

구매종속성이 재고관리에 미치는 영향

†박창규* · 서준용*

Application of Purchase Dependence in Inventory Management

†Changkyu Park* · Junyong Seo*

■ Abstract ■

The purpose of this paper is to illustrate the importance of identifying and considering 'purchase dependence' when purchase of an item is dependent on availability of other items demanded in the same order. This paper is the first study to develop an inventory model for purchase dependent inventory systems. Through simulation experiments, we demonstrate that the developed inventory model incurs less inventory operations cost than other inventory models that ignore purchase dependence. For empirical validation of the developed inventory model, the actual inventory data at the Hyundai Engine Europe Service Center is used. We explain the process of identifying purchase dependencies among items through a data mining technique. The empirical study results in similar results to the simulation experiment, demonstrating that the developed inventory model is applicable to real situations.

Keywords : Purchase Dependence, Inventory Model, Association Rule, Data Mining, Ship Engine Spare Parts

1. 서 론

본 연구는 현대엔진유럽 서비스센터(HEESC;

Hyundai Engine Europe Service Center)의 재고를 관리하면서 경험한 지식에 기반하고 있다. HEESC는 전 세계 대형 선박 엔진 시장의 약 35%를 점유

논문접수일 : 2013년 03월 11일 논문게재확정일 : 2013년 07월 17일

논문수정일 : 1차(2013년 04월 23일), 2차(2013년 07월 15일)

* 울산대학교 경영대학 경영학부

† 교신저자, ckparkuou@ulsan.ac.kr

하고 있는 현대중공업 엔진기계사업부의 판매 대리점들 중에 하나이다. HEESC는 유럽지역에서 팔리는 선박 엔진 및 발전기에 쓰이는 부품의 판매를 촉진할 목적으로 2000년에 네덜란드 로텔담에서 영업을 시작하였다. 현대중공업 엔진기계사업부는 MAN B&W와 Wartsila의 라이선스 하에서 제작한 대형 선박 엔진 부품과 현대중공업의 HiMSEN 엔진 부품 및 Holeby B&W 발전기 부품을 HEESC에 공급한다.

선박 엔진 및 발전기의 부품시장에서 가장 큰 세 기업은 현대중공업, MAN B&W, 그리고 Wartsila이다. 현대중공업은 유럽에 기반을 둔 MAN B&W나 Wartsila과 비교해서 유럽으로부터 멀리 떨어져 있기 때문에 HEESC는 경쟁이 심화되고 있는 최근에 들어 유럽지역에서의 판매영업에 어려움을 겪고 있다. 선주사들은 한 번에 다양한 부품들을 주문하고 짧은 기간 내에 모든 부품들이 함께 납품되도록 판매 대리점에 요구하고 있다. 만약 판매 대리점이 선주사의 요구사항들을 만족시킬 수 없으면, 선주사들은 동일한 라이선스 하에 제작된 부품들 사이에는 품질의 차이가 거의 없기 때문에 그들의 요구사항들을 만족시킬 수 있는 다른 판매 대리점을 찾는다. 따라서 판매 대리점은 주문을 확보하기 위해 각 부품의 재고량을 충분히 보유하고 있거나 짧은 기간 내에 부족한 부품을 보충할 수 있는 능력을 가져야 한다.

현대중공업이 HEESC에게 부족한 부품을 공급하는데 비교적 긴 기간이 소요되기 때문에 HEESC는 각 부품의 재고를 여유 있게 갖고 있기 위해 상당히 많은 자본을 재고유지에 투자하고 있다. 그러나 이러한 상당한 량의 자본투자에도 불구하고, HEESC의 주문 충족률은 재고에 투자한 금액에 비해 기대한 만큼의 결과를 가져오지 못하고 있다. 현대중공업의 HiMSEN 엔진 부품에 대한 주문 충족률은 70% 이상으로 상대적으로 높게 나타나고 있지만, MAN B&W나 Wartsila 및 Holeby B&W의 라이선스 하에 제작된 부품들에 대한 주문 충족률은 50% 이하를 보이고 있다. 본 연구는 낮은 주문 충

족률에 대한 근본적인 원인 파악과 주문 충족률을 향상시킬 수 있는 대안을 개발하기 위해 HEESC의 거래 데이터를 분석하였다.

HEESC의 거래 데이터를 분석하는 과정에서 본 연구는 일부 부품의 재고 부족으로 인하여 상당히 많은 주문이 취소되고 있는 흥미로운 사실을 발견하였다. 다시 말해서, 어떤 주문이 재고가 부족한 부품을 하나라도 포함하고 있으면, 비록 다른 부품들에 대한 재고를 많이 보유하고 있어도 그 주문은 취소되는 경향을 보였다. HEESC의 거래 데이터에서 MAN B&W나 Wartsila 및 Holeby B&W의 라이선스 하에 제작된 부품의 경우에 재고가 부족한 부품으로 인하여 주문이 취소된 비율이 30%가 넘었다. 이러한 거래 데이터 분석에서 본 연구는 선박 엔진 및 발전기의 부품을 주문하는 구매 행태에 어떤 종속성이 존재한다는 것을 알 수 있었다. 많은 주문에서 선주사들은 그들이 요구하는 부품들을 모두 함께 공급받기를 원하기 때문에 주문에 포함된 부품들이 모두 재고로 보유하고 있을 경우에만 거래를 성사시켰다. 이러한 구매 행태에서는 다른 부품들에 대한 재고를 충분히 보유하고 있더라도 어떤 한 부품의 재고가 부족하면 나머지 부품들도 동일하게 재고 부족으로 취급된다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 이러한 형태의 종속성을 ‘구매종속성(purchase dependence)’이라 정의한다. 문헌을 살펴보면, Bala[2]와 Bala et al.[3]이 처음으로 구매종속성을 언급하였다. 이들은 구매종속성을 다음과 같이 설명하였다. 예를 들어, 어떤 상품이 품목 B는 재고로 보유하고 있고 품목 A는 재고가 없는 상황이다. 어떤 고객이 품목 A와 B를 모두 함께 구매하고 싶어서 품목 A에 대한 구매가 가능하면 품목 B를 구매하려고 한다. 품목 B에 대한 구매가 품목 A의 구매 가능성에 의존하므로, 품목 A가 재고로 있지 않으면 이 고객은 품목 B도 구매하지 않을 것이다. 이러한 상황에서 이 고객에게는 품목 B도 재고가 없는 것과 마찬가지이다. 그러므로 품목 A에 대한 재고가 없으면, 많은 경우에 품목 B

에 대한 판매가 이루어지지 않을 것이다. 이런 경우에 구매종속성이 존재한다.

그러나 Bala[2]와 Bala et al.[3]가 설명한 개념은 구매종속성이라기 보다는 Wong et al.[7], Zhang et al.[9, 10], 그리고 Zhang[8]이 고려한 교차판매(cross-selling) 효과의 한 유형이다. 그들은 교차판매 효과를 한 품목의 구매가 다른 품목의 구매와 연관성이 있는 것으로 정의하였다. 다시 말해서, 주요부품의 판매는 관련 하부부품의 추가적인 판매를 유발할 수 있다. 즉, 하부부품은 독립적으로 판매될 수도 있고, 또는 주요부품과 겹쳐서 추가적으로 판매될 수도 있다. 이것은 주요부품의 재고가 부족하여 판매가 이루어지지 못하면, 하부부품의 판매도 감소한다는 것을 의미한다.

본 연구에서 정의한 구매종속성은 이전 문헌에서 사용한 개념과 다르다. 즉, 본 연구의 구매종속성은 주요부품과 하부부품을 구별하지 않는다. 또한, 한 품목의 구매가 다른 품목의 구매에 영향을 주는 종속성의 방향을 규정하지 않는다. 다시 설명해서, 선주사의 주문서에 있는 임의의 한 부품이라도 재고량이 부족하면 그 주문은 취소될 수 있다. 따라서 주문서에 있는 대부분의 부품들이 판매 대리점에 재고로 충분히 쌓여 있어도 그 주문서에 있는 모든 부품들에 대한 판매가 이루어지지 않는다.

구매종속성은 재고보충 정책을 설계하는데 중요한 요소이지만 아직 거의 언급되지 않고 있다. 그리고 비슷한 개념인 것 같지만 구매종속성은 수요종속성(demand dependence)과는 다르다. 수요종속성은 품목에 대한 수요들 간의 상관관계를 다룬 반면, 구매종속성은 고객의 구매 행태를 다루고 있다.

보다 많은 이익과 보다 적은 재고운영비용을 달성하기 위해 재고보충정책을 설계하는데 구매종속성을 활용할 수 있다. 그러나 구매종속성에 대한 추가적인 정보를 고려하면서 최적의 재고보충정책을 찾는다는 것은 매우 복잡한 문제가 된다. 이러한 재고문제의 복잡성을 해결하기 위해서는 최적의 재고관리 운영정책을 결정할 수 있는 믿을 만한 방법론을 개발하여야 한다.

처음으로 본 연구에서 구매종속성을 고려한 재고모형을 설계하려는 시도를 보여준다. 그리고 설계한 재고모형을 활용하여 재고운영비용에 미치는 구매종속성의 영향을 보여줌으로써 본 연구는 구매종속성을 고려하는 것이 얼마나 중요한가를 강조하려 한다. 아직 구매종속성의 개념이 재고관리 분야에서 생소하고 구매종속성을 고려한 재고모형을 설계하는 것이 상당히 복잡한 작업이기 때문에, 본 연구는 각 품목의 재고를 독립적으로 보충하는 연속조사모형(continuous review model)을 고려한다. 그러나 향후 연구에서 구매종속성을 공동보충문제(joint replenishment problem)에 까지 확장하려 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 다음 장은 구매종속성을 고려하여 개발한 재고모형을 소개한다. 그리고 제 3장에서는 새로 개발한 재고모형의 성능을 확인하고 구매종속성의 중요성을 설명하기 위해 모의실험을 수행한다. 다음으로 본 연구에서 개발한 재고모형을 HEESC의 실제 거래 데이터에 적용한 실증적 검증을 제 4장에서 보여준다. 마지막으로 제 5장은 본 연구의 결론을 제시한다.

2. 모형 수립

구매종속성이 존재하는 환경에서 본 연구는 n 개의 품목들을 다루는 재고 시스템을 고려한다. 고객들은 한 번에 여러 개의 품목들을 주문할 수 있다. 고객 주문서에 있는 각 품목에 대한 주문량은 임의의 수이다. 주문서에 있는 모든 품목들은 즉시 모두 함께 납품되어야 한다. 그렇지 않으면, 고객은 주문을 취소하고 다른 대리점을 찾아 떠난다.

재고운영비용에 미치는 구매종속성의 영향을 보여줌으로써 구매종속성의 중요성을 이해시키기 위해서 본 연구는 구매종속성을 활용하는 새로운 재고모형을 개발할 필요가 있다. 그래야 구매종속성을 고려한 재고모형의 결과와 구매종속성을 고려하지 않은 재고모형의 결과를 비교할 수 있다. 이 장에서는 먼저 구매종속성을 고려하지 않은 기존의 재

고모형을 간략히 기술한 후, 구매종속성을 고려한 새로운 재고모형을 설명한다.

2.1 구매종속성을 고려하지 않은 (Q, r) 모형

구매종속성이 존재하지 않는다고 가정하면 Hadley and Whitin[4]가 제시한 판매손실에 대한 근사적 접근방법을 이용하여 n 개의 품목을 다루는 재고시스템을 쉽게 관리할 수 있다. 이 절에서는 Hadley and Whitin[4]가 제시한 근사적 접근방법을 간략히 설명한다. 각 재고 품목은 독립적으로 관리될 수 있기 때문에 첨자를 표시하지 않기로 한다. 다음은 이 절에서 사용하는 기호들을 열거한 것이다.

기호

λ	평균 연간수요(unit/year)
π	손실수익을 포함한 판매손실 비용(\$)
μ	평균 조달기간수요
x	조달기간수요를 나타내는 확률변수 (확률밀도 함수 $h(x)$ 를 따름)
$H(x)$	Complementary cumulative of $h(x)$
$\bar{\eta}(r)$	재고조사주기 당 평균 판매손실 개수
A	주문비용
I	재고유지 비용률
C	품목의 단위당 비용
\hat{T}	재고조사주기 당 부재고의 평균 기간
K	평균 연간 비용
f	부재고가 발생한 기간의 평균 비율에 대한 상한
Q	주문량
r	재 주문점

Hadley and Whitin[4]는 목적함수에서 판매손실 비용이 손실수익을 포함하도록 표현하면 평균 연간 비용의 최소화는 평균 연간이익의 최대화와 동일하다는 것을 보였다. 평균 연간 비용은 주문비용과 재고유지비용 및 판매손실 비용으로 이루어지

며 식 (1)과 같이 표현된다.

$$K = \frac{\lambda}{Q}A + IC \left[\frac{Q}{2} + r - \mu \right] + \left(IC + \frac{\pi\lambda}{Q} \right) \left[\int_r^\infty xh(x)dx - rH(r) \right] \quad (1)$$

일반적으로, 연간 평균 재고조사주기 수는 λ/Q 가 아니고 $\lambda/(Q + \lambda\hat{T})$ 이다. 그러나 실제 재고관리 상황에서 \hat{T} 는 재고조사주기의 전체 기간 중에 매우 적은 부분을 차지하기 때문에 \hat{T} 는 무시할 만큼 적다고 가정하고 연간 평균 재고주기 수로 λ/Q 를 사용한다.

식 (1)의 K 를 최소화하는 Q 와 r 의 값은 다음 식들을 만족시켜야 한다.

$$Q = \sqrt{\frac{2\lambda[A + \pi\bar{\eta}(r)]}{IC}} \quad (2)$$

$$H(r) = \frac{QIC}{\lambda\pi + QIC} \quad (3)$$

여기서

$$\bar{\eta}(r) = \int_r^\infty xh(x)dx - rH(r) \quad (4)$$

Q 와 r 의 값은 Hadley and Whitin[4]가 제시한 반복적 절차를 이용하여 구할 수 있다.

판매손실 비용으로 특정한 수치를 정하기 어려울 때, 다른 대안으로 고객봉사 수준을 이용할 수 있다. 이 절차는 부재고가 발생한 기간의 평균 비율이 주어진 값(f)보다 크지 않다는 제약조건을 만족시키면서 주문비용과 재고유지 비용으로 구성된 평균 연간비용을 최소화하는 것이다. 부재고가 발생한 기간의 평균 비율은 연간 발생한 평균 판매손실 개수를 평균 연간수요로 나누는 것과 동일하다. 즉,

$$\left(\frac{\lambda}{Q} \bar{\eta}(r) \right) \frac{1}{\lambda} = \frac{\bar{\eta}(r)}{Q} \quad (5)$$

따라서 고객봉사 수준을 이용하는 절차는 아래 식 (7)의 제약조건을 만족시키면서 식 (6)을 최소화하

는 것이다.

$$\text{Minimize } K = \frac{\lambda}{Q}A + IC \left[\frac{Q}{2} + r - \mu + \bar{\eta}(r) \right] \quad (6)$$

Subject to

$$\frac{\bar{\eta}(r)}{Q} \leq f \quad (7)$$

2.2 구매종속성을 고려한 (Q, r) 모형

이 절에서는 수익성을 높이고 재고운영비용을 보다 절감하기 위하여 제 2.1절에서 기술한 재고모형이 구매종속성을 반영하도록 (Q, r) 모형을 확장한다. 먼저 판매손실 비용을 이용하는 접근방법을 설명하고, 고객봉사수준을 이용한 접근방법을 설명한다.

추가 기호

- p_k 전체 주문에서 주문유형 k 의 비율
- J_i 품목 i 와 같이 요구된 품목들의 집합 (품목 i 는 제외)
- O_i 품목 i 를 포함하는 주문유형의 집합
- p_{ij} 품목 i 와 j 를 포함하는 주문유형의 비율
- α_i 품목 i 가 한 단위 부재고 일 때, 다른 품목들에 의해 발생하는 추가적인 평균 판매 손실 비용

기본적으로 확장된 (Q, r) 모형도 제 2.1절에서 설명한 재고모형과 동일한 접근방법을 따른다. 즉, 확장된 재고모형의 평균 연간비용도 주문비용과 재고유지비용 및 판매손실 비용으로 구성된다. 하지만 구매종속성이 존재할 때 추가적인 판매손실 비용이 발생하므로 이 판매손실 비용을 포함하도록 식 (1)의 평균 연간비용에 있는 마지막 부분을 수정하여야 한다. 여기서 핵심이슈는 추가적인 판매손실 비용을 어떻게 계산할 것인가이다.

품목 i 에 의한 판매손실 비용은 식 (1)의 평균 연간 비용에 이미 포함되어 있으므로 추가적인 판매손실 비용으로 고려해야 할 것은 품목 i 가 부재

고 일 때 품목 i 때문에 판매되지 못한 다른 품목들의 판매손실 비용이다. 본 연구는 <표 1>에서 보여주는 3개의 품목을 다루는 재고시스템을 예제로 사용하여 어떻게 추가적인 판매손실 비용을 계산하는가를 설명한다. 주문유형은 주문서에서 요구하는 품목들을 보여준다. 예를 들어, 어떤 주문이 품목 1과 품목 2를 요구한다면 그 주문은 <표 1>에서 주문유형 4에 해당한다. 비율 p_k 는 전체 주문에서 주문유형 k 가 차지하는 비율을 나타낸다. <표 1>의 마지막 열은 주문유형 k 에 의한 연간 평균 판매손실 비용을 보여준다.

<표 1> 3개의 품목을 다루는 재고시스템

주문 유형	품목			비율	연간 평균 판매손실 비용
	1	2	3		
1	✓			p_1	$\frac{p_1}{p_1 + p_4} \lambda_1 \pi_1$
2		✓		p_2	$\frac{p_2}{p_2 + p_4 + p_5} \lambda_2 \pi_2$
3			✓	p_3	$\frac{p_3}{p_3 + p_5} \lambda_3 \pi_3$
4	✓	✓		p_4	$\frac{p_1}{p_1 + p_4} \lambda_1 \pi_1 + \frac{p_4}{p_2 + p_4 + p_5} \lambda_2 \pi_2$
5		✓	✓	p_5	$\frac{p_4}{p_2 + p_4 + p_5} \lambda_2 \pi_2 + \frac{p_3}{p_3 + p_5} \lambda_3 \pi_3$

여기서 품목 i 를 포함하는 주문유형들의 연간 평균 판매손실 비용을 합하고 이 총합을 품목 i 의 평균 연간수요 λ_i 로 나누면, 품목 i 가 한 단위 부재고 일 때, 품목 i 의 한 단위 당 평균 판매손실 비용과 다른 품목들에 의한 추가적인 평균 판매손실 비용이 구해진다. 이제 품목 i 의 평균 판매손실 비용을 빼면, 다음과 같이 다른 품목들에 의해 발생한 추가적인 평균 판매손실 비용을 구할 수 있다.

$$\alpha_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in J_i} \sum_{k \in O_j} p_{kj} \lambda_j \pi_j \quad (8)$$

확장된 (Q, r) 모형의 품목 i 에 대한 평균 연간 비용은 식 (9)와 같이 표현된다.

$$K_i = \frac{\lambda_i}{Q_i} A_i + I_i C_i \left[\frac{Q_i}{2} + r_i - \mu_i \right] + \left(I_i C_i + \frac{\pi_i \lambda_i}{Q_i} \right) \bar{\eta}_i(r_i) + \frac{\lambda_i}{Q_i} \alpha_i \bar{\eta}_i(r_i) \quad (9)$$

다음의 식 (10)과 식 (11)을 만족시키는 Q_i 와 r_i 의 값을 찾음으로써 식 (9)의 K_i 를 최소화하는 Q_i 와 r_i 의 값을 찾을 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial Q_i} K_i &= -\frac{\lambda_i}{Q_i^2} A_i + \frac{I_i C_i}{2} - \frac{\lambda_i \pi_i}{Q_i^2} \bar{\eta}_i(r_i) \\ &\quad - \frac{\lambda_i}{Q_i^2} \alpha_i \bar{\eta}_i(r_i) = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial r_i} K_i &= I_i C_i - \left(I_i C_i + \frac{\pi_i \lambda_i}{Q_i} \right) H_i(r_i) \\ &\quad - \frac{\lambda_i}{Q_i} \alpha_i H_i(r_i) = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

식 (10)과 식 (11)을 식 (2)와 식 (3)과 같은 형태로 변형하면 다음과 같다.

$$Q_i = \sqrt{\frac{2\lambda_i [A_i + (\pi_i + \alpha_i) \bar{\eta}_i(r_i)]}{I_i C_i}} \quad (12)$$

$$H_i(r_i) = \frac{Q_i I_i C_i}{\lambda_i (\pi_i + \alpha_i) + Q_i I_i C_i} \quad (13)$$

Hadley and Whitin[4]가 제시한 반복적 절차를 이용하여 Q_i 와 r_i 의 값을 구할 수 있다.

고객봉사 수준을 이용한 접근방법은 각 품목 i 별로 연간 발생한 평균 판매손실 개수를 평균 연간 수요로 나눈 값이 주어진 값 f 보다 크지 않다는 제약 조건을 만족시키면서 주문비용과 재고유지비용으로 구성된 평균 연간 비용을 최소화하는 것이다. 확장된 (Q, r) 모형은 구매종속성을 반영하기 위해 제약조건을 수정한다. 다시 말해서, 품목 i 에 발생한 평균 판매손실 개수가 품목 i 자체에 의해 발생한 평균 판매손실 개수와 다른 품목들에 의해 발생

한 평균 판매손실 개수를 포함하도록 다음과 같이 수정한다.

$$\begin{aligned} &\left(\frac{\lambda_i}{Q_i} \bar{\eta}_i(r_i) + \sum_{j \in J_i} \frac{\bar{\eta}_j(r_j)}{Q_j} \frac{p_{ij}}{\sum_{k \in O_i} p_k} \lambda_i \right) \frac{1}{\lambda_i} \\ &= \frac{\bar{\eta}_i(r_i)}{Q_i} + \sum_{j \in J_i} \frac{\bar{\eta}_j(r_j)}{Q_j} \frac{p_{ij}}{\sum_{k \in O_i} p_k} \end{aligned} \quad (14)$$

이제 고객봉사 수준을 이용한 접근방법은 제약 조건인 식 (16)을 만족시키면서 식 (15)를 최소화하는 것이다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } \sum_i K_i &= \sum_i \frac{\lambda_i}{Q_i} A_i \\ &\quad + \sum_i I_i C_i \left[\frac{Q_i}{2} + r_i - \mu_i + \bar{\eta}_i(r_i) \right] \end{aligned} \quad (15)$$

Subject to

$$\frac{\bar{\eta}_i(r_i)}{Q_i} + \sum_{j \in J_i} \frac{\bar{\eta}_j(r_j)}{Q_j} \frac{p_{ij}}{\sum_{k \in O_i} p_k} \leq f_i \text{ for } \forall i \quad (16)$$

3. 모의실험

이 장은 구매종속성이 존재할 때 구매종속성을 무시한 (Q, r) 모형과 비교하여 구매종속성을 고려한 확장된 (Q, r) 모형이 어떠한 성과를 보이는지 확인하기 위하여 실시한 컴퓨터 모의실험에 관해 기술한다. 실험결과는 재고를 관리하는 정책에 구매종속성을 고려하는 것이 얼마나 중요한가를 보여줄 것이다.

모의실험은 다음과 같이 설계 되었다. 모의실험은 구매종속성이 존재하는 3개의 품목을 다루는 재고시스템을 고려한다. 고객주문은 동질의 포아송 과정을 따르며 시스템에 도착한다. 다시 말해서, 고객주문 사이의 도착간격 시간은 평균이 2일인 지수분포를 따른다. 고객주문은 <표 1>에 나타난 5가지의 주문유형 중에 하나를 따른다. 전체 주문에서 주문유형의 비율은 구매종속성의 정도에 따

라 결정된다.

본 연구에서는 구매종속성의 정도를 연관된 신뢰도로 측정하였다. 연관된 신뢰도는 데이터마이닝 기법의 한 유형인 연관규칙에서 정의하였다(Roiger and Geats[6]). 예를 들어, 품목 A가 품목 B와 연관되는 연관규칙의 신뢰도는 품목 A를 포함하는 모든 고객주문 중에서 품목 A와 품목 B 모두를 포함하는 고객주문의 비율로 정의된다. 즉,

$$\text{신뢰수준} = (\text{품목 A와 품목 B 모두를 포함하는 고객주문 수}) / (\text{품목 A를 포함하는 고객주문 수})$$

여기서 본 연구에서는 종속성의 방향을 규정하지 않으므로 연관된 모든 신뢰수준들의 평균치를 취한다.

본 연구는 실험결과를 일반화하기 위해 몇 가지 신뢰수준을 고려하였다. <표 2>는 본 연구의 모의 실험에서 설정한 신뢰 수준에 상응하는 주문유형의 비율을 보여준다. 이에 대해 자세히 살펴보면, <표 1>로부터 품목 1과 품목 2가 구매종속 되어 있고, 품목 2와 품목 3이 구매종속 되어 있음을 알 수 있다. 품목 1과 품목 2에 대한 신뢰 수준을 살펴보면, 이에 해당하는 신뢰수준은 품목 1이 품목 2와 연관되는 신뢰도와 품목 2가 품목 1과 연관되는 신뢰도의 평균이다. 즉,

$$\text{품목 1과 품목 2에 대한 신뢰수준} = \frac{1}{2} \left(\frac{p_4}{p_1 + p_4} + \frac{p_4}{p_2 + p_4 + p_5} \right)$$

같은 이치로

$$\text{품목 2과 품목 3에 대한 신뢰수준} = \frac{1}{2} \left(\frac{p_5}{p_2 + p_4 + p_5} + \frac{p_5}{p_3 + p_5} \right)$$

고객주문에서 요구하는 품목들의 수량은 균등분

포를 사용하여 무작위로 결정하였다. 즉, 품목 1은 UNIF(1, 10)를 따르고, 품목 2와 품목 3은 UNIF(1, 5)를 따른다. 각 신뢰 수준에 대해 10개의 데이터 세트를 생성하였다. <표 3>은 신뢰 수준에 따른 각 품목의 평균 연간수요를 보여준다. 각 품목의 조달기간은 10일로 설정하였다. 재고시스템에 대한 모의실험은 1년 6개월 동안 실시하였고 필요한 통계치는 시스템이 안정성을 보이는 6개월 후의 1년 동안의 결과로부터 구하였다.

<표 2> 신뢰수준에 상응하는 주문유형의 비율

신뢰 수준	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
55%	20	0	20	30	30
60%	15	0	15	35	35
65%	10	0	10	40	40
80%	5	0	5	45	45

<표 3> 신뢰수준에 따른 평균 연간수요

신뢰 수준	λ_1	λ_2	λ_3
55%	512	328	278
60%	473	357	276
65%	512	424	272
80%	488	479	273

구매종속성이 존재하기 때문에 고객이 요구한 모든 품목들은 재고로부터 즉시 모두 함께 공급되어야 한다. 그렇지 않으면 판매손실이 발생한다. 본 연구는 판매손실 비용을 이용하는 경우와 고객 봉사수준을 이용하는 경우로 나누어 모의실험을 실시하였다.

3.1 판매손실 비용을 이용한 모의실험

본 연구는 먼저 각 신뢰수준에 대해서 구매종속성을 무시한 (Q, r) 모형을 사용하여 주문량 Q_i 와 재주문점 r_i 를 계산하였다. 이 과정에서 Hadley and Whitin[4]가 제안한 반복적 과정(식 (2)와 식 (3)을 활용)을 통해 Q_i 와 r_i 의 값을 구하였다. (Q, r) 모형에 쓰인 매개변수의 값들은 다음과 같다.

〈표 4〉 판매손실 비용을 이용한 모의실험의 결과

신뢰 수준	구매 종속성	재고정책			주문비용	재고유지 비용	판매손실 비용	평균 총비용	p-value (쌍체비교)
		품목 1	품목 2	품목 3					
55%	무시	Q	87	60	48	1460.00	3645.47	681.50	5786.97
		r	28	18	14				
55%	고려	Q	82	58	47	1420.00	3747.51	81.50	5249.01
		r	33	20	16				
60%	무시	Q	79	58	43	1660.00	3562.47	1178.00	6400.47
		r	30	21	16				
60%	고려	Q	88	63	50	1540.00	4058.47	407.50	6005.97
		r	32	24	17				
65%	무시	Q	84	62	47	1570.00	3704.28	942.00	6216.28
		r	29	21	16				
65%	고려	Q	87	73	45	1400.00	4103.11	301.00	5804.11
		r	32	27	17				
70%	무시	Q	82	66	49	1450.00	3775.59	1095.50	6231.09
		r	26	25	14				
70%	고려	Q	87	73	48	1460.00	4167.79	472.50	6100.29
		r	30	28	16				

$$A_1 = A_2 = A_3 = 100$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = 0.2$$

$$C_1 = 100, C_2 = 150, C_3 = 200$$

$$\pi_1 = 40, \pi_2 = 55, \pi_3 = 70$$

각 신뢰 수준 당 10개의 데이터 세트에 대해 위에서 계산한 Q_i 와 r_i 의 값을 사용하는 재고시스템에 대한 모의실험을 실시하였다. 재고시스템은 구매종속성이 존재하는 환경에서 운영된다. 〈표 4〉는 모의실험의 결과를 보여준다.

〈표 5〉 신뢰 수준별 추가적인 평균판매손실 비용

신뢰 수준	α_1	α_2	α_3
55%	27.62	83.06	43.45
60%	30.73	85.07	45.53
65%	32.79	84.59	52.81
80%	36.99	87.54	58.31

위의 과정을 구매종속성을 고려한 확장된 (Q, r) 모형을 사용하여 다시 반복하였다. 〈표 5〉는 품목 i 가 한 단위 부재고 일 때 다른 품목에 의해 발생

되는 추가적인 평균판매손실 비용 α_i 값을 보여준다. 이번에는 Q_i 와 r_i 를 계산하는 반복적 과정에 식 (12)와 식 (13)이 사용된다. 모의실험의 결과는 〈표 4〉에 이전의 결과와 함께 보여준다.

3.2 고객봉사수준을 이용한 모의실험

구매종속성을 고려하지 않은 (Q, r) 모형의 경우, 식 (7)의 제약조건을 만족시키면서 목적함수 식 (6)을 최소화하는 Q 와 r 의 값을 찾는 것은 그다지 어렵지 않고, 마이크로소프트 엑셀을 이용할 수 있다. 그 과정은 다음과 같다. 첫째, 식 (4)를 이용하여 각 재주문점 r 에 대한 주기 당 평균 판매손실 개수를 계산한다. 둘째, 각 재주문점 r 에 대해 제약 조건 식 (7)을 만족시키면서 목적함수 식 (6)을 최소화하는 주문량 Q 를 찾고, 이에 대응하는 K 값 찾는다. 마지막으로, K 값을 최소로 하는 주문량 Q 와 재주문점 r 을 선택한다.

앞의 제 3.1절과 유사하게 각 신뢰 수준 당 10개의 데이터 세트에 대해서 $f = 0.05$ 와 $f = 0.10$ 로 구해진 Q 와 r 을 사용하여 모의실험을 실시하였다.

재고시스템은 구매종속성이 존재하는 환경에서 운영된다. 모의실험의 결과는 <표 6>과 <표 7>에서 보여준다.

구매종속성을 고려한 확장된 (Q, r) 모형의 경

우, 제약조건 식 (16)을 만족시키면서 목적함수 식 (15)를 최소화하는 Q_i 와 r_i 의 값을 찾기는 상당히 어렵다. 이렇게 어려운 이유는 각 품목의 재고보충정책 간에 상호작용이 존재하기 때문이다. 여기서

<표 6> 고객봉사수준을 이용한 모의실험의 결과($f = 0.05$)

신뢰 수준	구매 종속성	재고정책			주문비용+ 재고유지비용	판매손실 비용	평균 총비용	p-value (쌍체비교)	미충족률($\leq f$)				
		품목 1	품목 2	품목 3					품목 1	품목 2	품목 3	주문	
55%	무시	Q	82	47	39	4351.59	2688.00	7039.59	0.0118	0.068	0.063	0.043	0.053
	r	14	10	11									
55%	고려	Q	75	47	47	4525.31	1629.00	6154.31	0.0118	0.036	0.032	0.036	0.031
	r	20	16	9									
60%	무시	Q	75	49	47	4354.74	3529.50	7884.24	0.0020	0.079	0.079	0.069	0.064
	r	16	13	9									
60%	고려	Q	77	57	40	4642.97	2020.50	6663.47	0.0020	0.050	0.045	0.032	0.038
	r	21	16	13									
65%	무시	Q	80	65	37	4254.17	4482.00	8736.17	0.0005	0.082	0.093	0.088	0.080
	r	14	11	9									
65%	고려	Q	76	58	41	4721.57	2593.50	7315.07	0.0005	0.050	0.044	0.050	0.047
	r	18	22	9									
70%	무시	Q	73	59	40	4436.34	3720.00	8156.34	0.0001	0.083	0.066	0.067	0.065
	r	14	14	9									
70%	고려	Q	74	57	40	5357.14	1135.50	6492.64	0.0001	0.011	0.014	0.041	0.022
	r	31	33	9									

<표 7> 고객봉사수준을 이용한 모의실험의 결과($f = 0.10$)

신뢰 수준	구매 종속성	재고정책			주문비용+ 재고유지비용	판매손실 비용	평균 총비용	p-value (쌍체비교)	미충족률($\leq f$)				
		품목 1	품목 2	품목 3					품목 1	품목 2	품목 3	주문	
55%	무시	Q	72	49	37	3921.99	6279.00	10200.99	0.0171	0.149	0.156	0.101	0.115
	r	8	5	7									
55%	고려	Q	74	50	38	4267.42	3237.00	7504.42	0.0171	0.070	0.070	0.068	0.062
	r	14	11	7									
60%	무시	Q	73	59	38	3951.66	6925.50	10877.16	0.0000	0.144	0.173	0.128	0.126
	r	9	6	6									
60%	고려	Q	76	56	40	4295.47	3600.00	7895.47	0.0000	0.072	0.088	0.071	0.066
	r	18	12	9									
65%	무시	Q	74	55	43	3893.25	8568.00	12461.25	0.0003	0.159	0.181	0.163	0.162
	r	8	7	4									
65%	고려	Q	75	55	42	4395.98	4191.00	8586.98	0.0003	0.090	0.075	0.084	0.077
	r	12	17	6									
70%	무시	Q	72	59	37	3946.49	8488.50	12434.99	0.0000	0.185	0.155	0.149	0.154
	r	7	8	5									
70%	고려	Q	71	66	49	4350.70	4473.00	8823.70	0.0000	0.100	0.079	0.076	0.080
	r	13	15	6									

본 연구는 최적화 기법으로 유전알고리즘을 고려하였다.

본 연구는 유전알고리즘을 다음과 같이 설계하였다. 우선, Q_i 와 r_i 의 집합인 재고보충 정책으로 염색체(chromosome)를 설계하고, 이진 문자열로 코드화한다. 각 세대 당 모집단의 수는 30으로 설정하고, 초기 모집단은 염색체의 각 유전자에 이진 정수를 무작위로 할당하여 생성한다. 교차변이는 한 번에 두 염색체에 작용하여 그 유전자들을 재결합시켜 자식 염색체를 생성한다. 본 연구에서는 교차변이로 one-cut-point 방식을 사용하였다. 돌연변이는 사용자가 지정한 확률인 돌연변이율(mutation rate)로 유전자의 값을 바꿈으로써 염색체에 무작위의 변화를 유발한다. 선택절차에서 본 연구는 부모집단과 자식집단 모두를 포함하는 확장된 표본공간을 고려하였다. 확대된 표본공간에서 선택이 수행될 때, 부모와 자식은 동일한 생존율로 경쟁한다. 염색체의 적합도에 따라 모든 염색체의 순위를 정하는 순위기반 선택방법을 적용하여 다음 세대 모집단 후보를 정하고, 그 중 가장 좋은 값을 갖는 후보들을 선택한다.

이 절에서 적용한 유전알고리즘은 다음과 같은 특성을 갖는다.

- 교차변이율(= 자식집단의 크기/모집단의 크기) : 0.3
- 돌연변이율 : 0.1
- 모집단의 크기 : 30
- 세대수 : 1000

위의 모의실험 과정을 유전 알고리즘에 의해 찾은 Q_i 와 r_i 의 값을 사용하여 다시 반복하였다. <표 6>과 <표 7>이 모의실험의 결과를 보여준다.

3.3 실험 결과

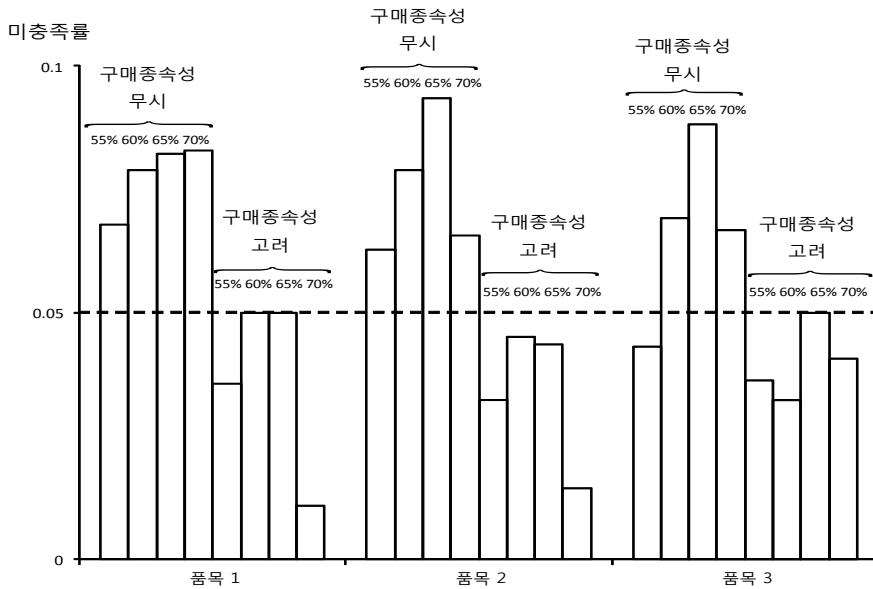
판매손실 비용을 이용한 경우에 대해서 <표 4>는 구매종속성을 무시한 (Q, r) 모형과 구매종속성

을 고려한 확장된 (Q, r) 모형의 결과를 비교하고 있다. <표 4>에 있는 재고운영비용은 각 신뢰수준 당 10개의 데이터 세트에 대한 평균값이다(<표 6>과 <표 7>도 마찬가지임).

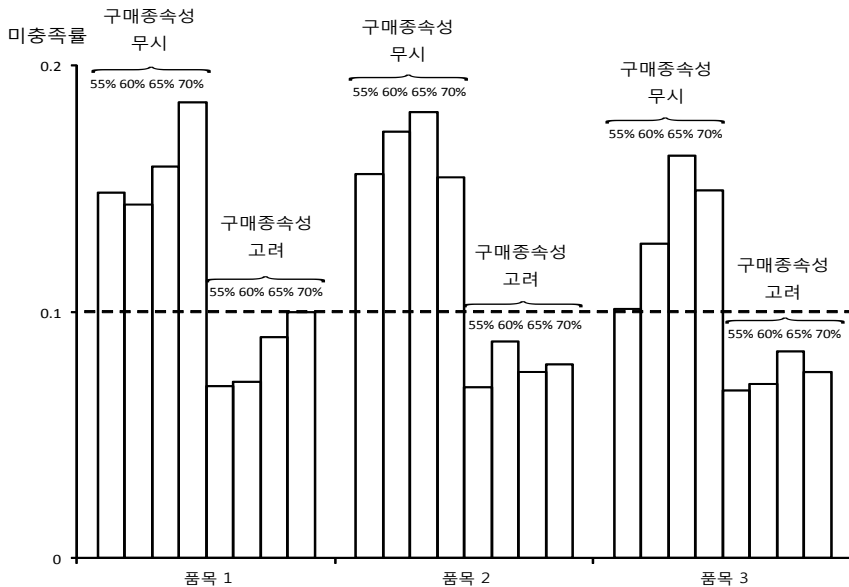
<표 4>로부터 확장된 (Q, r) 모형이 구매종속성을 무시한 (Q, r) 모형보다 재고운영비용(즉, 평균 총비용)을 보다 적게 발생시킨다는 것을 알 수 있다. <표 4>의 마지막 열은 두 모형에 의한 평균 총비용에 대한 쌍체비교(t-검정)의 p-value를 제시하고 있다. 일반적으로 확장된 (Q, r) 모형은 재고를 좀더 유지함으로써 판매손실을 감소시키고, 결과적으로 평균 총 비용을 감소시킨다. 이러한 실험 결과는 재고운영에서 구매종속성을 고려하는 것이 중요하다라는 것을 입증한다.

한편, <표 6>과 <표 7>은 고객봉사 수준을 이용한 경우에 대해서 구매종속성을 무시한 (Q, r) 모형과 구매종속성을 고려한 확장된 (Q, r) 모형을 비교하고 있다. <그림 1>과 <그림 2>은 $f = 0.05$ 와 $f = 0.10$ 에 대한 품목별 미충족률의 결과를 시각적으로 비교하고 있다. <그림 1>과 <그림 2>로부터 확장된 (Q, r) 모형이 구매종속성을 무시한 (Q, r) 모형보다 더 나은 고객봉사 수준을 만족시킨다는 것을 알 수 있다. 또한, <표 6>과 <표 7>은 확장된 (Q, r) 모형이 구매종속성을 무시한 (Q, r) 모형보다 재고운영 비용을 보다 적게 발생시킴을 보여준다. 두 모형에 의한 평균 총 비용에 대한 쌍체비교(t-검정)의 p-value를 <표 6>과 <표 7>에 제시하였다.

다음으로 f 값의 변화에 따른 주문비용, 재고유지비용 및 판매손실 비용의 변화를 알아보기 위해 실시한 모의실험의 결과를 <표 8>에 제시하였다. <표 8>은 각 신뢰구간별로 f 값이 0.05, 0.10 및 0.15일 때, 비용의 변화를 보여주고 있다. 일반적으로 미충족률이 증가함에 따라 (즉, 고객봉사 수준이 낮아짐에 따라) 주문 및 재고유지 비용은 감소하는 반면, 부족한 재고로 인한 판매손실 비용은 증가함을 알 수 있다. 따라서 평균 총 비용은 증가하는 경향을 보인다.



<그림 1> $f = 0.05$ 일 때, 품목별 미충족률의 비교



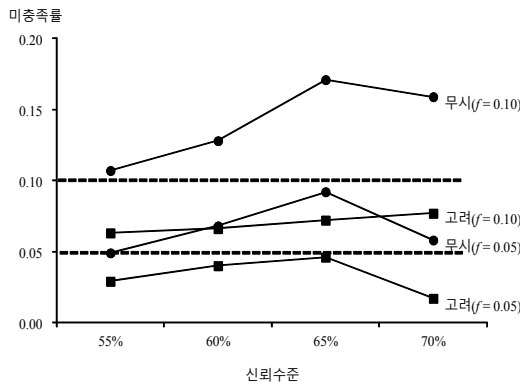
<그림 2> $f = 0.10$ 일 때, 품목별 미충족률의 비교

<표 6>과 <표 7>에서 마지막 열은 주문 미충족율을 보여준다. 이를 <그림 3>에서 그래프로 시각화 하였고, 이로부터 확장된 (Q, r) 모형이 구매종속성을 무시한 (Q, r) 모형보다 더 낮은 주문 미충

족율을 발생시킨다는 것을 알 수 있다. 고객봉사수준을 이용한 실험결과 역시 재고운영에서 구매종속성을 고려하는 것이 중요하다는 것을 뒷받침해 준다.

〈표 8〉 f 값의 변화에 따른 주문비용, 재고유지비용 및 판매손실 비용의 변화

신뢰 수준	f	주문비용+ 재고유지비용	판매손실 비용	평균 총 비용
55%	0.05	4525.31	1629.00	6154.31
	0.10	4267.42	3237.00	7504.42
	0.15	3940.62	5457.00	9397.62
60%	0.05	4642.97	2020.50	6663.47
	0.10	4295.47	3600.00	7895.47
	0.15	4055.58	5077.50	9133.08
65%	0.05	4721.57	2593.50	7315.07
	0.10	4395.98	4191.00	8586.98
	0.15	4101.11	5710.50	9811.61
70%	0.05	5357.14	1135.50	6492.64
	0.10	4350.70	4473.00	8823.70
	0.15	4090.40	7003.50	11093.90



〈그림 3〉 주문 미충족율의 비교

결론적으로 구매종속성이 존재할 때 재고운영관리는 구매종속성을 고려하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다.

4. HEESC 거래 데이터를 이용한 실증적 검증

본 연구는 확장된 재고모형의 타당성을 검증하기 위해 HEESC의 거래 데이터를 사용하였다. 거래 데이터는 고객요구사항, 재고기록, 그리고 매출 거래사항을 포함하고 있다. 본 연구를 통해 재고운영에서 구매종속성을 고려하는 것이 정말로 필요

한 것인지, 구매종속성이 재고관리에 어떻게 영향을 미치는지, 그리고 재고모형이 구매종속성을 얼마나 잘 고려할 수 있는지 등에 관한 통찰력을 얻을 수 있었다.

재고관리에서 구매종속성의 존재와 중요성은 Bala[2]와 Bala et al.[3]이 이미 언급하였다. 또한, Lee and Seo[5]은 데이터마이닝 기법을 이용하여 품목들 간의 연관성을 분석하는 사례연구를 수행하였다. 이 장에서는 구매종속성을 고려한 확장된 (Q, r) 모형이 실제 상황에서 얼마나 잘 작동 하는가와 HEESC가 확장된 재고모형을 사용함으로써 어떤 혜택을 기대할 수 있는가에 초점을 맞춘다.

본 연구는 많은 부품들 가운데 심각한 경쟁압력을 받고 있고 연간 판매이익의 절반을 차지하는 MAN B&W의 라이선스 하에서 제작되는 대형엔진의 부품을 연구대상으로 선택하였다. HEESC는 이 그룹에 많은 수의 부품(3,500 부품 이상)을 관리하고 있다. HEESC는 금액비중(dollar volume)에 따라 부품을 5등급으로 분류하고 있다. 금액비중은 중요성을 측정하는 잣대로, 많은 양이 거래되는 낮은 가격의 부품이 적은 양이 거래되는 높은 가격의 부품 보다 더 중요할 수 있다. 관리되는 부품의 수가 너무 많기 때문에 본 연구는 5등급 중에서 가장 중요한 등급인 등급 A에 초점을 맞추었다. 등급 A에는 약 450개의 부품들이 포함되어 있다.

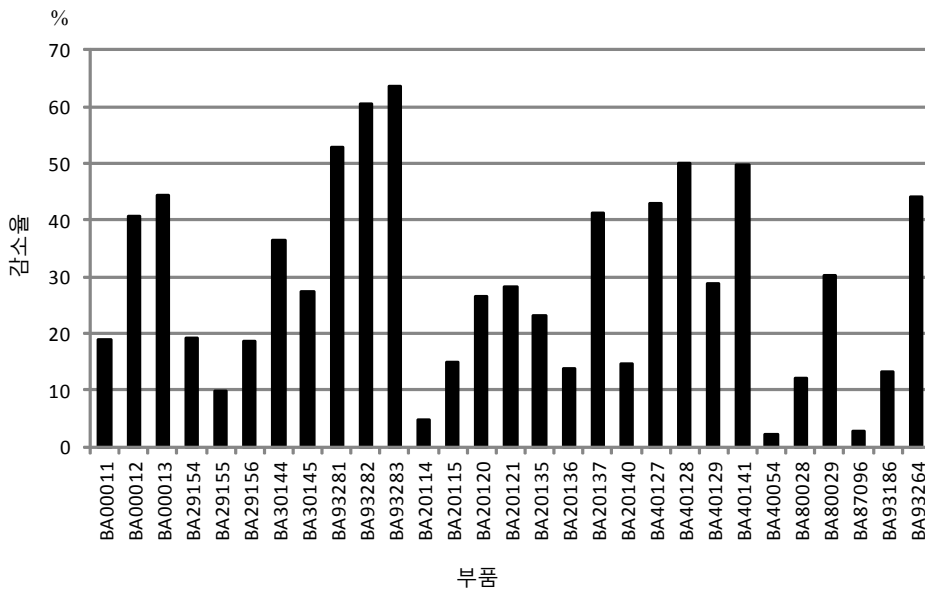
구매종속성을 식별해 내기 위해서 본 연구는 Bala[2]와 Bala et al.[3]가 소매점에서 수행한 것과 같이 연관규칙을 활용하였다. 연관규칙은 품목들 간의 집단을 다른 집단과 관련시킨다. 연관규칙은 운영시스템으로부터 반복 가능성이 높고 관심 있는 형태의 거래를 찾기 위해서 연관 또는 연계 분석을 적용한다. 본 연구는 등급 A의 부품을 포함하는 3,490건의 거래 데이터를 수집하였다. 연관규칙은 거래 데이터에서 80을 거래횟수의 임계값으로 하고, 연관신뢰도가 70% 이상인 데이터를 대상으로 찾아냈다. 본 연구에서는 연관규칙을 추출하는데 너무 많은 품목(약 450)이 사용되었기 때문에 임계값으로 지지율 대신 거래횟수를 사용하였다. 그 결

과, 주어진 임계값에서 의미 있는 79개의 연관규칙을 발견하였다. 본 연구는 사례 수행을 좀 더 쉽게 하기 위해서 하나의 선행 품목과 하나의 결과 품목을 갖는 일대일 규칙으로 범위를 좀 더 좁혔다. 따라서 47개의 연관규칙으로 좁혔다.

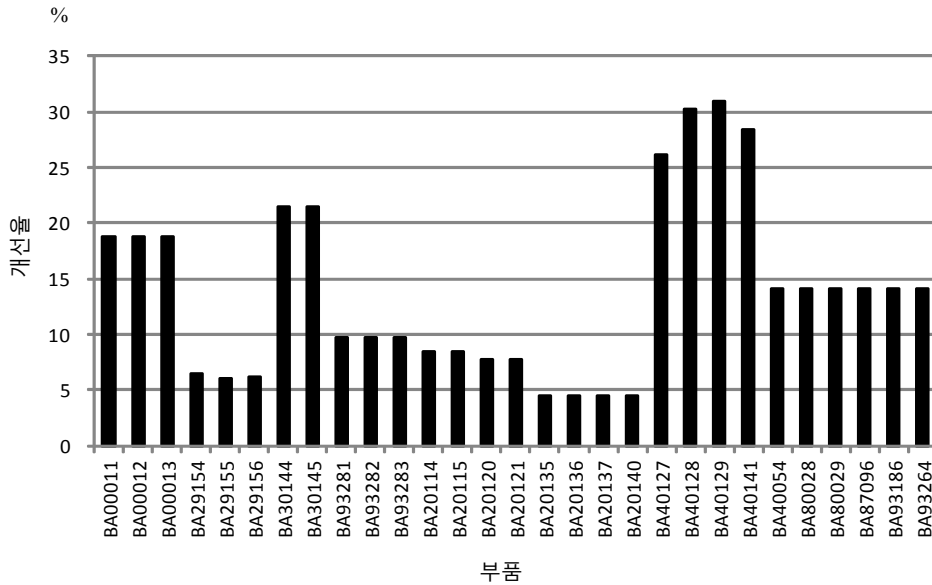
47개의 연관규칙을 갖고, 연관규칙을 연결시키면서 구매종속성을 찾아냈다. 예를 들어, 품목 A가 품목 B와 연관되어 있고, 품목 B가 품목 C와 연관되어 있고, 품목 B가 품목 D와 연관되어 있으면, 본 연구는 품목들 A, B, C, 그리고 D사이에 구매종속성이 존재하는 것으로 취급하였다. 본 연구는 37개의 부품들을 포함하는 12개의 구매종속성 그룹을 찾았다. 그러나 여기서 연간 매출이익이 다른 구매종속성의 그룹에 비해 현저하게 적은 두 부품으로 구성된 4쌍의 구매종속성 그룹을 연구대상에서 제외시켰다. 최종적으로, 본 연구는 29개 부품들을 포함하는 8개의 구매종속성 그룹을 선택하였다. 선택된 구매종속성의 그룹은 (BA30144, BA30145), (BA00011, BA00012, BA00013), (BA29154, BA29155, BA29156), (BA93281, BA93282, BA93283), (BA20

114, BA20115, BA20120, BA20121), (BA20135, BA20136, BA20137, BA20140), (BA40127, BA40128, BA40129, BA40141), 그리고 (BA40054, BA80028, BA80029, BA87096, BA93186, BA93264)이다.

본 연구는 확장된 (Q, r) 모형을 8개의 구매종속성 그룹에 적용하였고, 거래 데이터에 기반하여 Q_i 와 r_i 를 계산하였다. 그리고 확장된 (Q, r) 모형으로 구한 Q_i 와 r_i 를 사용하는 재고시스템에 대한 모의실험을 실제 거래 데이터를 이용하여 수행하였다. 다시 말해서 실제로 발생한 주문을 모의실험의 입력으로 사용하였다. 주문의 총수는 1117건이었고, 리드타임은 부품에 따라 조금씩 다르며 평균적으로 15일에서 45일 정도 소요되었다. 다음으로 모의실험의 결과를 실제 현장의 매출결과와 비교 분석하였다. <그림 4>는 연구대상으로 고려한 부품에 소요되는 재고유지비용을 얼마나 절감시킬 수 있는가를 보여준다. 재고유지 비용의 절감 가능한 평균치는 28.78%로 나타났다. <그림 5>는 감소된 재고유지비용으로 주문 충족율을 얼마나 향상시킬 수 있는가를 보여준다. 주문 충족율의 개선 가능한



<그림 4> 재고유지비용의 절감



〈그림 5〉 주문 총주물의 개선

평균치는 13.71%로 나타났다.

HEESC에 적용한 사례로부터 확장된 (Q, r) 모형을 실제 현장에 적용 가능함을 알 수 있다. 확장된 재고모형은 재고유지 비용을 절감시키고, 또한 절감된 재고유지 비용으로도 주문 총주물을 개선시키는 효과를 유발할 것으로 기대된다.

5. 결 론

본 연구는 현대중공업 엔진기계사업부의 판매 대리점인 HEESC의 재고운영 실태를 분석하는 과정에서 확인된 구매종속성의 존재를 기술하였다. 비록 몇몇 연구가 구매종속성에 대해 언급했지만, 아직까지 구매종속성을 고려한 재고모형은 개발되지 않았다. 본 연구가 구매종속성의 개념을 반영한 재고모형을 설계하려는 첫 시도이다.

재고운영에서 구매종속성을 다루기 위해서 본 연구는 구매종속성을 고려한 확장된 (Q, r) 모형을 개발하였다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 확장된 (Q, r) 모형과 구매종속성을 무시한 (Q, r) 모형의 성과를 비교하였다. 실험결과는 확장된 (Q, r) 모형

이 구매종속성을 무시한 (Q, r) 모형보다 재고운영 비용을 보다 적게 발생시키고, 더 나은 고객봉사수준을 만족시키는 것을 입증하였다. 결론적으로 실험결과는 재고운영에서 구매종속성을 고려하는 것이 중요하다는 것을 뒷받침해 주었다.

또한, 본 연구는 HEESC에서 재고운영을 개선시키려는 노력으로 수행한 실증연구를 기술하였다. 이 과정에서 데이터마이닝 기법을 이용하여 부품들 사이의 구매종속성을 파악하는 과정을 설명하였다. 실증연구는 모의실험과 유사한 결과를 보였다.

구매종속성을 고려한 재고모형을 설계하는 것은 복잡한 작업이고, 본 연구가 첫 시도이기 때문에 현 연구에서는 각 품목을 독립적으로 보충하는 연속조사 모형을 고려하였다. 따라서 향후 연구로서 구매종속성의 개념을 공동보충문제에 적용하는 시도가 요구된다. 또한 유석천 등[1]이 연구한 분야에 적용도 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 유석천, 박찬규, 정욱, “구매가격 변동시 위험

- 을 고려한 재고모형,” 『경영과학회지』, 제35권, 제4호(2010), pp.33-53.
- [2] Bala, P.K., "Identification of purchase dependencies in retail sale," *International Journal of Strategic Management*, Vol.8, No.2 (2008), pp.75-83.
- [3] Bala, P.K., S. Sural, and R.N. Banerjee, "Association rule for purchase dependence in multi-item inventory," *Production Planning and Control*, Vol.21, No.3(2010), pp.274-285.
- [4] Hadly, G. and T.M. Whitin, *Analysis of Inventory Systems*, Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1963.
- [5] Lee, K.Y. and J. Seo, "A case study on the inventory management using the data mining," *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol.30, No.3 (2007), pp.20-27.
- [6] Roiger, R.J. and M.W. Geatz, *Data Mining : A Tutorial-Based Primer*, New York, N. Y. : Addison Wesley, 2003.
- [7] Wong, R.C., A.W. Fu, and K. Wang, "Data mining for inventory item selection with cross-selling considerations," *Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol.11, No.1(2005), pp.81-112.
- [8] Zhang, R., "An extension of partial backordering EOQ with correlated demand caused by cross-selling considering multiple minor items," *European Journal of Operational Research*, Vol.220(2012), pp.876-881.
- [9] Zhang, R., I. Kaku, and Y. Xiao, "Deterministic EOQ with partial backordering and correlated demand caused by cross-selling," *European Journal of Operational Research*, Vol.210(2011), pp.537-551.
- [10] Zhang, R., I. Kaku, and Y. Xiao, "Model and heuristic algorithm of the joint replenishment problem with complete backordering and correlated demand," *International Journal of Production Economics*, Vol.139, No.1 (2012), pp.33-41.