Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 23, No. 4 pp. 204-209, 2022

https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.4.204
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

분산제조환경에서 VMI 기반의 원자재 통합관리 기법에 관한 연구

김기범
울산과학대학교 산업경영공학과

A Study on the Integrated Inventory Control of Materials Based on VMI in Distributed Manufacturing Environment

Ki Bum Kim
Department of Industrial Management Engineering, Ulsan College

요 약 본 연구는 원자재를 생산하는 모기업과 모기업으로부터 완제품의 주문과 함께 원자재를 할당받아 완제품을 생산하는 다수의 협력기업, 모기업과 협력기업 간의 물류분배를 담당하는 중앙 물류센터로 구성된 분산제조환경에서 VMI(Vendor Managed Inventory) 기법을 활용한 원자재 재고의 통합관리 기법에 대해 다룬다. 전통적인 재고관리 기법에서 협력기업은 완제품 생산에 필요한 원자재의 소요량을 산출하여 모기업에 주문하고, 이를 통해 공급받은 원자재로 완제품을 생산한다. 이때 완제품 생산에 필요한 원자재를 보유하고 있지 않을 경우, 협력기업이 보유하고 있는 원자재 재고에 비해 완제품 납기준수율의 낮아지는 현상이 빈번하게 발생한다. 본 연구에서 제안한 VMI기반의 원자재 재고 통합관리 모델에서는 협력기업의 생산능력을 기반으로 보유해야 하는 최적의 원자재 재고수준을 설정한다. 그리고 완제품 생산에 따른 원자재 재고의 변동에 대한 정보를 모기업과 공유하여 원자재를 자동으로 보충해 준다. 모기업에서 완제품 생산에 필요한 원자재를 통합 관리하기 때문에 원자재 재고관리의 효율성뿐만 아니라 완제품 생산의 효과성을 높일 수 있다. 본 연구에서 제안한 원자재 재고 통합관리 기법을 통해 각 협력기업에서 보유하고 있는 재고수준을 39.4% 줄이면서 동시에 완제품 납기준수율을 14.5% 향상시킬 수 있음을 시뮬레이션 실험을 통해 검증하였다.

Abstract In this study, we consider a manufacturing environment consisting of a parent company that produces raw materials, partner companies that produce finished products by ordering raw materials from the parent company, and a logistics center responsible for raw material distribution and devised a model for the integrated control of raw material inventory using VMI (Vendor Managed Inventory). For traditional inventory control, a partner company calculates its raw material requirements and orders them from the parent company. On the other hand, for VMI-based integrated inventory control, optimal raw material inventory levels for partner companies are set based on production capacity, and raw material requirements are shared with the parent company so that optimal amounts of raw materials can be maintained. As a result, inventory control and production efficiencies are improved because the parent company that allocates orders for finished products manages the raw materials required for production. Simulation experiments verified that the inventory level of each partner company could be reduced by about 40% and that on-time delivery rates could be improved by about 15% using the proposed model.

Keywords : Distributed Manufacturing Environments, Information Sharing, Integrated Inventory Control, Supply Chain, Vendor Managed Inventory

이 논문은 2021년 울산과학대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행됨.
*Corresponding Author : Ki Bum Kim(Ulsan College)
email: kbkim@uc.ac.kr
Received January 6, 2022 Revised March 4, 2022
Accepted April 1, 2022 Published April 30, 2022

1. 서론

VMI(Vendor Managed Inventory)는 공급사슬 내 생산자와 판매자 간의 협력관계를 바탕으로 생산자가 직접 판매자의 재고를 관리하는 전략이다. 전통적인 재고관리 기법에서는 판매자의 주문에 기반하여 생산자가 제품을 공급해 주는 체계임에 반해 VMI 환경에서는 판매자의 판매 및 재고정보를 기반으로 생산자가 제품 재고의 보충시점 및 보충량을 결정한다. 이를 위해서는 생산자와 판매자 간의 강한 파트너십을 기반으로 한 수요정보의 공유가 필수적이라 할 수 있다[1]. VMI를 적용할 경우, 판매자는 재고보충에 대한 걱정 없이 제품의 판매활동에 전념할 수 있으며, 생산자는 제품의 생산과 판매자에게로의 공급에만 집중할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 공급사슬의 관점에서도 전통적인 재고관리 기법보다 전체 재고수준이 감소하고 동시에 고객의 서비스 수준은 높아져 생산자와 판매자 모두 윈윈(Win-Win) 할 수 있고, 이로 인해 국내에서는 2000년 이후 대형 할인점을 중심으로 VMI 적용이 증가하고 있는 추세이다[2].

본 연구에서는 기존의 판매물류 중심이었던 VMI의 적용 범위를 넓혀, 완제품 생산을 위한 원자재 공급물류를 대상으로 VMI 기반의 재고관리 모델을 적용하고자 한다. 이를 위해 원자재를 생산하는 모기업과, 모기업으로부터 완제품 주문과 함께 원자재를 공급받아 완제품을 생산하는 다수의 협력기업, 그리고 모기업과 협력기업 사이에 원자재를 보관 및 공급하는 중앙 물류센터로 구성된 분산제조환경을 가정한다. 원자재 재고의 효율적 관리를 위해 중앙 물류센터 및 협력기업의 최적 재고수준을 설정하고, 이를 기반으로 모기업을 중심으로 한 VMI 재고관리 모델을 제안한다. 그리고 제안한 모델의 성능과 적용 가능성을 시뮬레이션 실험을 통해 검증한다.

2. 기존연구

VMI에 관한 연구는 크게 VMI의 적용효과에 관한 연구, VMI 운영을 위한 최적 재고량 설정에 관한 연구 그리고 VMI의 운영 프로세스에 관한 연구로 나누어 볼 수 있다.

우선 VMI의 적용효과에 관한 연구는 공급사슬 상의 정보공유와 관련된 연구로부터 시작한다. Bourland et al.(1996)은 판매자의 재고수준을 고려한 생산자의 생산량 결정 모델을 제안하였고, 생산량 결정을 위한 재고정보의 공유가 결국에는 재고수준을 줄일 수 있음을 확인하였다[3]. 한편 Kim(2007)은 공급사슬 상의 정보공유의 가치와 효과 관점에서 VMI 시스템과 단순 수요정보 공유시스템을 비교하였고, 생산자와 소매상의 강한 파트너십을 기반으로 한 VMI 적용이 공급사슬 전체적인 재고수준을 낮출 수 있음을 정량적으로 분석하였다[4]. VMI 운영을 위한 최적 재고량 설정에 관한 연구로 Hong & Park(2008)은 공급자가 계획기간 동안 소매점에서의 예측된 고객수요에 대응하기 위해 공급자 주문비용과 재고 유지비용, 소매점 재고 유지비와 품절비용, 차량고정비와 변동비용의 합으로 계산되는 총비용의 최소화를 목적으로 공급자 및 소매점의 재고관리와 배송 차량의 경로를 계획하는 최적화 문제를 제안하였다[2]. 또한 Jeong and Choi(2004)는 VMI 시스템에서 공급자의 최적 주문량을 결정하는 수리적 모형을 공급자와 구매자의 수익함수와 함께 제안하였고, 재고관련 비용이 공급자에게 이양됨에 따라 원활한 VMI 시행을 위해서는 공급자와 구매자 간의 적절한 이익 재분배가 필요하다는 연구를 진행하였다[5]. 마지막으로 VMI의 운영 프로세스에 관한 연구로 Kwon et. al(2007)은 유통업체의 VMI 운영현황에 대한 실증분석을 통해 제조업체의 전문성과 판매예측값의 부정확성이 VMI 운영상의 주요 문제인 것을 밝혀냈으며, VMI의 운영성과 극대화를 위해서는 VMI 운영에 대한 전문성 및 정확한 판매예측이 선행되어야 한다는 점을 제시하였다[6].

앞서 살펴본 기존 연구의 대부분은 주로 생산자와 판매자 간의 완제품 재고를 대상으로 하고 있다. 본 연구에서는 이를 원자재 공급물류로 확장하여, 안정적인 원자재 공급을 위한 VMI 기반의 원자재 통합관리 모델을 제시한다.

3. 분산제조환경에서의 재고관리 모델

본 연구에서 가정하고 있는 분산제조환경은 Fig. 1과 같다. 완제품 생산에 필요한 원자재를 생산하는 모기업은 고객으로부터 완제품 주문을 직접 받는다. 모기업은 고객주문을 가장 효율적으로 처리할 수 있는 협력기업에게 주문을 할당하고, 협력기업은 할당받은 주문에 따라 완제품을 생산하여 고객에게 공급한다. 모기업에서 생산된 원자재는 중앙 물류센터를 통해 협력기업에게 공급된다.

이러한 환경에서 VMI 기반의 원자재 통합관리를 위해서는 모기업과 중앙 물류센터의 최적 재고량을 설정해

야 한다. 우선 모기업은 협력기업별로 담당하는 수요권역에서 자주 발생하는 완제품 수요를 기반으로 협력기업의 최적 재고량을 설정한다. 또한 모기업의 중앙 물류센터에는 기존의 협력기업에서 보유하고 있는 원자재 재고를 통합 보관하며, 협력기업의 최적 재고량을 관찰하여 재고수준이 재주문점 이하로 떨어지게 되면 최적 재고량까지 채울 수 있도록 자동 보충량을 계산한다.

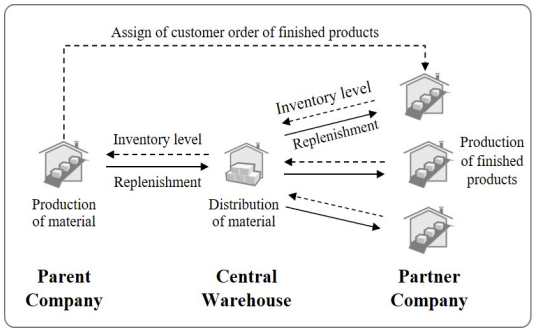

Fig. 1. Supply chain structure in distributed manufacturing environment

3.1 중앙 물류센터 재고량 산출

중앙 물류센터의 최적 재고량은 재고풀링 효과를 반영하여 산출한다. 재고풀링 효과는 n개의 분산된 재고를 단일 물류창고에 통합 보관하여 운영할 경우, 기존과 동일한 서비스 수준을 유지하면서도 재고수준은 $1/\sqrt{n}$ 만큼 감소하는 공급사슬상의 재고통합 효과에 관한 대표적인 이론이다[7,8]. 본 연구에서는 협력기업별 원자재 사용 유무에 따라 원자재별 재고풀링 인덱스를 Eq. (1)과 같이 산출한다.

$$PI_m = 1/\sqrt{\sum_p U_{m,p}} \quad (1)$$

Where, PI_m denotes the inventory pooling index for each material m and $U_{m,p}$ denotes the number of partner company with a record of using each material m at partner company p

물류센터의 재고수준은 주기재고와 안전재고의 합으로 계산되며, 주기재고는 Eq. (2)와 같이 자재별 월평균 소요량에 자재별 조달 리드타임을 곱하여 계산한다. 안전재고는 불확실성에 대비하기 위한 재고로서 Eq. (3)과 같이 자재별 소요량의 편차와 물류센터의 목표 서비스 수준, 그리고 자재별 조달 리드타임을 곱하여 계산하며, 물류센터의 자재별 최적 재고는 Eq. (4)와 같이 자재별 주기재고와 안전재고의 합에 원자재별 재고풀링 인덱스를 곱하여 계산한다.

$$CI_m = AC_m \times LT_m \quad (2)$$

$$SI_m = DEV_m \times SV^d \times LT_m \quad (3)$$

$$OI_m = PI_m \times (CI_m + SI_m) \quad (4)$$

Where CI_m denotes the cycle inventory of each material m at central warehouse, AC_m denotes the average requirement of each material m, LT_m denotes the procurement lead time for each material m, SI_m denotes the safety inventory of each material m at central warehouse, DEV_m denotes the deviation of requirements of each material m, SV^d denotes the target service level of central warehouse, OI_m denotes the optimal inventory level of each material m at central warehouse

3.2 협력기업 최적 재고량 산출

협력기업의 최적 재고량 역시 중앙 물류센터의 재고량 산출과 동일하게 주기재고와 안전재고의 합으로 산출한다. 이때, 같은 수요권역 내에도 다수의 협력기업이 존재하기 때문에 수요 권역에 따라 재고수준을 산출한 후 이를 협력기업의 완제품 생산능력을 기준으로 할당하게 된다. 수요권역에 따른 원자재별 주기재고는 Eq. (5)와 같이 해당 권역 내에서의 자재별 월평균 소요량에 자재별 조달 리드타임을 곱하여 계산한다. 또한 수요권역에 따른 원자재별 안전재고는 Eq. (6)과 같이 권역 내에서의 자재별 소요량의 편차와 수요권역별 목표 서비스 수준, 그리고 자재별 조달 리드타임을 곱하여 계산한다. 수요권역 내에서의 자재별 최적재고는 Eq. (7)과 같이 주기재고와 안전재고의 합으로 계산된다. 협력기업의 자재별 최적재고는 협력기업별 재고할당 비중을 기반으로 산출하며, 재고할당 비중은 Eq. (8)과 같이 동일 수요권역 내의 총 생산능력에 대한 해당 협력기업의 생산능력 비율로 산출한다. 이를 통해 Eq. (9)와 같이 협력기업별 자재별 최적재고를 산출한다.

$$CI_{r,m} = AC_{r,m} \times LT_m \quad (5)$$

$$SI_{r,m} = DEV_{r,m} \times SV_r^d \times LT_m \quad (6)$$

$$OI_{r,m} = CI_{r,m} + SI_{r,m} \quad (7)$$

$$R_p = PC_p / \sum_p PC_p \quad (8)$$

$$OI_{p,m} = OI_{r,m} / R_p \quad (9)$$

Where, $CI_{r,m}$ denotes the cycle inventory of each material m at demand area r, $AC_{r,m}$ denotes the average requirement of each material m at demand area r, LT_m denotes the procurement lead time for each material m, $SI_{r,m}$ denotes the safety inventory of each material m at demand area r, $DEV_{r,m}$ denotes the deviation of requirements of each material m at demand area r, SV_r^d denotes the target service level of central warehouse, $OI_{r,m}$ denotes the optimal inventory level of each material m at demand area r, R_p denotes the assignment rate for inventory at partner company p, PC_p denotes the production capacity of partner company p, $OP_{p,m}$ denotes the optimal inventory level of each material m at partner company p

4. 실험

4.1 실험 설계

본 연구에서 제안한 VMI 기반의 원자재 통합관리 기법의 성능과 적용 가능성을 검증하기 위하여 건축용 원자재를 생산함과 동시에 다수의 협력기업을 통해 완제품을 생산하는 A사의 데이터를 활용하여 시뮬레이션 실험을 진행하였다. 시뮬레이션에 입력된 데이터는 A사에서 과거 1년간 고객으로부터 받은 실제 완제품 주문 약 6,300건과 완제품 생산에 필요한 원자재의 기초재고 데이터이다. 현재 A사로부터 완제품 주문을 할당받은 협력기업들은 완제품 생산에 필요한 원자재를 A사에게 주문하는 전통적인 방식의 재고보충을 하고 있다. 협력기업들은 불확실한 완제품 주문에 대응하기 위하여 원자재별로 안전재고를 설정하여 운영하고 있으나, 실제로는 목표 수준보다 훨씬 더 많은 양의 원자재를 보유하는 문제점이 발생하고 있다. 더 심각한 문제는 필요한 원자재의 부족이다. 즉, 수요가 빈번하게 발생하는 완제품 생산에 필요한 원자재는 부족하고, 반대로 수요가 뜸하게 들어오는 완제품 생산에 필요한 원자재는 많은 양의 재고를 보유하고 있다. 이에 따라 협력기업이 보유하고 있는 원자재 재고와 완제품 주문의 대응 수준, 즉 납기 준수율 간의 상관성이 매우 낮은 상황이다. 이에 본 실험에서는 현재와 같은 완제품 재고관리 방식을 대조군으로, 본 연구에서 제안한 VMI 기반의 통합 재고관리 방식을 실험군으로 설정하였고, 실험에 사용된 시뮬레이션 로직은 Fig. 2와 같다.

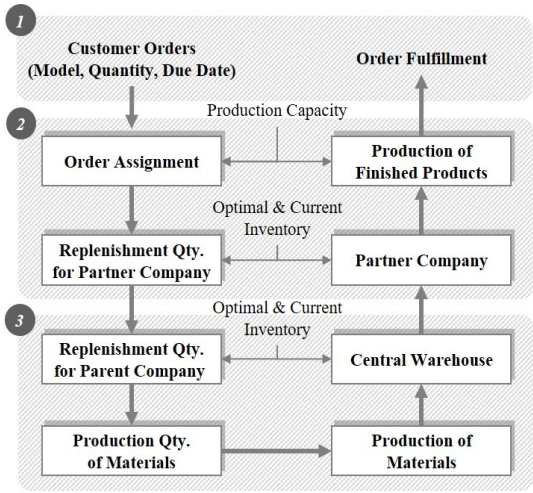

Fig. 2. Simulation logic for experiment

완제품 주문정보인 납품처, 수량, 납기요구일 정보를 입력받으면 이를 통해 협력기업에 완제품 주문을 할당하여 보유하고 있는 재고로 완제품을 생산하여 출하한다. 협력기업에 할당된 완제품 주문정보와 현재의 재고수준은 협력기업과 물류센터의 재고 보충량을 계산하는데 활용되며, 재고보충량 만큼 모기업에서 원자재를 생산하여 물류센터를 통해 협력기업에 보충 하게 된다. 실험에 사용된 성과지표는 완제품에 대한 납기준수율과, 협력기업의 재고수준, 중앙 물류센터의 재고수준을 사용하였다. Fig. 2의 1번 영역에서는 대조군과 실험군에서 1년 동안 A사에서 협력기업에 할당한 완제품 주문에 대한 납기준수율을 비교하였다. 납기준수율은 1년간 A사가 받은 약 6,300건의 완제품 주문에 대해 고객의 납기 요구일을 충족했는가 여부로 측정하였다. 또한 2, 3번 영역에서는 1년 동안의 완제품 주문을 처리하는 과정에서 발생한 협력기업과 중앙 물류센터에서 보유하고 있는 재고수준의 변동을 일단위로 관찰하였고, 재고수준은 비용으로 환산하여 분석하였다.

4.2 실험결과 분석

실험결과는 Table 1과 같다. 1년 동안의 완제품 주문 약 6,300건에 대하여 시뮬레이션을 연속적으로 반복하여 실험한 결과 고객 주문에 대한 완제품의 납기 준수율은 대조군 85.5%에서 실험군 97.9%로 12.4%P 개선되었다. 반면 공급사슬상의 총 재고비용, 즉 협력기업과 물류센터 재고비용의 합은 대조군 대비 실험군에서 39.4% 줄어든 것으로 나타났다. 세부적으로 볼 때, 협력기업이 보유하고 있는 원자재 재고의 총량은 월별 완제품 주문 수량에 따라 차이가 발생하였으나, 총 재고량을 기준으로 볼 때, 대조군 대비 실험군에서 58% 절감된 것으로 나타났다. 다만 물류센터의 재고는 기존에 협력기업에 흩어져 있는 재고를 통합 관리하기 때문에 재고 통합 효과를 감안한다 하여도 실험군 대비 34% 증가한 것으로 나타났다.

Table 1. Experimental results for VMI-based integrated inventory control model

Performance Measure	Conventional Inventory Control	VMI based Inventory Control
On-Time Delivery (%)	85.5	97.9
Total Inventory of Whole Supply Chain (mil. won)	6,607	4,002
Inventory of Partner Company (mil. won)	5,270	2,211
Inventory of Central Warehouse (mil. won)	1,337	1,791

이러한 실험결과는 VMI 기반의 원자재 통합 재고관리 모델을 통해 부품공급망 상의 재고 효율화뿐만 아니라 고객 주문에 대한 대응력이 개선되었음을 의미한다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 납기준수율은 시뮬레이션이 시작된 초기 약 2개월간 떨어지는 것을 볼 수 있는데, 이는 물류센터와 협력회사가 보유하고 있는 원자재 기초재고가 완제품 주문에 사용되지 못하는 미스매칭 현상으로 인한 것이다. 그러나 이후 구간부터는 주문이 빈번하게 들어오는 완제품에 적합한 원자재 재고를 보유하게 됨으로써 납기준수율은 높은 수준을 계속 유지하게 된다. 중앙 물류센터와 협력기업이 보유하고 있는 원자재 재고는 1년 내내 거의 일정한 수준을 유지하였다. 이는 협력기업의 원자재 수요와 원자재 공급 리드타임, 완제품 생산능력을 고려하여 도출한 최적 재고수준을 유지하고 있기 때문으로 볼 수 있다. 뿐만 아니라 수요권역과 협력기업별로 가장 빈번하게 발생하는 완제품 주문에 사용 가능한 원자재를 보유하게 되었고, 그 결과 완제품 주문에 대한 납기준수율이 기존 방식 대비 대폭 개선된 것으로 볼 수 있다. 연간 일정한 수준의 재고를 유지하는 것은 관리 측면에서의 효율성뿐만 아니라 안정적인 생산 실행이 가능하고 이는 결국 고객의 주문에 대한 대응력을 높일 수 있음을 의미한다.

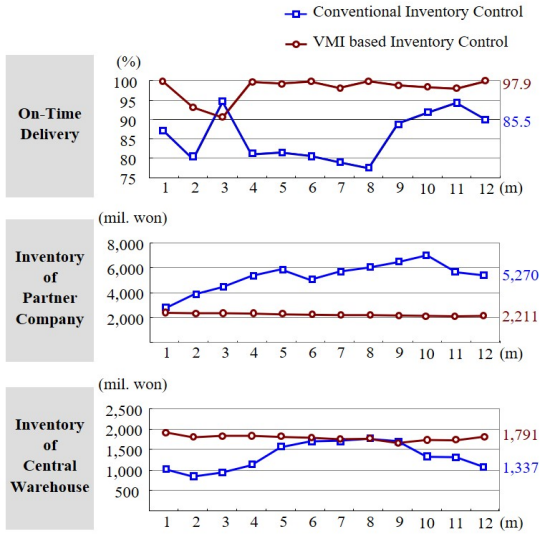

Fig. 3. Changes in performance indicators during the time periods of experiment

5. 결론

본 연구에서는 분산제조환경 하에서 원자재 공급물류를 대상으로 VMI 기법을 활용한 원자재 재고의 통합관리 기법을 제안하였다. VMI 운영을 위한 최적 재고수준 설정 모델을 제안하였고, 제안된 모델을 기반으로 완제품 생산을 위한 원자재 자동 보충 프로세스를 제안하였다. 기업의 실데이터를 기반으로 한 시뮬레이션 실험으로 전통적인 재고관리 기법에 비해 공급망 전체의 재고수준을 39.4% 낮추면서 동시에 고객의 주문 대응력을 14.5% 높일 수 있음을 확인하였다. 이는 원자재 재고에 대한 부담을 줄이면서 동시에 완제품의 생산 대응력을 높이고자 하는 기업의 재고관리 분야에 적용 가능한 모델임을 검증한 것이다.

본 연구의 한계점과 향후 연구방향은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 완제품 수요의 계절적 변동을 고려하

지 않았다. 수요의 변동구간에 따라 물류센터 및 협력기업의 최적 재고수준이 탄력적으로 운영될 수 있는 모델의 개발이 필요할 것이다. 둘째, 본 연구에서는 원자재를 생산하는 다일 생산자와 완제품을 생산하는 다수의 생산자를 가정한 1:N 구조의 공급물류를 가정하였다. 향후 다수의 원자재 생산자와 다수의 완제품 생산자가 존재하는 M:N 구조의 공급물류 상에서 VMI 기반의 원자재 재고운영 모델에 대한 추가적인 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

References

[1] J. S. Kim and S. Benjaafar, "On the Benefits of Inventory-Pooling in Production Inventory Systems", *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol.4, No.1, pp.12-16, Jan. 2002.
DOI: https://doi.org/10.1287/msom.4.1.12.284

[2] S. C. Hong and Y. B. Park, "A Heuristic for Vendor-managed Inventory/Distribution Problems in the Retail Supply Chain", *Korean Management Science Review*, Vol.25, No.1, pp.107-121, Mar. 2008.

[3] K. E. Bourland, S. G. Powell, and D. F. Pyke, "Exploring Timely Demand Information to Reduce Inventories", *European Journal of Operations Research*, Vol.92, No.2, pp.239-253, Jul. 1996.
DOI: https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00136-0

[4] N. K. Kim, "Comparing the Relative Benefits between the VMI System and the Simple Demand Information Sharing System in a Two-Stage Supply Chain", *Korean Jouranl of Business Administration*, Vol.20, No.4, pp.1627-1646, Aug. 2007.

[5] J. W. Jeong and I. C. Choi, "The Optimal Order Quantities in the Vendor Managed Inventory System with the nQ Ordering Policy", *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol.4, No.1, pp.23-30, Jun. 2004.

[6] O. K. Kwon, D. K. Kim, H. G. Park and J. H. Jung, "The Study on Order Management Process from the Supply Chain Management Perspectives", *Korean Journal of Logistics*, Vol.15, No.1, pp.1-18, Jun. 2007.

[7] D. H. Maister, "Centralization of Inventories and the Square Root Law", *International Journal of Physical Distribution*, Vol.6, No.3, pp.124-134, Jan. 1976.
DOI: https://doi.org/10.1108/eb014366

[8] G. D. Eppen, "Effects of Centralization of Expected Costs in a Multi-Location Newsboy Problem", *Management Science*, Vol.25, No.5, pp.498-501, May 1979.
DOI: https://doi.org/10.1287/mnsc.25.5.498

김 기 범(Ki Bum Kim) [종신회원]

- 2003년 2월 : 연세대학교 정보산업공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 연세대학교 정보산업공학과 (공학박사)
- 2008년 12월 ~ 2019년 2월 : LG생산기술원 책임연구원
- 2019년 3월 ~ 현재 : 울산과학대학교 산업경영공학과 교수

〈관심분야〉
생산관리, SCM, 스마트팩토리