리퍼비싱을 고려한 불완전 품질 재고모형

유승호(단독저자)
선문대학교 경영학과 부교수
(shy1228@sunmoon.ac.kr)

본 연구는 제조 프로세스와 리퍼비싱 프로세스를 동시에 고려한 불완전 품질 재고모형을 제시한다. 제조 프로세스는 정상품을 생산하고 생산된 정상품을 일차시장 고객들에게 판매하는데, 제조 프로세스는 불완전하여 현실의 많은 기업들에서와 마찬가지로 일정 비율의 불량품을 산출한다. 불량품의 생산은 이항 확률 분포를 따르는 것으로 가정한다. 리퍼비싱 프로세스는 산출된 불량품의 품질 회복을 책임지며, 리퍼비싱을 통해 품질이 회복된 리퍼브제품을 이차시장의 고객들에게 판매한다. 이차시장 고객들의 리퍼브제품에 대한 구매 행동은 현실의 여러 아울렛, 리퍼브제품 전문 온라인 매장 등에서의 고객 행동과 마찬가지로 정상품 대비 리퍼브제품의 가격이 상대적으로 얼마나 저렴한가에 대한 판단으로 결정되며, 리퍼비싱 대상으로 선택되지 못한 불량품들은 폐기된다. 본 연구는 제조 및 리퍼비싱 프로세스를 통합적으로 고려한 재고 모형을 통해 기업 이익을 최대화하는 생산 로트크기 및 리퍼비싱 로트크기, 그리고 리퍼브제품의 판매 가격의 최적해를 동시에 도출하며, 리퍼비싱이 기업 이익 개선에 효과적으로 도움이 될 수 있는 불량품 처리 방법임을 밝힌다. 또한 최적해의 민감도 분석을 통해 제조와 리퍼비싱 프로세스를 동시에 효과적으로 운영할 수 있는 방안은 무엇인지 구체적인 가이드라인을 제시한다. 본 연구는 리퍼비싱이 기업 이익에 실질적으로 얼마나 도움이 되는지, 또 기업 환경 변화에 따라 리퍼비싱이 어떠한 경우에 더욱 활성화되어야 하는지 밝혀 현실의 많은 기업들에게 도움이 되는 시사점을 제시하고자 한다.

주제어: 재고 관리, 품질 관리, 리퍼비싱, 폐쇄형 공급망, 공급망 관리

Ⅰ. 서론

많은 기업들의 끊임없는 품질 개선 노력에도 불구하고 제조 프로세스는 여전히 불완전하여 많은 불량품이 산출되고 있으며, 외적으로는 소비자의 품질 불만족으로 인한 매출 감소, 내적으로는 생산 및 재고 계획의 수정, 불량품 관리 및 처리를 위한 추가적 비용 발생 등 많은 문제들을 야기하고 있다. 최근 휴대폰 배터리 문제, 차량의 에어백 품질 문제로 인한 리콜 등을 살펴볼 때 품질 불량 문제는 무시할 수 있는 과거의 일이 아니라 여전히 전 세계적으로 현재 진행 중인 문제이다. 고객 취향의 빠른 변화, 기술의 급진적 발전, 제품 라이프사이클(product lifecycle)의 단축 등으로 기업들의 신제품 출시 속도 경쟁은 날이 갈수록 격화되고 있으며, 신제품 생산을 위한 새로운 기술 및 제조 프로세스도 끊임없이 도입되고 있다. 이렇게 아직 제대로 검증되지 않은 새로운 기술 및 프로세스의 도입은 현대에서도 지속적으로 품질 문제를 일으키는 주요 원인 중 하나일 것으로 판단된다.

본 연구는 기업 프로세스의 효과적, 효율적 운영을 위해 가장 중요한 요소 중 하나인 재고 관리의 문제에 제품의 품질 불량 문제를 통합적으로 고려한

논문투고일: 2016. 9. 29 논문수정일: 2016. 10. 27 게재확정일: 2016. 11. 1

www.kci.go.kr

연구로 품질 관련 많은 연구 주제 중 불량품의 처리에 집중하도록 한다. 불량품의 처리에 있어 중요하게 고려되어야 하는 점 중 하나는 불량품들이 일부 잘못된 부분을 수정한다면 정상품과 동일한 수준의 기능을 되찾을 수 있는 경우가 많다는 것이다(Guide 등, 2008). 그렇기에 기업 이익에 도움이 될 수 있는 불량품 처리 방법을 찾아야 하는데, 이러한 관점에서 본 연구는 재작업, 부품으로의 재활용, 폐기 등 다양한 불량품 처리 방법 중 최근 현실에서 자주 활용되고 있는 불량품의 리퍼비싱(refurbishment 또는 reworking)에 집중하여 재고 및 리퍼비싱 정책의 통합적 연구를 진행하고자 한다.

리퍼비싱은 제조 프로세스에서 마지막 단계의 완성품 품질 검사를 통과하지 못한 불량품, 또는 품질 문제로 반품된 제품 등을 시험, 검사, 품질 수정을 거쳐 원래의 제품에 가까운 기능 상태로 되돌리는 프로세스를 말한다(Vorasayan과 Ryan, 2006). 이렇게 리퍼비싱 프로세스를 거친 리퍼브제품(refurbished item)은 팩토리 세컨드(factory second), 팩토리 리젝트(factory reject) 등으로도 불리며, 주로 팩토리 아울렛(factory outlet), 별도의 인터넷 리퍼브 매장 등의 이차시장을 통해 판매된다. 최근 리퍼비싱은 전자, 의류, 가구, 생필품 등 다양한 산업 분야에서 자주 활용되고 있는데, 기업은 폐기에 의한 손실을 줄이고, 고객은 보다 저렴한 가격으로 정상품과 유사한 제품을 구매할 수 있으며, 제품의 라이프사이클을 늘려 자연환경에도 도움이 되는 등 리퍼비싱이 이해관계자 모두에게 도움이 되는 불량품 처리 방법이기 때문이다(Ovchinnikov, 2011). 애플(Apple), HP, 시스코(Cisco) 등 현실의 많은 기업들에서 리퍼비싱을 통해 품질이 회복된 제품이 활발히 판매되는 경우를 쉽게 찾아볼 수 있다.[1] 하지만 리퍼브제품의 이차시장에의 무분별한 유통은 정상품의 일차시장 판매에 악영향을 미칠 수도 있는데, 리퍼비싱의 대상이 정상품으로는 판매할 수 없는 불량품이지만 심각한 기능 이상을 가진 제품이 아니라 일부 외관 수정, 부품 교체 등으로 정상품에 가깝게 그 기능의 회복이 가능한 제품이기 때문이다. 회복된 품질에 비해 리퍼브제품이 매우 저렴하게 판매되는 반면, 정상품의 판매 마진은 매우 높은 것이 일반적임을 고려할 때 기업 이익에의 악영향은 더욱 심각하게 나타날 수 있다. 그러므로 현재 많은 기업들에서처럼 리퍼비싱을 불량품 발생 후의 단순한 후처리로 간주할 것이 아니라, 리퍼비싱 프로세스의 운영 및 리퍼브제품의 가격 책정 역시 전체 기업 프로세스와 함께 통합적으로 관리되어야 할 중요한 프로세스로 인식하고 관리하여야 할 것이다.

본 연구는 정방향으로의 정상품의 일차시장 판매를 위한 제조 프로세스, 그리고 역방향에서 리퍼브제품의 이차시장 판매를 위한 리퍼비싱 프로세스를 동시에 고려한 폐쇄형 공급망(closed-loop supply chain) 상의 불완전 품질 재고모형(imperfect-quality inventory model)을 제시한다. 정상품을 생산하는 제조 프로세스는 불완전하여 불량품을 산출한다. 불량품은 리퍼비싱되어 이차시장에 판매될 수 있으나, 리퍼비싱되는 수량은 고객에 의해 결정된다. 고객의 리퍼브제품 선택은 현실에서처럼 정상품 가격 대비 리퍼브제품의 가격에 대한 평가에 의해 결정되며, 선택되지 못한 불량품들은 폐기된다. 본 연구는 통합적 재고 모형을 통해 기업 이익을 최대화하는 생

1) Apple certified. Good as new.: http://store.apple.com/us/browse/home/specialdeals,
HP business outlet: http://www.hp.com/sbso/buspurchase_refurbished_computing.html,
Cisco certified refurbished equipment: http://www.cisco.com/web/ordering/ciscocapital/refurbished/index.html.

www.kci.go.kr

산 로트크기 및 리퍼비싱 로트크기, 그리고 리퍼브 제품의 판매 가격의 최적해를 동시에 도출할 것이며, 이의 분석을 통해 제조와 리퍼비싱 프로세스의 운영 방법에 대한 가이드라인을 제시할 것이다. 또한 불량품이 전혀 존재하지 않는 이상적 상황을 가정한 전통적 EPQ(economic production quantity) 모형을 벤치마킹 대상으로 제시하고, 리퍼비싱이 존재하지 않는, 즉 불량품이 전량 폐기되는 경우의 재고 모형 역시 비교대상으로 분석한다. 본 연구는 이들의 비교를 통해 리퍼비싱이 기업 이익에 실질적으로 얼마나 도움이 되는지, 또 기업 환경 변화에 따라 리퍼비싱이 어떠한 경우에 더욱 활성화되어야 하는지 밝혀 리퍼비싱을 도입하고자 하는 현실의 많은 공급망 기업들에게 실질적으로 도움이 되는 가이드라인을 제시하고자 한다.

II. 이론적 배경

본 연구는 운영관리 내의 다양한 연구 분야 중 두 가지의 연구 흐름과 밀접한 연관을 가지고 있다. 이들 두 분야는 (1) 불완전 품질 제품의 재고모형 관련 연구, 그리고 (2) 리퍼브제품의 가격 결정 관련 연구이다.

불완전 제조 프로세스로 인해 불량품이 발생하는 현실적 상황을 고려한 재고모형에 대한 연구는 Rosenblatt과 Lee(1986) 그리고 Porteus(1986) 등에서부터 태동되어 그 이후 활발하게 진행되어져 왔다. 국내에서도 최적 재고 관리 방안에 대한 연구는 계획 생산 및 주문 생산 시스템 하의 부품재고 관리 방안 비교(김은갑, 2014), 시스템 다이내믹스에 의한 재고관리에의 영향 요인 분석(김익현과 진현웅, 2014), 판매지점들의 협력적 공급을 고려한 재고관리 방안(이기광과 윤승철, 2016), 교육과 피드백이 재고 주문량 의사결정에 미치는 영향에 대한 분석(김석학 등, 2016) 등 다양한 주제로 국내에서도 매우 활발하게 이루어지고 있으나, 불량품의 발생을 고려한 재고모형에 관련된 연구는 국내에서는 찾아보기가 쉽지 않은 것이 현실이다.

불완전 제조 프로세스를 고려한 재고모형 관련 연구의 흐름은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데 이들을 나누는 기준은 불량품의 발생을 어떠한 분포로 바라보느냐 하는 점이다. 이 중 첫 번째는 불량품의 발생을 기하분포(geometric distribution)로 바라보는 연구들로 제조 프로세스가 셋업 후 처음에는 정상 상태에서 시작하나 시간이 흐름에 따라 통제 한계를 벗어나는 상황을 고려한다. 이들에는 Porteus(1986), Lee와 Rosenblatt(1987, 1989), Lee와 Park(1991), Liou 등(1994), Wang과 Sheu(2003), Yeh와 Chen(2006) 등 매우 다양한 연구들이 존재하며, 대부분 연구들은 정기적 품질검사 시기의 최적해를 결정하는 데에 집중하였다.

본 연구는 상기의 연구들보다는 불완전 품질 재고모형의 또 다른 흐름에 더욱 직접적으로 관련이 되는데, 이들은 불량품의 발생이 베르누이 프로세스(Bernoulli process)를 통한 이항분포(binomial distribution)를 따르는 상황을 가정한 연구들이다. 이들에는 Zhang과 Gerchak(1990), Cheng(1991), Lee 등(1996), Salameh와 Jaber(2000), Tripathy 등(2003), Khan 등(2011), Ouyang과 Chang(2013), 그리고 Ullah와 Kang(2014) 등 매우 다양한 연구가 존재한다. 이들 중 대부분의 연구들은 품질검사가 완벽하여 고객에게 불량품이 전달되지 않는 상황을 가정하였으며, 내부적으로 모든 불량품을 발견하고 이들을 처리할 수 있는 상황을 고려하

www.kci.go.kr

였으므로 비용 최소화(total cost minimization) 관점에서 최적 재고 수준을 결정하는 것을 주요 목적으로 하였다. 대부분 연구들은 불량품의 처리 방법으로는 폐기를 고려하였다. 이들 과거 불완전 품질 재고 모형들과 유사하게 본 연구도 제조 프로세스가 불완전하여 불량품을 산출하고 품질검사로 모든 불량품을 기업 내부적으로 발견하고 처리할 수 있는 상황을 가정한다. 하지만 불량품의 처리를 위해 폐기만을 주로 고려한 과거 연구들과는 달리 본 연구는 발견된 불량품을 리퍼비싱하여 이차시장에 판매하는 최근의 공급망 상황을 반영한다. 이를 통해 리퍼브제품의 이차시장 가격 결정이 고객의 행동과 기업 이익에 어떠한 영향을 미치는지 이익 최대화(profit maximization) 관점에서 살펴볼 것이다. 이차시장 판매가격과 제조 및 리퍼비싱 로트크기의 통합적 결정과 이들 간의 상호작용을 다루는 연구가 찾아보기 쉽지 않다는 점을 고려할 때 본 연구가 불완전 품질 재고모형 문헌에 공헌을 할 수 있을 것으로 판단한다.

또한 본 연구는 재고모형에 리퍼브제품의 가격 결정을 통합적으로 고려한다. 리퍼브제품의 가격 결정에 관련된 연구는 최근 역물류 및 폐쇄형 공급망 관리의 중요성이 대두되면서 새롭게 주목을 받고 있는 분야이나, 아직 관련 연구가 충분하지 않은 것이 현실이다. Vorasayan과 Ryan(2006)은 정상품과 리퍼브제품 간 품질인식 차이가 존재하는 상황 하에서 리퍼브제품이 더 저렴한 가격으로 공급되어 일차시장의 정상품 수요를 잠식하는 현실적 상황을 다루었다. Ovchinnikov(2011) 역시 유사한 판매 경로 간 잠식 상황을 고려하였으며, 리퍼브제품 가격의 결정이 기업 내외부 환경의 매우 다양한 요소에 의해 영향을 받음을 보인 바 있다. Aras 등(2011)은 대여기간이 종료되어 반환된 제품을 리퍼비싱하는 제품 대여 시장 상황 하의 문제를 다루었으며, 역시 리퍼브제품이 더 저렴한 가격으로 정상품 수요를 잠식하는 상황을 고려하였다. 유승호와 손진현(2015)은 고객 반품을 리퍼비싱하는 공급망 상황 하에서 정상품 및 리퍼브제품의 판매가격을 통합적으로 결정하는 연구를 진행하였다. 본 연구는 리퍼브제품의 가격 결정을 다루는 점에서 이들 연구들과 유사하나, 본 연구가 불완전 품질 제품의 재고수준 결정을 그 연구의 근간으로 하고 있는 점에서 이들 연구와는 다르다고 볼 수 있다. 본 연구는 과거 연구들에서 다룬 바와 같이 리퍼브제품의 이차시장 판매가 판매마진이 더 높은 정상품의 일차시장 수요를 잠식하는 현실적 상황을 불완전 품질 재고 모형에 반영하고 과거 연구를 확장하여 리퍼브제품의 가격 결정 관련 문헌에 공헌하고자 한다.

전체적으로 본 연구는 불량품 문제를 최적화하여 정방향 공급망 흐름을 통제하고자 했던 불완전 품질 재고모형 연구들과 리퍼비싱 정책 결정을 통해 역방향 공급망 흐름을 관리하고자 하는 리퍼브제품 가격 결정에 관련된 연구들의 두 가지 흐름을 통합하고 확장하여 운영관리 관련 연구 문헌에 공헌하고자 한다. 기업의 이익을 최대화하기 위한 재고수준과 리퍼비싱 정책은 어떻게 결정되어야 하는지, 어떠한 경우에 리퍼비싱은 더욱 활성화되어야 하는지 밝히고 실질적 가이드라인을 제시하여 최근 그 중요성이 더욱 높아져가고 있는 기업의 폐쇄형 공급망 관리에 중요한 시사점을 제시하고자 한다.

Ⅲ. 기본 모형화

본 연구에서 다루는 공급망은 제조 및 리퍼비싱

www.kci.go.kr

(refurbishing)의 두 프로세스로 구성된다. 정상품의 가격이 이미 결정되어 고객에게 판매되고 있는 상황 하에서 제조 프로세스는 정상품의 최적 로트크기를 결정하여야 하며, 품질 불량으로 인해 발생한 불량품을 처리하기 위하여 리퍼비싱 프로세스에서는 리퍼비싱될 제품의 최적 로트크기를 결정하여야 한다. 또한 리퍼브제품의 가격에 따라 고객의 리퍼브제품에 대한 구매 행동은 달라지며, 이는 고객의 정상품에 대한 수요에도 영향을 미치게 된다. 본 연구는 정상품 및 리퍼브제품의 최적 로트크기 Q와 Q_r, 그리고 리퍼브제품의 가격 p_r의 최적해를 구해 기업의 이익을 최대화하는 것을 주요 목적으로 한다.

제조 프로세스는 일차시장에의 정상품 판매를 위해 매 제조 주기 T마다 Q의 정상품을 제조한다. 현실에서처럼 제조 및 품질검사 프로세스는 불완전하여 π의 확률($0 \leq \pi \leq 1$)로 불량품을 산출한다. 그러므로 T마다 πQ의 불량품의 산출이 기대되며, 이들 불량품은 품질검사로 발견되어 리퍼비싱 여부를 결정하게 된다.

본 연구에서 불량품 중 리퍼비싱 비율 γ($0 \leq \gamma \leq 1$)은 고객의 리퍼브제품 수요에 따라 결정된다. Vorasayan과 Ryan(2006) 그리고 Ovchinnikov (2011) 등의 연구에서와 같이 정상품의 가격이 이미 결정되어 있는 상황 하에서 고객의 리퍼브제품 수요는 정상품 가격 대비 리퍼브제품의 가격이 얼마나 저렴한가에 직접적으로 영향을 받는다. 그러므로 본 연구에서는 고객의 리퍼브제품 수요에 따른 불량품 중 리퍼비싱 비율 γ를 아래와 같이 설정한다.

$$\gamma(p_r) = 1 - \frac{p_r}{p}. \qquad (1)$$

고객의 제품 선택은 다양한 요인에 영향을 받으나, 본 연구에서는 그 중 가장 중요한 요인인 가격의 영향에 집중한다. 이차시장에서 리퍼브제품의 판매는 리퍼브제품의 가격 p_r에 영향을 받는다. 정상품의 가격 p는 고객들의 리퍼브제품 선택에 중요한 참고사항이 되며, 리퍼브제품의 가격 p_r이 정상품의 가격 p와 같을 경우 리퍼브제품을 선택하는 고객은 없는 것이 현실일 것이다. 즉, 불량품 중 리퍼비싱 비율 $\gamma(p_r = p) = 0$이다. 반면 리퍼브제품의 가격이 정상품의 가격에 비해 저렴할수록 γ는 증가할 것이다. 즉, $\partial \gamma / \partial p_r < 0$이다. 매 주기 T 당 πQ의 전체 불량품 중 $\gamma \pi Q$의 제품은 이차시장에의 판매를 위해 리퍼비싱되며, 리퍼비싱되지 못한 $(1 - \gamma)\pi Q$의 제품은 폐기된다.

소비자전자산업, 가구산업, 의류산업 등에서 보듯이 고객의 수요는 정상품의 일차시장 수요, 그리고 리퍼브제품 또는 이월제품 등을 처리하는 이차시장 수요로 구성되어 있다. 이러한 현실에서와 같이 리퍼브제품은 정상품의 대체재로 리퍼브제품의 이차시장에의 판매는 정상품의 일차시장 수요를 잠식한다. 그러므로 일차시장 수요 D는 다음 수식 (2)와 같이 정의된다.

$$D(p_r) = D_0 - D_r(p_r) \qquad (2)$$

여기서 D_0는 목표 시장의 잠재 수요, 그리고 D_r은 이차시장에서의 리퍼브제품의 수요이다. 리퍼브제품의 수요 D_r은 수식 (1)에서 정의한 리퍼비싱 비율 γ의 함수로 리퍼브제품의 가격 p_r에 영향을 받는다. 그러므로 일차시장의 수요 D 역시 p_r의 함수이다.

반면 제조 프로세스에서는 생산 속도 M으로 생산 로트크기(lot size) Q만큼 정상품을 생산하며, 생산된 정상품은 재고소요율(net inventory depletion rate) N으로 생산주기 T마다 소요된다. 즉, 일반적

www.kci.go.kr

EPQ(economic production quantity) 모형에서와 유사하게 $T = Q/N$이다. 하지만 본 연구는 과거 대부분의 일반적 EPQ 또는 EOQ(economic order quantity) 모형들과 달리 불량품의 생산을 고려하고 있으므로 품절 없이 일차시장 수요 D를 충족시키기 위해서는 재고를 소요시키는 또 다른 원인인 불량품의 존재를 고려하여야 한다. 고객의 일차시장 수요율을 D, 품질검사를 통한 불량품의 검출율을 F라 할 때, 제조 라인에서의 재고소요율 N은 $N = D + F$로 정의할 수 있다. 여기서 $N = Q/T$이므로 Q 중 πQ의 불량품이 존재하는 것을 고려할 때, $F = \pi Q/T = \pi N$으로 정의할 수 있다. 일차시장 수요 D는 수식 (2)에서와 같이 이차시장 수요 D_r에 영향을 받으므로 먼저 D_r을 알아보면 T 당 생산된 Q 중 $\gamma \pi Q$의 리퍼브제품이 발생하므로, $N = Q/T$을 역시 고려할 때 $D_r = \gamma \pi Q/T = \gamma \pi N$으로 정의된다. 그러므로 수식 (1)로부터 일차시장의 수요 $D = D_0 - D_r = D_0 - \gamma \pi N$이다. 그러므로 $N = D + F$에서 $N = D_0 - \gamma \pi N + \pi N$이 되며, 본 수식을 N에 대해 정리해 풀면 제조 프로세스의 재고소요율 N을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$N(p_r) = \frac{D_0}{1-(1-\gamma)\pi}. \quad (3)$$

여기서 수식 (1)의 불량품 중 리퍼비싱 비율 γ는 리퍼브제품의 가격 p_r의 함수이므로 제조 프로세스의 재고소요율 N 역시 리퍼브정책에 영향을 받는 p_r의 함수이다.

리퍼비싱 프로세스는 제조 프로세스에서 검출된 불량품 πQ 중 $\gamma \pi Q$를 리퍼비싱하여 이차시장에 판매하며, 나머지 $(1 - \gamma)\pi Q$는 폐기한다. 리퍼비싱 라인을 고려할 때 두 가지 품목이 존재하는데, 하나는 리퍼비싱을 위해 대기열에 있는 불량품, 즉 리퍼비싱 전 제품이고, 다른 하나는 리퍼비싱 후 이차시장 판매를 기다리는 리퍼브제품이다. 리퍼비싱 라인에서 리퍼비싱 전 재고의 축적율과 리퍼비싱 후 재고의 소요율은 두 속도 차이로 인한 불필요한 재고유지를 막는 최적의 운영을 위해 동일하게 설정하는 것이 합리적인 선택이다. 리퍼비싱 라인에서는 리퍼비싱 주기 T_r마다 리퍼비싱 속도 M_r로 리퍼브제품을 Q_r만큼 만들어내며, 이는 이차시장의 수요율 D_r로 팔려나가 $T_r = Q_r/D_r$의 관계가 성립한다. 리퍼브제품의 축적은 리퍼비싱 전 제품의 소요를 의미하며, 이차시장에서의 품절을 막기 위해서는 리퍼브제품의 수요와 리퍼비싱 전 제품의 축적이 동일한 속도로 이루어져야 한다. 그러므로 리퍼비싱 전 제품은 M_r의 속도로 소요되며, D_r의 속도로 쌓여나간다. 즉, 리퍼비싱 전 제품과 리퍼비싱 후 리퍼브제품은 단위시간 당 재고유지량은 동일하나 재고행태는 정확하게 정반대로 나타난다.

Ⅳ. 재고 모형

4.1 리퍼비싱 재고 모형

4.1.1 이익 함수

본 연구의 재고모형의 목적은 제조 및 리퍼비싱 프로세스의 최적 로트크기와 리퍼브제품의 최적 판매가격을 동시에 구해 제조 및 리퍼비싱을 동시에 수행하는 기업의 이익을 최대화하는 것이다.

최대화 대상인 기업의 이익 함수를 알아보기 위해 생산주기 T 당 총매출을 먼저 알아본다. 기업의 매

www.kci.go.kr

출은 일차시장에의 정상품 판매와 이차시장에의 리퍼브제품의 판매로부터 발생한다. 수식 (1)에서 정상품의 판매가격은 p, 리퍼브제품의 판매가격은 p_r이다. 제조 프로세스에서는 Q의 생산재고 중 불량품 πQ를 제외한 정상품 $(1-\pi)Q$를 판매하므로 정상품의 매출은 $p(1-\pi)Q$이다. 그리고 불량품 πQ 중 $\gamma\pi Q$가 리퍼비싱되어 이차시장에 판매되므로 리퍼브제품의 매출은 $p_r\gamma\pi Q$이다. 그러므로 생산주기 T 당 총매출(total revenue) TR은 다음과 같다.

$$TR = p(1-\pi)Q + p_r\gamma\pi Q. \tag{4}$$

생산주기 T 당 제조 프로세스의 비용은 생산 셋업(production setup) 비용 S가 고정비용으로 발생하며, T 당 Q의 제품이 생산되므로 단위 당 제조 및 품질검사 비용을 u라 할 때, uQ의 생산 및 품질검사 비용이 발생한다. 또한 재고유지비용이 발생하는데, 일반적 EPQ 모형에서와 유사하게 이는 $(hu/2)(1-N/M)QT$와 같다. 여기서 h는 재고유지비용률(inventory holding cost rate fraction)이다.

또한 리퍼비싱 프로세스에도 비용이 발생한다. 리퍼비싱 주기 T_r은 생산주기 T와는 다르며, 생산주기 T마다 n번$(n > 0)$의 리퍼비싱 셋업이 필요하다고 할 때 $T = nT_r$이므로 $n = T/T_r$로 정의할 수 있다. 생산주기 T 당 n번의 리퍼비싱 주기가 존재하므로 nS_r의 리퍼비싱 셋업비용이 발생한다. 단위당 리퍼비싱 비용을 k, 단위당 폐기 비용을 g라 할 때, $\gamma\pi Q$의 리퍼비싱 대상 불량품에 대해 $k\gamma\pi Q$의 리퍼비싱 비용이, 또한 $(1-\gamma)\pi Q$의 폐기 대상 불량품에 대해 $g(1-\gamma)\pi Q$의 폐기 비용이 발생한다. 리퍼비싱 라인의 재고유지비용을 산정할 때에는 두 종류의 재고, 즉 리퍼비싱 전 불량품과 리퍼비싱 후 리퍼브제품을 모두 고려하여야 한다. 리퍼비싱 후의 리퍼브제품은 재고유지비용 계산에 생산에서 소요된 단위당 제조 및 품질검사 비용 u와 리퍼비싱 비용 k를 모두 고려하고, 생산주기 T 당 리퍼비싱 주기 T_r이 n회 존재하는 것을 고려하여 $(h(u+k)/2)((1-D_r/M_r)Q_rT_r\cdot n$으로 나타난다. 여기서 D_r은 이차시장의 수요 $D_r = \gamma\pi Q/T = \gamma\pi N$, M_r은 리퍼비싱 속도, Q_r은 리퍼비싱 로트크기이다. 리퍼비싱 전 불량품의 재고유지비용은 아직 리퍼비싱 전이므로 재고유지비용 계산에 단위당 리퍼비싱 비용 k를 고려할 필요가 없으므로 $(hu/2)((1-D_r/M_r)Q_rT_r\cdot n$과 같다.

위에서 설명한 제조 및 리퍼비싱 프로세스에서 발생하는 모든 비용 요소를 더하면 주기 T 당 총비용(total cost) TC는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} TC = {} & S + uQ + \frac{hu}{2}\left(1-\frac{N}{M}\right)QT \\ & + nS_r + k\gamma\pi Q + g(1-\gamma)\pi Q \\ & + n\frac{h(2u+k)}{2}\left(1-\frac{D_r}{M_r}\right)Q_rT_r \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 $n = T/T_r$, $D_r = \gamma\pi N$이다. 수식 (4)의 총매출 TR에서 수식 (5)의 총비용 TC를 뺀 후, 이를 생산주기 T로 나누면 단위시간 당 총이익 TPU(total profit per unit time)를 다음 수식 (6)과 같이 얻는다.

$$\begin{aligned} TPU = {} & [p(1-\pi) + p_r\gamma\pi - u - k\gamma\pi - g(1-\gamma)\pi]N \\ & - \frac{SN}{Q} - \frac{S_rD_r}{Q_r} - \frac{hu}{2}\left(1-\frac{N}{M}\right)Q \\ & - \frac{h(2u+k)}{2}\left(1-\frac{D_r}{M_r}\right)Q_r \end{aligned} \tag{6}$$

여기서 이차시장의 수요 D_r과 제조 프로세스의 재

www.kci.go.kr

고소요율 N은 모두 리퍼브제품의 판매가격 p_r의 함수로 $D_r = \gamma\pi N$, 수식 (3)에서 $N = D_0/(1 - (1 - \gamma)\pi)$이고, 리퍼비싱 비율 γ는 수식 (1)에서 $\gamma = 1 - p_r/p$이다.

4.1.2 최적해

본 연구의 목적은 기업 이익을 최대화하는 생산 로트크기 Q, 리퍼비싱 로트크기 Q_r, 리퍼브제품의 판매 가격 p_r을 통합적으로 결정하는 것이다. 수식 (6)의 단위시간 당 총이익 TPU를 각각 Q, Q_r, p_r로 미분한 일차필요조건으로부터 기업의 이익을 최대화하는 최적해를 구할 수 있다. 각 결정변수의 최적해는 다른 결정변수의 함수로 아래와 같이 나타난다.

$$Q^*(p_r) = \sqrt{\frac{2SN}{hu(1-N/M)}}, \tag{7}$$

$$Q_r^*(p_r) = \sqrt{\frac{2S_rD_r}{h(2u+k)(1-D_r/M_r)}}, \tag{8}$$

$$p_r^*(Q,Q_r) = \frac{p}{\pi} - \sqrt{\frac{p}{\pi}}\sqrt{\frac{p(1-\pi)^2}{\pi}+\left(u+g+\frac{S}{Q}-\frac{huQ}{2M}\right) -(1-\pi)\left(k+\frac{S_r}{Q_r}-\frac{h(2u+k)Q_r}{2M_r}\right)} \tag{9}$$

여기서 $D_r = \gamma\pi N$, 수식 (3)에서 $N = D_0/(1 - (1 - \gamma)\pi)$, γ는 수식 (1)에서 $\gamma = 1 - p_r/p$이다. 위 수식의 최적해는 헤시안 결정자(Hessian determinant) $|H_1| = TPU_{QQ} = -2SN/Q^3 < 0$, $|H_2| = TPU_{QQ}TPU_{QrQr} - TPU_{QQr}2 = 4SNS_rD_r/(Q^3Q_r^3) > 0$을 만족하여 Q^*와 Q_r^*이 이차 충분조건을 만족하는 최적해임은 쉽게 알 수 있다. 하지만 p_r^* 관련하여서는 p_r로 TPU를 이차 미분한 수식들이 길고 복잡하여 $|H_3| < 0$임을 수식으로 보이기는 쉽지 않아 5장의 〈표 1〉에서 $|H_3| < 0$을 만족함을 수치로 보였다.

5장에서는 수치 예제를 통해 수식 (7), (8) 및 (9)의 최적해 결과를 실질적으로 보이고, 이를 분석하여 폐쇄형 공급망 경영에 중요한 시사점을 제공할 것이다.

4.2 전통적 EPQ 모형

본 연구는 리퍼비싱의 효과를 보다 구체적으로 알아보기 위해 (1) 정상품 생산 과정에서 불량품이 존재하지 않는 이상적 상태를 가정하는 전통적 EPQ 모형을 벤치마킹 대상으로, 그리고 (2) 불량품을 리퍼비싱 없이 전량 폐기하는 전량 폐기 모형을 비교대상으로 추가하여 4.2장 및 4.3장에서 각각 소개한다. 5장에서 이들을 리퍼비싱 재고 모형과 비교하여 언제 리퍼비싱을 활성화하여야 하는지 가이드라인을 제공할 것이다.

전통적 EPQ 모형(윗첨자 C)은 생산과정 상 불량이 존재하지 않는 이상적 상황을 가정하므로 리퍼비싱 프로세스가 애초에 존재할 이유가 없다. 수식 (3)에서 재고소요율 N은 잠재수요 D_0과 같으며, 수식 (6)의 이익 함수에 불량품 확률 $\pi = 0$을 대입하면 전통적 EPQ 모형에서의 이익 함수는 다음과 같이 나타난다.

$$TPU^C = (p-u)D_0 - \frac{SD_0}{Q} - \frac{hu}{2}\left(1-\frac{D_0}{M}\right)Q. \tag{10}$$

수식 (10)의 TPU^C를 Q에 대해 일차미분한 일차필요조건으로부터 최적 생산 로트크기 Q^C를 다음과 같이 구한다. 이는 전통적 EPQ와 동일한 해이다.

www.kci.go.kr

$$Q^C = \sqrt{\frac{2SD_0}{hu(1-D_0/M)}}\,. \tag{11}$$

4.3 전량 폐기 모형

리퍼브제품의 이차시장 판매를 고려하지 않고 모든 불량품이 폐기되는 전량 폐기 모형(윗첨자 S)을 비교 대상으로 추가한다. 수식 (1)과 달리 리퍼비싱 비율 $\gamma = 0$으로 하여 수식 (3)과 수식 (6)에 대입하면 전량 폐기 모형의 재고소요율 N^S와 단위시간당 총이익 TPU^S를 다음과 같이 얻는다.

$$N^S = \frac{D_0}{1-\pi}, \tag{12}$$

$$TPU^S = [p(1-\pi) - u - g\pi]N^S - \frac{SN^S}{Q} - \frac{hu}{2}\left(1 - \frac{N^S}{M}\right)Q \tag{13}$$

수식 (13)의 TPU^S로부터 최적 생산 로트크기 Q^S는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q^S = \sqrt{\frac{2SN^S}{hu(1-N^S/M)}}\,, \tag{14}$$

Ⅴ. 수치 해석

5.1 기본 수치 예제

본 연구에서는 기본 수치 예제를 위한 매개변수를 다음과 같이 설정한다: 총 잠재 수요율 D_0 = 10,000개/년, 생산 속도 M = 30,000개/년, 리퍼비싱 속도 M_r = 20,000개/년, 불량률 π = 0.15, 정상품의 단위당 일차시장 판매가격 p = \$800/개, 제조 프로세스 셋업 비용 S = \$100, 정상품의 단위당 생산 및 품질검사 비용 u = \$500/개, 재고유지비용률 h = 0.1/년, 리퍼비싱 프로세스 셋업 비용 S_r = \$100, 단위당 리퍼비싱 비용 k = \$100/개, 단위당 폐기 비용 g = \$50/개. 상기 매개변수를 4장에서 소개한 재고모형의 수식들에 대입하였을 때의 최적해 결과는 다음 〈표 1〉과 같이 나타난다.

〈표 1〉의 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다.

- 기본 수치 예제를 대입하였을 때, 리퍼비싱 재고 모형의 경우 제조 프로세스에서는 일차시장의 년간 수요 9,448.91개를 충족시키기 위해 생산 주기 8.73일마다 생산 로트크기 265.78개의 정상품을 생산하는 것이 최적이다.
- 기업의 리퍼비싱 전략은 리퍼브제품의 가격을 개 당 \$535.60로 책정하고 불량품의 33%를 리퍼비싱하여 이차시장에 판매하고, 67%의 불량품은 폐기하는 것이다. 이 경우 이차시장의 수요는 년간 551.09개로 나타나며, 이를 충족하기 위해 21.26일마다 리퍼비싱 로트크기 32.10개의 리퍼브제품을 산출하여야 한다.
- 상기와 같이 제조 및 리퍼비싱 프로세스를 운영하였을 때 기업의 이익은 최대화되며, 년간 \$2,173,384.62의 이익이 기대된다.
- 리퍼비싱 프로세스를 운영하지 않고 불량품을 전량 폐기하는 기업의 경우 불량이 없는 이상적 상황에 비해 년간 \$975,107.89의 손해를 감수하여야 한다.
- 리퍼비싱 프로세스를 운영하는 기업의 경우도 이상적 상황에 비해 손실이 발생하는 것은 당연하다. 하지만 리퍼비싱 프로세스의 운영으로

www.kci.go.kr

불량품을 전량 폐기하는 경우에 비해 손실 폭을 년간 $156,657.48만큼 줄일 수 있다.

상기 기본 수치 예제의 해석과 같이 리퍼비싱은 기업 이익을 개선시킬 수 있는 효과적 방법이 될 수 있다. 또한 폐쇄형 공급망 내 제품의 친환경적 순환을 향상시키고자 하는 최근 많은 기업들의 전략에도 도움이 된다. 제품 폐기가 자연 환경에 미치는 악영향 등을 고려할 때 고객, 기업 및 사회 전반에 대해 리퍼비싱이 기여하는 바는 더욱 크다고 할 것이다. 본 연구는 다음 장의 민감도 분석을 통해 어떠한 경우에 리퍼비싱이 더욱 활성화되어야 하는지 분석하여 기업의 폐쇄형 공급망 관리 전략 수립에 도움을 주고자 한다.

5.2 민감도 분석

본 장에서는 민감도 분석을 통해 기업 환경 변화에 따른 최적해의 행태를 분석한다. 5.1장의 기본 수치 예제를 바탕으로 하며, 다른 매개변수가 고정된 상태에서 주요 매개변수를 아래와 같이 증가시켜 최적해의 변화를 관찰하였다: $D_0 \in [7000, 13000]$, $p \in [740, 860]$, $u \in [440, 560]$, $k \in [10, 190]$, $g \in [5, 95]$ 그리고 $\pi \in [0.03, 0.27]$.

〈표 1〉 기본 수치 예제의 최적해 결과 († : 결정 변수)

구분	변수	결과
전통적 EPQ (C)	생산 로트크기 Q^C	244.95
	년간 이익 TPU^C	2,991,835.03
전량 폐기 모형 (S)	순소요율 N^S	11,764.71
	생산 로트크기 Q^S	278.24
	년간 이익 TPU^S	2,016,727.14
	불량 의한 손실 $TPU^C - TPU^S$	975,107.89
리퍼비싱 재고 모형		
제조 프로세스	일차시장 수요 D	9,448.91
	제조라인 재고소요율 N	11,116.37
	생산 로트크기 $Q^\dagger$	265.78
	생산 주기(일, 1년 = 365일) T	8.73
리퍼비싱 프로세스	리퍼브제품 판매가격 $p_r^\dagger$	535.60
	불량품 중 리퍼비싱 비율 γ	0.33
	이차시장 수요 D_r	551.09
	리퍼비싱 로트크기 $Q_r^\dagger$	32.10
	리퍼비싱 주기(일) T_r	21.26
이익 성과	년간 이익 TPU	2,173,384.62
	불량 의한 손실 $TPU^C - TPU$	818,450.42
	리퍼비싱 의한 이익개선 $TPU - TPU^S$	156,657.48
이차 충분조건	$\lvert H_3 \rvert < 0$	-1.6403

www.kci.go.kr

그 결과는 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉의 결과는 다음과 같이 해석할 수 있다.

- 목표시장의 잠재수요 D_0가 증가하는 경우 제조 프로세스에서 발생하는 불량품의 숫자 역시 증가하여 이차시장의 수요 역시 촉진시킬 필요가 있으므로 리퍼브제품의 판매 가격을 인하시켜야 한다. 일차 및 이차시장의 수요 증가에 따라 생산 및 리퍼비싱 로트크기도 증가하여야 한다.
- 정상품의 일차시장 가격 p가 증가하는 경우 더 마진이 높아지는 정상품의 일차시장 수요를 증가시켜야 한다. 그러므로 리퍼브제품의 이차시장 가격을 인상시켜 이차시장 수요를 감소시키는 것이 합리적 선택이다. 이에 따라 생산 로트크기는 증가, 리퍼비싱 로트크기는 감소하여야 한다.
- 정상품의 생산단가 u가 증가하는 경우 리퍼브제품의 가격을 인하시켜 이차시장 수요를 촉진시킬 필요가 있으며, 리퍼비싱 로트크기는 증가한다. 이에 따라 감소하는 일차시장 수요는 생산 로트크기를 감소시킨다.
- 리퍼비싱 비용 k 및 폐기 비용 g의 변화는 최적해를 완전히 반대 방향으로 변화시킨다. 리퍼비싱이 비효율적으로 이루어지는 경우 이차시장에서의 이익 보전을 위해 리퍼브제품의 판매 가격을 증가시킬 필요가 있다. 이는 이차시장의 수요 및 리퍼비싱 로트크기의 감소를 불러오며, 따라서 일차시장 수요 및 생산 로트크기는 증가한다.
- 불량품의 폐기를 효율적으로 운영할 수 없는 경우 리퍼브제품의 판매가격을 감소시켜 이차시장 수요 및 리퍼비싱 로트크기를 증가시킬 필요가 있다. 이에 따라 일차시장 수요 및 생산 로트크기는 감소한다.
- 제조 프로세스의 품질 관리가 어려워 더욱 많은 불량품이 산출되는 경우(π의 증가) 리퍼브제품의 판매가격을 감소시켜 이차시장 수요 및 리퍼비싱 로트크기를 증가시킬 필요가 있다. 이는 일차시장 수요의 감소를 일으킨다. 하지만 불량품의 증가를 고려할 때 생산 로트크기는 반대로 증가하여야 한다.

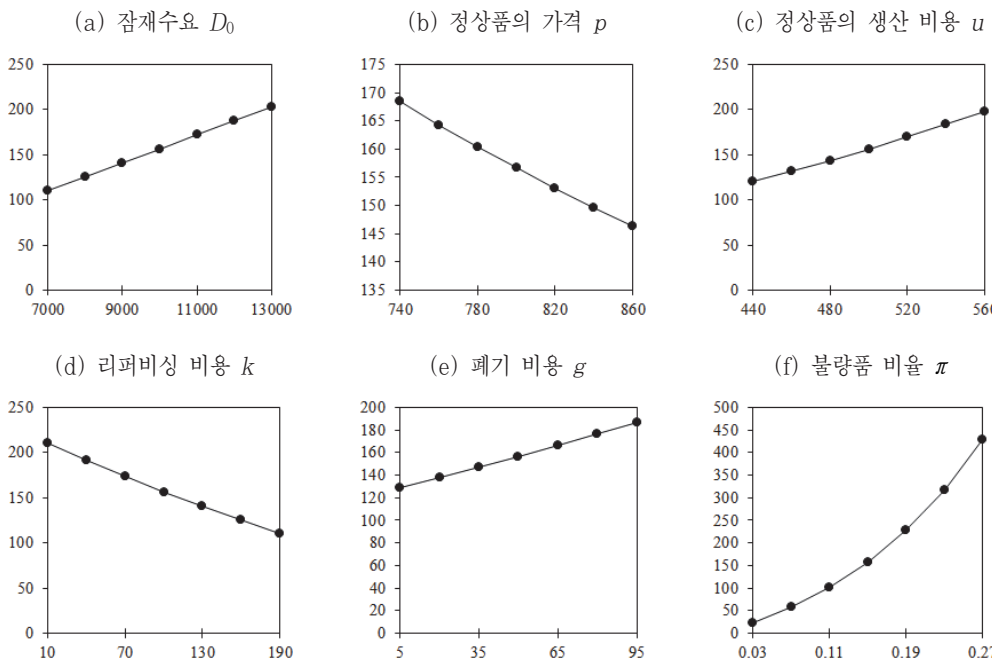
〈그림 1〉은 리퍼비싱 재고 모형과 전량 폐기 모형의 이익 성과를 비교하여 기업 환경의 변화가 리퍼비싱의 이익 개선 효과에 어떠한 방향으로 영향을 미치는지 알아본 결과이다. 〈그림 1〉을 통해 기업 환경의 변화에 따라 어떠한 경우에 리퍼비싱으로 더

〈표 2〉 각 변수 값의 증가에 따른 주요 변수의 최적해 변화 (각 셀의 값:〔최소값-최대값(변화방향)〕)

변수	p_r	Q	Q_r	TPU
D_0	〔535.48-535.82(↓)〕	〔205.01-333.95(↑)〕	〔26.73-36.76(↑)〕	〔1519-2828(↑)〕
p	〔476.14-595.15(↑)〕	〔264.87-266.58(↑)〕	〔31.02-33.3(↓)〕	〔1585-2763(↑)〕
u	〔502.35-569.09(↓)〕	〔249.77-284.91(↓)〕	〔31.84-32.28(↑)〕	〔1508-2843(↓)〕
k	〔493.11-578.52(↑)〕	〔263.93-267.69(↑)〕	〔28.31-36.01(↓)〕	〔2127-2227(↓)〕
g	〔510.59-560.76(↓)〕	〔264.69-266.9(↓)〕	〔30.58-33.54(↑)〕	〔2124-2225(↓)〕
π	〔495.58-571.34(↓)〕	〔248.98-283.01(↑)〕	〔12.65-48.89(↑)〕	〔1383-2841(↓)〕

www.kci.go.kr

〈그림 1〉 각 매개변수 변화에 따른 리퍼비싱의 이익 개선 효과 ($TPU - TPU^S$)



욱 큰 이익 개선 효과를 기대할 수 있는지 정리해보면 다음과 같다.

- 잠재수요의 증가, 정상품 가격의 인하, 정상품 생산단가의 증가, 리퍼비싱 비용의 감소, 폐기 비용의 증가, 불량품의 증가

상기의 경우 불량품을 전량 폐기하는 것보다 리퍼비싱으로 기업 이익 개선에 더욱 큰 효과를 기대할 수 있으므로 이 경우 리퍼비싱이 활성화되어야 할 것이다.

전체적으로 효과적인 공급망 관리를 위해 근시안적 시각을 버리고 정방향 및 역방향 제품의 흐름 간의 상호작용을 이해할 수 있는 통합적 시각을 가질 필요가 있다. 특히 역방향 제품의 흐름은 더 이상 추가적 비용만을 수반하는 것이 아니라 관리 방법에 따라 기업 이익에 도움이 될 수 있음을 인지하는 것은 매우 중요하다. 효과적 폐쇄형 공급망 관리를 통한 전체적 이익 개선을 위해 통합적 시각 하에 리퍼비싱을 적극적으로 고려해 볼 필요가 있을 것이다.

Ⅵ. 결론

본 연구는 제조 및 리퍼비싱 프로세스를 동시에 수행하는 기업의 폐쇄형 공급망 관리 전략을 다룬 연구로 정상품의 일차시장 판매와 리퍼브제품의 이

www.kci.go.kr

차시장 판매 간의 상호작용을 불완전 품질 재고모형에 결합하여 보다 통합된 시각의 폐쇄형 공급망 관리 방법을 도출하고자 하였다. 기업 이익을 최대화하는 생산 및 리퍼비싱 로트크기와 리퍼비싱 전략의 최적해를 구하고, 이들을 분석하여 보다 현실적이고 다양한 시사점을 도출하였다.

첫째, 과거 불완전 품질 재고모형 관련 많은 연구들은 불량품의 처리 방법으로 폐기만을 고려하여 총 비용 최소화 관점에서 불량품의 내부적 영향에만 집중하였다. 하지만 본 연구는 자연환경에의 관심 증대 등으로 최근 더욱 자주 활용되고 있는 이차시장에의 리퍼브제품 판매를 고려하여 불량품이 정방향 및 역방향 제품의 흐름에 미치는 영향을 이익 최대화 관점에서 접근하여 분석하였다. 둘째, 본 연구는 최적해 분석을 통해 기업 이익을 최대화할 수 있는 효과적 제조 및 리퍼비싱 프로세스 운영전략을 제시하였으며, 리퍼비싱을 고려하지 않는 기업의 경우 보다 큰 규모의 손실을 감수할 수 밖에 없음을 밝혀 리퍼비싱이 기업 이익을 개선시킬 수 있는 효과적 방법임을 밝혔다. 셋째, 어떠한 기업 환경 하에서 리퍼비싱이 더욱 활성화되어야 하는지 리퍼비싱 정책의 가이드라인을 제시하였다. 구체적으로 목표시장의 잠재수요가 증가할 때, 정상품 가격이 낮아질 때, 정상품 생산단가가 증가할 때, 리퍼비싱 비용이 감소할 때, 폐기 비용이 증가할 때, 그리고 불량품이 증가할 때 리퍼비싱의 활용으로 기업 이익을 보다 효과적으로 개선시킬 수 있다. 넷째, 주요 기업 환경 변화가 생산 로트크기, 리퍼비싱 로트크기, 리퍼브제품의 판매가격에 미치는 영향을 민감도 분석을 통해 밝혀 제조 및 리퍼비싱 프로세스의 운영과 리퍼비싱 정책에 대한 가이드라인을 제시하였다.

기업의 효과적 폐쇄형 공급망 관리와 전체적 이익 개선을 위해 리퍼비싱을 적극적으로 고려해 볼 필요가 있다. 단, 근시안적 시각을 버리고, 정방향 및 역방향 제품의 흐름이 어떻게 서로 영향을 미치는지 파악할 수 있는 통합적 시각이 전제가 되어야 할 것이다. 전반적으로 본 연구는 과거 연구들을 확장하여 폐쇄형 공급망 상황을 고려한 보다 현실적인 불완전 품질 재고모형을 제시하였고, 이의 분석을 통해 폐쇄형 공급망 현실에 다양한 최신의 시사점을 제공하였다. 본 연구가 앞으로의 재고 및 공급망 관리 연구들에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

김성학, 김보원, 박광태 (2016), "교육과 피드백이 단일기간 재고모형 주문량 의사결정에 미치는 영향," 한국생산관리학회지, 제27권, 제2호, 171-185.

김은갑 (2014), "계획/주문 제품 생산 시스템에서 생산 유형 결정, 수요 통제, 부품재고 관리에 대한 연구," 한국생산관리학회지, 제25권, 제4호, 383-400.

김익현, 진현웅 (2014), "재고관리 정책 선택을 위한 요인들의 영향 분석: 시스템다이내믹스 방법론에 의한 시뮬레이션," 한국생산관리학회지, 제25권, 제4호, 363-381.

유승호, 손진현 (2015), "폐쇄형 공급망 하의 정상품 및 리퍼브제품의 통합적 판매가격 결정: 공급망 구조의 성과 비교," 한국생산관리학회지, 제26권, 제1호, 1-18.

이기광, 윤승철 (2016), "판매지점들의 협조공급을 이용한 재고관리 방법에 관한 연구," 한국생산관리학회지, 제27권, 제1호, 27-45.

Aras, N., R. Güllü and S. Yürülmez (2011), "Optimal Inventory and Pricing Policies for Remanufacturable Leased Products," *International Journal of Production Economics*, Vol.133,

www.kci.go.kr

No.1, 262-271.

Cheng, T. C. E. (1991), "An Economic Order Quantity Model with Demand-Dependent Unit Production Cost and Imperfect Production Process," *IIE Transactions*, Vol.23, No.1, 23-28.

Guide Jr., V. D. R., E. D. Gunes, G. C. Souza and L. N. van Wassenhove (2008), "The Optimal Disposition Decision for Product Returns," *Operations Management Research*, Vol.1, No.1, 6-14.

Khan, M., M. Y. Jaber and M. Bonney (2011), "All Economic Order Quantity (EOQ) for Items with Imperfect Quality and Inspection Errors," *International Journal of Production Economics*, Vol.133, No.1, 113-118.

Lee, H. L. and M. J. Rosenblatt (1987), "Simultaneous Determination of Production Cycle and Inspection Schedules in a Production System," *Management Science*, Vol.33, No. 9, 1125-1136.

Lee, H. L. and M. J. Rosenblatt (1989), "A Production and Maintenance Planning Model with Restoration Cost Dependent on Detection Delay," *IIE Transactions*, Vol.21, No.4, 368-375.

Lee, J. S. and K. S. Park (1991), "Joint Determination of Production Cycle and Inspection Intervals in a Deteriorating Production," *Journal of the Operational Research Society*, Vol.42, No.9, 775-783.

Lee, W. J., D. Kim and A. V. Cabot (1996), "Optimal Demand Rate, Lot Sizing and Process Reliability Improvement Decisions," *IIE Transactions*, Vol.28, No.11, 941-952.

Liou, M. J., S. T. Tseng and T. M. Lin (1994), "The Effects of Inspection Errors to the Imperfect EMQ Model," *IIE Transactions*, Vol.26, No. 2, 42-51.

Ouyang, L. Y. and C. T. Chang (2013), "Optimal Production Lot with Imperfect Production Process under Permissible Delay in Payments and Complete Backlogging," *International Journal of Production Economics*, Vol.144, No.2, 610-617.

Ovchinnikov, A. (2011), "Revenue and Cost Management for Remanufactured Products," *Production and Operations Management*, Vol. 20, No.6, 824-840.

Porteus, E. L. (1986), "Optimal Lot Sizing, Process Quality Improvement and Setup Cost Reduction," *Operations Research*, Vol.34, No. 1, 137-144.

Rosenblatt, M. J. and H. L. Lee (1986), "Economic Production Cycles with Imperfect Production Processes," *IIE Transactions*, Vol.18, No.1, 48-55.

Salameh, M. K. and M. Y. Jaber (2000), "Economic Production Quantity Model for Items with Imperfect Quality," *International Journal of Production Economics*, Vol.64, No.1, 59-64.

Tripathy, P. K., W. M. Wee and P. R. Majhi (2003). "An EOQ Model with Process Reliability Considerations," *Journal of the Operational Research Society*, Vol.54, No.5, 549-554.

Ullah, M. and C. W. Kang (2014), "Effect of Rework, Rejects and Inspection on Lot Size with Work-in-Process Inventory," *International Journal of Production Research*, Vol.52, No.8, 2448-2460.

Vorasayan, J. and S. M. Ryan (2006), "Optimal Price and Quantity of Refurbished Products," *Production and Operations Management*, Vol.15, No.3, 368-383.

www.kci.go.kr

Wang, C. and S. Sheu (2003), "Determining the Optimal Production - Maintenance Policy with Inspection Errors: Using a Markov Chain," *Computers & Operations Research*, Vol.30, No.1, 1-17.

Yeh, R. H. and T. Chen (2006), "Optimal Lot Size and Inspection Policy for Products with Warranty," *European Journal of Operational Research*, Vol.174, No.2, 766-776.

Zhang, X. and Y. Gerchak (1990), "Joint Lot Sizing and Inspection Policy in an EOQ Model with Random Yield," *IIE Transactions*, Vol. 22, No.1, 41-47.

www.kci.go.kr

Imperfect-Quality Inventory Model with Product Refurbishment

Seung Ho Yoo*

Abstract

This study introduces an imperfect-quality inventory model, involving both the manufacturing and refurbishing processes. The manufacturing process is not only responsible for production, but also for the first-market sales of new items, while the refurbishing process deals with the refurbishment of defective items and the second-market sales of such refurbished items. The manufacturing process is imperfect in practice, and hence yields defective items, which we assume to follow a binomial probability distribution. The defective items can be disposed by either being refurbished or scrapped. The amount of defects to be refurbished for second-market sales is determined by consumer purchase patterns comparing sales prices between new and refurbished items. We introduce a comprehensive inventory-refurbishing model which jointly determines the optimal production size, refurbishment lot size, and the sales price of the refurbished item. We reveal that the refurbishment of defective items can be an effective disposal option to enhance the overall profit performance, while providing practical guidelines for the effective management of both the manufacturing and refurbishing processes. We also provide important managerial insights on supply chain practices of whether and how refurbishment can enhance overall profitability and when it needs to be facilitated.

Key words: Inventory management, Quality management, Refurbishment, Supply chain management, Closed-loop supply chain

* Department of Business Administration, Sunmoon University, Associate Professor

www.kci.go.kr