

Design of State Based Product Flow Control Framework in RFID-enabled Logistics Network

우상훈·최자영·김창욱

{hackers_wsh, twotype, kimco}@yonsei.ac.kr

연세대학교 정보산업공학과 서울 서대문 신촌동 134, 120-749

Abstract

RFID 기술을 이용함으로써 얻을 수 있는 많은 장점으로 인하여, 공급망에서 발생하는 실시간 제품 정보를 수집하고 관리하기 위하여 RFID 기술이 도입되고 있다. 기존의 RFID 기반의 공급망 관리 시스템은 제품의 위치에 따른 가시성은 확보할 수 있지만, 제품의 모든 상태에 따른 가시성은 확보하지 못한다는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 공급망 상의 제품 이동을 계획하고, 제품이 계획에 따라 이동할 때 발생하는 정보를 실시간으로 모니터링하고 통제할 수 있는 제품 상태 기반의 물류 통제 시스템을 설계하고 개발하였다. 이를 위해 본 연구에서는 첫째, 공급망에서 발생하는 제품 상태의 정의와 상태 변화의 흐름을 state chart로 표현하고, 둘째, 공급망에서의 폐쇄형관리 패러다임을 통한 제품 통제(감시 및 예외처리)를 정의하였으며, 셋째, Temporal data modeling을 통해 RFID 데이터 기반의 Database를 설계하고, 마지막으로, Publish/Subscribe 모델을 통해 효율적인 제품 상태 기반의 물류 통제 시스템 아키텍처를 설계하였다.

keyword : RFID, product state, product flow control, supply chain, temporal database modeling, Publish/Subscribe model

서론

오늘날 글로벌 경쟁의 심화로 기업 외부로 가치사슬을 확장시켜 경쟁 우위를 확보하기 위해 SCM(Supply Chain Management)의 중요성이 확대되고 있다. SCM은 공급업체와 자사, 최종 고객에 이르기까지 자재, 물류, 자금 및 정보의 흐름을 효율적으로 관리하는 것으로 최근의 기업 경영 환경도 고객이 원하는 제품의 효율적이고 신속한 전달을 위해 SCM을 활용토록 요구하고 있다[1].

1998년부터 다수의 기업들이 많은 자금을 투입하여 Supply Chain software를 개발하였지만, 아직도 공급망에는 불륨, 사람의 실수, 제품의 가시

성, 그리고 실시간 정보의 결여와 같은 문제들이 계속해서 존재한다. 따라서, 이러한 문제들을 해결하기 위하여 공급망 상에서 발생하는 정보의 관리가 중요한 문제로 떠오르고 있다[2,3]. 공급망에서 발생하는 정보는 제품이 제조되는 시점에서부터 고객이 구매할 때까지 발생하는 모든 정보를 포함한다. [Figure 1.1]에서 나타난 바와 같이 제품의 원산지, 중간 이동과정, 현재상태, 구매이력 등의 정보가 이에 해당된다.

기존에 공급망에서 발생하는 제품 정보를 수집하기 위해 사용되어 왔던 바코드(barcode)의 문제점을 해결하기 위한 방법의 하나로 RFID(Radio Frequency IDentification)가 도입되고 있다. RFID는 처리할 수 있는 정보의 양이 크고 입력된 정보를 지속적으로 추가, 삭제가 가능함으로써 영구적으로 사용할 수 있다. 또한, 처리 정보량이 증가하더라도 태그의 인식이 동시에 가능하다. RFID 기술 기반의 공급망 상에서는 자동 데이터 수집을 통해 생산, 물류, 유통, 판매로 이루어지는 공급망 전반에서의 제품 및 자재에 대한 가시성을 크게 증대시켜 전체 공급망을 통합시켜 준다. 이를 통해, 재고 관리와 제품 감시 및 추적을 더욱 효율적으로 할 수 있게 되며, 제품의 위조와 도난을 줄이고, 제반 인건비를 더욱 낮출 수 있다[4], [5], [6], [7], [8]. 또한 RFID 기술 기반의 공급망상에서는 태그를 통해 제품의 온도와 같은 상세 정보를 얻을 수 있다. 이러한 RFID 기술 기반의 공급망의 장점은 공급망 전체의 효율성을 증대시킨다. 하지만 현실 상황에서 적용하여 공급망 전체의 효율성을 증대하기 위해서는 제품의 가시성 확보의 측면에서 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다.

첫째로 공급망상에서의 제품 속성값 변화 관리이다. 공급망상의 각 지점들은 각기 다른 환경을 지니고 있는 경우가 많다. 이러한 환경의 변화에 따른 제품의 변질이나 손상으로 인한 반품을 줄이기 위해서는 제품의 운송과 보관 시에 속성값(온도, 습도 등)에 대한 관리가 필요하다.

둘째로 제품의 포함 관계에 관한 감시 및 추적이다. 공급망상에서 RFID 도입 비용을 최소화하기 위하여 Item / Case / Pallet / Container 등으로 태

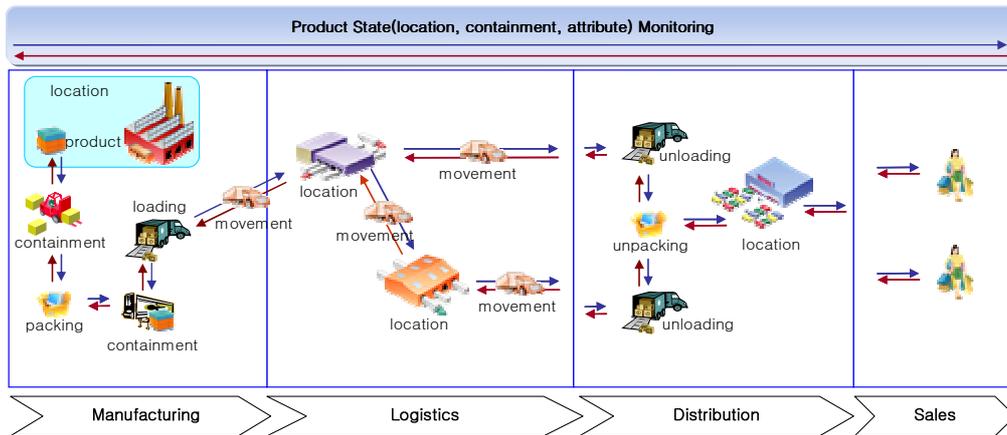


Figure 1.1 공급망 상에서 발생하는 정보

그 부착 대상을 구분하고 있다[9]. 하지만, RFID를 사용하더라도 이러한 공급망 환경에서는 제품이 잘못된 Pallet이나 Container로 이동되는 일이 빈번하게 발생할 수 있기 때문에 실시간으로 변하는 제품의 포함 관계의 감시를 통해 가시성을 확보해야 한다.

현재 RFID 기술 기반 공급망의 가시성을 확보하기 위해 EPCglobal Network[10]이 등장하였다. EPCglobal Network은 EPC(Electronic Product Code)[11], RFID Middleware[12], ONS(Object Naming Service)[13], EPCIS(EPC Information Service)[14] 등으로 구성되어 있으며 RFID 기반 물류 정보시스템 구조의 표준화를 시도하고 있다. 이러한 EPCglobal Network의 등장은 공급망 전 영역에서 제품 정보를 실시간으로 정확하게 자동 수집 및 배포할 수 있게 함으로써, 기존의 공급망 환경을 변화시키고 있다[15]. EPCglobal Network은 EPC 태그, 리더기, RFID 미들웨어, EPC-IS와 ONS로 구성된 분산 구조이다. 리더기는 EPC 태그가 부착된 제품이 통과할 때마다 RFID 미들웨어에 위치 데이터(태그 ID, 리더기 ID, 시간)를 전달한다. EPC-IS는 RFID 미들웨어로부터 수집된 정보를 데이터베이스에 저장한다. 사용자는 제품 및 이동경로 이력에 대한 정보가 필요할 때마다 Root ONS에게 질의를 보내 공급자의 Local ONS의 위치를 알아 내야 한다. 게다가 공급자의 Local ONS에게 질의를 보내 공급자의 EPC-IS의 위치를 알아내고, 최종적으로 공급자의 EPC-IS로 이동경로 이력에 대한 질의를 보내야 정보를 얻을 수 있다. 즉, 실시간 제품 정보 관리를 위해서는 효율적인 구조라 할 수 없다. 본 연구에서는 실시간 제품 정보 관리와 가시성 확보를 보다 효율적으로 수행할 수 있도록 Publish/Subscribe 모델을 사용하였다. Publish /Subscribe 모델은 분산된 정보를 원하는 시스템에게만 전달하여 부하를 줄일 수 있다.

기존의 RFID 기반 SCM 관련 연구들은 계획 수립과 실행이라는 모니터링이 추가 되던 제품 관리를 수행하였다. 하지만, 공급망의 성능을 저하시키는 문제점(상태 변화)들은 실시간으로 발생할 수 있으며, 이러한 문제점을 실시간으로 발견하고, 이를 분석한 후 계획 수립에 반영하는 피드백이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 공급망 관리에 있어 폐쇄형(Closed Loop) 구조를 도입하였다.

본 연구에서는 폐쇄형 구조를 갖는 제품 상태 기반의 물류 흐름 제어 시스템을 설계하고 개발하기 위해, 2장에서는 제품 상태와 예외 상황에 대해 정의하였으며, 3장에서는 시스템의 전체적인 아키텍처를 설계하고, 4장에서는 실제 데이터가 저장될 데이터베이스를 설계하였다.

제품 상태기반의 감시 및 추적 시스템

제품 상태 및 예외 상황 정의

본 연구에서는 제품 상태 기반의 실시간 가시성 확보를 위해 공급망 상에서 제품 이동 및 보관 시 발생하는 제품의 정보를 상태(state)라고 정의하고 다음과 같이 분류하였다.

- 위치(location) : 제품이 제조공장에서 생산된 후 소매점에서 구매자에게 판매되는 시점까지의 제품의 위치 변화를 나타낸다.
- 포함(containment) : 공급망 상에서 이동하는 제품들은 제품의 보호나 운송의 편의를 위해 박스나 팔레트 혹은 컨테이너 등에 포함된다. 공급망 상에서 보다 확실한 제품의 가시성 확보를 위해서 이와 같은 포함 관계의 변화도 지속적으로 감시되어야 한다.
- 속성(attribute) : 공급망에서는 제품들이 빠르고 정확하게 계획된 장소로 이동하는 것도 중요하지

만, 제품의 보존 또한 중요한 문제이다. 제품의 온도, 습도와 같은 속성은 주변 환경이 변함에 따라 제품 보존에 문제가 생길 가능성이 있다. 따라서, 제품의 보존을 위해 공급망에서 제품이 가질 수 있는 속성 값을 계획하고 지속적으로 감시하는 작업은 제품의 운송이나 보관 중에 발생할 수 있는 변질이나 손상으로 인한 반품을 일 수 있다.

공급망 전체에 걸쳐 제품의 흐름을 제어(control)할 수 있는 각 기능을 다음과 같이 정의한다.

- 제품 감시 : 제품 감시는, RFID가 부착된 제품이 제조공장에서 생산되어 소매점에서 소비자에게 판매될 때까지, RFID 기술을 이용하여, 계획된 이동경로에 따라 정확하게 이동하는지의 여부와 제품의 상태를 지속적으로 확인하는 것을 말한다.
- 예외 사항 처리 : 예외처리는 공급망 상에서 이동하는 제품의 감시를 통해서 제품이 계획된 경로로 이동하지 않았을 때, 제품의 현 위치 발견을 통해 계획된 경로로 이동하도록 제어하는 것을 말한다. 또한, 제품의 운송이나 보관 중에 제품의 상태에 이상이 발생했을 때, 사전에 정의된 예외 사항 처리 절차(Protocol)에 의해 빠르게 대응할 수 있다.

이러한 작업의 수행은 공급망 상에서 제품 이동 중 발생할 수 있는 문제점을 조기에 파악할 수 있으며, 제품의 지속적인 감시에 따른 실시간 가시성을 확보하여, 이상 상황 발생시에 빠르게 대응할 수 있다.

기존의 SCM 관련 연구들은 문제 유형(예: 재고 문제, 배송 문제 등)이 주어졌다고 가정하고 최적계획을 수립하였다. 이러한 연구는 기본적으로 계획 수립과 실행이라는 개방형(Open Loop) 구조에 기반을 두고 있다[Figure 2.1a].

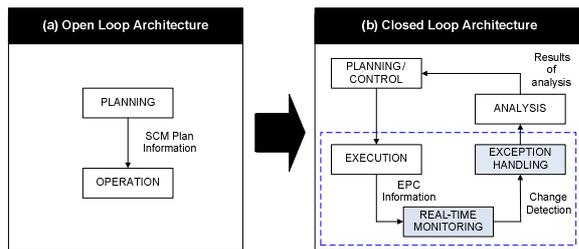


Figure 2. 물류프로세스 관리구조의 변화

이 구조에서는 현 시점의 공급망에서 발생하는 문제를 실시간으로 발견하고 이를 분석한 후 계획 수립에 반영하는 피드백(Feedback) 방식이 없다. 따라서 재 계획 문제 유형 및 재 계획 시점

을 적시에 발견할 수 없는 단점이 있다. 반면에 본 연구에서 제안하는 시스템을 이용하면 [Figure 1.2b]와 같이 공급망 관리 구조가 폐쇄형(Closed Loop) 구조로 변할 수 있다. 이 구조 하에서 SCM은 계획 ⇒ 실행 ⇒ 모니터링 ⇒ 문제점 발견과 분석 ⇒ 피드백의 프로세스의 단계로 제품의 상태 변화를 실시간 모니터링하여 상태 변화들이 탐지한다. 또한, 상태 변화 탐지와 동시에 문제의 원인과 성능에 미치는 영향을 분석하기 때문에 재 계획 문제 유형 및 재 계획 시점을 적시에 발견할 수 있다. 제품의 상태에 따른 계획은 제품의 이동 계획과 제품의 상태 제약이 있다. 그 동안의 연구들은 제품의 이동 계획 위주의 연구가 진행되었지만, 본 연구에서는 제품의 상태 제약을 고려하였다. 제품들은 공급망 상에서 이동할 때 위와 같은 계획하에서 이동하여야 하며, 제품들이 이동할 때 발생하는 이벤트를 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 계획된 이동(Normal State). 공급망 상의 제품들이 계획된 상태(이동 계획, 속성제약)를 위반하지 않고 이동 장소로 이동한 상태를 말한다.
- 이동 계획 위반(Movement Plan Violation) : 공급망 상에서 이동하는 제품들이 계획된 위치(보관 창고, 최종 판매자 등)로 이동하지 않고, 계획되지 않은 잘못된 장소로 이동하는 것을 말한다. 이전에 정의한 location 값의 변화에 따라 모니터링 할 수 있다.
- 속성 제약 위반(Attribute Constraint Violation) : 제품의 이동 및 보관 시에 감시되는 제품의 속성 값들이 계획된 상태를 벗어나는 것을 말한다. 위에서 정의한 attribute value 값의 변화에 따라 모니터링 할 수 있다.

[Figure 2.2]은 폐쇄형 구조를 갖춘 공급망에서 발생하는 제품의 상태 정보의 흐름을 나타낸 state chart이다. 이전에 정의한 바와 같이 제품의 상태 변화를 location, containment, attribute value로 나타내었으며, 각각의 Step에 따른 자세한 설명은 다음과 같다.

Step 1 제품이 어떠한 포함 관계에도 있지 않은 상태를 말한다.

Step 2 제품이 Sensor가 있는 장소로 이동한 상태로 제품이 Sensor에 의해 Sensing되었을 때, 제품의 새로운 포함 관계가 발견되면, Step 3로 이동하고, 제품이 위치한 장소가 발견되면 Step 4로 이동한다. 특정한 속성 값이 발견되면 Step 5로 이동한다.

Step 3 제품의 새로운 포함 관계를 설정한다.

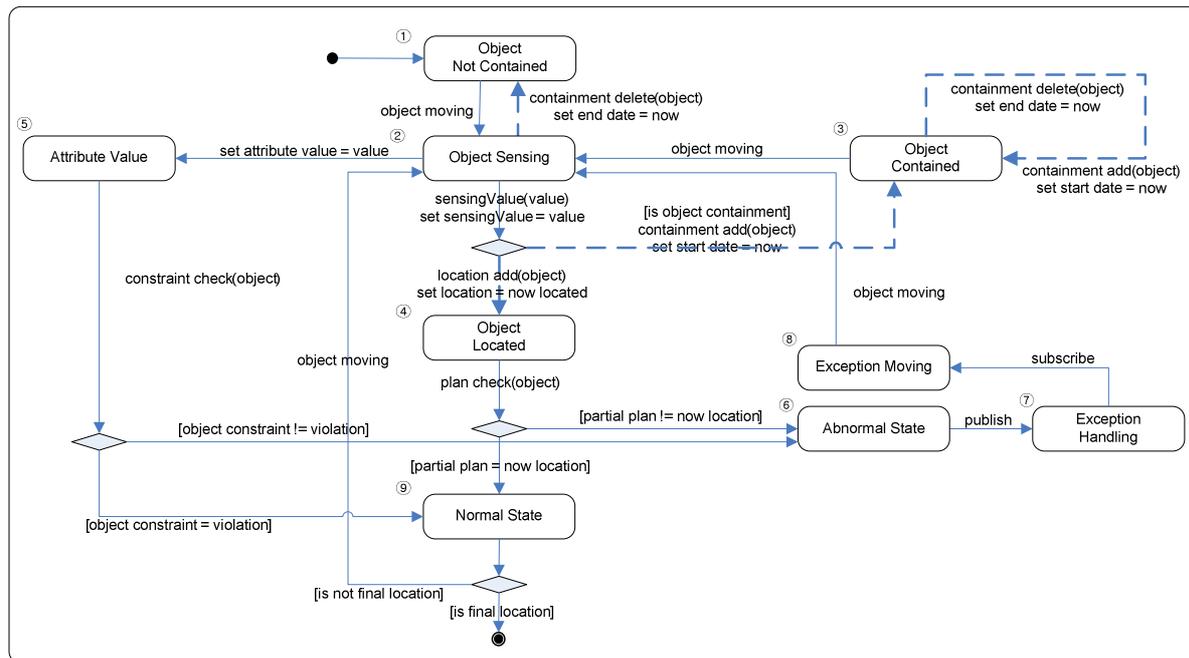


Figure 2.2 폐쇄형 구조를 갖는 Supply chain에서의 정보 흐름 state chart

Step 4 제품의 이동 위치를 설정한 후, 이동된 지역이 최초로 관리자가 설정한 이동 계획 지역이면, Step 9로 이동한다. 만약, 관리자의 이동 계획 지역이 아니라면 Step 6로 이동한다.

Step 5 발견된 속성 값이 최초로 관리자가 설정한 제약 조건을 위반했는지를 확인 한 후, 위반하지 않았다면 Step 9로 이동한다. 만약, 위반하였다면 Step 6인 Abnormal State로 이동한다.

Step 6 이동 계획이나 속성 제약을 위반한 정보들은 예외 처리를 하기 위해 Step 7로 보내진다.

Step 7 예외 발생을 관리자에게 알리고, 제품은 사전에 정의된 예외 처리 지역으로 이동하기 위해 Step 8로 이동한다.

Step 8 제품들은 사전에 정의된 예외 처리 지역으로 운반되어 Step 2로 이동하게 된다. Step 2로 운반된 제품들은 지속적인 피드백을 통해 계획된 지역이나 상태를 만족 시킴으로써 Step 9에 이르게 된다.

Step 9 제품이 이동 계획과 제약 조건을 모두 만족시켜 운반이 끝난 상태를 말한다.

이와 같은 상태 변화는 RFID의 특성에 따라 제품(개별제품, 팔레트, 컨테이너 등)이 센서에 감지될 때 일어나며, 동시에 계획된 제품의 상태와 비교하여 문제를 분석한다. 문제가 감지된 제품들은 Abnormal state(비정상 상태)로 분류되어 미리 정의된 예외 사항 처리 절차에 의해 대응할 수 있고, 이러한 제품들이 Normal state(정상 상태)로 분류될 때까지, 지속적으로 피드백 된다.

System Architecture

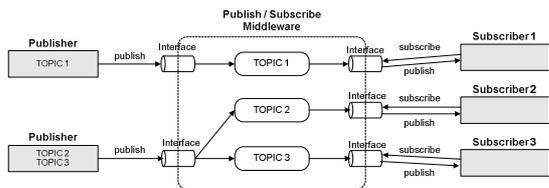
본 연구에서 개발된 시스템은 RFID 기반 공급망에서 제품의 흐름을 감시하는 임무를 수행하며, 예외 사항 발생시 지속적인 피드백을 통해 통제할 수 있다. 이를 위해, 본 시스템은 공급망 상에서 이동하는 제품의 계획을 입력하기 위한 Coordinator와 각각의 물류/유통, 판매지점에서 제품의 관리를 위한 Local System으로 구성되며, 추가적으로 공급망 상에서 제품 상태 기반의 감시를 통해 발생하는 문제점을 해결하기 위한 그림 [3.1]과 같은 publish/subscribe 미들웨어를 제안하였다.

Figure 3.1 Publish/Subscribe Middleware

본 논문에서 효율적인 예외처리를 위해 사용되는 Publish/Subscribe 미들웨어는 point-to-point 메시징과 브로드캐스트 메시징이 가능하다. 따라서, 문제가 발생한 지점과 문제가 발생한 제품 정보를 원하는 지점간의 빠른 정보 교환이 가능할 뿐만 아니라, 동일한 정보를 여러 지점으로 동시에 전달하여 프로세싱 오버헤드를 줄여준다[16]. Publish / Subscribe는 정보의 전달자(Publisher)와 구독자(Subscriber)로 이루어지며 기본 동작 원리는 다음과 같다.

- ① 특정한 정보의 구독을 원하는 Subscriber 가 Publish/Subscribe 미들웨어로 정보의 구독을 예약한다.
- ② 정보의 전달자는 특정한 정보가 발생했을 때, Publish/Subscribe 미들웨어로 정보를 전달한다.
- ③ 전달된 정보를 Publish/Subscribe 미들웨어는 사전에 구독을 신청한 구독자들에게 정보를 전달한다.

본 시스템의 사용 시나리오는 다음과 같다. 관리자가 제품의 이동 이전에 서버 시스템을 통해 제품의 이동 계획과 이동 시에 지켜져야 할 제약 사항을 입력한다. 또한, 관리자는 지속적인 감시를 위해 publish/subscribe 미들웨어로 관심 제품을 등록하게 된다. 제품이 공급망 상에서 각 지점을 이동할 때, 제품의 위치와 포함 관계, 속성 정보 등의 변화가 등록되고 관리된다. 제품 정보가 각 지점에서 관리될 때, 서버에서 입력된 이동 계획, 속성 제약 등의 위반 사항일 발견되면, 지점에서는 예외 사항 처리를 위해 publish/subscribe 미들웨어로 예외사항 발생을 등록하게 된다. Publish / subscribe 미들웨어는 예외 사항의 발생을 등록된 관리자에게 알려준다.



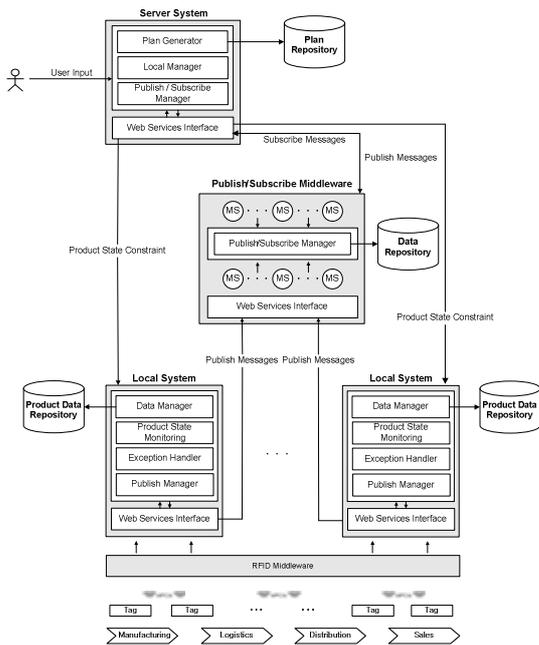


Figure 3.2 System Architecture

서버 시스템은 다음과 같은 구성요소로 이루어지며, 각 구성요소에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

■ **Plan Generator**

Plan Generator는 관리자에 의해 입력된 제품의 이동 계획과 속성 제약을 바탕으로 제품 흐름 제어 계획을 생성하고, 각 지점으로 제약 사항을 전달한다.

■ **Local Manager**

공급망 상에 위치하고 있는 물류/유통, 판매지점의 시스템과의 데이터 연동을 담당한다. 관리자가 제품의 이동 계획과 속성 제약 정보를 생성하면, **Local Manager**가 **Web Services Interface**를 통해 각 지점으로 정보를 전달하게 된다.

■ **Publish / Subscribe Manager**

관리자에 의해 입력된 제품의 지속적인 모니터링과 예외 사항 발생시 처리를 위하여 **Web Services Interface**를 통하여 **Publish/Subscribe** 미들웨어로 등록한다. 관리자가 미들웨어로 등록된 제품이 이동이나 보관 시에 각 지점에서 예외 사항이 발생하면 **Publish/Subscribe** 미들웨어가 관심 제품에 대한 예외 사항 정보를 **Web Services Interface**를 통해 전달한다.

로컬 시스템은 국제 표준인 **EPC Network**을 따르는 **RFID-tagged product**를 자동으로 인식할 수 있는 환경이 갖추어져 있다. 따라서, 제품이 생산에서 물류/유통을 거쳐, 판매지점

으로 이동하는 동안 제품 정보는 **RFID** 미들웨어에 의해 적절히 처리된 후, 로컬 시스템으로 저장되게 된다. 로컬 시스템은 다음과 같은 구성요소로 이루어지며, 각 구성요소에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

■ **Data Manager**

공급망의 각 지점에서 발생하는 제품 상태 정보를 효율적이고 신뢰성 있는 데이터 저장을 위해서, **Data Manager**에 의해, 데이터 타입 및 패턴 변환 등의 과정을 거쳐 **Product Data Repository**에 저장된다.

■ **Product State Monitoring**

관리자가 계획한 제품의 상태 제약을 **Web Service Interface**를 통해 서버로부터 입력 받아 **Constraint Repository**에 저장하게 된다. 또한, 공급망에서 실시간으로 발생하는 제품의 상태 정보의 제약 위반 여부를 지속적으로 모니터링 할 수 있다. 제품의 상태 제약을 위반하는 예외 사항 발생시 **Exception Handler**에게 알리게 된다.

■ **Exception Handler**

Exception Handler는 사전에 정의한 예외 처리 방법을 사용자에게 전달하고, 예외 사항을 **Publish / Subscribe** 미들웨어에게 알리기 위해 **Publish Manager**로 전달한다.

■ **Publish Manager**

Exception Handler로부터 전달 받은 예외 사항을 **Web Service Interface**를 통해 **Publish/Subscribe** 미들웨어로 전달한다.

Temporal Data Modeling

RFID 기반의 공급망 상에서 기존에 모니터링이 추가 되던 제품의 관리를 넘어서, 미리 정해진 계획에 따른 통제가 가능한 모델을 구축하기 위해서는 데이터를 보다 동적(**Dynamic**)으로 관리하기 위한 데이터 모델이 필요하다. 현실 상황에서 계획과 통제는 시간속성을 동반한다. 시간에 따라 계획과 통제의 변수가 달라지기 때문에 시간 제약 아래 동적인 데이터 관리를 포함시켜 보다 명확한 표현을 하기 위한 데이터 모델이 필요하다.

시간 속성을 포함하고 보다 동적인 데이터 관리를 위해서 **Temporal ER Model**을 사용할 수 있다. **Temporal ER Model**은 기존의 **Conceptual ER Model**에 시간 개념을 도입한 것으로서, 도입된 시간 개념을 통해 과거와 현재, 그리고 미래의 데이터를 보다 동적으로 관리할 수 있다. 특히 센서가 읽어 들이는 데이터의 경우 센서가 감지되는 순간 시간정보(**timestamp**)가 기록되기 때문에 **Temporal ER Model**을 적용하기 용이하다.

센서가 읽어 들이는 시간 정보를 이용하여, 제품의 상태 변화를 동적으로 관리할 수 있다[15].

본 논문의 주안점은 Temporal ER Model을 이용하여 RFID 기반의 공급망 상에서 이루어지는 제품 상태의 효율적인 관리를 위한 데이터 모델 설계에 있다. 따라서 새로운 Temporal ER Model을 정립하기 보다는 기존의 효과적인 Temporal ER Model을 이용하고자 한다. 기존에 발표된 여러 Temporal ER Model을 검토한 결과 세부적인 표현에 용이하고, 이해하기 쉽게 표현할 수 있는 TERC+ 모델을 이용하기로 한다[17]. TERC+ 모델은 기존의 ER Model에서 사용하던 Entity, Attribute, Relationship Types를 도입하여, 기존의 ER Model과 같은 방식으로 모델을 설계할 수 있어 쉽게 이해하기 용이하다[18]. 또한 기존의 구성요소(constructs)에 Temporal Entity, Temporal Attribute, Temporal Relationship과 같은 Temporal 요소를 포함시켜 세부적이고 동적인 데이터 모델을 설계할 수 있게 해주며, Dynamic Relation types constructs를 통해 Entity간의 Temporal Relationship을 명확하게 표현하는데 용이하다. Publish/Subscribe 환경하에서 Client는 Server측과 메시지 교환을 통해 문제를 해결해나간다. 특별히 해결해야 하는 상황이 발생하지 않을 경우에는 Client와 Server는 서로 독립적인 시스템에서 데이터를 처리해 나간다. 따라서 우리는 Client와 Server를 분리하여 두 개의 데이터 모델을 설계하였다.

Server Data Modeling

Server는 전체적인 Plan을 관리, 통제하는 기능을 가지고 있다. 처음 Plan이 입력되어 저장되는 곳이 Server이다. 아래의 [Figure 4.1]은 Server가 가지는 Data간의 관계를 TERC+ 모델로 표현한 것이다. Server는 크게 PLAN_MANAGER, OBJECT, LOCATION의 Entities를 가지고 있다.

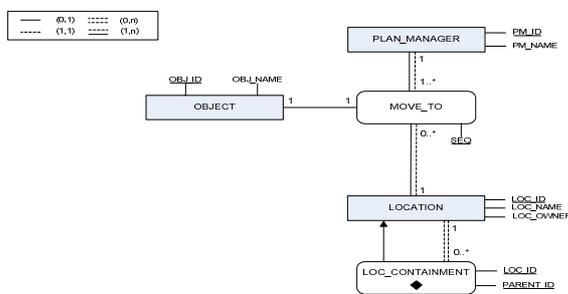


Figure 4.1. Server Temporal Data Model

(Static) Entity Tables

PLAN_MANAGER(PM_ID, PM_NAME)

PLAN_MANAGER는 이 System을 이용하는 고객으로, 전체적인 Plan을 입력하고, 관리, 통제하는 요구하는 주체에 대한 정보를 포함하고 있다.

OBJECT(OBJ_ID, OBJ_NAME)

OBJECT는 관리 대상인 Product에 대한 정보를 나타낸다.

LOCATION(LOC_ID, LOC_NAME, LOC_OWNER)

LOCATION은 OBJECT가 이동해 나가는 장소를 나타내며, 상황에 따라서 하나의 LOCATION은 다른 LOCATION에 포함 될 수도 있다.

Relation Table

MOVE_TO(OBJ_ID, PM_ID, LOC_ID, SEQ)

이 세 Entities는 MOVE_TO Entity로 연결된다. MOVE_TO는 우리가 직접적으로 관리하게 되는 Plan에 대한 정보를 나타낸다. MOVE_TO는 Plan manager가 정한 계획에 따라 Object가 이동하게 되는 Location의 순서(Sequence) 정보를 포함하고 있다.

Client Data Modeling

Client는 하나의 Sensor가 관리되는 환경이다. 즉, 전체 System 상에서 분산되어 있는 Sensor 하나하나가 각각의 Client로 존재한다. Client는 Sensor를 통해 받아들여진 정보와 정해진 Plan에 의한 Constraints를 비교해, Plan에 맞지 않는 정보가 발생하면 Error Message를 발송한다. [Figure 4.2]는 Client가 가지는 Data 관계를 TERC+ 모델로 표현한 것이다. Client는 크게 SENSOR, OBJECT, LOCATION, STATE_CONSTRAINT의 Entities를 가지고 있다.

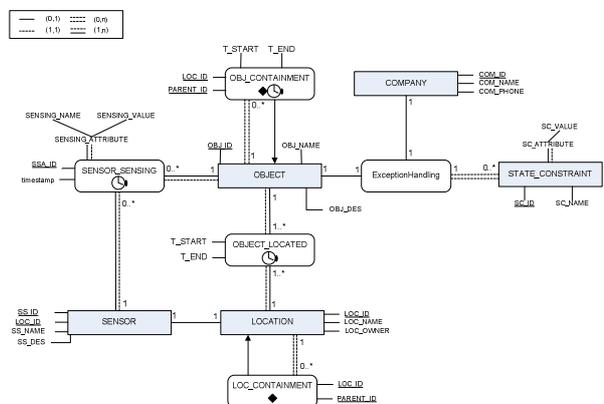


Figure 4.2. Client Temporal Data Model

(Static) Entity Tables

SENSOR(SS_ID, LOC_ID, SS_NAME, SS_DES)

SENSOR는 정해진 Location에 위치하여 Object의 상태를 감지하는 Sensor에 대한 정보를 포함한다. SENSOR는 Sensor의 ID와 Name, Location, 기타 특이 정보사항을 포함하고 있다.

OBJECT(OBJ_ID, OBJ_NAME)

OBJECT는 관리 대상인 Product인 Object에 대한 정보를 나타낸다.

LOCATION(LOC_ID, LOC_NAME, LOC_OWNER)

LOCATION은 Sensor가 위치한 Location에 대한 정보를 포함한다. 상황에 따라 LOCATION은 하나 이상의 다른 LOCATION에 포함될 수 있다.

STATE_CONSTRAINT(SC_ID, OBJ_ID, SC_NAME, SC_ATTRIBUTE)

STATE_CONSTRAINT는 OBJECT가 Sensing되는 순간에 지켜져야 하는 제약조건을 나타내며, STATE_CONSTRAINT에 대한 입력은 Server에서 이루어져, 각각의 Client에게 전달된다. STATE_CONSTRAINT는 각각의 State에서 지켜져야 하는 속성들에 대한 Value를 포함한다. 가령 우유라는 Object가 Sensing되는 순간에 5°C 이하의 상태에 있어야 한다는 제약조건을 가진다면 STATE_CONSTRAINT는 SC_ATTRIBUTE로 온도를 가지며 SC_VALUE로 5°C이하라는 값을 가지게 된다.

Temporal Entity Tables

OBJ_CONTAINMENT(OBJ_ID, PARENT_ID, LOC_ID, T_START, T_END)

OBJECT는 상황에 따라 하나 이상의 다른 OBJECT에 포함될 수 있다. Item 단위의 Object가 포장되어 Pallet, Container에 포함될 때 OBJ_CONTAINMENT Entity가 발생한다. OBJ_CONTAINMENT는 Temporal Entity로 T_START와 T_END의 Time Value를 가진다. 하나의 Object가 다른 Object에 포함되는 시점이 T_START가 되며, 포함관계가 끝나는 시점이 T_END가 된다. Object의 포함관계가 끝나면 OBJ_CONTAINMENT의 수명은 끝나며, 하나의 History Data로 저장되게 된다.

Dynamic Relationship Tables

SENSOR_SENSING(SSA_ID, SS_ID, OBJ_ID, SENSING_ATTRIBUTE, timestamp)

SENSOR와 OBJECT는 SENSOR_SENSING의 Temporal Entity를 통해 연결된다. SENSOR_SENSING은 Object가 Sensor를 통과하는 순간에 System에 입력되는 값을 나타내며, Sensing이 되는 순간의 시각을 timestamp로 Sensing된 Object의 정보를 SENSING_ATTRIBUTE로 포함한다.

OBJECT_LOCATED(OBJ_ID, LOC_ID, T_START, T_END)

LOCATION과 OBJECT는 OBJECT_LOCATED Entity로 연결된다. OBJECT_LOCATED는 Temporal Entity로 OBJ_CONTAINMENT와 같이 T_START와 T_END 값을 가진다. OBJECT_LOCATED는 Object가 특정 Location에 처음 감지되었을 때 T_START 값이 기록되며, 그 Location을 빠져나갈 때 T_END 값이 기록되고, OBJECT_LOCATED의 수명은 끝이 난다. 수명이 끝난 OBJECT_LOCATED Entity는 OBJ_CONTAINMENT와 같이 하나의 History Data로 저장된다.

제품 감시 및 추적을 위한 메시지 프로토콜 정의

제품들이 공급망 상에서 이동할 때 발생하는 이벤트 중 예외 사항은 이동 계획 위반과 속성 제약 위반이 있다. 이동 계획 위반과 속성 제약 위반 정보는 Publish/Subscribe 미들웨어로 보내져 미들웨어는 사전에 관심 제품으로 등록해놓은 관리자에게 정보를 전달하게 된다. 이와 같은 예외 처리를 효과적이고, 체계적으로 진행하기 위해서는 예외 처리 프로토콜이 필요하다. 본 논문의 예외 처리 프로토콜을 설명하기 전에 필요한 기호와 용어들을 정의하면 다음과 같다.

- Publish : 정보의 공급자가 특정한 정보를 제공하는 행위를 말한다.
- Subscribe : 정보의 구독자가 특정한 정보의 구독을 예약하는 행위를 말한다.
- P : 정보의 공급자(Publisher)
- S : 정보의 구독자(Subscriber)
- EA : Exception Handling Agent(Publish/Subscribe Middleware)
- O : 제품(Object)

위에서 정의된 P, S, EA는 예외 상황 처리를 위한 행위 주체로써 서로 프로토콜을 주고

받은 Sender와 Receiver의 역할을 한다. Sender와 Receiver는 Subscribe, Publish 메시지를 통해 예외 상황 처리를 진행한다. 관리자가 지속적인 감시를 원하는 제품을 미들웨어로 등록하는 메시지 포맷은 다음과 같다.

Sender (Message, Object) -> Receiver

Figure 5.1 관심 제품 등록을 위한 메시지포맷

예외 상황이 발견되었을 때, 예외 상황을 미들웨어로 알리고, 미들웨어가 전달된 예외 상황을 사전에 등록된 Receiver에게 위한 메시지 포맷은 다음과 같다.

Sender (Message, Exception Case, Object) -> Receiver

Figure 5.2 예외 상황 전달을 위한 메시지포맷

이와 같은 예외 처리 프로토콜은 다음과 같은 Step으로 이루어지며, 그림 2.3과 그림 2.4와 같은 다이어그램으로 표현할 수 있다.

Step 1.
S (Subscribe, 'P001') -> EA
: Subscriber가 지속적인 감시를 원하는 제품 'P001'을 미들웨어로 등록한다.

Step 2.
P (Publish, Movement Plan Violation, 'P001') -> EA
: Publisher가 제품 'P001'이 이동 혹은 보관 중 이동 계획 위반이 발생했음을 미들웨어로 알려준다.

Step 3.
EA (Publish, Movement Plan Violation, 'P001') -> S
: 미들웨어가 제품 'P001'의 이동 계획 위반 정보를 특정 Subscriber에게 알려준다.

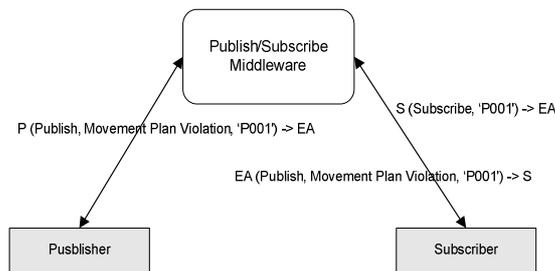


Figure 5.3 예외 상황 처리 프로토콜

본 논문에서 정의한 예외 처리 프로토콜은 Publish/Subscribe 모델의 기본 메커니즘을 사용하여 정보의 효율적인 전달을 할 수 있을 뿐만 아니라, 이동 계획 위반과 속성 제약 위반 정보를 체계적으로 표현할 수 있다.

결론

본 연구는 현재 표준화 진행중인 EPCglobal Network의 문제점을 분석하고, 기존의 관리 패러다임(Open-Loop)을 벗어나 공급망 상에서 발생할 수 있는 제품 상태 변화를 관리함으로써 확실한 제품에 대한 가시성과 제어를 확보함으로써, 실제로 현실에서 발생하고 있는 문제 해결을 위한 밑거름으로 활용되는 공급망 전체를 개선할 수 있는 기반이 되는 연구라는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

References

[1] Katina Michael, Luke McCathie (2005), "The Pros and Cons of RFID in Supply Chain Management", *Proceedings of the International Conference on Mobile Business(ICMB)*

[2] IBM BCS (2002), "Focus on the Supply Chain: Applying Auto-ID within the Distribution Center", Available online: http://archive.epcglobalinc.org/publish_research/IBM-AUTOID-BC-002.pdf

[3] Helmut Baumgarten, Christian Butz, Annerose Fritsch, Thomas Sommer-Dittrich(2003), "Supply Chain Management and Reverse Logistics - Integration of Reverse Logistics Processes into Supply Chain Management Approaches", *IEEE International Symposium*, pp. 79~83

[4] C. Clarke-Hill, D. Hillier, D. Comfort, and P. Jones (2005), "The benefits, challenges, and impacts of radio frequency identification technology (RFID) for retailers in the UK," *Marketing Intelligence and Planning*, Vol. 23, No. 4, pp. 395-402

[5] E. Prater, G.V. Frazier, and P.M. Reyes (2005), "Future impacts of RFID on e-supply chains in grocery retailing," *Supply Chain Management*, Vol. 10, No. 2, pp.134-142

[6] M. Kärkkäinen(2003), "Increasing efficiency in the supply chain for short shelf life goods using RFID tagging," *International Journal of Retail and Distribution Management*, Vol. 31, No. 10, pp. 529-536

[7] R. Weinstein (2005), "RFID: a technical overview and its application to the enterprise," *IT Professional*, Vol. 7, No. 3, pp. 27-33

[8] M. Bhuptani and S. Moradpour(2005), "RFID Field Guide: Deploying Radio Frequency Identification Systems", *Sun Microsystems Press*

[9] RFID Journal (2005), "Improving Logistics", *RFID Journal*, Special Report Part 6

- [10] EPCglobal Inc., EPCglobal Network™: Overview of Design, Benefits, and Security, 2004, Available online (December 31th, 2005): http://www.epcglobalinc.com/news/EPCglobal_Network_Overview_10072004.pdf.
- [11] EPCglobal Inc.(2004), “EPC™ Tag Data Standards Version 1.1 Rev.1.24”, Available online: http://www.epcglobalinc.org/standards_technology/EPCTagDataSpecification11rev124.pdf.
- [12] S. Clark, k. Traub, D. Anarkat, and T. Osinski(2005), “Auto-ID Savant Specification 1.0,” *Auto-ID Center White Paper*, Available online : http://www.epcglobalinc.org/about/AutoID_Archive/documents/6_auto_id_savant-1_0.pdf.
- [13] EPCglobal Inc., Object Naming Service(ONS) Version 1.0, 2005, Available online(December 31th, 2005): [http://www.epcglobalinc.org/standards_technology/EPCglobal_Object_Naming_Service\(ONS\)_Specification_v1.pdf](http://www.epcglobalinc.org/standards_technology/EPCglobal_Object_Naming_Service(ONS)_Specification_v1.pdf).
- [14] M. Harrison (2005), EPC Information Service – Data Model and Queries, Auto-ID Center White Paper, 2003, Available online (December 31th, 2005): <http://www.autoidlabs.org/whitepapers/CAM-AUTOID-WH025.pdf>.
- [15] F. Wang and P. Liu(2005), “Temporal Management of RFID Data,” *Proceedings of the 31th VLDB Conference*, Trondheim, Norway, pp.1128-1139
- [16] William A. Ruh, Francis X. Maginnis, William, J. Brown(2001), “Enterprise Application Integration”, *John Wiley & Sons, Inc.*
- [17] Heidi Gregersen, Christian S. Jensen(1999), “Temporal Entity-Relationship Models – A Survey”, *IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING*, VOL. 11, NO. 3, pp. 464~497
- [18] Esteban ZIMANYI, CHRISTINE PARENT, Stefano SPACCAPIETRA(1997), “TERC+ : A Temporal Conceptual Model”, *International Symposium on Digital Media Information Base*, Nara, Japan