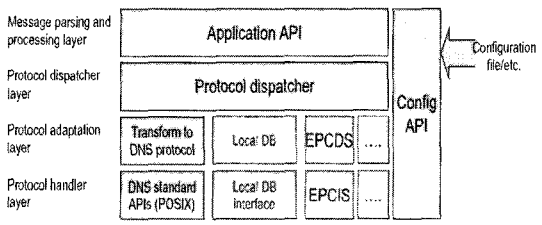

그림 5. ONS resolver 레이어 모델[16]
Fig 5. ONS resolver layer model

MES의 트렌드에서 요구하는 웹서비스 데이터 통합 및 타 시스템과의 연동을 위해 데이터 분석, 필터링, 모니터링을 할 수 있는 모듈과 SCM, ERP 등의 여러 상위 Application에서 활용하도록 MES 인터페이스를 제공한다.

3.2 베이지안 네트워크

본 논문에서는 제조되어 소비자가 제품을 구매까지 거치는 제조, 물류, 유통 등의 프로세스에서 제품을 추적하는 외부 성능 평가와 각 프로세스의 내부에 다양한 특징에 맞춰 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].

각 프로세스의 LOCATION_NODE의 엔티티에는 Location_ID정보를 통해 제품 추적 시에 어떤 프로세스에 제품이 있는지, 또는 문제가 발생했는지에 대해 알 수 있다. Object_EPC에서는 추적하고자 하는 EPC가 존재하여 Location_ID와 Object_EPC를 통해 현재 프로세스와 현 제품의 상태를 알 수 있게 된다. Name은 프로세스 내에 좀 더 세부적인 위치를 표시한다. 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 문제가 발생을 하였을 때, 위치 정보와 추적된 프로세스 상의 책임유무를 파악하여 문제를 신속하게 할 수 있도록 구성이 되어있다. 외부 프로세스를 베이지안 네트워크로 구성함에 있어서 Location_Node들이 각 외부 프로세스를 표현하게 된다. 예를 들면, 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 진단 제품의 이상 상태와 같은 불확실성을 포함하는 문제영역은 빈번하게 발행할 수 있다. 이러한 문제점의 대상에 대한 베이지안 네트워크를 구성은 <그림 6>와 같다.

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 7〉의 베이지안 네트워클 구성을 한다. 모든 프로세스는 이 세 가지의 원인에 의해 제품의 문제가 생기고 베이지안 네트워크는 내부 프로세스상의 제품 추적을 할 수 있게 된다.

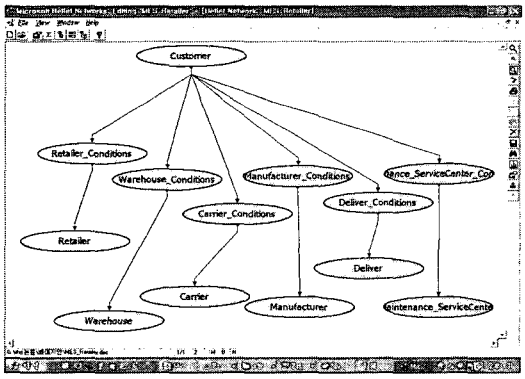

그림 6. 외부 프로세스의 베이지안 네트워크
Fig 6. A bayesian network of the outer process

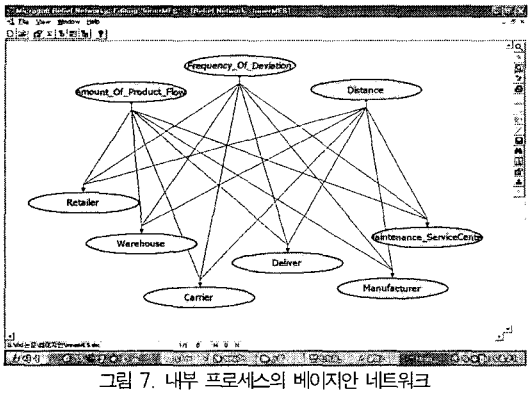

그림 7. 내부 프로세스의 베이지안 네트워크
Fig 7. A bayesian network of the inner process

IV. 실험

외부와 내부 프로세스 내에서 제품을 추적하기 위한 가정은 다음과 같다.

가정 1. 데이터베이스에서 EPC를 통해 제품을 찾는 쿼리는 동일하다. 본 논문은 데이터베이스의 성능을 측정하는 것이 아닌, 데이터베이스까지의 접근속도를 측정하기에 데이터베이스의 쿼리는 동일한 조건에서 측정을 하게한다.

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. 첫 번째, MES을 도입하지 않은 일반적인 시스템을 갖는 모델이다. 추적시스템에 대한 기본적인 시스템이 구축되지 않은 데이터베이스의 경우 다른 시스템과 연계되어 통합 관리되고 있다. 제품 추적에 대한 알고리즘은 도입되지 않고 데이터베이스에 접근하여 인덱스 검색을 한다. 두 번째, MES를 구축한 모델이다. 각 시스템의 정보를 분산처리를 하여 정보의 효율성을 높이는 모델로서 미 도입 모델과 MES를 도입한 모델을 비교함으로서 MES 시스템의 성능을 함께 측정한다. 세 번째, 본 논문에서 제안하는 MES에 베이지안 네트워크 알고리즘을 적용한 모델이다.

이러한 세 가지 모델을 통해 추적을 효율적으로 하여 데이터베이스에 신속하게 접근하여 결과를 찾아내어 대응을 함을 목적으로 한다. 〈표 3〉은 실험환경을 나타내고 있다.

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 Studio.NET (C#)

4.1 외부 프로세스 성능실험

실험의 절차는 다음과 같다.

1. RFID Data 모델링에서 제시한 데이터베이스 테이블을 작성한다.
2. EPC를 생성한다.
3. 추적 제품을 랜덤하게 프로세스 내에 생성한다.
4. 세 가지의 모델을 차례대로 결과를 확인한다.
5. 1000번 반복한다.
6. 3에서의 추적 제품을 찾기까지의 시간을 표시한다.
7. 2번부터 다시 반복한다.

7번은 EPC를 1000, 5000, 10000, 20000, 40000, 80000, 160000개의 제품을 생성한다. 각 사이클 마다 제품 추적을 1000번 실험하여, 나온 결과는 〈그림 8〉과 같다.

제품의 수가 증가되면, MES가 미설치 모델(점선) 에서는 추적 시간이 기하급수적으로 길어짐을 보이고 있다. 허나 MES 모델(실선)은 추적 시간이 짧아짐을 보이고 있다. 마지막 제안한 MES 모델(이중점선)은 두 번째 MES 시스템을 도입한 모델과 그 큰 차이를 보이지 않지만 제품수가 증가하는 규모가 큰 환경에서는 효율적인 성능을 보인다.

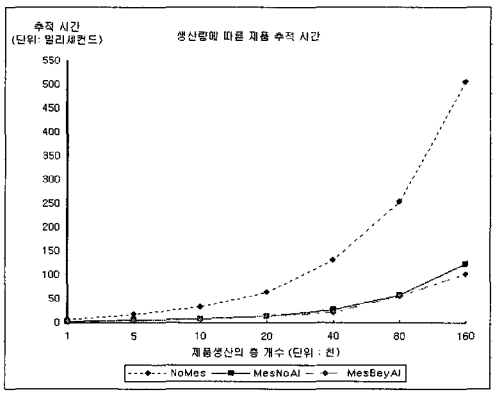

그림 8. 외부 프로세스에서의 성능 평가
Fig 8. A performance test under outer process

4.2 내부 프로세스 성능실험

실험의 절차는 다음과 같다.

1. RFID Data 모델링에서 제시한 데이터베이스 테이블을 작성한다.
2. EPC를 생성한다.
3. 문제가 되는 제품이나 검색 제품을 생성하기 위한 프로세스를 랜덤하게 선택한다.
4. 선택된 프로세스 내에 세 가지의 요인에 대해 랜덤하게 가중치를 부여하고 추적 제품을 생성한다.
5. 세 가지의 모델을 차례대로 결과를 확인한다.
6. 1000번 반복한다.
7. 3에서의 추적 제품을 찾기까지의 시간을 표시한다.
8. 2번부터 다시 반복한다.

외부 평가와 마찬가지로 EPC는 동일한 개수로 생성한다. 각 사이클 마다 제품 추적을 1000번 실험하여 나온 결과는 〈그림 9〉과 같다.

제품의 수가 증가되면, MES가 미설치 모델(점선) 에서는 추적 시간이 기하급수적으로 길어짐을 보이고 있다. 허나 MES 모델(실선)은 추적 시간이 짧아짐을 보이고 있다. 마지막 제안한 MES 모델(이중점선)은 두 번째 MES를 도입한 모델과 그 큰 차이를 보이지 않지만 제품수가 증가하는 규모가 큰 환경에서는 효율적인 성능을 보인다.

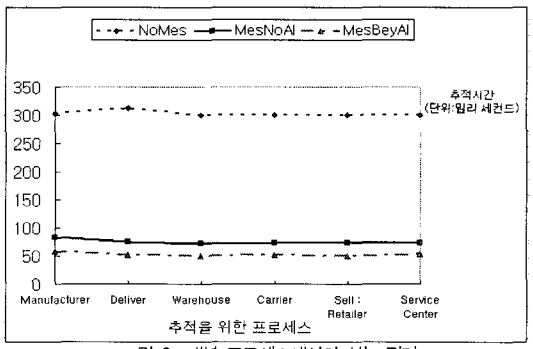

그림 9. 내부 프로세스에서의 성능 평가
Fig 9. A performance test under inner process

베이지안 망을 통해 구성한 MES에서 제품을 랜덤하게 분실하게 한 뒤, 1000번을 제품을 찾는 정확도는 〈그림 10〉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.

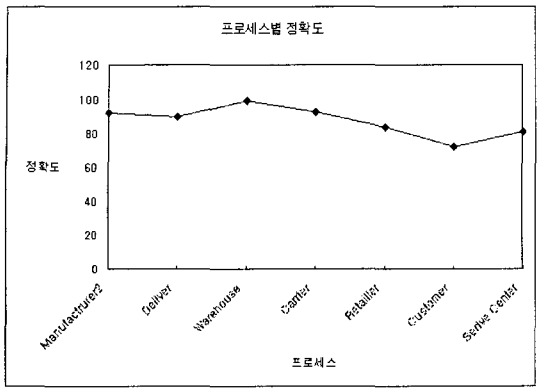

그림 10. 프로세스 별 추적 정확도
Fig 10. An accuracy of tracking by process

4.3 DATA 모니터링

제품의 EPC로 검색을 하여 모니터링을 할 수 있는 어플리케이션 MES의 모듈의 모습은 〈그림 11〉와 같다. 제품의 EPC를 통해 현재 위치를 파악하여 신속하게 대응할 수 있다. 또한, 제품들의 세부정보와 리더기의 위치, 상태, 프로세스 위치별로 현재의 상태를 모니터링 할 수 있으므로, 신속하게 대응할 수 있는 장점을 지닌다.

필요한 정보를 MES에서 사용하고 ERP, SCM 등의 상위의 어플리케이션에서 정보를 제공할 수 있도록 한다.

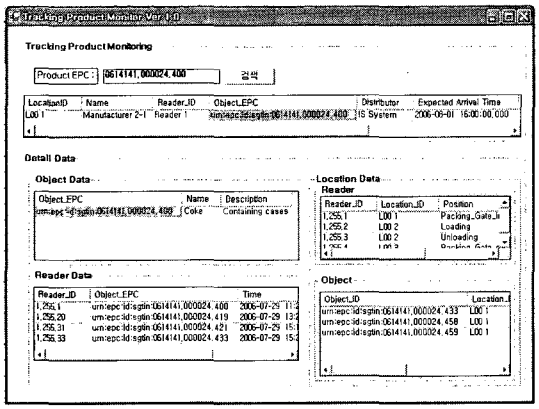

그림 11. 제품추적을 위한 모니터링 화면
Fig 11. A monitoring scene for product tracing

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 모니터링 하여 정보를 효과적으로 사용할 수 있는 프레임워크를 구성한 점에 있어, 본 논문의 의의가 크다고 할 수 있겠다.

유비쿼터스 사회가 되고, 글로벌화가 되면서 RFID는 물류, 유통 등의 상거래에 있어서 많은 영향을 미치고 있다. 기업은 MES를 통해 효과적인 정보를 관리하고, 프로세스 내에 문제가 발생할 때 신속하게 대응할 수 있는 것은 경제력뿐만이 아니라 기업 이미지에도 좋은 영향을 줄 수 있다.

향후 연구과제로는 제품 추적을 함에 있어서 효율적으로 의사결정을 할 수 있는 향상된 알고리즘을 개발하여 데이터 마이닝의 효율적인 모델을 제시한다. 또한, RFID의 모델링 된 정보를 가지고 MES에 서 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] Auto-ID Center, "Business Case Research Track", 2003.

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

[7] Harrison, M., "EPC Information Service - Data Model and Queries", Auto-ID Center White Paper, 2003.
[8] Wang, F., Lie, P., "Temporal Management of RFID Data", Proceeding of the 31th VLDB Conference, Trondheim, Norway, pp. 1128-1139, 2005
[9] Cho, Y,. H.. "Design of Product Tracking System in RFID-enabled Supply Chain", Graduate School, Yonsei University, 2006.
[10] Choi, J., M.,. "A Study on the Application Technology and Introduction Effect of the Product Tracing System in the Cosmetics Industry", Graduate School, DanKook University, 2005.
[11] Neal, R., "Connectionist Learning Of Belief Networks," Artificial Intelligent, pp. 71-113, 1992.
[12] Stephenson, T., "An introduction to Bayesian network theory and usage", IDLAP-RR00-03, 2000.
[13] Christian, F., "A probabilistic approach to address uncertainty of RFID", Auto-ID Labs Reaserch Workshop, 2004.
[14] Yusuke H., "Research on supporting situation Awareness using Expressed Sound", Japan Advanced Institute of Science and Technology, 2006
[15] 한만철, "RFID와 Web services 기술을 이용한 Ubiquitous MES 프레임워크", 서울대학교 학위 논문, 2006.
[16] Auto-ID Center, "EPC Network Architecture", 2005.

저 자 소 개

김 봉 석

2004년 2월 : 중앙대학교 산업정보학사
2006년 ~ 현재 : 고려대학교 산업시스템정보공학과 대학원
관심분야 : 시뮬레이션, RFID

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

천 현 재

1997년 : 시립인천대학교 산업공학학사
1999년 : 고려대학교 산업공학 석사
2006년 : 고려대학교 산업공학 박사
현재 : 고려대학교 BK21 유비쿼터스 정보보호사업단 박사후 과정
관심분야 : SCM, CRM