

SCM 환경에서의 RFID를 이용한 생산시점 재고관리 시스템 설계 및 경제성 평가

Design and Economic Evaluation on a POP Inventory Control System in SCM Using RFID

조재형(Jae Hyung Cho)*

초 록

본 논문의 목적은 재고관리를 위한 RFID 시스템을 도입하는데 있어서 적합한 비용을 산출하여 경제성을 평가하고, SCM 환경에서 생산시점 재고관리 모형을 설계하는 것이다. 경제성 분석은 변화하는 태그의 가격에 따른 총 생산 순이익을 기준으로 하였으며, 초기투자가 필요한 시스템에 적용될 수 있게 결정 모델을 설정하였다. 재고관리 시스템은 900MHz 대역의 수동형 태그를 사용하는 RFID 리더와 4개의 안테나를 이용하여 구현하였다. 그 결과 태그가격의 한계치 설정에 따른 구현 시스템의 도입을 결정하는 도구를 개발하였으며, 안테나의 방향성 있는 배치에 의해서 성공적인 재고관리 시스템을 설계하였다.

ABSTRACT

This paper presents the development of a stock control system of POP system design based on RFID in SCM and its economic efficiency. A stock control system is proposed for 900MHz passive type RFID system. The RFID system is composed of a RFID reader and four antennas to read the tag IDs. A cost estimation model is adapted based on the total product profit by various tag prices. The result of the economic efficiency analysis can indicate any invested model for the automation system which have initial investment should be used. This solution indicates the limit of the break even point according to the input. And it can be concluded that the stock control can be developed by RFID readers and passive tags with directional arrangement of several antennas. Also, the economical evaluation model can be a decision method for company to adapt the new developed system.

키워드 : 경제성평가, 재고, RFID, 생산시점관리
Economic Evaluation, Inventory, RFID, POP

* Department of Industrial Engineering, Dankook University(jaecho@dankook.ac.kr)
2013년 09월 24일 접수, 2013년 11월 21일 심사완료 후 2013년 12월 09일 게재확정.

1. 서 론

최근 정보기술의 발전은 여러 분야에서 변화를 가져왔다. 발전된 기술은 기업 운영 방법을 효율화 하여 업무 방식의 개선과 관리 기술의 발전을 가져오게 하였다. 새로이 대두된 유비쿼터스 환경은 업무 공정을 더욱 효율화 하여 제조업 분야에 많은 발전과 개선을 가져오게 하였다. 공급사슬관리(Supply-Chain Management)에서 재고관리는 자원의 낭비요소를 제거할 수 있으므로 제품 원가를 합리화 할 수 있는 중요 공정이다. 이의 실현을 위하여 정보체계의 적용이 커다란 역할을 담당하여 많은 업체들이 ERP 시스템을 이용하여 재고관리를 수행하고 있으나 실제 현장에서는 여러 가지 이유로 자동화가 여의치 않아 적용에 실패하고 있다.

성공적 재고관리 시스템이 구축되는데 있어서 가장 큰 장애물은 재고 담당자가 수작업으로 재고를 파악하여 직접 입력하는 과정에서 발생하는 누락과 오류라고 할 수 있다. 생산계획을 수립하는 시점에서의 재고정보가 어느 시기의 정보인지가 불명확하여 원자재에 대한 재고수준을 파악하기가 용이하지 않기 때문이다[14]. 따라서 효율적 재고관리를 위하여 체계적인 재고관리 시스템의 구축이 필요하며 이러한 실시간 재고정보를 제공할 수 있는 시스템으로 RFID(Radio Frequency Identification)를 이용한 POP(Point of Production) 시스템이 경쟁력이 있다고 할 수 있다. POP 시스템은 실시간 생산시점 관리 시스템으로 생산계획에 따른 정보 또는 데이터를 실시간으로 수집, 집계, 분석을 가능케 해줌으로써 계획대비 실적, 재고, 불출 등의 라인별, 공정별, 생산현황정보

를 실시간으로 감시 할 수 있는 생산 공정의 정보화를 위한 해결 방법이라고 할 수 있다. 생산 시간의 감소, 재고의 감소, 품질향상 등 제품의 생산 소요시간을 감소하여 공정상의 불필요한 시간을 감소하고 실시간 정보를 정확하게 파악하여 부가 가치를 높이는 효율적인 제조관리시스템을 구축할 수 있다.

RFID는 유비쿼터스 핵심기술이다. RFID는 무선을 통하여 사물의 정보를 제공하며, 센서네트워크를 통하여 데이터베이스에 연결된다[2, 16, 18]. 제품을 빠르고 신속하게 출고하기 위해서 생산 완료된 제품을 출입문을 통해 신속하고 정확하게 입고하고 출고처리를 하게 된다. 관리자는 RFID 기술을 이용하여 제품의 입고출고 상황을 모니터링 하여 실시간 재고 파악이 가능하게 된다. RFID는 전파를 이용하여 여러 개의 태그들을 일괄적으로 읽어내며, 멀리 떨어진 곳에서도 읽어낼 수 있는 장점을 가지고 있다. 태그가 더욱 얇고 작아지면서 저렴한 태그의 등장으로 제품에 부착하여 재고를 파악하는 일이 가능해졌다. 현재 자동인식 기능으로 바코드 등이 사용되고 있지만, 바코드와 달리 멀리 떨어져서 인식이 가능하며, 여러 개의 태그를 동시에 인식이 가능하다는 장점이 있다. RFID 네트워크를 통해 제품데이터나 물류정보를 자동으로 수집하여 분석하고 정보를 제공하는 시스템에 의하여 SCM이 가능하게 되어 제품의 재고 파악이 용이하게 되었다.

제품의 완성된 제품의 위치를 파악하기 위해서 위치 추적이나 상황 판단에 관련한 많은 연구가 수행되어 왔다[8, 10]. 이동체의 동적경로의 위치 추적에 관한 연구는 많이 수행되고 있으나[1, 3, 18], 대상에 대한 움직임

을 추적하는 것이 관심 사항이기 때문에 정확한 입출고 시점에서의 현황 파악의 어려움으로 적용이 용이하지 않다. 최근 자동차부품 공장이나 사출공장 등 물류센터에서 입출고 현황 관리를 위하여 RFID 기법을 적용하는 연구와 개발이 활발히 진행되고 있다[15, 17]. SCM에서 적용상의 문제들을 극복하고 기업의 이익을 창출하는 시도로 기대를 모으고 있으나 실질적으로 RFID 기술의 도입과 확산이 기대에 미치지 못하고 있는 실정이다[6]. 기업들은 RFID를 위한 설비투자비와 소프트웨어 구입비에 대한 우려를 하고 있으며 특히 모든 부품에 부착되는 태그의 가격인하가 우선되어야 한다고 생각한다. 이러한 인프라 가격의 인하가 없으면 바코드를 대체하기가 힘들 것으로 인식하고 있다. 기업들의 의사 결정을 위해서는 태그가격에 대한 가격 예측과 RFID를 구축하기에 적절한 태그 가격의 제시가 중요한 결정 방법이라 할 수 있다. RFID 시스템 도입을 위한 경제성 평가는 도입사례들을 비교하거나 도입에 따른 운용비 절감 내역 등을 예상하여 재고관리에 들어가는 비용의 경제성을 검토하였다[11, 12]. 이러한 경제성 평가 방법은 새로운 시스템을 구축하는 기업 입장에서는 예측이 불가능한 요소들이 존재하며[13] 기업의 성격에 따라 적용 되는 요소들이 일정하지 않기 때문에 일관적인 지표가 될 수 있는 수학적 경제 모델의 개발이 필요하다고 할 수 있다.

본 연구는 재고관리를 위한 RFID 시스템을 도입하는 데 있어서 수요자 측면에서 RFID 시스템 비용을 산출하고 RFID 시스템 도입으로 얻을 수 있는 기대효과를 수학적 모델에 의해서 제시하며, 설계된 시스템이 기존의 시스템과 비교하여 경제성을 확보하고 있는지를 검증한다. 또한, 생산시점에서의 재고관리가 효율적으로 수행될 수 있으며, 오작동 없는 RFID 재고관리 시스템을 설계하는 것이다.

템과 비교하여 경제성을 확보하고 있는지를 검증한다. 또한, 생산시점에서의 재고관리가 효율적으로 수행될 수 있으며, 오작동 없는 RFID 재고관리 시스템을 설계하는 것이다.

2. RFID를 이용한 재고관리 시스템의 경제성 평가

2.1 재고관리 모델

본 연구에서 다루는 재고모델은 다음과 같은 상황을 가정한다. 생산자는 여러 제품을 생산 및 판매하고 있으며, 하나의 제품을 정해진 도매상(wholesaler)에 판매하고 있다. 도매상은 정해진 기간에 주문을 하며, 각 기간의 주문량은 독립적이다. 주문량은 주어진 범위 내에서 유니폼하게 변화할 수 있는 랜덤 변수이고, 생산자는 매 기간 적절한 재고를 보유하여야 한다. 이러한 가정과 상황의 재고 정책 모델을 근시적 재고정책 모델(Myopic Inventory Policy)이라 하며, 추계학적 방법으로 최적화 될 수 있다[9, 19].

기간 n 시점에서 생산량을 q_n , 재고량을 s_n 이라고 하면, n 시점의 총 재고 x_n 은 $s_n + q_n$ 이다. D_n 을 기간 n 동안 주문량이라 하고 r 을 판매가라고 한다면, 총 단위 기간에서 얻는 총 매출은 $r(x_n \wedge D_n)$ 이 된다. 여기서 $a \wedge b$ 는 $\min\{a, b\}$ 이다.

제품의 단위당 생산원가는 p 이고, 제품 단위당 적용되는 RFID 태그 처리비용인 c_r 은 본 연구의 모델에서 도출하고자 하는 결정변수이며 RFID 설비의 도입이나 유지를 정당화 할 수 있는 한계비용이다. 제품의 각 단위당 재고

유지 및 관리비용으로는 h 가 소비된다. 또한, 제품 주문량에 비례하여 제품의 도난이나 파손 또는 RFID의 오작동에서 오는 재고 감소 비율을 d 로 정의하고, $(x)^+$ 는 $\max(0, x)$ 로 한다. 할인계수를 β 로 정의하면 다음과 식 (1)과 같이 총 수익을 현금으로 정의할 수 있다[5].

$$B = \sum_{n=1}^{\infty} \beta^{n-1} [r(x_n \wedge D_n) - (p+c_r)q_n - h(x_n - D_n)^+ - dpD_n] \quad (1)$$

따라서 식 (1)을 최적화하는 재고 수준을 정하고, RFID 시스템을 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 순이익을 비교하여 적정 RFID 관리비용의 한계치를 계산하여 제시하는 것이 경제성 평가의 목적이다.

2.2 RFID 도입을 위한 비용 산출

q_n 이 $x_n - D_n$ 이고, $S_n = x_{n-1} - D_{n-1}$ 이므로, 식 (1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} B &= \sum_{n=1}^{\infty} \beta^{n-1} [r(x_n - (x_n - D_n)^+) - (p+c_r)(x_n - s_n) - h(x_n - D_n)^+ - dpD_n] \quad (2) \\ &= r(x_1 - (x_1 - D_1)^+) - (p+c_r)(x_1 - s_1) - h(x_1 - D_1)^+ - dpD_1 \\ &\quad + \sum_{n=2}^{\infty} \beta^{n-1} [r(x_n - (x_n - D_n)^+) - (p+c_r)(x_n - (x_{n-1} - D_{n-1})^+) - h(x_n - D_n)^+ - dpD_n] \end{aligned}$$

식 (2)는 식 (3)과 같이 정리된다.

$$B = (p+c_r)s_1 - \sum_{n=1}^{\infty} \beta^{n-1} [(p+c_r-r)x_n + (r+h-\beta p-\beta c_r)(x_n - D_n)^+ + dpD_n] \quad (3)$$

RFID 시스템 도입비용을 I_r 이라고 하면 식 (3)을 다음 식 (4)로 쓸 수 있다.

$$E(B) = (p+c_r)s_1 - I_r - \sum_{n=1}^{\infty} \beta^{n-1} E[G(x_n, D_n)] \quad (4)$$

식 (4)의 $E[G(x_n, D_n)]$ 은 추계학적 함수이며, 이 식을 최소화하는 최적의 재고량을 선택한다. 선택한 변수들에 의해 RFID 시스템의 도입 전과 후의 이익을 계산하여 새로운 시스템의 도입에 따른 손익을 비교하도록 한다.

총 재고(x_n)과 주문량(D_n)이 추계학적으로 독립적이다. 주문량을 나타내는 함수가 연속이라고 하고, x_n 과 D_n 을 x 와 u 로 바꾸면 $E[G(x_n, D_n)]$ 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} E[G(x_n, D_n)] &= (p+c_r-r)x + (r+h-\beta p-\beta c_r) \int_0^x (x-u)f(u)du + dp \int_0^{\infty} uf(u)du \quad (5) \end{aligned}$$

주문량이 유니폼 랜덤 변수라고 하고, 구간 $[a, b]$ 에 있다면 주문량 함수 $F(x)$ 는 $\frac{x-a}{b-a}$ 이다.

$F(x)$ 의 1차 도함수 $f(x)$ 는 $\frac{1}{b-a}$ 이므로 식 (5)의 적분함수는 다음 식 (6)과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \int_a^x (x-u)f(u)du &= \int_a^x \frac{(x-u)}{b-a} du \\ &= \frac{(x-a)^2}{2(b-a)} \\ \int_a^b uf(u)du &= \int_a^b \frac{u}{b-a} du = \frac{a+b}{2} \quad (6) \end{aligned}$$

식 (5)를 $G(x)$ 라 하면 식 (6)에 의해서 $G(x)$ 는 다음 식 (7)과 같이 쓸 수 있다.

$$G(x) = (p+c_r-r)x + \frac{(r+h-\beta p-\beta c_r)(x-a)^2}{2(b-a)} + \frac{dp(a+b)}{2} \quad (7)$$

식 (7)을 최소화하기 위해서는 $G(x)$ 의 1차 도함수 $G'(x)$ 가 0이 되는 x 의 값을 구해야 한다. $G(x)$ 의 1차 도함수 $G'(x)$ 는 다음 식 (8)과 같다.

$$G'(x) = p+c_r-r + (r+h-\beta p-\beta c_r)\frac{x-a}{b-a} \quad (8)$$

$G(x)$ 의 2차도함수는 다음 식 (9)와 같다.

$$G''(x) = (r+h-\beta p-\beta c_r)/(b-a) \quad (9)$$

$G(x)$ 가 최소가 되는 적정 재고량 x 를 구하기 위해서는 모든 조건에서 $G''(x) \geq 0$ 이 만족되어야 하므로 $r+h \geq \beta(p+c_r)$ 이 되어야 한다. 여기서 제품의 단위당 판매가 r 은 제품의 단위당 생산원가와 RFID 태그 처리비용의 합인 $(p+c_r)$ 보다 커야하며 $r+h-\beta(p+c_r) \geq r-(p+c_r)$ 에서와 같이 부등식이 어떤 조건에서도 유지되므로, $G'(x)=0$ 을 만족하는 최소값은 존재한다. 식 (8)에 의해서 최적 재고량은 다음 식 (10)과 같이 쓸 수 있다.

$$x' = \frac{(r-p-c_r)(b-a)}{r+h-\beta(p+c_r)} + a \quad (10)$$

최적 재고를 이용하여 순이익을 산정할 수 있다. $s_1 \leq x'$ 이면 재생함수(renewal func-

tion)를 적용하여 식 (4)는 다음 식 (11)과 같이 된다[4].

$$E(B) = (p+c_r)s_1 - I_r - \frac{G(x')}{1-\beta} \quad (11)$$

식 (11)을 이용하여 RFID 시스템이 구축되기 전의 순이익과 RFID 시스템 구축 후의 순이익이 같게 되는 RFID 설비 유지비용을 산출한다. 구축전의 RFID 설비 유지비용은 0이지만, 구축 후의 RFID 설비 유지비용 c_r 은 다수의 입력변수에 의해서 변화하기 때문에 해석적 방법으로 구할 수 없으므로, 수치 계산법에 의해서 구한다. RFID 설비 유지비용 c_r 은 k 번째 반복에 의해서 얻은 $(c_r)^k$ 값을 대입하여 최적 재고 x' 를 구하고 순이익 $E'(B)$ 를 계산한다. k 번째 반복에서 $E(B)$ 와 $E'(B)$, 두 순이익 값의 차를 Δt 라고 하면, Δt 가 허용치 이하가 될 때까지 계산을 반복한다. 이 때 $k+1$ 번째 RFID 설비 유지비용은 다음과 같다.

$$(c_r)^{k+1} = (c_r)^k + w\Delta t \quad (12)$$

$$\Delta t = E(B) - E'(B)$$

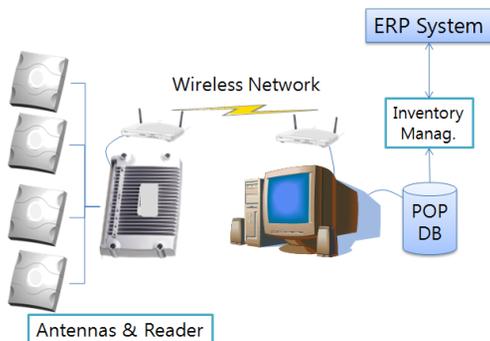
여기서 w 는 무계함수이다. Δt 가 허용치 이하일 때 계산을 멈추고, 그 때의 c_r 값이 경제성을 갖는 RFID 설비 유지비용의 최대값이다.

3. 생산시점 재고관리 시스템 설계

생산 완료된 제품이 입고되면 담당자는 수

작업에 의해 검수를 하며, 검수가 끝나면 담당자는 입고완료에 따른 입력 작업을 수행한다. 재고조사 시에는 여러 작업자가 시간을 소비하여 입고리스트와 대조 작업을 수행하며, 작업상에 오류가 생기면 더욱 많은 시간의 낭비가 초래된다. 제품 출고 시에는 담당자에 의해서 출고에 따른 입력 작업을 완료하게 된다. 이와 같이 입고, 재고조사, 제품 완성품 입출고시 수작업에 의해서 발생하는 오류와 전산입력시의 공정 실수 등에 의해 재고가 실제와는 다른 상황이 발생하는 일이 수시로 일어난다. 여기서 발생하는 비용은 재고 유지비용과 제품 도난과 파손 등에 따른 제품 감소 비용이다.

SCM에서 RFID를 이용한 자동 재고관리 시스템의 경우 작업공정에서 발생할 수 있는 작업 오류들을 현저하게 줄여 이 비용을 감소할 수 있다. 실시간 재고는 통합관리 시스템에 의해서 데이터를 공유하게 된다. SCM 환경에서 RFID를 활용하면 정확한 재고관리 시스템에 의한 명확한 원재료의 필요 시점과 소요량을 예측할 수 있다. RFID 시스템의 구성요소는 <Figure 1>과 같이 리더기와 안테

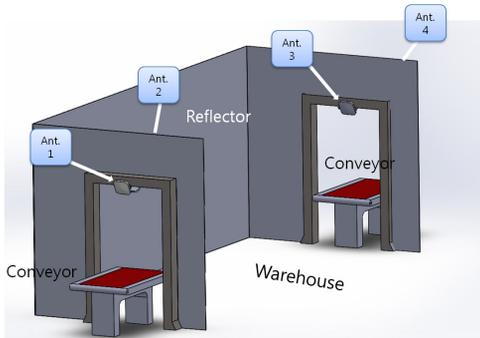


<Figure 1> Configuration of RFID System for Inventory Control

나 호스트컴퓨터와 제품 이력이 기록되는 데이터 서버이다.

생산시스템에 널리 사용되는 기술은 UHF (Ultra High Frequency) 대역의 수동형 태그가 이용되며 리더기는 인식범위에 들어온 모든 태그를 인식하도록 되어있다. 그렇기 때문에 실제로 계수가 되지 않아야 될 제품의 태그가 그 근처를 지나면서 불필요하게 리더기에 의해서 인식될 경우, 계수 오류가 발생하게 된다. 그러므로 리더기 설치를 효과적으로 배치하여 불필요한 오류가 발생하거나 실제로 제품이 인식되지 않을 가능성에 대하여 철저히 분석하여 배치하도록 하여야 한다. RFID는 UHF의 대역의 라디오파를 이용하기 때문에 금속에서는 전파가 반사되어 나오고 액체는 파장을 흡수한다. 이러한 성질을 이용하여 창고 내에 리플렉터를 이용하여 제품이 되도록 많은 안테나에 인식되도록 하고 외부와 차단하는 것이 좋다. 따라서 창고 외부에서 제품이 입혀져서 오작동하는 일이 없도록 하고 완성된 제품은 정해진 경로를 통해서 운반되도록 조치하여야 한다. 제품의 흐름에 대한 방향을 판단하기 위하여 두 쌍의 안테나는 <Figure 2>와 같이 입출고 게이트에 설치된다. 입출고 오류를 해결하기 위하여 게이트에 설치한 안테나는 방향성을 갖게 하고, 안테나의 뒷면은 태그를 인식하지 못하므로 게이트 입구에 한 쌍의 안테나를 다른 방향을 인식하도록 배치한다. 두 쌍의 안테나를 이용하여 각 네 개의 안테나에 대한 태그의 인식 시간과 상황에 대하여 분석하여 판단하게 하여 제품의 입고 및 출고의 상황을 판단할 수 있다.

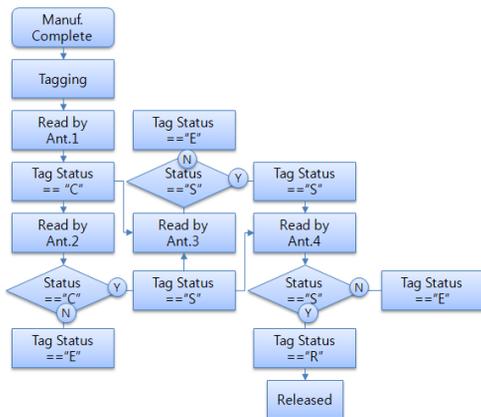
<Figure 2>에서와 같이 한 쌍의 안테나



<Figure 2> Antennas' Layout for Inventory of Products

{Ant.1}과 {Ant.2}를 입고 쪽 게이트에 설치하고 {Ant.3}와 {Ant.4}는 출고 쪽 게이트에 설치한다. 제품에 부착된 태그가 게이트를 통과하면서 순서대로 인식되지 않을 경우, 판단 오류 상태로 남게 된다. 그 외의 상황에 대해서는 정상 상태의 상품으로 인식된다.

<Figure 3>은 각 태그별 재고관리 공정을 보여준다. 게이트에 설치되어 있는 안테나에 의해서 각 태그의 상황은 변화되며 전 단계에서의 상황에 따라서 '입고' 혹은 '출고' 상황으로 인식되어 재고 현황을 판단하게 된다.



<Figure 3> Flow Chart for Stock Control Process

제품이 생산되면 각 제품에 태그를 부착하여 {Ant.1}에 인식되도록 한다. 태그가 인식되면 제품이 입고 준비가 완료된 것이며, 이어서 {Ant.2}에 의해서 인식되면 제품은 입고된 것이다. 제품이 차례대로 안테나에 인식되지 않을 경우 태그의 상황은 정상상태가 아닌 것으로 판단된다. 즉 {Ant.1}에서 {Ant.2}를 거치지 않고 {Ant.3}에 인식되면 비정상적인 상황으로 인식된다. 제품의 상태는 4가지의 형태로 판단할 수 있다. 조립완성단계(C), 창고입고상태(S), 출고상태(R)와 판단오류(E)상태로 구분된다. 판단 오류상태에 있는 제품의 위치를 파악하여 창고 내에 위치한다면, 상태(E1)의 경우는 입고되지 않은 제품이 출고 공정으로 이동한 경우이며, (E2)는 안테나의 물리적인 상태의 확인이 필요한 상태이다. 판단오류에 있는 제품에 대해서는 출고 처리가 되지 않도록 한다. 그 외의 상황에 대해서는 정상상태의 상품으로 인식된다. 최초로 입고 확인된 상태(S)와 출고 상태(R)의 시간을 확인하여 입고시간과 출고시간을 제품 데이터베이스로 보내게 된다. 정상적인 상태의 태그 정보는 <Table 1>에서 $[1\ 0\ 0\ 0]$, $[1\ 1\ 0\ 0]$, $[1\ 1\ 1\ 0]$, $[1\ 1\ 1\ 1]$ 4가지이다.

<Table 1> Context of Each Product

Tag1	Tag2	Tag3	Tag4	Context
1	0	0	0	C
1	0	0	1	E1
1	0	1	0	E2
1	0	1	1	E1
1	1	0	0	S
1	1	0	1	E2
1	1	1	0	S
1	1	1	1	R

정상상태에 있는 제품에 대해서는 판단이 보류되는 상황이 발생하지 않도록 설비를 설치하는 것이 중요하다. 제품 입고 시 반드시 게이트를 거치게 하면 오인식률을 0%로 줄일 수 있다. 또한 동시에 여러 개의 태그를 인식하게 하여 인식률을 확인하여 시스템을 구축한다.

4. 경제성 및 시스템 설계 결과

4.1 경제성 검토

시스템의 경제성을 검토하기 위하여 추계학적 모델을 도출하였으며, 컴퓨터 프로그램을 통하여 결과를 확인하였다. 실험적 변수 값은 <Figure 4>와 같이 생산원가 p 를 5,000원으로 설정하였고, 생산원가에 이윤 20%를 더하여 도매비용으로 설정하였다. 할인율은 연 6%로 하여, 할인계수 β 는 $1/((1 + \text{할인율})/12)$ 로 계산하였다. 재고의 손실 및 오류로 인한 제품 감소율은 2%로 설정하였고, 재고유지 비용으로는 연 20%를 소비하는 것으로 계산하였다. 초기 투자비용과 초기 재고는 고려하지 않았다. 유니폼 분포의 범위는 [7,500, 10,000]으로



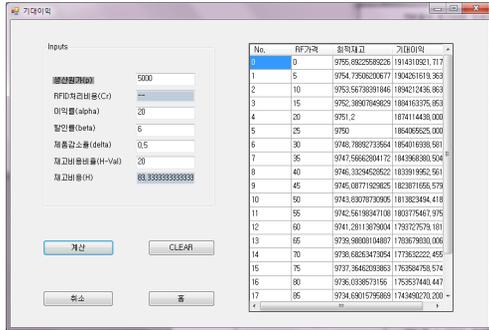
<Figure 4> Element Value for Calculating Expected Value



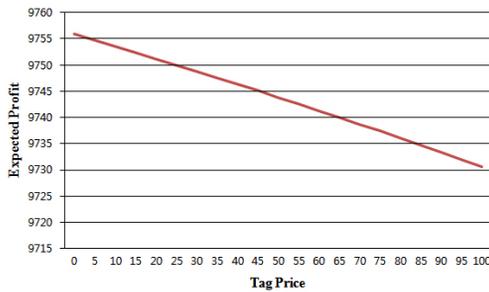
<Figure 5> Calculation of RFID Tag Price

계산하였을 때 최적 재고는 9,756개였으며 기대 순이익은 첫 번째 주기에서 8,823,567원 이었으며, 기대 총 순이익은 현재로 계산하였을 때 ($n = \infty$) 1,782,404,672원으로 계산되었다. 이것은 RFID를 도입하기 전 $c_r = 0$ 일 때의 기대이익이다. <Figure 5>에서는 RFID를 도입하였을 때의 재고조사 비용은 0원이며 재고 감소비율은 0.5%로 설정하였다. 이때의 최적 재고량은 9,740로 계산되었으며, 기대 이익을 도입 전의 값과 같게 되는 RFID 태그비용 c_r 을 수치계산 방법에 의해 근사값을 구하였다. 이때의 제품 당 RFID 유지비용 c_r 은 65.6원으로 계산되었다. 이 계산의 결과로 65.6원보다 c_r 값이 큰 경우에는 수작업에 의한 재고조사 비용에 의해서 얻어지는 기대이익보다 RFID 시스템 도입 후의 기대 이익이 더 작다는 뜻이 되며 반대의 경우 c_r 값이 작은 경우에는 RFID 재고조사 시스템을 도입함으로써 기존의 기대이익보다 더 커지게 되어 경제성이 있음을 의미한다. 따라서 계산된 c_r 은 경제성 평가에서의 기준치가 된다.

<Figure 6>은 재고조사 비용을 제품 개당 83원으로 책정 했을 때 RFID 비용을 5원씩 증가 시키면서 기대 순이익을 계산한 화면이다. 결과는 <Figure 7>과 같다.



〈Figure 6〉 Calculation of Expected Profit by Increasing Tag Prices

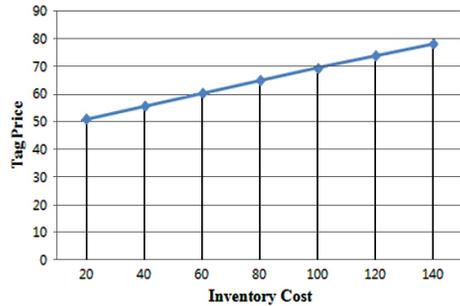


〈Figure 7〉 Expected Profit by Increasing Tag Prices

증가하는 태그 가격에 따라서 기대 순이익은 점진적으로 감소하며, 최적 재고량도 약간씩 감소하는 것을 알 수 있다. RFID를 사용하지 않았을 때 기대 순이익($n=1$) 8,823,567 원은 태그 가격이 65원에서 70원 사이에 있음을 알 수 있다.

〈Figure 8〉는 재고조사 비용이 증가 할 때, 한계치 c_r 이 증가하는 모습을 보여주는 그래프이다. 재고관리에 들어가는 재고 유지비용이 증가하면 한계치 c_r 값도 증가하는 것을 볼 수 있다. 재고 유지비용 h 가 40원일 때, 한계치 c_r 은 55.6원 이었으며, 재고유지비용 h 가 100원일 때, 한계치 c_r 이 69.4원이었

다. 이 가격은 2013년 현재 900Mhz 수동형 RFID 태그의 가격의 10배 이상의 가격이므로 충분히 경제성이 보장된다.



〈Figure 8〉 Increasing RFID Cost by Increasing Inventory Cost

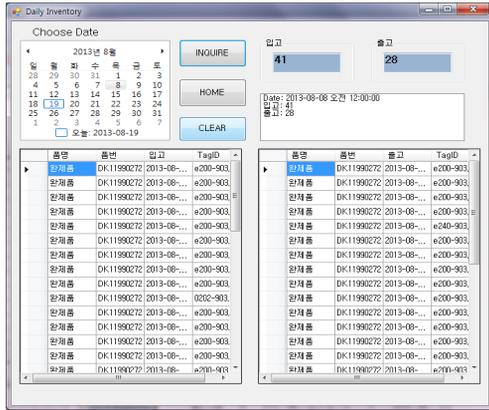
이것은 재고 유지비용이 많이 들수록 RFID 시스템 도입이 더욱 많은 이익을 가져다 줄 수 있다는 결과를 보여준다.

4.2 시스템 설계

SCM 환경에서 생산시점의 재고관리 시스템을 구현하기 위하여 UHF 수동형 태그를 이용하였으며 입출고 시스템에서 자동으로 태그의 상황을 인식하여 데이터베이스에 재고 상황을 변경하는 모델을 설계하였다. XCODE-IU9003 고정형 리더기를 사용하였으며, NFC (Near Field coupling) 및 FFC(Far Field coupling) 동시 지원이 가능하고 910~914MHz 주파수에서 신호를 인식하며 초당 최고 650개의 태그를 인식할 수 있다.

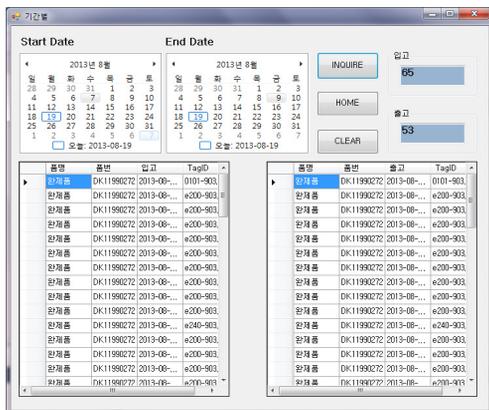
인식률을 테스트하기 위하여 100개의 태그를 안테나에 30cm, 1m와 2m 간격으로 떨어뜨려 동시에 리더기에 인식하게 하였다. 리더기는 4way 안테나를 작동시킨 상태로 1번

재고현황 파악을 위해서 현재 시점이나 검색 시점에서의 재고를 검색할 수 있게 하였다. <Figure 11>은 입력 날짜별 입고 및 출고 현황과 현재의 재고상황을 보여주는 화면이다.



<Figure 11> Current State of Stock by Date

Start Date와 End Date를 선택하여 기간별 재고현황을 파악할 수 있도록 하였다. 필요에 따라 주간별, 월간 재고현황을 파악할 수 있다. <Figure 12>는 기간별 재고현황 파악 화면이다.



<Figure 12> Current State of Stock by Selected Period

이 시스템은 재고관리를 위한 관리 비용과 손실과 분실에 의한 감소 비용을 줄여 생산성을 향상하는데 활용한다.

5. 결 론

기업의 RFID를 이용한 재고관리 시스템의 도입을 결정하는 경제성 판단 모델을 마련하였다. 근시적 재고정책 모델에 단일상품(Myopic inventory policy, single product) 문제를 추계학적 모델로 설정하여 RFID 유지비용과 재고유지 비용 등을 변수로 하여 기대 총이익을 계산하고 비교하였다. 그 결과 시스템의 도입 판단 여부를 결정할 수 있는 시스템의 경제적 기준 모델을 제시하였다.

SCM 환경에서 재고관리 시스템을 설계하기 위하여 수동형 태그를 이용하여 자동으로 태그의 상황을 인식하고 데이터베이스에 재고상황을 변경하는 모델을 설계하였다. 방향성 있는 안테나를 배치하여 입출고를 관리하도록 하였고, 인식 오류를 시험하여 결점 없는 시스템을 설계하도록 보완하였다. RFID를 이용한 재고관리 시스템은 개발된 알고리즘을 이용하여 자동으로 상황을 인식하여 창고에 입고되는 시점과 출고되는 시점을 판단하여 현황과 날짜, 시간 등을 실시간으로 파악하게 하였다. 부품별, 부품번호별 현황과 일간 입출고 현황과 주간, 월간 등 기간별 입출고 현황을 검색하고, 재고의 변화와 흐름을 쉽게 파악할 수 있게 하여 생산계획과 연동하여 생산시점 관리와 계획에 유용하게 사용할 수 있도록 하였다.

다중 상품의 추계학적 모델에서의 경제성 평가와 그룹 프루프(Group proof)를 이용한

재고현황 관리 시스템의 개발이 향후 연구과제이다.

References

- [1] Chang, N., Rashidzadeh, R., and Ahmadi, M., "Robust indoor positioning using differential Wi-Fi access points," *IEEE Trans, Consumer Electron.*, Vol. 56, No. 3, pp. 1860-1867, Aug. 2010.
- [2] Choi, K. M., Park, H., and Park, Y. H., "An Efficient Search Mechanism for Dynamic Path Selection," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 13, No. 3, pp. 451-457, 2012.
- [3] Ramon, A., Ruiz, J., Granja, F. S., Honorato, J. C. P., and Rosas, J. I. G., "Accurate pedestrian indoor navigation by tightly coupling foot-mounted IMU and RFID measurements," *IEEE Trans, Instrum. Meas.*, Vol. 61, No. 1, pp. 178-189, Jan. 2012.
- [4] Heyman, D. and Sobel, M., "Stochastic Models in Operation Research, Vol. I Stochastic Optimization," pp. 117-120, McGraw Hill, New York, 1984.
- [5] Heyman, D. and Sobel, M., "Stochastic Models in Operation Research, Vol. II Stochastic Optimization," pp. 63-68, McGraw Hill, New York, 1984.
- [6] Jeong, H., Han, D., Chang, T., and Kim, H., "Framework for ROI Analysis of RFID System : Focused on Manufacturing Industry," *Korea Logistics Society*, Vol. 18, No. 1, pp. 103-120, 2010.
- [7] Joo, U. G., "Algorithms for Localization of a Moving Target in RFID Systems," *IE Interfaces*, Vol. 23, No. 3, pp. 239-245, 2010.
- [8] Kang, H. Y., Hwang, J. R., and Li, K. J., "Location Tracking in Indoor Symbolic Space with RFID Sensors," *Korea Spatial Information Society*, Vol. 19, No. 3, pp. 53-62, 2011.
- [9] Khang, D. B. and Fujiwara, O., "Optimality of Myopic Ordering Policies for Inventory Model with Stochastic Supply," *Operations Research*, Vol. 48, No. 1, pp. 181-184, 2000.
- [10] Kim, J., Oh, D., and Kim, K., "Tag Trajectory Generation Scheme for RFID Tag Tracing in Ubiquitous Computing," *Korea Information Processing Society*, Vol. 16-D, No. 1, 2009.
- [11] Kim, Y. J. and Park, Y., "A Simulation based analysis on the Effects of Implementing RFID System in School Uniform Industry," *Korea Logistics Society*, Vol. 19, No. 3, pp. 1-17, 2011.
- [12] Koo, H., "A Method of Economic Analysis for RFID Applications Focused on Courier Sector," *Society for e-Business Studies*, Vol. 15, No. 1, pp. 119-137, 2010.
- [13] Lee, K. J., Choi, H. K., and Jun, J., "Tag-based Evaluation Model for Economic Feasibility Analysis of Mobile RFID Sys-

- tem in Ubiquitous Space,” Korea Society of IT Services, Vol. 10, No. 2, pp. 189-202, 2011.
- [14] Li, G. Z., Li, Z. S., and Lee, C. H., “A Study on the Development of u-WMS within SCM using RFID,” Korea Safety Management and Science, Vol. 10, No. 3, pp. 137-143, 2008.
- [15] Lim, S. J., “A Development of Web-based Inventory System using a RFID in Injection Molding Industry,” Korea Safety Management and Science, Vol. 12, No. 3, pp. 177-182, 2010.
- [16] Min, D., “System Development for Tracking a UHF Passive RFID Tag in an Outpatient Clinic,” Society for e-Business Studies, Vol. 16, No. 3, pp. 113-127, 2011.
- [17] Moon, T. S., Choi, S. M., and Kang, S. B., “Design and Implementation of RFID-based U-SCM System for Automobile Part Industry,” Society for e-Business Studies, Vol. 14, No. 4, pp. 267-286, 2009.
- [18] Ting, S. L., Kwok, S. K., Tsang, A. H. C., and Ho, G. T. S., “The study on using passive RFID tags for indoor positioning,” Int. J. Eng. Bus. Manage., Vol. 3, No. 1, pp. 9-15, 2011.
- [19] Xu, N., “Optimality of myopic inventory policy for a single-product, multi-period, stochastic inventory problem with batch ordering and capacity commitment,” IIE Transactions, Vol. 45, No. 8, p. 925-938, Aug 2013.

저 자 소개



조재형

1986년

1992년

1995년

1995년~1999년

1999년~현재

관심분야

(E-mail : jaecho@dankook.ac.kr)

성균관대학교 기계설계학과 (학사)

University of Illinois at Chicago 기계공학 (석사)

University of Illinois at Chicago 기계공학 (박사)

삼성전기자동차부품 연구소 CAD/CAM 팀장

단국대학교 산업공학과 교수

시스템 최적화, IT 융합, 제품개발