

## 안전재고입지를 고려한 물적 분배시스템 운영에 관한 연구

- A Study on the Operation of Physical Distribution  
System with the Allocation of Safety Stock -

김 병 찬\*

Kim Phoung Chan

김 형 준\*\*

Kim Hyung Jun

### Abstract

An operational strategy for inventory control on finished goods in the distribution system has been given attention to many enterprises and many studies regarding this field have been done and is also on-going currently.

Many of these studies represented a large scale distribution network with a unified formulation by using defined symbols. These methods have provided the systematic approach of the distribution network but they are impossible to applying the reality system due to not considering the service rate of demand and treating the shortage of inventory.

In order to overcome these unrealistic problems, the novel safety stock policy of responding to customers' inventory distribution network is suggested. this paper explores the transportation between Central Distribution Center(CDC) and Regional Distribution Center(RDC). Especially, the relation of transportation cost between CDC and RDC and cost of inventory control according to safety inventory with service level are emphasized. We could obtain the good results of this study by determining the optimal safety stock considering the various variables and constraints.

---

\* 수원과학대학 공업경영과 겸임교수

\*\* 서일대학 공업경영과 교수

## 1. 서론

재고모형은 여러 분야로 확장 연구되어왔다. 그 중에 한가지 연구분야가 고객서비스 요구에 대처하기 위한 안전재고 관련연구이다. 박광현 [1]은 재고부족 허용하의 총 운용비용에 대한 연구를 진행하였다. 박광현 [1]의 연구에 따르면 높은 수준의 서비스율은 많은 재고를 유지하게 되고 그에 따르는 재고 유지비의 증대를 야기 시키므로 적정수준의 재고 부족 허용을 통하여 재고관련 운용비용을 절감에 대한 연구를 하였다. 김병찬 [2]은 부재고 발생시 급송조달에 관한 연구를 진행하였다. 수요지와 고속도로 네트워크망을 고려한 입지에 대한연구[6,8]등이 연구, 다단계분배시스템에서 서비스 수준설정에 관한 연구[7] 등이 있다.

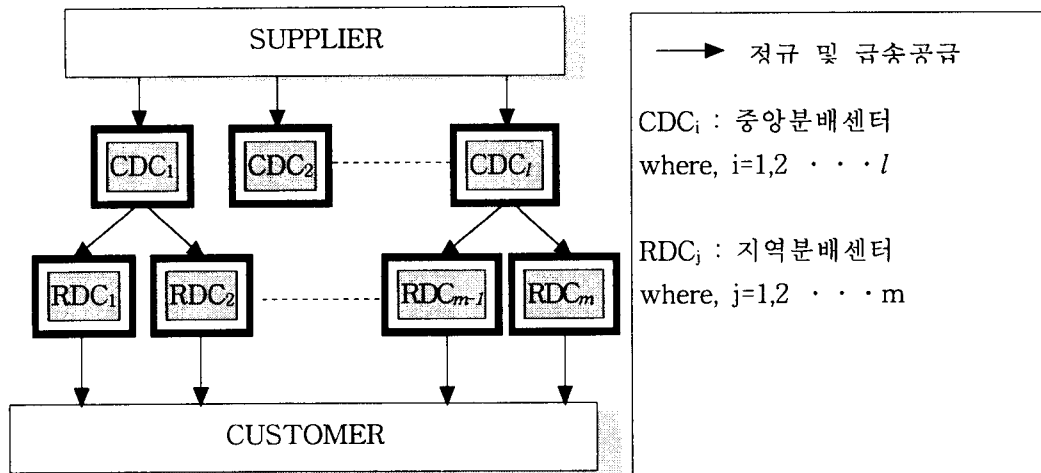
각 기업마다 지역의 요구되는 수요에 대처하기 위한 기능을 담당할 수 있는 분배센터는 반드시 필요하며 분배센터 운영에 따르는 고정비나 변동비가 요구되는 바 분배센터 운영에 대한 경제성 분석과 운영형태 즉, 자가창고운영, 영업창고운영 아니면 자가창고와 영업창고를 결합시킨 형태의 운영 등에 대한 경제성 분석이 선행되어야 한다.

기존의 연구들도 분배시스템의 설계 및 운영 [2-5]에 관한 연구를 진행하였으며, 재고통제 모델설정을 위한 방법론 특히, 재고부족발생시 급송조달에 관한 연구나 재고부족비용에 관한 연구 등이 진행되어 왔다. 하지만 분배시스템의 설계와 관련된 연구들은 대규모 분배네트워크를 정의된 기호를 통하여 하나의 통일된 수식으로 표현함으로써 분배네트워크에 대한 시스템적 접근을 가능케 했다는 점에서 높이 평가 될 수 있으나 요구되는 수요수준에 대한 서비스율 및 그에 따르는 대처방안인 부재고 처리문제를 고려하지 않고 있어 현실적 적용에 많은 문제를 안고 있다[1,9]. 또한 분배시스템의 운영적 측면에 관하여 창고의 입지뿐만 아니라 설계문제의 더 나은 이해를 위한 많은 기여를 해왔지만 현 시점에서 분배계획들의 중요 요구사항들이 전통적인 모델들에 의하여 충족되지 못하므로 실제 문제해결에 많은 어려움을 나태내고 있는 실정이다.

본 연구는 중앙분배센터(Central Distribution Center ; CDC), 지역분배센터(Regional Distribution Center ; RDC)를 연결하는 수송단계를 고찰해보고 특히, 본 연구의 고려대상인 중앙분배센터와 지역분배센터 사이의 수송비관계, 정규분포를 따르는 요구되는 서비스 수준별 안전재고와 관련된 재고통제비 관계를 살펴보고 분배네트워크에서 기존 물적 분배시스템의 운영에서 품질에 대한 대처방안으로 요구되는 서비스수준 설정에 대한 두 가지 대안 즉 ① 중앙 분배센터와 지역분배센터에 분산 보유하는 경우 ② 지역분배센터에 보유하는 경우로 나누어 각 대안별 운영비용을 비교 검토 하고자 한다.

## 2. 문제분석 및 가정

본 연구에서 고려하는 중앙분배센터와 지역분배센터의 정규 및 급송혼용방식에 따른 제품의 조달과정은 다음의 [그림1]과 같이 나타내어 질 수 있다.



[그림 1] 정규 및 급송 혼용조달 관계

[그림 1]은 중앙분배센터 I에서 지역분배센터 j 로 정규공급 하거나 제품 보유가 부족하거나 품절시 정규공급조달 및 급송을 통해 제품을 조달하는 재고통제 전략이라고 할 수 있다. 또한 물적 분배시스템의 운영에서 품절에 대한 대처방안으로 요구되는 서비스수준 설정에 대한 두 가지 대안 즉 ① 중앙 분배센터 와 지역분배센터에 분산 보유하는 경우 ② 지역분배센터에 보유하는 경우로 나누어 살펴보고자 한다.

본 연구에서 사용되는 가정은 다음과 같다.

- 1) 요구되는 서비스 수준은 정규분포를 따른다.
- 2) 품목은 단일 품목을 고려한다.
- 3) 중앙분배센터 및 지역분배센터에서의 재고부족시 급송은 동일단계 즉, 같은 수준의 분배센터로부터 조달받지 아니하고 상위단계의 분배센터로부터 조달받는다.
- 4) 서비스 수준에 따르는 재고부족을 허용하되 재고부족비로 처리하지 않고 부재고로 처리하여 급송이 이루어진다.

### 3. 수식모형 및 해법

#### 3.1 기호의 정의

본 연구의 수식모형전개에 사용되는 기호는 다음과 같다.

$D$  = 년 수요량

$Q_t$  = 정규공급 총평균 수송량. 단,  $t$ 는 정규 재공급 간격.

$Q_c$  = 재고부족분에 대한 총평균 급송량 .

$N_{ijp}$  = 정규공급시 평균수송비

$C_{ijp}$  = 중앙분배센터(CDC<sub>i</sub>)에서 지역분배센터(RDC<sub>j</sub>)로의 급송수송비용.

$CDC_{iH_c}$  = 중앙분배센터(CDC<sub>i</sub>)에서의 재고유지비용.

$\frac{1}{t} = \frac{1}{\text{발주간격}}$  즉, 정규재공급 회수를 나타낸다.

$TL_{ij}$  = 중앙분배센터(CDC<sub>i</sub>)에서 지역분배센터(RDC<sub>j</sub>)로의 총평균 수송거리.

$W_{ijp}$  = 중앙분배센터(CDC<sub>i</sub>)에서 지역분배센터(RDC<sub>j</sub>)로의  $p$ 품목의 평균수송량.

$V_{ijp}$  = 중앙분배센터(CDC<sub>i</sub>)에서 지역분배센터(RDC<sub>j</sub>)로의  $p$ 품목의 급송수송량.

$N_{ijp}$  = 정규공급시 평균수송비

$z$  = 안전계수

$\sigma_d$  = 수요의 표준편차

$L_{ijp}$  = 중앙분배센터(CDC<sub>i</sub>)와 지역분배센터(RDC<sub>j</sub>) 간의 수송거리

$k$  = 단위중량당 수송비용

$SL$  = 요구되는 서비스 수준

$H_c$  = 단위당 재고 유지비용

## 3.2 분배센터별 서비스수준에 따른 안전재고 정책

### 3.2.1 안전재고를 중앙분배센터 및 지역분배센터에 보유하는 경우

요구되는 서비스 수준만큼의 안전재고량이 포함된 경우 수송비용 산정을 위한 계산 절차는 다음과 같다

#### 1) 정규수송비용

정규 재공급시 총평균 수송량은 다음 식(1)을 통하여 구하여진다. 정규공급 총평균 수송량은

$$Q_t = \frac{1}{t} \sum_i \sum_j \sum_p W_{ijp} \quad (1)$$

정규 재공급 총평균 수송거리는 다음식 (2)를 통하여 구하여진다. 중앙분배센터  $i$ 와 지역분배센터  $j$  사이의 총평균 수송거리는

$$TL_{ij} = \frac{1}{t} \sum_i \sum_j L_{ij} \quad (2)$$

수요가 정규분포를 따르는 경우의 요구되는 서비스 수준별 안전재고량은 다음 식 (3) 과 같다.

$$z \cdot \sigma_d \quad (3)$$

(단,  $z \cdot \sigma_d$ 는 식 (4)의 결과 값을 정규분포표에서 찾아 안전재고량을 결정한다.

일년동안의 재고 부족수는 (재고부족율 × 연간수요)와 같다. 또한 재고부족수는 (사이클당 부족수 × 연간발주회수)와도 같다. 그러므로 평균 재고 부족수  $E(z)$ 는  $(1 - SL) \times D = E(z) \cdot \sigma_d \times \frac{D}{Q}$  와 같으며 이를 정리하면 다음 식 (4) 와 같이 표현할 수 있다.

$$E(z) = \frac{(1 - SL)Q}{\sigma_d} \tag{4}$$

중앙분배센터와 지역분배센터간의 단위당 수송비용은 중앙분배센터와 지역분배센터간에는 선형수송비용을 가정한다. 따라서 이러한 수송환경을 고려한 수송비용은 다음 식(5) 에 의하여 표현될 수 있다.

정규공급시 평균 수송비는,

$$N_{ijp} = \frac{1}{t} [ [ (\sum \sum \sum W_{ijp}) + \frac{z \cdot \sigma_d}{2} ] \times L_{ijp} ] \times k \tag{5}$$

2) 재고부족량의 급송수송비

재고부족분에 대한 공급시 총평균 수송량은 다음 식(6)을 통하여 구하여진다. 정규공급 총평균 수송량은 ,

$$Q_c = \frac{1}{t} \sum \sum \sum V_{ijp} \tag{6}$$

과 같다. 따라서, 재고부족량의 급송수송비는 다음 식(7)과 같이 나타낼 수 있으며 이때 급송은 상위단계의 분배센터로부터 공급받는다.

$$C_{ijp} = \frac{1}{t} [ [ (\sum \sum \sum V_{ijp}) ] \times L_{ijp} ] \times k \tag{7}$$

따라서, 요구되는 서비스 수준만큼의 안전재고량을 중앙분배센터 및 지역분배센터에서 보유하고 경우의 수송비용 산정을 위한 총비용 계산식은 식(6), 식(7)에 의하여 다음 식(8)과 같이 표현할 수 있다.

$$VC_{ij} = \frac{1}{t} [ [ (\sum \sum \sum Q_{ijp}) + \frac{z \cdot \sigma_d}{2} ] \times L_{ijp} ] \times k + \frac{1}{t} [ [ (\sum \sum \sum V_{ijp}) ] \times L_{ijp} ] \times k \tag{8}$$

3) 재고통제비용

요구되는 서비스 수준의 안전재고량을 중앙 분배센터 및 지역분배센터에서 보유하는 경우의 재고유지비용은 중앙분배센터에서의 재고유지비용 다음 식(9) 와 지역분배센터에서의 재고유지비용 다음 식(10)으로 나누어 나타내면 다음과 같다.

$$CDC_{iH_c} = [ \frac{1}{2} Q_{CDC} \times \frac{z \cdot \sigma_d}{2} ] H_c \tag{9}$$

$$RDC_{jH_c} = \left[ \frac{1}{2} Q_{RDC} \times \frac{z \cdot \sigma_d}{2} \right] H_c \quad (10)$$

따라서, 요구되는 서비스 수준만큼의 안전재고량을 중앙분배센터 및 지역분배센터에서 보유하고 경우의 재고통제비용을 위한 총재고유지비용 계산식은 식(9), 식(10)에 의하여 다음 식(11)과 같이 표현할 수 있다.

$$H_{Cij} = \left[ \frac{1}{2} Q_{CDC} \times \frac{z \cdot \sigma_d}{2} \right] H_c + \left[ \frac{1}{2} Q_{RDC} \times \frac{z \cdot \sigma_d}{2} \right] H_c \quad (11)$$

요구되는 서비스 수준의 안전재고량을 중앙분배센터 및 지역분배센터에서 보유하는 경우의 총운용비용은 정규제품공급시의 수송비와 서비스 수준설정에 의한 재고부족량에 대한 급송비용 및 중앙분배센터 및 지역분배센터에서의 재고유지비용의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서 총비용은 식 (8), (11)에 의하여 다음 식(12)와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} TC = & \frac{1}{t} \left[ \left[ (\sum \sum \sum Q_{ijp}) + \frac{z \cdot \sigma_d}{2} \right] \times L_{ijp} \right] \times k \\ & + \frac{1}{t} \left[ (\sum \sum \sum V_{ijp}) \right] \times L_{ijp} \times k \\ & + \left[ \frac{1}{2} Q_{CDC} \times \frac{z \cdot \sigma_d}{2} \right] H_c + \left[ \frac{1}{2} Q_{RDC} \times \frac{z \cdot \sigma_d}{2} \right] H_c \end{aligned} \quad (12)$$

### 3.2.2 안전재고를 지역분배센터에만 보유하는 경우

중앙분배센터에서 요구되는 서비스 수준의 안전재고량을 보유하지 않기 때문에 중앙분배센터에서 지역분배센터로 제품수송시 수송비에는 안전재고량이 필요치 않다. 안전재고량이 포함되지 않은 경우 수송비용 산정을 위한 계산절차는 다음과 같다

#### 1) 정규수송비용 및 급송비용

정규 재공급시 총평균 수송량은 다음 식(13)을 통하여 구하여진다. 정규 재공급 총평균수송량 및 수송거리 식은 앞에서 보여준 식(1), (2)와 같으며 요구되는 서비스 수준을 위한 안전재고를 지역분배센터에만 보유하는 경우의 정규공급시 평균 수송비용은 다음 식 (13)과 같으며 재고 부족량 보충을 위한 급송 수송비용은 앞에서 계산된 식(7)과 동일하다.

$$NC_{ijp} = \frac{1}{t} \left[ (\sum \sum \sum W_{ijp}) \right] \times L_{ijp} \times k \quad (13)$$

따라서, 요구되는 서비스 수준만큼의 안전재고량을 지역분배센터에서 보유하고 경우의 수송비용 산정을 위한 총비용 계산식은 식(13), 식(7)에 의하여 다음 식(14)과 같이 표현할 수 있다.

$$VC_{ij} = \frac{1}{t} [[(\sum\sum\sum W_{ijp})] \times L_{ijp}] \times k + \frac{1}{t} [[(\sum\sum\sum V_{ijp})] \times L_{ijp}] \times k \quad (14)$$

3) 재고통제비용

요구되는 서비스 수준의 안전재고량을 지역분배센터에서 보유하는 경우의 재고유지비용은 중앙분배센터에서의 재고유지비용 다음 식(15) 와 지역분배센터에서의 재고유지비용 다음 식(16)으로 나누어 나타내면 다음과 같다.

$$CDC_{iH_c} = [\frac{1}{2} Q_{CDC_i}]H_c \quad (15)$$

$$RDC_{jH_c} = [\frac{1}{2} Q_{RDC_j} \times z \cdot \sigma_d]H_c \quad (16)$$

따라서, 요구되는 서비스 수준만큼의 안전재고량을 지역분배센터에서 보유하고 경우의 재고통제비용을 위한 총재고유지비용 계산식은 식(15), 식(16)에 의하여 다음 식(17)과 같이 표현할 수 있다.

$$H_{Cij} = [\frac{1}{2} Q_{CDC_i}]H_c + [\frac{1}{2} Q_{RDC_j} \times z \cdot \sigma_d]H_c \quad (17)$$

요구되는 서비스 수준의 안전재고량을 지역분배센터에서 보유하는 경우의 총운용비용은 정규제품공급시의 수송비와 서비스 수준설정에 의한 재고부족량에 대한 급송비용 및 중앙분배센터 및 지역분배센터에서의 재고유지비용의 합으로 나타낼 수 있다. 따라서 총비용은 식 (14), (17)에 의하여 다음 식(18) 와 같이 계산할 수 있다.

$$TC = \frac{1}{t} [[(\sum\sum\sum Q_{ijp}) +] \times L_{ijp}] \times k + \frac{1}{t} [[(\sum\sum\sum V_{ijp})] \times L_{ijp}] \times k + [\frac{1}{2} Q_{CDC_i}]H_c + [\frac{1}{2} Q_{RDC_j} \times z \cdot \sigma_d]H_c \quad (18)$$

4. 수치 예

본 연구에서 안전재고 보유 입지분할과 입지통합의 서비스 수준에 따른 총비용을 비교하여 분석하는데 있어서 실제 시스템과 같은 시뮬레이션 모형은 만들 수 없지만, 현실적으로 실제 시스템과 가장근접하며 두 가지의 비교안에 대한 상황을 동일하게 함으로써 두 상황의 효율적인 비교 및 시스템의 타당성을 입증할 수 있는 최적의 분배시스템 모형을 통한 비교분석을 해보고자 한다.

본 연구의 비교분석에 사용된 수치 및 해당수치의 특성은 다음과 같다.

정규공급시 중앙분배센터에서 지역분배센터로의 품목당 수송량( $W_{ijp}$ )은 1,500kg, 중앙분배센터와 지역분배센터간의 수송거리 ( $L_{ijp}$ )는 40km, 단위중량당 평균수송비의 경우는 수송량에 따라 각기 수송적재량이 다른 차량이 고려되어야 하지만 본 연구에서는 거리중량당 수송비를 계산하므로 단위중량당 수송비는 20원으로 가정하였다.

재고부족은 수요를 정규분포를 가정하였기 때문에 서비스 수준 90%, 95%, 99%에 해당하는 평균 중량은 각각 4,500kg, 2,250kg, 450kg 이고, 단위당 재고유지비 와 재고부족량 보충을 위한 단위중량당 급송비는 10원이다.

다음의 [표 1]는 식(12) 과 식 (18)에 의하여 계산된 결과이고, [그림 2]는 [표 1]의 그림으로 나타낸 결과이다.

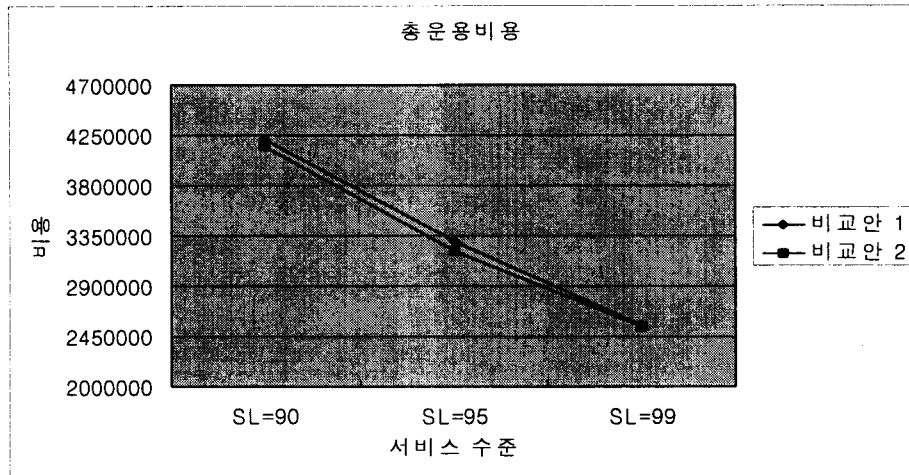
[표 1] 안전재고 입지 분할 및 통합의 운영비용비교

	비교안 1			비교안 2		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
서비스 수준	90%	95%	99%	90%	95%	99%
정규 수송비	2,415,360	2,419,800	2,427,960	2,430,720	2,439,600	2,455,920
급 송 비	1,723,200	801,000	40,200	164,6400	702,000	0
재고 유지비	76,920	76,920	78,495	76,920	77,475	78,495
총 비 용	4,215,480	3,298,275	2,546,655	4,154,040	3,219,075	2,534,415

[표 1]의 결과를 고찰해보면 다음과 같다.

- ① 안전재고 입지분할의 비교안 1과 입지통합의 비교안 2의 계산결과를 보면 비교안 2가 비교안 1의 경우보다 운용비용이 절감됨을 알 수 있다.
- ② 서비스 수준에 따른 운용비용 비교를 보면 서비스 수준 90%에서 61,440원, 95%에서 79, 200원, 12,240원의 차이를 보이며, 서비스 수준 95%의 경우 비교안 1의 비용이 비교적 많이 절감됨을 알 수 있다. 또한 총운영비용에 있어 서비스 수준이 높을 수록 총운영비용이 가장 낮게 나타남을 알 수 있다.





[그림 2] 안전재고 입지 분할 및 통합의 운영비용 비교 그래프

### 5. 결론

안전재고 입지분할 및 통합의 비용최적화를 위하여 본 연구에서 제시한 최적 총운용비용 대안은 완제품의 저장 및 분배를 목적으로 하는 물적 분배시스템에 대한 효율적 운영을 목적으로 한다.

기존의 물적분배시스템의 운영에 있어서 문제가 되었던 급송비용을 포함한 수송비용의 특성을 분석 고려함으로써 대규모 분배네트워크의 운용에 따른 제반 문제에 대한 보다 현실적인 접근을 가능케 하였으며, 네트워크의 수리적 표현방식을 단순화시킴으로서 기존 연구 방법들의 문제점 중 하나였던 적용상의 복잡성 개선하고자 하였다.

또한 본 연구에서 제시한 수치 예를 통해 고찰한 결과 다음과 같은 장점이 예상된다.

- ① 안전재고에 대한 보유정책에서 분할보다 통합으로 인한 총운용비용이 상대적으로 적다.
- ② 안전재고를 포함한 정규수송에 따른 규모의 경제로 인한 효과를 계속적으로 유지가능하다.
- ③ 지역분배센터의 보관기능의 역할 수행으로 인해 고객에의 동일 서비스 제공하에 중앙분배센터수의 감소가 고려 가능하다.
- ④ 비교적 높은 서비스 수준유지를 통한 대고객서비스 강화와 급송비용과 재고유지비용의 상충(Trade-off)을 통해 물적분배시스템의 총운용비용 최소화를 기할 수 있다.

본 연구결과를 바탕으로 물적분배시스템의 운영시 수송비용절감과 대고객 서비스 증가를 통한 대외 경쟁력 제고의 효과가 기대된다.

## 6. 참고문헌

- [1] 박광현, 현대 재고모형분석, 명경사, 1998.
- [2] 김병찬, 동일단계 공급을 고려한 물적 분배시스템 운영에 관한 연구, 경기대학교 석사학위논문, 1997.
- [3] 황홍석, 박태원, "물류재고-소송문제를 고려한 최적운송대안 선정 모의연구", 한국경영학회 / 대한산업공학회 '97춘계 공동학술대회, pp.72-75.
- [4] Bernhard Fleishmann, "Designing distribution systems with transport economics of scale", European journal of Operation Research 70, 1993, pp. 31-42.
- [5] Chung, K. J. M, "A Theorem on the determination of economic order quantity under conditions of permissible delay in payments", Computers and Operations Research, 25(1), pp.49-52, 1998.
- [6] David Boyce, Lars-Goran Mattsson, "Modeling residential location choice in relation to housing location and road tolls on congested urban highway networks" Transportation research Part B 33, 1999, 581-591.
- [7] E.P. Chew, L.A. Johnson, " Service level approximations for multiechelon inventory systems", European Journal of Operational Research ,Vol 91, 1996, 440-455.
- [8] Hai Yang, Michael G.H. Bell, Qiang Meng, "Modeling the capacity and level of service of urban transportation network", Transportation Research Part B34 ,2000, 255-275.
- [9] Lagodimos, A. G., "Multi-Echelon Service Models for Inventory Systems under Different Rationing Policies ", International Journal of production Research, Vol. 30, No. 4, 1992, pp.695-716.

## 저 자 소 개

김병찬 :

경기대학교에서 학사, 석사 학위를 취득하였고, 현재 수원과학대학 산업시스템 경영과에서 겸임교수로 재직중이다. 주요 관심분야는 생산관리, 자재및재고관리,SCM등이다.

김형준 :

명지대학교 에서 학사, 석사, 박사 학위를 취득하였고, 현재 서일대학 산업시스템 경영과에 재직중이다. 주요 관심분야는 품질관리이다.