

인식률을 고려한 RFID 도입의 공급사슬 효율성 향상효과에 관한 연구

오세운, 서용원

단국대학교 경영학과

A Study of Supply Chain Performance Improvement Considering the Identification Rate of RFID

Seyoon O, Yongwon Seo

Dept. of Business Administration, Dankook University,

Nowadays many companies implement the information systems that capture and share the real-time inventory information. However, since the commonly used bar-code based POS systems cannot track the inventory loss, the inventory information inaccuracy issue is becoming important. RFID is noticed as a powerful solution for the inventory information inaccuracy problem. However, although many researches assume the identification ratio of RFID to be 100%, the real identification ratio of RFID is lower than 100% and sometimes quite low, which inhibits the proliferation of practical RFID applications. Thus, the managerial operation considering the identification ratio of RFID becomes an essential research issue. The purpose of this research is to provide a quantitative model to establish the inventory management policy to minimize the supply chain cost considering the identification ratio of RFID. Under the assumption of the inventory loss and less than 100% identification ratio of RFID, the method to establish and evaluate the optimized inventory policy is provided. Simulation study to show the effect of inventory policy considering the identification ratio of RFID is executed. As this research provides a quantitative framework to establish the supply chain operation policy considering the identification ratio, it is expected that this research can contribute to the supply chain performance and the wide proliferation of RFID technology

Keyword Supply Chain Operation, Inventory Inaccuracy, RFID, Identification Ratio, Inventory Loss, Inventory Policy, RFID Implementation Strategy, Tag Cost

1. 서론

정보기술의 발달에 따라 공급사슬에서의 정보기술 활용이 일반화되면서 많은 기업에서 실시간 제품 재고정보를 의사결정에 활용하고 있다. 그러나, 일반적으로 활용되는 바코드와 POS(Point Of Sale)를 기반으로 한 실시간 재고정보 시스템은 매출로 기록되지 않은 재고유실을 추적할 수 없는 한계를 가짐에 따라, 재고정보의 부정확성 문제가 제기되고 있다.

재고 정보 부정확성은 실제 보유하고 있는 물리적인 재고와 재고 정보 시스템상의 기록상의 재고 간에 차이가 나타나는 현상으로서, Igglehart(1972)와 Morey(1985)는 재고 정보 부정확성의 원인으로 정보와 자재흐름간의 시간차, 절도, 잘못된 재고카운트를 제시하였다. 이 밖에도 제품 입출시 처리오류, 시설 내에 존재하나 찾을 수 없는 재고, 잘못된 제품 인식 등이 원인이 된다. 이러한 원인들 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 절도로 인한 재고유

실로써, ECR Europe(2001)은 200개 기업을 대상으로 조사를 진행하여 재고유실이 소매상의 연간 판매의 1.75%에 해당한다는 조사결과를 내놓았다. 이 수치를 돈으로 환산하면 1억 3천 4백만 유로로, 이 중의 59%는 소매상들이 인식하지 못하고 있는 재고 유실이다. Hollinger(2003)의 재고 유실에 대한 실증 연구는, ECR Europe(2001)에서 수행한 연구와 유사한 결과를 담고 있다. 118개의 소매상들을 대상으로 한 가장 최근의 보고서는 재고 유실이 총 판매의 1.7%에 해당하며, 총 재고 유실의 80%가 쇼핑객, 종업원, 공급자에 의한 결도로 인해 발생한다고 밝히고 있다. 이때 결도로 인한 재고유실을 재고 기록에 반영하지 않는다면 의사결정의 오류를 야기하여 공급사슬의 비용 상승을 일으키게 된다.

재고유실을 반영하지 않았을 때 발생하는 재고 정보 부정확성은 시스템의 성과에 상당한 악영향을 미친다. Iglehart(1972), Morey(1985), Fleisch & Telkamp(2005) 및 Kang & Gershwin(2005) 등에서는 재고 정보 부정확성이 시스템의 성과를 얼마나 낮추는가에 대한 이론 개발 및 실험을 수행하여, 재고 유실은 단순히 재고유실로 인한 손해 그 이상의 악영향을 미친다는 점을 입증하였으며, Kang & Gershwin(2005)는 짧은 리드타임과 소량 주문으로 특징지어지는 최근의 Lean환경에서 재고 유실로 인한 악영향은 더욱 크다고 주장했다.

RFID는 실시간으로 물리적인 제품 정보 획득을 가능하게 함으로써 이러한 재고 정보 부정확성 해결의 대안으로서 주목 받고 있다. Fleisch & Telkamp(2005)와 Kang & Gershwin(2005)에서는 재고 유실로 인한 재고정보 부정확성을 개선하기 위한 적절한 방법 중 하나로 RFID를 제안하였다. 이러한 기존의 연구는 RFID의 인식률을 100%로 가정하여 RFID의 도입을 통해 재고 정보 부정확성의 문제를 완전히 제거할 수 있는 것으로 가정하고 있다.

그러나, RFID의 실질적인 인식률은 100%에 미치지 못하며 경우에 따라 낮은 인식률을 보여주고 있어, RFID 실용화의 주요 장애요인으로 대두되고 있는 것이 현실이다.

Floerkemeier & Lampe(2004)는 플레잉 카드를 이용한 실험을 통해 RFID의 인식률은 100%

가 아니며 RFID의 태그가 금속 근처에 있을 때, 태그를 잘못 배열 했을 때, 태그가 밀착되어 있어 주파수의 충돌 및 공명 현상이 일어날 때 인식률이 20~40%로 현저히 떨어짐을 보여주었다. 이러한 문제로 인하여, Wal-Mart 등 RFID의 상용화에 대한 예비프로젝트를 수행했던 많은 사례에서 실제 상용화까지 이어지지 못하는 등, 인식률 문제는 RFID의 실용화 확산에 주요한 장애요인으로 대두되고 있다.

이에 따라, RFID의 인식률 한계를 고려한 공급사슬 운영방안의 개발이 필요하나, 본 연구에서 조사한 범위에서는 RFID의 인식률을 고려하여 공급사슬의 운영정책을 최적화하는 방안에 대한 연구는 나타나지 않고 있는 실정이다. 따라서, RFID의 상용화 확산을 위해서는 기술개발과 더불어 인식률을 고려한 재고 정책 최적화 등의 운영적 관점에서의 접근이 필요함을 감안할 때, RFID의 인식률을 고려한 공급사슬의 운영방안에 대한 경영·관리적 관점의 연구는 이론적 공헌점과 더불어 RFID의 상용화 확산이라는 실용적 의미에서도 그 필요성이 절실히 요청된다고 하겠다.

본 연구는 RFID의 인식률을 고려하여 공급사슬의 총비용을 최소화하기 위한 관리 방안과 이의 효과에 대한 정량적인 모형을 제시하는 것을 목표로 한다. 재고유실과 RFID의 인식률 제약이 존재하는 환경에서 RFID 도입을 통한 재고관리의 효과를 정량적으로 평가하고, 비용을 최소화하기 위한 재고의사결정의 최적화방안을 제시한다. 또한, 시뮬레이션을 통하여 인식률을 고려한 본 연구의 의사결정 모형의 효과를 입증하고, 인식률을 고려하지 않은 의사결정의 악영향을 살펴본다. 마지막으로 시나리오에 따른 비용을 분석하고 RFID 도입 한계 인식률 및 RFID 태그 한계 단가를 도출한다.

2. 관련 현황

2.1 RFID 기술

바코드 시스템을 대체할 수 있는 기술이자 RTE와 U-Biz의 근간으로 자리 잡을 RFID는 Radio Frequency Identification의 약어로서, 사

물에 부착된 태그(Tag)의 IC칩에 저장되어 있는 고유정보(Data)를 안테나와 리더를 통해서 비접촉 방식으로 수집하여 대상물체를 판독 및 인식하는 기술을 말한다.

RFID는 소매업에서 오랫동안 이용되어 온 바코드에 비해 정보량이 많고 먼 거리에서도 해독이 가능하다. 예를 들면, 계산대에서 상품을 꺼낼 필요 없이 게이트를 통과하는 것만으로 상품을 일괄 인식하여 금액을 계산할 수 있다. 또한 바코드에 비해 오염이나 변형 등에 강하다는 장점도 지니고 있다. Peritila, et al.,(2004)가 제시한 RFID와 바코드의 차이점은 [표 1]과 같다.

[표 1] RFID와 바코드의 비교

	RFID	바코드
주파수/통신방식	125KHz ~ 2.45GHz	적외선
인식범위	0 ~ 100m (수동: 0 ~ 10m)	0 ~ 50cm
일괄인식	가능	불가
내구성	강함	약함
금속에 사용	가능	가능
액체에 사용	불가능	불가능
인식자의 메모리 용량	몇 바이트~몇 킬로바이트	몇 바이트
가격	상대적으로 낮음	낮음

RFID 시스템은 크게 정보를 저장하고 프로토콜로 데이터를 교환하는 RFID 태그(Tag), 무선 자원을 송수신할 수 있는 안테나(Antenna), 안테나가 포함된 리더기(Reader)로 구성되며, 태그에 기록된 정보를 안테나와 RFID 리더를 통해 인식하여 활용하게 된다.

Peritila, et al.,(2004)는 RFID 태그를 [표 2]와 같이 전원의 공급 방식에 의해 리더기의 커뮤니케이션 신호로부터 전원을 얻는 수동형(passive), 태그 자체에 배터리와 같은 전원을 가지고 있는 준수동형(semi-passive), 능동형(active)으로 구분하였다.

[표 2] 전원 공급 방식에 따른 태그 분류

	수동형(Passive)	능동형(Active)
작동 방법	<ul style="list-style-type: none"> 자체 전원 없음 전파를 받아서 통신 	<ul style="list-style-type: none"> 자체 전원 보유 직접 주파수를 발산하여 통신
구조	작고 가벼우며 간단함	크고 무거움
가격	저가	고가
기타 특징	<ul style="list-style-type: none"> 근거리 통신용 수명 반영구적 높은 출력의 판독기 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 원거리 통신용 수명제한 다양한 크기의 메모리 필요

또한, [표 3]과 같이 데이터 기록 방식에 따라 제조과정 동안 데이터가 생성되어 제한된 유동성을 가진 Read Only, 태그가 제조된 후에 태그의 소유자가 데이터를 한번만 세팅할 수 있는 WORM(Write Once Read Many), 태그의 내용을 수천 번 기록할 수 있는 Read/Write, Read Only의 보안성과 Read/Write의 유연성을 제공하여 Read/Write의 보안성을 보완한 Multi-Page로 구분 하였다.

[표 3] 데이터 기록 방식에 따른 태그 분류

	Read-Only	WORM	Read/Write
장점	저가	사용자가 직접 데이터 세팅	<ul style="list-style-type: none"> 자유로운 데이터 수정으로 인한 비용절감 RFID에 막대한 유연성 부여
단점	태그 정보 수정 불가	세팅 후 변경 불가	<ul style="list-style-type: none"> 타인에 의한 정보 변경 가능 높은 가격

RFID는 사용되는 전자기파의 주파수 대역에 따라 특성이 달라지며, 이에 따라 사용 환경도 제약받게 된다. 가장 이상적인 주파수대역은 2.45 GHz이나 이미 이 주파수 대역을 활용하고 있는 애플리케이션이 존재하며, 주파수 대역이 높아질수록 전파의 강도가 약해지는 단점이 있다. 반면, 125 KHz와 같이 낮은 주파수 대역을 쓰는 RFID 시스템은 액체와 부

도성 물체를 투과하여 높은 인식률을 보이지만 인식범위가 짧다는 단점이 있다. 따라서 환경에 따른 선별적 도입이 필요한데, 원거리 인식에서는 UHF(860~930 MHz)가 적절하며, 인식거리가 짧은 경우에는 저주파수의 RFID를 사용하는 것이 적절하다.

2.2 RFID 적용 사례

현재 국내 및 해외에서는 RFID의 도입 타당성과 효율성을 판단하기 위한 다양한 실험이 진행 중에 있으며, 도입을 고려하고 있는 분야가 확대되어 지고 있는 상황이다.

RFID가 가장 먼저 도입된 산업의 적용사례는 물류유통산업에서 보여지는데, Wal-mart가 대표적이다. Wal-mart는 RFID 도입에 있어서 선두주자로, 이미 상위 100개 납품업체들에게 포장박스과 팔레트 단위로 RFID가 부착된 제품을 공급할 것을 요청했고, 이에 37개 업체가 자발적으로 참여하였다. 이미 월마트는 시험운동을 통해 RFID 도입 효과를 파악한 상태이다. RFID의 도입분야는 소매업체마다 달라, 미국의 Target에서는 RFID를 납품 검품에, Sears는 애틀랜타에 있는 소비자 교환제품 처리센터에서 사용 중이다. 영국의 Mark & Spenser와 Tesco는 RFID를 주로 재고관리에 사용하고 있다. 홈플러스는 매장에서 고객 의 쇼핑카트에 부착된 RFID를 통해 고객이 어떻게 매장 내에서 움직이며, 어디에서 얼마나 머무는지 파악할 수 있게 하였고, 이러한 정보를 기초로 혼잡한 공간을 분산시키거나, 같이 구입하는 제품을 파악하여한 곳에 진열시키는 등 매장의 효율성을 극대화 하려 하고 있다. 국내의 사례로는 신세계의 도난 방지 최소화 및 효율적인 재고 관리를 위한 매장 및 물류에서의 RFID 적용, 복센의 RFID를 이용한다서 물류 프로세스관리 등이 있다

의류 분야에 있어서 Gap은 2001년 각 제품에 RFID 태그를 부착하여, 배송센터에서 점포까지 제품 추적을 하였다. 점포 선반에 설치된 리더기를 통해 자동으로 보충지시를 내리는데 RFID가 사용되었고, 미개봉 상태로 컨테이너를 검품하고, 점포 재고의 자동 발주를 하여 작업 공정을 대폭 감소시켰다. Prada는 2002년 뉴욕 소호에 있는 탈의실 1개의 아크릴 박스

안에 의류를, 다른 박스 안에는 핸드백, 벨트, 구두 등의 소모품 관련 정보를 제공하였는데, 제품들의 전자태그에서 화상 정보가 꺼내져, 탈의실 내의 디스플레이 화면에 나타나게 하였다. Prada는 이러한 아이템 정보의 태깅을 통해 매장에서 제품의 정보를 제공하였으며, 판매와 재고를 연계하여 좋은 성과를 얻었다. Levi's는 최근 멕시코와 미국의 두 상점에서 판매되는 남성 진에 RFID 태그를 부착하는 방법을 시도하여, 선반 위에 남아 있는 사이즈나 색상을 정확하게 알 수 있게 하였으며, 그 결과 멕시코 상점은 한 해 동안 56%의 재고 감소와 판매율의 증가를 이루었다. RFID 기술은 원할하고 즉각적인 재고관리를 제공하는데, 그 동안 4명의 판매직원이 2일 동안 6주의 사이클로 재고관리를 한 것에 비해, 기술 도입 후 1명이 매일 45분만에 재고관리를 할 수 있게 되었다.

RFID는 제조업계에서도 활발히 응용되고 있다. HP, P&G 등의 소비재 업체들이 RFID의 도입에 매우 적극적인 모습을 보이고 있는데, HP의 경우, 현재 프린터 생산 시점부터 Wal-mart 매장 선반에 진열될 때까지의 모든 과정을 추적할 수 있게 하였다. 면도기 회사 질레트는 면도기날에 RFID 태그를 삽입하여 상품을 추적할 수 있게 하였으며, 이를 통해 연간 3,000만 달러의 도난 피해를 최소화하고 물류비용을 절감시키고 있다. 부품관리 측면에서 보면, 도요타와 BMW 남아프리카 공장에서는 RFID 태그를 자동차 부품에 부착하여, 각 부품의 입고고, 보관, 그리고 60여개의 대리점까지의 유통을 원활히 하고 있다.

무선인식 시스템을 통해 화물 및 물류관리의 효율성을 증가시키려는 노력 또한 있는데, 최근 미국 LA 항에서는 RFID 기술과 GPS 기술을 이용하여, 기존의 일주일에 7,000개에서 현재의 12,000개 컨테이너의 움직임을 파악할 수 있게 하였다. RFID는 또한 수출입 과정의 효율화에도 사용되는데, 미국에서는 컨테이너, 카고, 트럭, 트레일러, 선원 등 각 과정을 모니터 할 수 있는 시스템이 이미 제안되었으며, 우리나라 산자부에서도 수출입 물류 분야에서 RFID 시범 사업을 실시하였다.

3. 공급사슬 관리 프로세스 프로토타입

본 연구는 [그림 1]과 같이 단일 소매상에서 아이템 수준 일괄인식을 통한 입고, 재고, 출고관리로 이루어진 프로세스를 가정한다.

3.1 입고 관리

□ 수작업 기반

주문량이 도착하면 작업자들이 모든 아이템을 수작업으로 카운트한다. 수작업의 정확도는 100%로 가정하며, 따라서 작업 오류로 인한 재고 정보의 부정확성은 일어나지 않는다. 입고량에 비례하여 수작업에 따른 인건비가 발생한다.

□ RFID 기반

주문량의 입고시 별도의 수작업 없이 RFID가 적용된 게이트를 통과시킴으로써 아이템 단위 일괄인식을 한다. RFID의 인식률이

사이클마다 수작업 재고 실사를 하여 기록상의 재고와 실제 재고를 일치시킨 후에 주문을 하는 방식이 일반적으로 통용된다. 운영된다. 본 연구에서는 매 주문 사이클마다 재고 실사를 하여 재고 정보를 수정하는 것을 가정한다. 이때 실제 재고량에 비례하여 실사 비용이 발생한다.

□ RFID 기반

재고 정보 부정확성의 개선과 재고 실사 작업의 효율성을 위하여 RFID를 도입한 재고관리 정책을 고려할 수 있다. RFID를 활용한 재고관리 정책에서는 매 주문 사이클마다 RFID로 재고 실사를 하여 기록상의 재고정보와 실제 재고정보를 일치시킨 후에 주문을 한다. RFID 재고 실사에 따른 인건비는 발생하지 않으나, 인식률의 저하에 따른 추가적인 재고 유지비가 발생한다.



[그림 1] 공급사슬 관리 프로세스 프로토타입

100%가 아니라면 실제 입고된 양과 시스템상의 인식된 양 사이의 차이가 발생하게 되는데, 이 차이만큼을 재주문하여 보충하는 것을 가정한다. 이때, 인식률에 따른 인식 실패 비용이 발생한다.

3.2. 재고 관리

□ 수작업 기반

기존의 POS기반의 재고 정보 시스템에서는 재고유실을 반영하지 못하는 한계로 인해 재고 정보의 수정활동이 필요한데, 일정 주문

3.3 출고관리

□ 수작업 기반

현재 많은 소매 환경에서 활용하고 있는 방법으로, POS 시스템을 이용하여 수작업으로 바코드를 인식하여 출고처리를 한다. 이때, 수작업 정확도는 100%로서 오류로 인한 손실은 발생하지 않는다. 따라서, 출고비용은 출고량에 비례하여 발생하게 된다. 한편, 정상적인 판매 이외의 재고 손실이 있음을 가정한다.

□ RFID 기반

고객이 아이템을 카트에 담아 RFID가 설치된 출고 게이트를 통과하면 아이템 수준으로 일괄인식 되어 출고 처리가 된다. 이때, 인식률이 100%가 아니라면 실제 출고량 보다 적게 인식하게 되는데, 인식하지 못한 만큼, 즉, 실제 출고량과 인식된 출고량의 차이만큼 모두 손실이 되는 것을 가정한다. 한편, 정상적인 판매 이외의 재고손실이 있음을 가정한다.

4. 정책의 모형화

4.1 모형의 가정

본 연구는 단일 소매상으로 구성된 시스템을 고려한다. 대상 시스템은 연속 재고조사 정량주문 정책(Continuous-review Batch Ordering Policy)을 사용한다고 가정한다. 고객수요는 포아송 과정으로 발생하며, 수요로 인한 정상적인 재고 감소 외에도 재고유실로 인한 알려지지 않은 재고 감소가 발생한다. 각 지점에서 재고고갈(Stock Out)이 발생한 경우, 과다수요는 모두 이월주문(Back Order)으로 처리되며, 이 때 단위시간당 재고단위당 일정한 양의 재고고갈비용(Stockout Cost)이 발생한다. 모든 설비의 주문량(Order Quantity)은 경제적 주문수량을 따른다. 수작업 재고 실사는 매주문시점마다 실시하며 비용이 발생한다. RFID, POS의 도입에는 관련 장비 등의 고정투자비용 및 태그 소모 등으로 인한 가변운영비용이 든다. 또한, 입·출고시 수작업 처리비용 및 RFID 인식실패비용이 발생한다. 수작업 재고 실사의 정확도는 100%로, RFID의 인식률은 100% 이하로 가정한다. 주문비용은 운송비와 아이템 입고시에 소요되는 입고처리 비용의 합으로 가정한다.

4.2 기호정의

Q = 점포의 1회 주문량

Q_2 = 입고시 인식된 점포의 1회 주문량

h = 재고단위당 단위시간당 재고유지비용

λ = 고객 도착율

r = RFID의 인식률

cm = 개당 수작업 처리비용

IP_a = 실제 재고 위치

IL_a = 실제 재고 수준

IP_n = 기록상 재고 위치

IL_n = 기록상 재고수준

IP_r = RFID 인식 재고 위치

IL_r = RFID 인식 재고 수준

IT = 주문중인 재고량

R_n = 기록상 재고 위치에 기반한 재주문점

R_r = RFID 인식 재고위치에 기반한재주문점

k = 1회 주문비용

F = 입고시 개당 인식 실패비용

S = 아이템 출고개수

S_2 = 인식된 아이템 출고개수

P = 제품 판매단가, 출고시 개당 인식실패비용

4.3 입고관리 정책의 모형화

□ 수작업 기반

주문량이 입고되면 작업자는 모든 아이템을 수작업으로 카운트 한다. 아이템 카운트에는 개당 cm 의 비용이 발생하며, 따라서 주문량에 비례하여 입고 비용이 산정된다. 수작업의 정확도는 100%로서, 수작업 오류로 인한 입고시 인식 실패 비용 및 재고 기록과 실제 재고간의 차이로 인한 재고정보 부정확성은 발생하지 않는다. 수작업 입고 비용은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

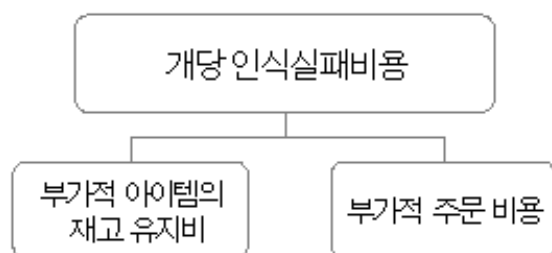
$$\text{수작업 입고 비용} = Q \times cm \quad (1)$$

□ RFID 기반

주문량은 RFID가 설치된 게이트를 통과하는 것으로 아이템 단위 일괄인식 된다. 이때 인식률이 100%가 아니라면 인식 실패로 인해 재고기록과 실제 재고 간의 차이가 발생하게 되며, RFID 기반 입고 시스템은 이 차이만큼을 재주문하여 보충한다. 이 과정에서 인식실패에 따른 입고 비용이 다음과 같이 발생한다.

$$\text{RFID 입고 비용} : \text{If } r < 100\%, \text{ then } (Q - Q_2) \times F \quad (2)$$

한편, 입고시 인식 실패비용 F 는 [그림 2]와 같이 불필요한 보충으로 인한 부가적 아이템의 재고유지비와 개당 부가적 주문비용으로 구성된다.



[그림 2] 입고시 인식 실패비용의 구성

입고시 인식 실패로 인한 보충 재주문은 불필요한 것으로 보충된 양만큼의 부가적인 재

고를 유지하기 위한 비용이 추가로 소요되게 되는데, 이는 주문한 양이 모두 소진될 때까지 소요되는 재고유지비로서 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{부가적 아이템의 재고유지비} \\ &= h \times (Q / \lambda) \end{aligned} \quad (3)$$

또한, 재주문을 하기 위해서는 비용이 수반되는데, 부가적 주문비용은 아이템을 한 개 주문할 때 소요되는 비용으로서 다음과 같이 정의된다.

$$\text{부가적 주문비용} = k / Q \quad (4)$$

4.4 재고관리 정책의 모형화

재고유실이 일어나지 않는다면 재고 정보 시스템이 정상적으로 운영되어 비용을 최소화 할 수 있다. 그러나 재고 유실은 존재하며, 미미한 재고유실일지라도 재고 정보 부정확성에 영향을 주게 되는데, 적절한 수정 활동이 없다면 시간에 비례하여 비용은 계속 증가하게 되므로, 기록상의 재고 정보와 실제 재고량을 일치시키기 위한 수정활동이 필요하다.

본 연구는 이러한 재고 정보 수정 활동을 수작업 재고 실사에 기반하는 경우와 RFID를 활용한 경우의 2가지 환경에 대하여 재고관리 정책을 모형화 한다.

□ 수작업 기반

기존의 POS기반의 재고 정보 시스템에서는 재고유실을 반영하지 못하는 한계로 인해 주기적인 재고 정보의 수정활동이 필요한데, 일반적으로 일정 주문 사이클마다 수작업 재고 실사를 하여 기록상의 재고와 실제 재고를 일치시킨 후에 주문을 하는 방식이 통용된다. 이 방법은 재고유실로 인해 기록상의 재고수량과 실제 재고수량의 차이가 누적되는 것을 정기적으로 수정해 주기 때문에 오차누적으로 인한 비용증가를 방지해 줄 수 있으나, 수작업 재고 실사를 위한 비용이 주기적으로 발생하는 문제점이 있다. 이 방법의 수행을 위해

서는 비용을 최소화할 수 있는 적절한 재고조사 빈도와 이에 따른 적절한 재주문점을 결정해 주어야 하는데, 본 연구는 매 주문시마다 재고 실사를 하는 것을 가정하고, 최적 재주문점을 찾는 것을 목표로 한다.

실제의 재고위치와 재고수준을 IP_a 와 IL_a , 기록상의 재고위치와 재고수준을 IP_n 와 IL_n 으로 나타내기로 하자. 재고유실이 존재하므로, 기록상의 재고는 실제 재고에 비해 항상 크거나 같다. 즉, 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$IP_a \leq IP_n \quad (5)$$

$$IL_a \leq IL_n \quad (6)$$

한편, 실제의 재고 정보는 실사를 거치기 전에는 알 수 없으므로 재고관리상 재주문점의 결정은 기록상 재고에 의존하게 된다. 따라서 재주문점은 기록상 재고에 기반하여 정의될 수 밖에 없다. 즉, 기록상의 재고위치 IP_n 이 일정한 재주문점 R_n 에 이르면 재주문을 수행하게 된다.

수작업 재고 실사 기반의 재고 관리정책
: If $IP_n \leq R_n$, then Reorder.

재고유실로 인하여 기록상 재고와 실제 재고 사이의 차이가 누적되므로 수작업 기반 정책에서는 주기적인 재고 실사를 통해 기록상 재고 정보를 수정해 주어야 한다. 재고 실사는 매 주문 사이클마다 수행하고, 이때 실제 재고 수준에 비례하여 수작업 재고 실사비용이 발생하는데, 이는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{수작업 재고 실사비용} = IL_a \times cm \quad (7)$$

□ RFID 기반

재고 정보 부정확성의 개선을 위하여 RFID를 도입한 재고관리 정책을 고려할 수 있다. RFID를 활용한 재고관리 정책에서는 매 주문

사이클마다 RFID로 재고 조사를 실시하여 기록상의 재고정보와 실제 재고정보를 일치시킨 후에 주문을 한다. 이 방법은 재고정보 부정확성의 확대를 효율적으로 차단할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 현재의 RFID 인식률은 100%가 아니기 때문에 재고정보 부정확성을 완전히 제거할 수 없으며, 인식률의 제약을 고려하여 정책을 설정해야 하는 어려움이 있다. RFID의 인식률이 100%가 아니므로, 인식된 재고량은 실제의 재고량에 비해 항상 작거나 같다. 즉, 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$IP_r \leq IP_a \quad (8)$$

$$IL_r \leq IL_a \quad (9)$$

RFID의 평균 인식률을 r 이라고 하면, 각각의 제품에 대해 인식에 성공할 확률은 r , 실패할 확률은 $(1 - r)$ 로 나타나므로, 실제 재고량이 $IL_n > 0$ 일 때 인식된 재고의 개수는 시행횟수 IL_a , 성공확률 r 의 이항분포 $B(IL_a, r)$ 를 따르게 된다. 즉, 다음과 같이 나타난다.

$$IL_r \sim B(IL_a, r), \text{ if } IL_a > 0$$

$$IL_r = 0, \text{ if } IL_a = 0 \quad (10)$$

또한, RFID 인식에 기반한 재고위치 IP_r 은 인식된 재고량 IL_r 에 주문중인 양 IT 를 더한 값으로 정의되는데, 이는 다음과 같다.

$$IP_r = IL_r + IT \quad (11)$$

RFID의 인식에는 큰 비용이 발생하지 않으므로, 매주기마다 재주문시점에 RFID를 이용한 재고량 인식을 수행한다고 가정한다. 실제의 재고 정보는 알 수 없으므로 재고관리상 재주문점의 결정은 RFID에 의해 인식된 재고의 양에 의존하게 된다. 따라서 RFID기반의 재고관리정책에서는 RFID로 인식된 재고위치 IP_r 이 일정한 재주문점 R_r 에 이르면 재주문을 수행하게 된다. 즉, RFID 기반의 재고관리정책을 정형화하여 나타내면 다음과 같다.

RFID 기반의 재고 관리정책

: If $IPr \leq Rr$, then Reorder.

4.5 출고관리 정책의 모형화

□ 수작업 기반

출고되는 모든 아이템을 수작업으로 카운트 한다. 이때, 수작업 정확도는 100%로, 작업자의 실수에 의한 출고 인식 실패비용은 발생하지 않는다. 따라서, 수작업 출고 비용은 아이템 판매개수에 개당 수작업 처리비용을 곱한 값으로 산정된다.

$$\text{수작업 출고 비용} = \lambda \times cm \quad (12)$$

□ RFID 기반

출고되는 모든 아이템들은 카트에 담겨 RFID가 설치된 게이트를 통과하는 것으로 아이템 수준 일괄인식 되어 출고처리가 된다. 이때, RFID의 인식률이 완벽하지 않으면, 실제 출고된 양과 RFID로 인식한 양의 차이만큼의 손해를 입게 되는데, 출고시의 개당 인식 실패비용은 출고시 파악하지 못한 아이템의 구입비용 및 이의 판매로 인해 얻을 수 있는 이익을 모두 잃게 되는 것이므로, 제품 판매 단가라 할 수 있다. 따라서, RFID 출고 비용은 다음과 같다.

RFID 출고 비용

$$\text{: If } r < 100\%, \text{ then } (S - S_2) \times P \quad (13)$$

5. 시뮬레이션 실험

5.1 실험 설계

3장에서 정의된 수작업 기반 정책과 RFID 기반 정책의 효과를 시뮬레이션을 통해 비교하기 위하여, 몇 가지 소매 환경을 가정한다. 소매점은 매출 규모에 따라 소형, 중형, 대형

소매점으로 구분한다. 소형 소매점은 연매출 약 6억원 수준, 중형 소매점은 약 22억원 수준, 대형 소매점은 약 1,000억원 수준으로 설정한다. 수작업 기반과 RFID 기반의 각 정책에 대해 소형, 중형, 대형 소매점을 환경으로 한 시뮬레이션을 수행하므로, 실험 대상이 되는 경우는 [표 5]와 같이 18가지로 정리할 수 있다.

[표 5] RFID 도입에 대한 시나리오

실험환경	입고관리	재고관리	출고관리	시나리오 코드
소형 소매점	수작업	수작업	수작업	S/MMM
	RFID	수작업	수작업	S/RMM
	수작업	RFID	수작업	S/MRM
	수작업	수작업	RFID	S/MMR
	RFID	RFID	수작업	S/RRM
	RFID	RFID	RFID	S/RRR
중형 소매점	수작업	수작업	수작업	M/MMM
	RFID	수작업	수작업	M/RMM
	수작업	RFID	수작업	M/MRM
	수작업	수작업	RFID	M/MMR
	RFID	RFID	수작업	M/RRM
	RFID	RFID	RFID	M/RRR
대형 소매점	수작업	수작업	수작업	L/MMM
	RFID	수작업	수작업	L/RMM
	수작업	RFID	수작업	L/MRM
	수작업	수작업	RFID	L/MMR
	RFID	RFID	수작업	L/RRM
	RFID	RFID	RFID	L/RRR

각각의 실험환경에서 수작업을 통한 입·출고 관리와 RFID를 이용한 입·출고 관리에 대한 시뮬레이션을 수행하여 수작업과 인식률에 따른 RFID 시스템간의 비용 효율성을 비교한다. 또한, 수작업 기반 재고관리 정책과 RFID 기반 재고관리 정책에 대한 시뮬레이션을 수행하여 최적의 재주문점을 찾고, 수작업 시스템과 RFID 시스템 간의 비용을 비교한다.

다음으로, RFID의 인식률 변화에 따른 정책간의 비용 추이를 살펴보기 위하여, RFID의 인식률을 60~100% 범위에서 변화시켰을 때 각 실험 환경에서 RFID의 최적 재주문점 및 시스템 비용의 변화에 따른 비용 효율성을 비교하고, RFID의 인식률 제약을 고려하지 않은, 즉 인식률을 100%로 가정하고 수립된 정책으로 운영되는 경우와 실제 인식률을 고려하여 최적화된 정책으로 운영되는 경우의 비

용을 비교하여, 인식률 제약에 대한 고려의 가치를 평가한다.

마지막으로 각각의 시나리오에 대한 시뮬레이션을 수행하여 수작업 기반 시스템과 인식률에 따른 RFID 기반 시스템간의 비용효율성을 비교하고, 각각의 시나리오별로 RFID 도입이 가능한 한계 인식률 및 RFID 태그 한계 단가를 모색한다. 실험에서 관련 계수 및 비용은 [표 6]에서와 같이 설정한다.

는 RFID의 인식률 개선을 위한 지속적인 기술 개발의 필요성을 나타내는 것이며, 대형 소매점 환경에 RFID 도입을 촉진하는 결과라 할 수 있다. 그러나, 인식률이 낮아질수록 RFID로 인한 입고관리 자동화 이익은 상쇄되는데, 이러한 악영향은 대형 소매점 환경에서 더욱 크게 나타난다. 따라서, RFID의 실제 인식률을 고려하여 도입 여부를 판단해야 할 것이다.

[표6] 시뮬레이션을 위한 계수 및 비용 설정

공동		
<ul style="list-style-type: none"> 제품 판매 단가 - 5,000원 품질비용 - 300원/개당 일당 재고 유실률 - 2% 재고유지비 - 6원/개당 일당 리드타임 - 3일 RFID 및 POS 시스템 내구 연한 - 5년 		
수작업	RFID	
<ul style="list-style-type: none"> 아이템 처리 비용 - 17원/개 바코드 가격 - 20원/개 	<ul style="list-style-type: none"> RFID 태그 재사용율 - 90% RFID 태그 가격 - 200원/개 입고시 인식실패비용 - 70원/개 출고시 인식실패비용 - 5,000원/개 	
소형 소매점	중형 소매점	대형 소매점
<ul style="list-style-type: none"> 고객 도착률 - 60명/일 1인당 아이템 구매수 - 5개 1회 주문량 - 2,300개 RFID 도입 비용 - 1,200만원 POS 시스템 도입비용 - 900만원 1회 주문비용 - 5만원 	<ul style="list-style-type: none"> 고객 도착률 - 120명/일 1인당 아이템 구매수 - 10개 1회 주문량 - 8,500개 RFID 도입비용 - 3,500만원 POS 시스템 도입비용 - 2,500만원 1회 주문비용 - 25만원 	<ul style="list-style-type: none"> 고객 도착률 - 4,000명/일 1인당 아이템 구매수 - 15개 1회 주문량 - 450,000개 RFID 도입비용 - 1억원 POS 시스템 도입비용 - 6,000만원 1회 주문비용 - 1,000만원

5.2 실험 결과

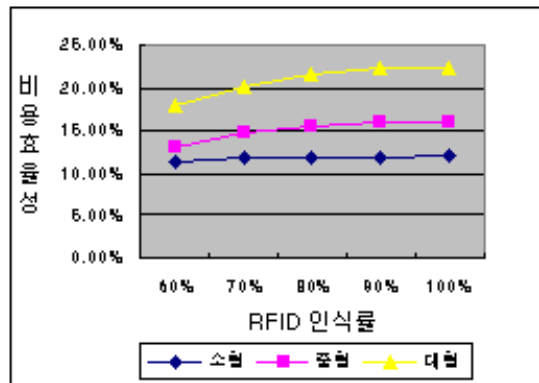
5.2.1 단위 프로세스별 경제성 비교

□ 입고관리

입고 관리시 수작업 기반 시스템과 60~100%의 인식률을 보이는 RFID 기반 시스템 간의 비용 효율성을 비교하였다. 그 결과 인식률이 증가함에 따라 RFID의 비용효율성이 증가하며, 입고 처리 물량이 많은 대형 소매점 환경의 입고관리에 RFID를 적용할 때 가장 높은 비용효율을 보임을 알 수 있었다. 이

□ 재고관리

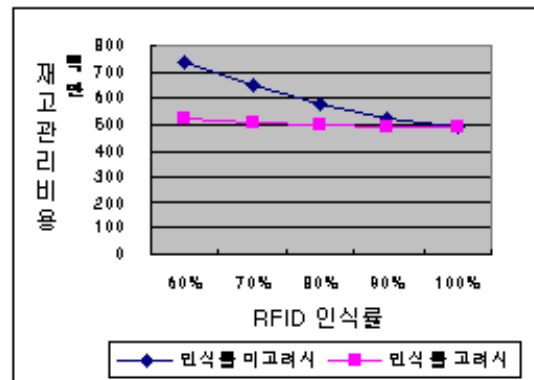
재고 관리시 수작업 기반 시스템과 60~100%의 인식률을 보이는 RFID 기반 시스템 간의 비용 효율성을 비교하였다. 그 결과 [그림 3]에서와 같이 대형 소매점에서 RFID를 적용할 때 가장 높은 비용 효율성을 보이며, 소형 소매점, 중형 소매점에서도 RFID를 이용하는 것이 비용 효율성이 더 높은 것을 볼 수 있었다. 이것은 재고 실사에 많은 시간과 노력이 요구되는 곳일수록 RFID의 적용이 더 효과적임을 의미하는 결과라 할 수 있다. 또한 RFID 태그 가격과 초기 도입비용을 감안하더라도 이를 통한 재고 정보 부정확성의 개선이 적절한 방안이라는 것을 보여주며, 대형 소매점의 경우에 RFID의 도입을 적극 고려하는 것을 장려하는 결과로 볼 수 있다.



[그림 3] RFID 비용 효율성

다음으로, 인식률을 고려한 정책의 효과를 살펴보기 위하여, 실제의 RFID 인식률이 100%가 아닌데도 불구하고 100%의 인식률을 가정한 단순한 정책하에서 시스템을 운영하였을 때의 비용과 본 연구에서 제안한 인식률을 고려하여 재주문 정책을 수정한 정책하에서 운영하였을 때의 비용차이를 살펴보았다. 실험 결과, 실제 인식률과 정책상의 인식률이 일치하지 않는 경우에는 실제 인식률이 낮을수록, 즉 정책상 인식률과 실제 인식률의 차이가 증가할수록 시스템 비용도 증가함을 볼 수 있다. 또한, 인식률의 제약을 정책에서 고려하는 것이 인식률 자체를 증가시키는 노력보다도 오히려 중요할 수 있다는 점을 시사하

고 있다. 예를 들어, 대형 소매점 환경 하에서 실제 RFID의 인식률이 80%인 경우에 정책상의 인식률을 100%로 가정한 경우와 80%로 가정한 경우의 비용차이는 140,172,716원으로 나타나는 반면, 인식률을 고려한 정책 사용시 인식률이 80%에서 100%로 향상됨에 따른 비용 절감액 15,198,482원으로 나타나 운영정책상에서 인식률을 고려하는 것의 중요성을 보여주고 있다. 이것은 RFID의 인식률을 고려한 정확한 이해와 이에 따른 적절한 RFID 시스템의 운영이 필요함을 의미하는 결과라 할 수 있으며, [그림 4]와 같이 나타낼 수 있다.



[그림 4] 대형 환경에서의 재고관리 비용 추이

요약하자면, 재고관리에서는 인식률의 제약에도 불구하고 RFID의 도입이 수작업에 비해서 경제성이 있으며, 매출액이 큰 대형매장일수록 경제성이 더 크게 나타난다. RFID의 인식률은 높을수록 좋지만, 무엇보다도 중요한 것은 인식률을 고려한 정책을 써야 한다는 것이다. 실제 인식률을 고려하지 않은 정책을 수립할 경우 상당한 비용손실이 발생한다.

□ 출고관리

출고 관리에 있어서 수작업 기반 시스템과 60~100%의 인식률을 보이는 RFID 기반 시스템 간의 비용 효율성을 비교하였다. 그 결과 인식률이 100%일 때를 제외하고는 모든 환경에서 수작업에 비해 RFID의 비용효율이 떨어짐을 보았다. 인식률 저하에 따른 출고 처리 오류는 아이템을 판매함으로써 얻을 수 있는 모든 이익을 잃게 한다. 이는 인식률의 개선이

이루어져 100%에 근접하기 전에는 출고 부문에 RFID 도입을 지양해야함을 의미한다. 또한, 판매량이 많은 대형 소매점의 경우 악영향이 더욱 크므로 신중한 RFID 도입 및 프로세스상의 보완책이 필요함을 의미하는 결과이다.

5.3.2 도입범위 시나리오별 경제성 및 RFID 한계인식률 도출

□ 전과정 수작업 처리(MMM)

아이템의 입고에서부터 출고에 이르기까지의 모든 과정을 수작업으로 처리하는 경우로 RFID 도입 시나리오와의 비교 기준이 된다.

□ 입고관리에 RFID 도입(RMM)

입고 관리에 RFID를 이용하고, 재고관리, 출고 관리는 수작업으로 처리하는 경우이다. 실험 결과 인식률이 증가할수록, 소형 소매점에서 대형 소매점으로 규모가 커질수록 비용 효율성이 증가하며, 소매점 규모가 커질수록 RFID 도입 한계 인식률은 낮아짐을 볼 수 있었다. 이는 아이템 처리에 많은 노력이 드는 대형 소매점의 RFID 도입을 적극 장려하는 결과로서, 대형 소매점은 RFID의 도입을 통한 이익을 더욱 많이 얻을 수 있으며 한계 인식률이라는 도입 장벽 또한 낮아 소형 및 중형에 비해 도입이 용이함을 의미한다.

□ 재고관리에 RFID 도입(MRM)

입고 관리 및 출고 관리 부분은 수작업으로 처리하고, 재고 실사에 RFID를 도입하는 경우이다. 실험 결과 인식률이 증가할수록 비용 효율성이 근소하게나마 증가하며, 소형 소매점에서 대형 소매점으로 관리 규모가 커질수록 더 높은 비용 효율을 보임을 볼 수 있었다. 또한, RFID 도입에 따른 한계 인식률이 낮은 수준으로 나타났는데, 이는 재고관리 부분에 즉각적인 RFID 도입이 가능함을 의미한다. 이는 앞서 제시한 기업의 RFID 도입사례와 부합하는 것으로서, 많은 기업들이 재고관리에 우선적으로 RFID를 도입하고 있는 실정이다. 따라서, 실제 사례와 부합하는 본 실험 결과는 향후 관련 정책의 추진을 촉구하고 향후 RFID

도입 정책 수립시의 의사결정지원자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

□ 출고관리에 RFID 도입(MMR)

입고 관리 및 재고 관리 부분은 수작업으로 처리하고, 출고 관리에 RFID를 도입하는 경우이다. 실험 결과 한계 인식률이 모든 환경에서 99.99%로 거의 100%에 가까운 것으로 나타났다. 따라서 인식률이 완벽하지 않은 상황에서 출고관리에 단독으로 RFID를 사용하기보다는 인식률의 개선이 이루어질 때까지 프로세스상의 보완책을 사용해야 할 것이다. 또한, 판매량이 많은 대형 소매점의 경우 인식률 저하에 따른 악영향이 더욱 크므로 신중한 도입이 필요하다.

□ 입고 및 재고관리에 RFID 도입(RRM)

입고 관리 및 재고 관리 부분에 RFID를 도입하고 출고 관리는 수작업으로 처리하는 경우이다. 실험 결과 입고 관리에 한정된 도입(RMM) 보다 낮은 한계 인식률을 보이며, 비용 효율성은 높은 것을 알 수 있었다. 이는 RFID의 도입 범위를 입고관리에 한정하기 보다는 재고관리까지 확장함으로써 더 많은 이익을 얻을 수 있으며 인식률이라는 도입 장벽도 낮출 수 있음을 보여주는 결과이다. 따라서 RFID의 도입에 있어 한 부분에 한정된 도입 보다는 인식률의 개선에 따라 도입 범위를 확장해 가야 할 것이다. 공급사슬에 가시성을 제공하는 RFID는 궁극적으로는 전체 공급사슬에 적용될 때 이익이 가장 크다.

□ 전과정 RFID 도입(RRR)

입고에서 출고에 이르는 모든 과정에 RFID를 이용하는 경우이다. RFID를 전체 프로세스에 도입할 때, 인식률이 완벽하다면 다른 시나리오에 비해 월등한 비용 효율성을 보인다. 그러나 인식률이 1%만 떨어지더라도 이로 인한 손실은 막대하다. 특히, 제품의 출고가 많은 대형 환경은 소·중형 환경에 비해 인식률 저하에 따른 악영향이 크다. 본 시나리오의 한계 인식률은 모든 환경에서 99.99%로 거의 100%에 가까운 것으로 나타났다. 따라서 인식률이

완벽하지 않은 상황에서 전체 프로세스에 RFID를 도입하는 것은 시기상조로서 출고관리에서 RFID를 단독으로 사용하기보다는 인식률의 개선이 이루어질 때까지 프로세스상의 보완책을 사용해야 할 것이다.

5.3.3 도입범위 시나리오별 RFID 태그 한계단가 도출

RFID를 도입하는 15개의 시나리오에 대해서 인식률에 따른 RFID 태그 한계단가를 도출하였다. 그 결과 인식률이 높을수록, 소매점 규모가 클수록, RFID의 도입 범위가 넓을수록 RFID 태그 한계단가가 높아짐을 볼 수 있었다. 태그 한계단가가 높다는 것은 같은 인식률 환경 하에서 태그 비용으로 인한 제약을 덜 받음을 의미한다. 예를 들어, 대형 소매점 환경에서 80%의 인식률을 가정한 경우, 입고관리에 한정한 도입(RMM)의 태그 한계단가는 228원으로, 태그 가격이 이를 초과한다면 수작업과 비교하여 비용 효율성이 떨어지게 된다. 이 경우 도입 범위를 입고재고 관리(RRM)로 확장한다면, 태그 한계단가는 294원으로 상승하여 태그 비용의 제약을 낮출 수 있게 된다. 한편, 출고부분에 RFID를 도입하는 경우는 인식률이 100%가 되지 않는다면, RFID 태그의 가격이 0원이 되더라도 인식 실패에 따른 손실을 상쇄하지 못하는데, 이는 인식률 개선을 위한 기술개발과 보완 프로세스의 필요성을 나타내는 결과이다.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 인식률 제약을 고려하여, 운영 정책의 최적화로 인식률 문제를 극복할 수 있음을 보여주었으며, RFID 도입을 촉진하고 기업의 생산성을 향상시킬 수 있는 기회를 보여주고 있다. 우선 입고 및 재고관리에 있어서 RFID와 수작업 재고 실사간의 총비용을 비교하여 RFID를 도입함으로써 비용을 감소시킬 수 있다는 결론을 얻었다. 또한, RFID의 인식률이 증가할수록 비용이 감소하는 것을 알 수 있었는데, 이는 RFID의 인식률 개선을 위한 지속적인 기술개발의 필요성을 시사한다.

실제 인식률과 정책상의 인식률이 일치하지 않는 경우에는 실제 인식률이 낮을수록, 즉 정책상 인식률과 실제 인식률의 차이가 증가할수록 시스템의 비용도 증가한다. 이러한 실험 결과는 인식률의 제약을 정책에서 고려하는 것이 인식률 자체를 증가시키는 노력보다도 오히려 중요할 수 있다는 점을 시사한다.

출고관리에 있어서는 인식률이 100%에 근접하지 않는 한 RFID 도입에 따른 비용 절감 효과를 얻을 수 없으며, 대형의 경우 악영향이 가장 큰 것으로 나타났는데, 이는 프로세스상의 보완책 및 신중한 RFID 도입의 필요성을 나타내는 결과이다.

시나리오에 따른 수작업과 RFID 간의 비용 효율성을 비교해 본 결과, RFID 도입 범위의 확장을 통해 더 많은 이익을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 대형 소매점 환경에서 RFID 한계 인식률 및 태그 비용으로 인한 제약이 가장 낮게 나타남을 볼 수 있었는데, 이는 대형 소매점의 RFID 도입을 촉진할 수 있는 결과라고 할 수 있다. 한편, 인식률이 완벽하지 않을 때 출고관리 및 전체 프로세스에 RFID를 도입하려는 정책은 시기상조로서, 인식률의 개선이 이루어질 때까지 프로세스상의 보완책이 필요하다.

RFID의 빠른 확산을 인식률의 문제가 제약하고 있는 현실에서, 인식률 한계를 고려한 공급사슬 운영방안에 대한 정량적 접근방법을 제시하는 본 연구는 RFID의 도입을 통한 기업의 공급사슬 효율성 강화와 더불어 RFID 기술의 확산을 촉진할 수 있는 연구로서 중요한 가치를 가진다고 할 수 있다.

한편으로, 본 연구는 결과의 확산과 실용화 관점에서 몇 가지의 한계점을 가진다. 우선 대상이 되는 모형이 단일 소매상에 국한되어 있다는 점은 공급사슬 전체에서의 RFID 도입효과를 측정하는 데에는 부족한 것으로 생각된다. 또한 여러 개의 소매상 및 도매상을 포괄하는 일반적인 공급사슬을 모형화하고 다양한 실제 데이터를 통한 시뮬레이션 연구를 수행함으로써 RFID의 인식률을 고려한 공급사슬운영정책의 실제 적용시의 효과에 대한 더 많은 관찰과 시사점을 도출할 수 있을 것으로 생각된다.

7. 참고문헌

ECR Europe, "Shrinkage: Introducing a Collaborative Approach to Reaching Stock Loss in the Supply Chain", 2001.

Elgar Fleisch and Christian Tellkamp, "Inventory inaccuracy and supply chain performance: a simulation study of a retail supply chain", International Journal of Production Economics, Vol.95, Issue.3, 2005, pp.373-385.

Floerkemeier, C. and Lampe, M., "Issues with RFID usage in ubiquitous computing applications", Pervasive Computing, Proceedings, Vol.3001, 2004, pp.188-193.

Hollinger, R. C., "2002 National retail security survey final report", University of Florida, Gainesville, FL., 2003.

Iglehart, D. L., "Inventory systems with imperfect assert information", Management Science, Vol.18, No.8, 1972, pp.388-394.

Kang, Y. and Gershwin, S. B., "Information inaccuracy in inventory systems: stock loss and stockout", IIE Transactions, Vol.37, Issue.9, 2005, pp.843-859.

Morey, R. C., "Estimating Service Level Impacts from Changes in Cycle Count, Buffer Stock, or

Management, Vol.5, No.4, 1985, pp.411-418.

Ming-Ling Chuang, Shaw, W.H., "How RFID Will Impact Supply Chain Networks", Engineering Management Conference, 2005. Proceedings. 2005 IEEE International, Vol.1, 2005, pp.231-235.

Penttilä, K. M., Engels, D. W. and M.A Kivikoski, "Radio Frequency Identification Systems in Supply Chain Management", International Journal of Robotics and Automation, Vol.19, No.3, 2004

부록 A 단위 프로세스별 경제성 비교 결과

(단위: 천원)

형태	RFID 인식률	입고관리			재고관리						출고관리	
		수작업	RFID		수작업	인식률 고려			인식률 미고려		수작업	RFID
			연비용	효율성		RFID	RFID	RFID				
소형 소매점	60%	2,258	3,609	-59.85%	4,044	500	3,547	11.42%	4,824	-20.47%	221,263	-8473.56%
	70%		2,825	-25.11%		600	3,528	11.89%	4,331	-8.16%	168,704	-6436.96%
	80%		2,042	9.56%		700	3,525	11.97%	3,959	1.12%	116,865	-4428.30%
	90%		1,261	44.15%		800	3,524	12.00%	3,674	8.25%	65,404	-2434.28%
	100%		480	78.75%		900	3,518	12.15%	3,518	12.15%	960	62.80%
중형 소매점	60%	8,596	13,912	-61.84%	14,466	2,100	12,576	13.07%	16,985	-17.41%	878,818	-33952.58%
	70%		10,777	-25.38%		2,400	12,341	14.69%	15,113	-4.47%	661,404	-25528.17%
	80%		7,647	11.03%		2,800	12,204	15.64%	13,701	5.29%	446,858	-17214.94%
	90%		4,525	47.35%		3,200	12,150	16.01%	12,619	12.77%	237,289	-9094.52%
	100%		1,400	83.71%		3,500	12,112	16.27%	12,112	16.27%	2800	70.36%
대형 소매점	60%	380,749	627,177	-64.72%	635,114	115,000	520,716	18.01%	739,173	-16.38%	43,776,478	-1696156.48%
	70%		471,382	-23.80%		130,000	507,454	20.10%	647,627	-1.97%	32,867,455	-1273452.30%
	80%		377,577	17.13%		145,000	498,476	21.51%	579,139	8.81%	22,013,831	-852894.72%
	90%		315,538	58.03%		160,000	493,859	22.24%	525,852	17.20%	11,346,640	-439561.05%
	100%		159,782	98.95%		175,000	492,256	22.49%	492,256	22.49%	8,000	97.88%

Corrective Action", Journal of Operations

부록 B 도입범위 시나리오별 경제성 및 RFID 한계 인식률 분석 결과

(단위: 천원)

형태	수작업 MMM 연비용	인식률	RFID									
			RMM		MRM		MMR		RRM		RRR	
			연비용	효율성	연비용	효율성	연비용	효율성	연비용	효율성	연비용	효율성
소형 소매점	11,033	60%	12,661	-14.75%	10,574	4.16%	229,788	-1982.6%	11,915	-7.99%	230,611	-1990.1%
		70%	11,765	-6.64%	10,559	4.30%	177,403	-1507.8%	11,124	-0.82%	177,247	-1506.4%
		72%							10,956	0.70%		
		80%	10,980	0.49%	10,552	4.36%	125,434	-1036.8%	10,490	4.92%	124,622	-1029.5%
		90%	10,190	7.64%	10,551	4.37%	73,794	-568.8%	9,555	13.40%	72,379	-556.0%
		100%	9,405	14.76%	10,547	4.41%	9,419	14.6%	8,773	20.48%	7,153	35.2%
중형 소매점	41,268	60%	47,072	-14.06%	38,979	5.55%	910,236	-2105.7%	44,264	-7.26%	914,067	-2114.9%
		70%	43,465	-5.32%	38,974	5.56%	693,275	-1579.9%	41,160	0.26%	693,283	-1579.9%
		77%	41,254	0.03%								
		80%	40,365	2.19%	38,944	5.63%	479,099	-1060.9%	38,002	7.91%	475,471	-1052.2%
		90%	37,207	9.84%	38,940	5.64%	283,644	-587.3%	34,880	15.48%	272,725	-560.9%
		100%	34,063	17.46%	38,913	5.70%	34,601	16.2%	31,746	23.07%	25,103	39.2%
대형 소매점	1,830,765	60%	2,085,007	-13.89%	1,715,867	6.28%	45,262,182	-2372.3%	1,936,690	-5.79%	45,362,372	-2377.8%
		67%							1,817,430	0.73%		
		70%	1,926,660	-5.24%	1,702,779	6.99%	34,328,715	-1775.1%	1,779,287	2.81%	34,284,292	-1772.7%
		77%	1,830,709	0.00%								
		80%	1,768,073	3.42%	1,693,290	7.51%	23,462,953	-1181.6%	1,623,472	11.32%	23,265,846	-1170.8%
		90%	1,610,145	12.05%	1,689,114	7.74%	12,797,934	-599.1%	1,467,456	19.84%	12,438,282	-579.4%
		100%	1,454,136	20.57%	1,687,907	7.80%	1,462,162	20.1%	1,311,790	28.35%	942,628	48.5%

부록 C 시나리오별 태그 한계단가 분석 결과

(단위: 원)

실험 환경	인식률	도입 형태				
		RMM	MRM	MMR	RRM	RRR
소형 소매점	60%	51	241		119	
	70%	133	243		191	
	80%	204	243		249	
	90%	277	244		335	
	100%	348	244	347	406	554
중형 소매점	60%	67	252		131	
	70%	149	252		202	
	80%	220	253		274	
	90%	292	253		345	
	100%	364	253	352	417	569
대형 소매점	60%	83	252		151	
	70%	156	258		223	
	80%	228	262		294	
	90%	300	264		365	
	100%	372	265	368	437	605