

## 방사형 물류체계에서 수송장비의 보유대수 결정과 분배정책

서순근\* · 이병호\*\*

### On Fleet Sizing and Distribution Policy of Transportation Equipments in Hub-and-Spoke Network

Sun-Keun Seo · Byung-Ho Lee

#### (Abstract)

Fleet sizing and distribution of empty equipments are two of the most critical problems in managing transportation system. This paper develops a cost model for sizing a fleet and establishing decentralized redistribution policies of empty equipments by building from inventory theory of multi-echelon system in hub-and-spoke network. An analytical approach to determine control variables of redistribution policies in each terminal and fleet size of the transportation system is proposed and its results are validated by simulation model. Numerical experiments are conducted with respect to parameters of the model and test results for assumptions of the model are discussed.

#### 1. 서 론

기업은 불확실성이 지배하고 있는 경제상황을 고려하여 활동해야만 한다. 시장의 성쇠, 에너지비용의 상승, 에너지와 원자재의 부족가능성, 높은 자본비용, 생산성의 저하, 인플레이션의 위협등의 상황하에서 기업이 이익의 성장과 투자 수익의 목표를 달성유지하는 것은 점점 어려워지고 있다. 그러므로 수익을 창출하고 비용을 절감하는 새로운 대안적 방법이나 원천을 찾아내는 것은 필수적이다. 따라서 새로운 이익을 발생시킬 수 있는 가능성이 높은 분야 중 하나가 물류비 절약이라 할 수 있으며 이 물류비중에서도 수송비가 73.8%라는 절대적 비중을 차지하고 있다. 수송비 중에서는 도로수송비가 가장 큰 비중을 차지하고 있는데 이 수송비는 수송장비의 이동거리와 양에 의존한다. 현재의 우리나라 기업은 일반적으로 제품들을 싣고 운반하는 장비들에 대해서만 관심을 가지고 있어 하역후의 빈 장비의 효율적 이용에 대한 총체적인 문제들은

해결하지 못하고 있다. 빈 장비의 이동은 전체 장비이동의 45%~50%가 되므로 이러한 빈 수송장비의 경제적인 보유대수와 운영관리가 매우 중요하다.

이에 Du와 Hall[7]은 수송네트워크로 널리 이용되는 하나의 센터와 다수의 터미널로 이루어진 방사형물류체계에서 센터 및 각 터미널에서의 요구되어지는 수송장비 재고의 품질확률을 근사적으로 만족할 수 있도록 결정하는 분배정책을 제시하였지만 품질될 확률만을 고려하여 동일한 기간에 품질될 수송장비의 대수를 고려하고 있지 않기 때문에 실제적으로 발생할 수 있는 품질에 의한 손실을 과소평가하고 있으며, 재고를 고려하지 않음으로써 보유대수가 과대 추정할 가능성이 있고 수송장비의 투자비와 재고유지비 및 품질비에 대하여 고려하지 않고 있으므로 기업의 이윤 측면에서 최적 결정방법이라고 할 수는 없다.

따라서 본 논문은 다단계재고시스템의 분산재고관리 정책을 채택하여 관련비용 즉, 빈 수송장비의 운행비, 재고유지비, 품

\* 동아대학교 산업공학과

\*\* 부산전문대학 공영경영과

절비와 수송장비 투자비를 최소화하는 수송장비의 보유대수의 결정과 센터 및 각 터미널에서의 빈 수송장비의 재주문 또는 회수재고수준을 설정하는 방법을 제공하고 제시된 방법의 타당성을 시뮬레이션과 수치실험을 통하여 입증하고자 한다. 즉, 이런 제비용을 고려한 새로운 수리모형을 개발하였으며 이를 시뮬레이션 전용프로그램인 ARENA(V2.2)로 시뮬레이션하여 제시된 모형의 결과와 비교하므로써 근사 수리모형에 의한 해석적 방법의 타당성을 입증하고 근사모형의 해석적 방법에 따라 수치실험하여 제시된 모형의 제반 특성을 파악하였다. 즉, 센터와 모든 터미널사이의 적체된 장비의 도착과정은 독립또는 이상과정을 따르며 터미널은 도착률의 유입과 유출 도착률의 크기에 따라 과잉터미널과 부족터미널로 구분되어 빈 수송장비 재고정책이 적용되고 센터와 터미널간의 이동시간은 확정적이다.

또한 센터와 터미널간의 운송시간이 확정적일 경우는 시스템의 해석이 용이하지만 실제의 수송시스템에서의 운송시간은 확률적으로 변하는 것이 일반적이다. 이에 Du와 Hall은 운송시간이 확정적일 경우만 고려하였지만 본 논문에서는 운송시간이 여러가지 확률분포(지수분포, 일양분포, 정규분포)를 따를 경우에 시뮬레이션을 수행하여 확정적인 경우와 비교분석을 하였다. 전술된 방사형시스템에서는 일정수준이상의 빈 수송장비는 과잉터미널에서 센터로 보내지며 부족터미널에서 요청이 있을 때마다 센터에서만 보내주는 정책을 적용하였다. 실제로 터미널 간에 빈 수송장비의 이동이 허용되어 진다면 시스템 운용에 많은 영향을 미칠 수 있으므로 센터와 모든 터미널간의 거리가 동일한 방사형 시스템의 경우에 시뮬레이션을 실시하여 터미널간의 이동이 없는 경우와 비교 고찰하였다.

수송시스템은 많은 자본의 집중과 회수에 대한 오랜시간이 요구되는 투자로 많은 관리자들이 의사결정하는데 있어서 매우 복잡한 분야이다. 수송회사가 다른 경쟁자와의 경쟁에서 같은 시간동안 보다 많은 이익을 얻기 위한 경제적 효율은 여전히 주요한 의사결정에 기초가 된다. 따라서 수송시스템의 화물수송계획과 운용에 있어서 다음과 같이 세가지 모형으로 구분할 수 있다(Crainic and Laporte,1997)[1]. 전략적 모형에는 입지계획, 네트워크설계, 여러 가지 국지적 모델계획등이 있고 전술적모형에는 서비스 네트워크 설계, 장비 운행경로문제, 보유대수 크기 결정, 터미널 보유정책등이 있다. 운용적모형에는 서비스 스케줄링, 작업자 스케줄링, 자원의 배치등이 있다.

본 연구는 전술적 모형에 해당되는데 이중에서 수송장비의 보유대수결정에 관한 연구로 Turnquist[2]는 보유대수 결정모

형을 확률요소의 포함여부에 따라 확률적, 확정적, 출발지와 목적지의 수에 따라 one-to-one, one-to-many, many-to-many 모형으로 분류하였다. Koenigsberg와 Lam[3]은 하나의 출발지에서 여러 목적지 사이에서 오고가는 즉 방사형물류체계에서 장비(액체천연가스 탱크)의 보유대수 결정에 대해서 연구를 하였다. 빈 수송장비의 재분배에 관한 최초의 문헌으로서 Koopmans는 수송계획문제로 정식화 하였다. 즉, 주요 항구사이의 빈 화물선의 분배문제를 연구하여 이를 해결하는 알고리즘을 정식화 하였다[2]. 확정적 모형의 성공은 미래 장비의 과부족의 예측의 정확성에 의존하므로 수요가 불확실한 상황에는 적용가능성이 떨어진다. Dejax와 Crainic[4]은 철도시스템에서 빈 차 재분배과정의 형태를 기술하는 시뮬레이션 모델을 개발하였으며 Turnquist와 Jordan[5]는 불확실한 수요에 철도班次 재분배를 위한 포괄적 확률적 모형을 제시하였다. 이 모형은 차의 렌트 시스템과 같은 방법으로 철도시스템의 구축에 이용하였는데 Powell, Sheffi와 Thiriez[6]는 적체된 흐름과 빈 흐름을 최적화한 Jordan과 Turnquist의 결과를 일반화하였다. 이 모형은 순 기대되는 이익을 최대화하는 동종 수송장비의 선단을 배치하는 것이다. 또한 Du와 Hall[7]은 재고이론을 활용하여 다단계 재고시스템의 모형을 빈 수송장비 재분배정책에 적용시켰다. 즉, 각 터미널에서 수송장비의 재분배를 위한 분산정책을 채용하여 일정 품질확률을 만족하는  $(r,Q)$ 형태의 정책을 구하였으나 품질 및 재고의 크기를 고려하고 있지 않다.

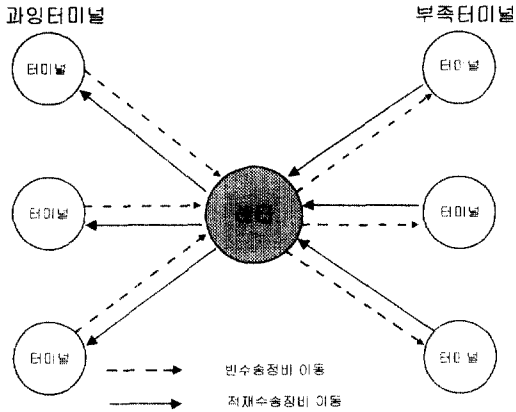
## 2. 수리모형

### 2.1 방사형 체계와 빈 수송장비 분배정책의 개요

#### 2.1.1 방사형 물류체계

방사형 물류체계는 센터-터미널 시스템(center-terminal system)으로 센터와 터미널 그룹으로 구성되어 있다. 수송장비(혹은 수송설비의 다른 형태)는 수송 요구에 따라 센터와 터미널 간을 운영하며, <그림 1>은 그러한 시스템의 구조를 나타낸 것이다.

센터-터미널 시스템에서, 수요발생에 따른 수송요구는 항상 가득 채운 수송장비의 형태로 이동되는 것으로 가정하고, 수송요구와 빈 수송장비들의 교환은 오직 터미널과 센터사이에서 발생하며 두 터미널간의 직접적인 수송장비의 흐름은 없다. 방사형 물류체계는 하나의 센터와 여러 개의 터미널로 구성되어 있으므로 이런 방사형 물류시스템에서 수송장비의 흐



〈그림 1〉 방사형 물류체계

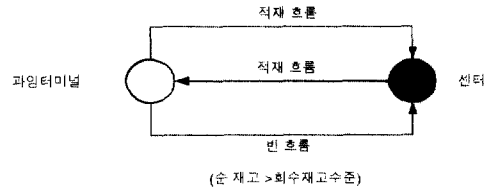
름은 "one to many" 모형에 속하며 일반적인 수송 네트워크에서 이런 방사형 물류시스템의 형태가 종종 발생된다[8].

2.1.2 터미널에서의 분배정책

방사형 물류시스템에서 터미널에서의 수송장비의 부족과 과잉 조건을 고려하며 터미널들을 적재 수송장비의 도착률에 따라 분류하면 과잉터미널과 부족터미널로 나눌 수 있다. 과잉터미널(surplus terminal)은 단위 시간당 터미널로 물품을 선적하여 도착하는 수송장비의 도착률이 터미널 밖으로 물품을 선적하여 빠져 나가는 율 보다 큰 터미널을 말한다. 부족터미널(shortage terminal)은 단위 시간당 터미널로 물품을 선적하여 도착하는 수송장비의 도착률이 터미널 밖으로 물품을 선적하여 빠져 나가는 율 보다 적은 터미널을 말한다. 두 종류의 터미널에서 다단계 재고시스템의 단순화하면서 분산된 재고관리 정책을 본 상황에 적절하게 활용하는데, 과잉터미널에서의 빈 수송장비 분배정책은 선적하여 도착하는 수송장비가 선적하여 출발하는 수송장비보다 많으므로 터미널에 잔류하는 빈 수송장비를 적정 수준이 넘지 않도록 관리하여야 한다. 과잉터미널의 재고관리정책은 다음과 같이 설정하였다.

- (1) 어떠한 빈 수송장비도 과잉터미널로 보내지 않는다.
- (2) 과잉터미널에서는 적재된 수송장비의 도착률이 적재된 수송장비의 출발보다 크기 때문에 항상 순 재고가 회수재고수준보다 크게 되므로 수송장비 재고를 회수재고수준으로 유지하기 위하여 과잉의 빈 수송장비를 센터로 되돌려 보내게 된다.
- (3) 따라서 각 과잉터미널은 보유할 수 있는 빈 수송장비의 최대 크기를 나타내는 회수재고수준(return stock level)을 정한다.

과잉터미널에서의 수송장비 흐름을 도시하면〈그림 2〉와 같다.

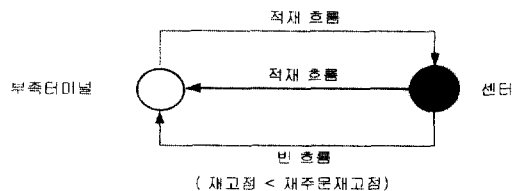


〈그림 2〉 과잉터미널에서의 수송장비의 흐름

부족터미널에서의 빈 수송장비 재고관리 정책은 선적하여 도착하는 수송장비가 선적하여 출발하는 수송장비보다 적기 때문에 터미널에 부족하게 되는 빈 수송장비 재고를 적정 수준으로 유지하기 위하여 센터로 빈 수송장비를 주문하여야 한다. 부족터미널의 빈 수송장비 관리정책은 다음과 같이 설정하였다.

- (1) 어떠한 빈 수송장비도 부족터미널에서 센터로 보내지 않는다.
- (2) 부족터미널에서는 적재된 수송장비의 도착률이 적재된 수송장비의 출발률보다 적기 때문에 항상 재고점이 재주문재고점 아래로 떨어지게 되므로, 미래의 수송장비 품질을 방지하기 위하여 재주문재고점 이하로 재고점이 떨어질 경우 센터에 보충 수송장비를 요청하게 된다.
- (3) 따라서 각 부족터미널에서는 재고점을 적정 수준이상으로 유지하기 위한 재주문재고점(reorder inventory position)을 정한다.

부족터미널에서의 수송장비흐름을 도시하면〈그림 3〉과 같다.



〈그림 3〉 부족터미널에서의 수송장비의 흐름

2.2 방사형 물류체계의 근사모형

전술된 방사형체계에서 각 터미널과 센터의 회수재고수준과 재주문점 및 보유대수를 결정할 경우에 품질확률만을 고려하여 구한 연구[7]에서 품질확률과 비용을 고려한 비용모형을 설

정하여 수치실험 및 시뮬레이션을 실시하고 이 모형의 확장을 위하여 선 연구 내용에 대해 필요한 내용만 본 절에서 다음과 같이 정리하였다.

### 2.2.1 가정과 기호

본 논문에서 적용될 가정과 기호는 다음과 같다.

#### 가정

- 터미널은 과잉터미널과 부족터미널로 구분한다.
- 센터와 모든 터미널 사이의 적재된 수송장비들의 1회 도착과정은 독립 포아송과정을 따른다.
- 터미널에서 센터로의 적재 흐름의 비율과 센터에서 터미널로의 적재 흐름의 비율은 다르다. (동일한 경우는 빈 수송장비의 회수와 보충요구를 할 필요가 없으므로 본 연구대상에서 제외시킨다.)
- 높은 서비스 수준을 보장하기 위하여 주어진 품질확률은 낮다.
- 센터와 터미널들사이 이동시간은 확정적이다.
- 품질된 수송장비 수요는 이월주문된다.

#### 기호

$K$  : 터미널 수.

$M(M^*)$  : 시스템 내의 수송장비의 (최적)보유 대수.

$t_i$  : 터미널  $i$ 에서 센터로 이동하는 시간.

$\sigma_i$  : 센터에서 터미널  $i$ 로 이동하는 시간.

$\lambda_i$  : 터미널  $i$ 에서 센터로 도착율(대/일)

$\mu_i$  : 센터에서 터미널  $i$ 로 도착율(대/일)

$$p_i = \begin{cases} \lambda_i / \mu_i, & \text{if } \mu_i > \lambda_i \\ \mu_i / \lambda_i, & \text{if } \mu_i < \lambda_i \end{cases}$$

$AC_i(t)$  :  $t$ 시간까지 센터에서 터미널  $i$ 로 선적되어 보내어진 수송장비의 합.  $AC_i(t)$ 는 발생률  $\mu_i$ 를 가지는 포아송 과정을 따른다.

$AT_i(t)$  :  $t$ 시간까지 터미널  $i$ 에서 센터까지 선적되어 보내어진 수송장비의 합.  $AT_i(t)$ 는 발생률  $\lambda_i$ 를 가지는 포아송 과정을 따른다.

$TC_i(t)$  :  $t$ 시간까지 센터에서 터미널  $i$ 로 보내어진 (선적 및 빈) 수송장비의 합. 따라서 센터에서 터미널  $i$ 로 이동 중인 수송장비의 수는  $TC_i(t) - TC_i(t - \sigma_i)$ 가 된다.

$TT_i(t)$  :  $t$ 시간까지 터미널  $i$ 에서 센터로 보내어진 (선적 및 빈) 수송장비의 합. 터미널  $i$ 에서 센터로 이동 중인 수송장비의 수는  $TT_i(t) - TT_i(t - \tau_i)$ 가 된다.

$I_i(t)$  :  $t$ 시각에 터미널  $i$ 에서의 수송장비의 순재고량(net stock).  $I_i^+(t)$ 는  $t$ 시각에 터미널에 있는 빈 수송장비의 수이고  $I_i^-(t)$ 는 터미널  $i$ 에서 이월주문된 수송장비의 수이다. 즉,  $I_i(t) = I_i^+(t) - I_i^-(t)$ 이고 터미널  $i$ 에서 품질확률은  $P\{I_i(t) < 0\}$  이 된다.

$R_i$  : 부족터미널  $i$ 에서 재주문재고점

$S_i$  : 과잉터미널  $i$ 에서 회수재고수준

$IP_i(t)$  :  $t$ 시점에서 터미널  $i$ 의 재고점이며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$IP_i(t) = I_i^+(t) + [TC_i(t) - TC_i(t - \sigma_i)]$$

+ 센터에서 터미널  $i$ 로 선적하기 위해 이월주문된 수  
+ 터미널  $i$ 에 의해 요청된 빈 수송장비의 이월주문된 수

$IC_i(t)$  : 터미널  $i$ 에 의하여 점유된 수송장비의 수

$$IC_i(t) = [TC_i(t) - TC_i(t - \sigma_i)] + I_i^+(t) + [TT_i(t) - TT_i(t - \tau_i)]$$

+ 센터에서 터미널  $i$ 로 선적하기 위해 이월주문된 수  
+ 터미널  $i$ 에 의해 요청된 빈 수송장비의 이월 주문된 수

$r_{1i}$  : 과잉터미널에서의 요구 품질확률

$r_{2i}$  : 부족터미널에서의 요구 품질확률

$r_0$  : 센터에서의 요구 품질확률

$b_{1i}$  : 과잉터미널에서 빈 수송장비의 1 회당 운행비용

$b_{2i}$  : 부족터미널에서 빈 수송장비의 1 회당 운행비용

$h_{1i}$  : 과잉터미널에서 빈 수송장비의 재고유지비

$h_{2i}$  : 부족터미널에서 빈 수송장비의 재고유지비

$h_0$  : 센터에서의 빈 수송장비의 재고유지비

$\pi_{1i}$  : 과잉터미널에서의 단위당 품질비

$\pi_{2i}$  : 부족터미널에서의 단위당 품질비

$\pi_0$  : 센터에서의 단위당 품질비

$A$  : 운반수단의 단위기간 환산 투자비

### 2.2.2 과잉터미널의 재고수준 분포

과잉터미널에서 품질확률이 적다면 회수재고수준과 순재고의 차  $S_i - I_i^-(t)$ 는 근사적으로 극한기하분포(geometric limiting distribution)를 따르므로 대기이론(Ross[1993])에서 M/M/1 체계를 따르는 경우가 되어  $I_i^-(t)$ 의 확률을 다음과 같이 구할 수 있다[9].

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} P\{I_i^-(t) = S_i - k\} &= \lim_{t \rightarrow \infty} P\{S_i - I_i^-(t) = k\}, \quad k=0,1,2,\dots \\ &= p_i^k (1-p_i) \end{aligned} \quad (1)$$

따라서 과잉터미널에서 품질확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P\{I_i(t) < 0\} &= \sum_{k=1}^{\infty} P\{I_i(t) = -k\} \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} P\{I_i(t) = S_i - (S_i + k)\} \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} \beta^{S_i+k} (1-\beta) = \beta^{S_i+1}
 \end{aligned}$$

2.2.3 부족터미널에서 재고점의 분포

부족터미널은  $\lambda_i > \mu_i$  이므로 만약  $t$  시각에 터미널에서 재고점( $IP_i(t)$ )이 재주문재고점( $R_i$ )보다 작은 경우에 부족분을 보충하기 위하여 센터로 빈 수송장비를 주문하므로 ( $R_i, I, I$ ) 재고정책과 동일하다. 과잉터미널에서와 마찬가지로 이 터미널에서의 품질확률이 적다면 부족터미널에서도 재고점과 재주문재고점의 차 즉,  $IP_i(t)-R_i$ 가 근사적으로 극한기하분포를 따르므로 M/M/1 체계를 따르게 된다. 그리고 센터에서의 품질확률을 무시할 수 있을 경우에  $t$  시점에서의 재고점  $IP_i(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다[5].

$$\begin{aligned}
 IP_i(t) &= [TC_i(t)-TC_i(t-\sigma_i)]+I_i(t) \\
 &= [TC_i(t)-TC_i(t-\sigma_i)]+I_i(t-\sigma_i)-[AT_i(t)-AT_i(t-\sigma_i)] \\
 &\quad + [TC_i(t-\sigma_i)-TC_i(t-2\sigma_i)] \\
 &= [TC_i(t)-TC_i(t-2\sigma_i)]+IP_i(t-\sigma_i)-[AT_i(t)-AT_i(t-\sigma_i)]
 \end{aligned}$$

위 식에서  $[TC_i(t)-TC_i(t-\sigma_i)]$ 는  $t$  시점에 터미널  $i$ 로 오고 있는 수송장비의 수이고  $I_i(t)$ 는  $t$  시점에서 터미널  $i$ 의 순재고를 나타낸다. 또 순재고  $I_i(t)$ 는  $t-\sigma_i$  시점에서의 순재고  $I_i(t-\sigma_i)$ 에서  $\sigma_i$  기간 동안 터미널을 떠난 수송장비 수  $[AT_i(t)-AC_i(t-\sigma_i)]$ 를 빼고  $t-\sigma_i$  시점에서 터미널  $i$ 로 오고 있는 수송장비의 수  $[TC_i(t-\sigma_i)-TC_i(t-2\sigma_i)]$ 를 더하면 된다.  $IP_i(t-\sigma_i)-R_i$ 가 기하분포를,  $AT_i(t)-AT_i(t-\sigma_i)$ 가 포아송분포를 따르고 상호독립이라는 것을 이용하여 부족터미널에서의 품질확률은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P\{I_i(t) < 0\} &= \sum_{k=1}^{\infty} P\{I_i(t) = -k\} \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} P\{IP_i(t-\sigma_i)-(AT_i(t)-AT_i(t-\sigma_i))=-k\} \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} P\{IP_i(t-\sigma_i)-R_i=n, IP_i(t-\sigma_i)-(AT_i(t)-AT_i(t-\sigma_i))=-k\} \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} P\{IP_i(t-\sigma_i)-R_i=n\} P\{AT_i(t)-AT_i(t-\sigma_i)=R_i+n+k\}
 \end{aligned}$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \rho_i^n (1-\rho_i) e^{-\lambda_i \sigma_i} \frac{(\lambda_i \sigma_i)^{(R_i+n+k)}}{(R_i+n+k)!} \tag{2}$$

2.2.4 수송장비 규모

센터는 모든 터미널과 연결되어 있으며, 각 터미널로 필요한 선적 및 빈 수송장비를 분배하고 회수하는 역할을 담당하게 된다. 센터에서의 재고 및 품질량은 전체 수송장비 규모의 크기에 따라 결정되므로 센터와 연결된 각 터미널에 의하여 점유되어진 수송장비의 수를 고려하여야 한다.

이때 전체 시스템 내에 있는 수송장비 규모의 분포는 터미널의 수가 충분히 많을 경우 각 터미널이 점유한 수송장비의 합을 정규분포에 근사시킬 수 있다. 즉, 다음 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Sigma IC_i(t) \sim N(\Sigma E\{IC_i(t)\}, \Sigma Var\{IC_i(t)\}) \tag{3}$$

따라서 과잉터미널과 부족터미널에 의하여 점유된 수송장비의 평균과 분산은 다음과 같이 구할 수 있다.

(1) 과잉터미널

센터에서의 품질이 무시될 수 있을 정도로 작을 때  $t$  시점에서 터미널  $i$ 에 의하여 점유된 수송장비의 수  $IC_i(t)$ 는  $t$  시점에 터미널  $i$ 로 오고 있는 수송장비의 수  $\{AC_i(t)-AC_i(t-\sigma_i)\}$ 와  $t$  시점에 터미널  $i$ 에 있는 빈 수송장비의 수  $I_i^+(t)$ , 터미널  $i$ 에서 센터로 가고 있는 빈수송장비 및 적재 수송장비의 수  $\{TT_i(t)-TT_i(t-\tau_i)\}$ 의 합으로 나타낼 수 있으므로 평균 및 분산은 다음과 같다.

$$E\{IC_i(t)\} = E\{AC_i(t)-AC_i(t-\sigma_i)\}+E\{I_i^+(t)\}+E\{TT_i(t)-TT_i(t-\tau_i)\} \tag{4}$$

$$Var\{IC_i(t)\} = Var\{AC_i(t)-AC_i(t-\sigma_i-\tau_i)\}+Var\{I_i^+(t-\tau_i)\} \tag{5}$$

식 (4)와 식(5)에서  $\{AC_i(t)-AC_i(t-\sigma_i)\}$ 는 Poisson 분포에 따르고  $I_i^+(t-\tau_i)$ 의 분포는 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다.

(2) 부족터미널

센터에서의 품질이 무시될 수 있을 때 부족터미널  $i$ 에 의하여 점유된 수송장비수는 과잉터미널에서와 같이 나타낼 수 있고,  $t$  시점에서 과잉터미널에 잔류하고 있는 수송장비의 수  $I_i^+(t)$ 가 근사적으로 순재고  $I_i(t)$ 와 같다고 가정할 때 평균 및 분산은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E\{IC_i(t)\} \approx E\{IP_i(t)\} + E\{AT_i(t) - AT_i(t-\tau_i)\} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \text{Var}[IC_i(t)] &\approx \text{Var}[IP_i(t)] + \text{Var}[AT_i(t) - AT_i(t-\tau_i)] \\ &\quad + 2 \text{Cov}[IP_i(t), AT_i(t) - AT_i(t-\tau_i)] \end{aligned} \quad (7)$$

$[AT_i(t) - AT_i(t-\tau_i)]$ 는 Poisson 분포를,  $IP_i(t)$ 는 기하분포를 따르므로 기대치와 분산은 쉽게 구할 수 있고  $\text{Cov}[IP_i(t), AT_i(t) - AT_i(t-\tau_i)]$ 은 Du와 Hall[7]에 의해서 구할 수 있다.

식(4)와 식(6)을 이용하여 각 과잉 터미널과 각 부족 터미널의 평균을 구하고, 또 식(5)와 식(7)을 이용하여 각 터미널의 분산을 구하여 본 수송네트워크에서 필요한 수송장비의 분포를 구할 수 있다.

### 3. 비용모형의 구축

수송시스템에 관련되는 비용으로는 수송설비에 대한 초기투자비와 빈 수송설비의 운행비용 및 보전비용, 수요에 즉각 대처하지 못했을 때 발생하는 손실비등을 들 수 있다. 이러한 제비용들 중에서 본 모형에 관련비용은 센터와 터미널로 구분하여 센터에서는 수송장비의 투자비와 재고유지비, 손실비에 해당하는 수송장비 품질비를 고려하고 터미널에서는 빈 수송장비 운행비용과 수송장비 재고유지비, 품질비등을 고려하여 이러한 비용들을 최소화할 수 있는 수송장비 보유 규모( $M$ )와 회수재고점( $S_i$ ) 및 재주문점( $R_i$ )을 결정하기 위한 모형을 제시하고자 한다.

#### 3.1 과잉터미널의 비용모형

비용모형을 고려할 때, 터미널에서 발생할 수 있는 비용은 크게 세가지가 고려될 수 있는데, 먼저 빈 수송장비를 운행하므로써 발생하게 되는 손실인 운행비용, 터미널내에서 재고로 보유하므로써 발생하는 재고유지비용, 요청된 주문에 서비스를 제공할 수 없을 때 발생하는 품질비용등으로 이루어져 있으므로 센터에서의 품질확률이 적다면 터미널의 상태변수들은 독립이 되므로 개별적인 과잉터미널에서 터미널의 재고수준에 따라서 비용이 크게 달라질 수 있기 때문에 세가지 비용이 최소가 되는 회수재고수준을 결정해야 한다. 그러나 비용이 최소가 되는 회수재고수준이 결정되더라도 실제 발생하는 각 터미널에서의 수송장비 품질확률이 너무 높아진다면 시스템이 상당히 비효율적일 수 있으므로, 본 연구에서는 주어진 요구 품질확률( $r_{ij}$ )을 넘지 않는 제약조건하에서 비용을 최소화하는 회수재고수준을 결정하였다.

식 (8)은 과잉터미널에서의 수리적 모형으로 빈 수송장비를 1회 운행시에 발생하는 운행비용, 과잉터미널의 재고로 인해 발생하는 재고유지비용, 그리고 품질비용이 포함되어 있는데 적용된 빈 수송장비의 재고관리 정책에 의하여 산출된 빈 수송장비의 운행비용은  $S_i$ 의 결정에 영향을 미치지 않는다. 또한  $\pi_{ij}$ 가 0이 되면 Du와 Hall[7]의 모형이 되므로 이를 포함하는 일반화된 모형이 된다.

$$\text{Minimize } K_i(S_i) = b_{ij}\mu_{ij}Q_{ij} + h_{ij}\sum_{x=0}^{S_i} xP_{ij}(S_i-x) + \pi_{ij}\sum_{x=1}^{\infty} xP_{ij}(S_i+x) \quad (8)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^{\infty} P_{ij}(S_i+x) \leq r_{ij}$$

$$\text{단, } Q_{ij} = 1 - \rho_{ij}$$

$$P_{ij}(y) = \rho_{ij}^y (1 - \rho_{ij})$$

따라서, 제약식을 만족하는 과잉터미널에서의 비용 모형인 식 (8)을 최소화하는 회수재고수준( $S_i$ )를 결정하면 된다.

$P_{ij}(y) = \rho_{ij}^y (1 - \rho_{ij})$ 를 식 (8)에 대입하면

$$K_i(S_i) = \frac{h_{ij}[\rho_{ij}(1 - \rho_{ij}^{S_i}) + S_i(1 - \rho_{ij})] + \pi_{ij}\rho_{ij}^{S_i+1}}{1 - \rho_{ij}}$$

가 되므로 재고수준이  $S_i$ 일 때의 비용  $K_i(S_i)$ 와 재고수준이  $(S_i+1)$ 일때의 비용  $K_i(S_i+1)$ 를 구하여 그 차이를 구한다.

$$\Delta K_i(S_i) = h_{ij} - (h_{ij} + \pi_{ij})\rho_{ij}^{S_i+1}$$

여기서  $\Delta K_i(S_{i-1}) < 0 \leq \Delta K_i(S_i)$ 을 만족하는  $S_i$ 는

$$S_i' = \left\lfloor \ln \left( \frac{h_{ij}}{h_{ij} + \pi_{ij}} \right) / \ln \rho_{ij} \right\rfloor$$

$$\text{가 되며 } \Delta^2 K_i(S_i) = (h_{ij} + \pi_{ij})\rho_{ij}^{S_i+1}(1 - \rho_{ij}) > 0$$

이 되므로  $K_i(S_i)$ 는  $S_i \leq S_i'$ 에서는 단조 감소하고  $S_i \geq S_i'$ 에서는 단조 증가하는 아래로 볼록(convex)인 함수가 되어 회수재고수준을 구하는 식 (8)을 만족하는 해가 된다. 따라서 비용모형에서의 제약식을 만족하는 최소  $S_i$ 는  $S_i^* = \lfloor \ln(r_{ij}/\rho_{ij}) / \ln \rho_{ij} \rfloor + 1$  이 되므로 최적  $S_i^*$ 는  $\max(S_i', S_i^*)$ 이 된다. 단,  $\lfloor a \rfloor$ 는  $a$ 보다 작은 최대의 정수이다.

### 3.2 부족터미널의 비용모형

부족터미널의 경우에도 앞의 과잉터미널과 동일하게 빈 수송장비의 운행비용, 재고유지비용, 품질비용이 발생하게 되는데 이러한 비용은 부족터미널인 경우, 재주문재고점에 따라서 비용이 크게 달라질 수 있다. 그러므로 센터에서 품질확률이 적다면 각 터미널에서의 상태변수들은 근사적으로 독립이 되므로 각 터미널에서 세가지 비용의 합이 최소가 되는 재주문재고점을 결정할 수 있다. 과잉터미널에서와 마찬가지로 비용이 최소가 되는 재주문재고점이 결정되더라도 실제 발생하는 각 터미널에서의 수송장비 품질확률이 너무 높아진다면 시스템이 상당히 비효율적일 수 있으므로, 요구품질확률( $r_i$ )을 넘지 않는 제약조건하에서 최소비용을 결정하였다.

식 (9)는 부족터미널에서의 수리적 모형으로 식 (8)과 유사한 형태로 표현된다.

$$\text{Minimize } K_i(R_i) = b_{2i}\lambda_i Q_{2i} + h_{2i} \sum_{x=0}^{\infty} x P_{2i}(x) + \pi_{2i} \sum_{x=1}^{\infty} x P_{2i}(-x) \quad (9)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^{\infty} P_{2i}(-x) \leq r_{2i}$$

$$\text{단, } Q_{2i} = 1 - \rho_i$$

$$P_{2i}(-x) = \sum_{n=0}^{\infty} \rho_i^n (1-\rho_i) e^{-\lambda_i \sigma} \frac{(\lambda_i \sigma_i)^{R_i+n+x}}{(R_i+n+x)!}, \quad x > 0$$

$$P_{2i}(x) = \sum_{n=\max(0, x-R_i)}^{\infty} \rho_i^n (1-\rho_i) e^{-\lambda_i \sigma} \frac{(\lambda_i \sigma_i)^{R_i+n-x}}{(R_i+n-x)!}, \quad x \geq 0$$

따라서, 제약식을 만족하면서 부족터미널에서의 비용모형인 식 (9)을 최소화하는 재주문재고점( $R_i$ )를 결정해야 되며, 재주문재고점  $R_i$ 가 클수록 품질확률이 작아지기 때문에 식 (9)를 최소화하는 최적  $R_i^*$ 는 다음과 같은 계산 절차에 의해서 결정하였다.

- ① 재고수준이  $R_i$ 일 때의 비용  $K_i(R_i)$ 과 재고수준이  $(R_i+1)$ 일때의 비용  $K_i(R_i+1)$ 를 구하여 그 차이를 구한다.

$$\Delta K_i(R_i) = K_i(R_i+1) - K_i(R_i)$$

- ② 여기서  $\Delta K_i(R_i)$ 가 처음으로 양수가 되는  $R_i'$ 를 계산한다. 여기서  $K_i(R_i)$ 의 아래 볼록함수의 해석적 증명은 불가능하여 비용계수들의 다양한 조합에 따라 도시한 결과 아래로 볼록함수임을 파악할 수 있었다.

- ③ 따라서  $\Delta K_i(R_i-1) < 0 < \Delta K_i(R_i)$  에서 0이 되는  $R_i'$ 를 구한다.

- ④ 식(9)의 제약식을 만족하는 최소를  $R_i'$ 라 두면  $R_i^*$ 는  $\max(R_i', R_i'')$ 가 된다.

### 3.3 센터의 비용모형

센터에서 발생하게 되는 비용요소들로는 먼저, 보유하는 수송장비에 대한 초기 투자비에 관련된 감가상각등에 따른 비용, 센터에서 재고로 유지할 때 소요되는 재고유지비용, 각 터미널의 주문 요청시에 수송장비를 투입할 수 없을 때 발생하는 품질비용 등으로 구성되며, 이런 비용을 수리적으로 표현하면 식 (10)과 같이 표현할 수 있고 이 비용식의 값을 최소로 하는 수송장비의 크기를 결정해야 한다. 그러나 센터에서는 발생하는 센터에서의 수송장비 품질확률이 낮은 경우에 필요 보유대수의 평균과 분산을 산출하고 있으며 각 터미널에서 결정된 빈 수송장비의 분산정책을 독립적으로 결정할 수 있으므로 요구품질확률( $r_0$ )을 넘지 않는 제약조건하에서 본 네트워크의 수송장비의 보유대수를 결정하였다.

$$\text{Minimize } K_3(M) = AM + h_0 \int_{-\infty}^M (M-x)f(x)dx + \pi_0 \int_M^{\infty} (x-M)f(x)dx \quad (10)$$

$$\text{s.t. } \int_M^{\infty} f(x)dx \leq r_0$$

단,  $f(x)$ 는 다음의 분포를 따르는 확률밀도함수이다.

$$\Sigma IC_i(t) \sim N \left( \sum_{i=1}^K E[IC_i(t)], \sum_{i=1}^K \text{Var}[IC_i(t)] \right)$$

식 (10)을 최소화하기 위하여 미분하면 다음과 같이  $M'$ 를 구할 수 있으므로  $M'$ 의 제약식 만족여부만 고려하면 된다.

$$F(M') = \frac{\pi_0 A}{\pi_0 + h_0}$$

$$M' = F^{-1} \left( \frac{\pi_0 A}{\pi_0 + h_0} \right)$$

과잉터미널과 부족터미널의 비용함수는 이산형이지만 센터에서의 비용함수는 연속형이기 때문에 함수식을 두 번 미분하여 함수식이 아래로 볼록하다는 것을 파악할 수 있다. 따라서 비용이 최소가 되는 최적 수송장비 규모를 구하는 비용함수 식 (10)을 두 번 미분하면

$$K_3''(M) = (h_0 + \pi_0) f(x) > 0$$

이 되므로 센터에서의 비용모형 함수는 아래로 볼록하므로 과잉터미널과 유사한 방법으로 제약식을 만족하는 최소  $M^*$  과 비교하여 최적해  $M^*$  를 설정할 수 있다.

### 4. 비용모형의 시물레이션과 수치실험

본 연구에서 제시한 센터-터미널 비용 모형의 타당성을 입증하기 위하여 <표 1>에 주어진 수치예의 자료하에서 각 터미널에서의 회수재고수준과 재주문점, 보유대수를 Fortran 언어로 작성된 program에 의해서 도출하였으며, 이를 다음에서 구축된 시물레이션 모형에 의해서 실행된 결과와 비교하였다.

<표 1> 수치실험의 입력 자료

터미널 수 : 18 (과잉 9, 부족 9)							
과잉터미널 ( $r_{ij} : 3\%$ )				부족터미널 ( $r_{2j} : 5\%$ )			
터미널	이동 시간 (일)	터미널 도착률 $\mu_i$	센터 도착률 $\lambda_i$	터미널	이동 시간 (일)	터미널 도착률 $\mu_i$	센터 도착률 $\lambda_i$
$T_{11}$	2	5	2	$T_{21}$	1	4	5
$T_{12}$	2	5	2	$T_{22}$	1	4	5
$T_{13}$	1	5	2	$T_{23}$	2	4	5
$T_{14}$	1	5	2	$T_{24}$	2	4	5
$T_{15}$	2	5	4	$T_{25}$	1	1	5
$T_{16}$	2	5	4	$T_{26}$	1	1	5
$T_{17}$	1	5	4	$T_{27}$	1	1	5
$T_{18}$	1	5	4	$T_{28}$	2	1	5
$T_{19}$	2	5	4	$T_{29}$	2	1	5
터미널 비용	수송비( $b_{1j}, b_{2j}$ ) : 30(천원/회)						
	재고유지비( $h_j$ ) : 5(천원/일)						
	품질비( $\pi_j$ ) : 90(천원/일)						
센터 비용	투자비(A) : 3(천원/일)						
	재고유지비( $h_0$ ) : 3(천원/일)						
	품질비( $\pi_0$ ) : 135(천원/일)						
품질확률 ( $r_0$ ) : 5 %							

#### 4.1 시물레이션 모형

본 연구에서 제시한 비용모형의 타당성을 입증하기 위하여 앞 절에서의 방사형 물류체계를 비용모형에 의해 설정된 수송 수단 규모와 회수재고수준 및 재주문재고점을 취할 경우에 시물레이션 전용언어인 ARENA(Ver.2.2)[10]로 프로그래밍하여

시물레이션을 실시하였으며, <그림 4>는 수송장비의 흐름을 가시적으로 관측하기 위한 애니메이션 화면이다. 초기의 과도효과를 배제하기 위하여 300 시물레이션 단위시간동안 시험가동을 거친 후 3000 단위시간동안 시물레이션을 실시한 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2>를 살펴보면 센터 및 각 터미널에서의 비용을 수치 실험한 결과와 시물레이션한 결과를 비교하면 거의 정확하게 일치함을 알 수 있다. 그리고 본 논문의 비용모형이 센터에서의 품질확률( $r_0$ )이 5%일 경우 수치실험과 시물레이션을 실시한 결과 목적함수 값이 거의 일치하므로 근사 수리모형의 타당성을 입증할 수 있었으며 또한 품질확률이 10%, 15%, 20%, 30%가 되었을 경우에도 수치실험과 시물레이션을 실시한 결과 거의 일치하였으므로 Du와 Hall의 모형보다 근사모형의 적용범위가 넓었으며 이 정도의 센터에서의 품질확률에도 충분히 근사하므로 본 모형은 상당한 유용성이 있다고 볼 수 있다. 또한 본 논문에서 터미널 수를 18개로 하여 수치실험과 시물레이션을 통하여 모형의 타당성을 입증하였는데 터미널 수가 12개, 10개, 8개일 경우에도 수치실험과 시물레이션을 실시하여 비교한 결과를 보면 8개 이상이면 충분히 근사 수리모형을 사용할 수 있음을 파악하였다.

#### 4.2 수치실험

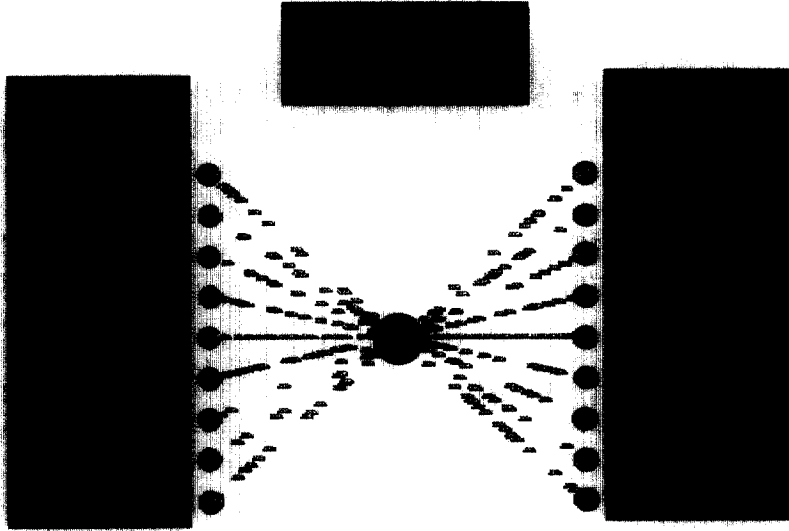
본 연구에서 제시한 수리모형하에서 최적의 수송장비 규모와 회수재고수준 및 재주문재고점의 상태를 결정하는 특징을 파악하기 위하여 이동시간과 제 비용들을 일정하게 하고 입출되는 수송장비의 수요유형만을 터미널별로 다양하게 변화시키거나, 이동시간과 수요유형이 일정할 때 제비용 요소가 변화하는 경우, 그리고 제 비용과 수요유형을 일정하게 하고 이동거리가 다양하게 변할 경우에  $S_i^*$  와  $R_i^*$ ,  $M^*$ 의 변화를 조사하였다.

① 수요유형의 변화가 있을 경우에 비용모형하에서 최적 수송장비규모와 회수재고수준 및 재주문재고점의 변화정도들을 파악하였다. 센터에서 터미널로의 도착율  $\mu_i$ 를 일정하게 하고 터미널에서 센터로의 도착률  $\lambda_i$ 를 증가하면  $S_i^*$ 과  $R_i^*$ 은 증가하였으나  $p_i$ 를 증가하면 거의 변화가 없었다.

② 제 비용요소들이 증가하였을 때 회수재고수준과 재주문점의 변화는 거의 없었다.

③ 이동거리가 증가할 경우에 과잉터미널에서의  $S_i^*$ 는 변화가 없었고 부족터미널에서는  $R_i^*$ 는 증가하였다.





〈그림 4〉 방사형물류체계에서의 애니메이션 화면

〈표 2〉 두 모형의 결과

비 용							
수리모형				시물레이션 모형			
센터	과잉 터미널	부족 터미널	합계	센터	과잉 터미널	부족 터미널	합계
1393.6	914.73	1006.96	3315.29	1418.53	912.33	1034.27	3365.14

④ 재고유지비를 일정하게 하고 품질비의 변화가 있을 때는  $M^*$ 가 거의 변화가 없으나 품질비를 일정하게 하고 재고유지비가 증가할 때는  $M^*$ 이 어느 정도 감소하다가 일정하였다.

⑤ 투자비(A)가 증가하면  $M^*$ 는 감소하였다.

그리고 Du와 Hall[7]의 방법과 비교하기 위하여 Du와 Hall의 수치예를 대상으로 제시된 모형에 의해서 구한 값들을 비교분석한 〈표 3〉을 보면 동일한 품질확률하에서는  $S_i$ 와  $R_i$ 가 같거나 커지고(식(8)과 (9) 참조) 총비용이 적어지며 특히 센터에서 투자비(A)가 상대적으로 작을 경우에 그 차이가 커짐을 파악할 수 있었다.

### 4.3 확률적 운송시간인 경우의 비교분석

센터-터미널간 운송시간을 확정적이라고 가정할 경우 시스템의 해석이 용이하고 쉬워진다는 장점이 있지만, 실제 대부

〈표 3〉 Du와 Hall 방법과의 비교

Case		과잉터미널		부족터미널		센터		총비용
		$S_i$	비용	$R_i$	비용	$M$	비용	
A	Du & Hall	0	0	14	339.8	419	1003.0	1342.8
	Seo & Lee	0	0	15	313.5	428	1018.5	1332.0
B	Du & Hall	3	951.5	14	1414.9	443	1051.4	3417.8
	Seo & Lee	3	951.5	15	1395.4	452	1067.3	3414.2
C	Du & Hall	3	884.5	14	620.5	482	1154.2	2659.2
	Seo & Lee	6	802.3	14	620.5	500	1192.0	2614.8

주:  $b_{1i}=b_{2i}=30, h_{1i}=h_{2i}=5, \pi_{1i}=\pi_{2i}=90, \text{ for all } i, A=2, h_c=5, \pi_c=70$

분의 수송시스템에서의 운송시간은 확률적으로 변하는 것이 일반적이다. 따라서 본 절에서는 운송시간을 확정적이라고 가정하고 수송시스템을 모형화하여 분석했을 때 발생할 수 있는 위험을 분석하기 위하여 운송시간이 여러가지 확률분포를 따를 경우에 관해서 시물레이션을 수행하여 확정적인 경우와 비교 분석하였다.

본 절에서 가정은 수송시간의 분포는 다음과 같은 세가지 분포이다.

- 가. 운송시간이 지수분포를 따르는 경우 즉,  
 센터 → 터미널 이동시간: 평균  $\frac{1}{\sigma_i}$  인 지수분포

터미널 → 센터 이동시간: 평균  $\frac{1}{r_i}$  인 지수분포

나. 운송시간이 일양분포를 따르는 경우 즉,

센터 → 터미널 이동시간:  $Uniform(\alpha r_i, \alpha r_i, \alpha r_i + \alpha r_i)$

터미널 → 센터 이동시간:  $Uniform(\alpha' r_i, \alpha' r_i, \alpha' r_i + \alpha' r_i)$

단,  $0 < \alpha, \alpha' < 1$

다. 운송시간이 정규분포를 따르는 경우,

센터 → 터미널 이동시간:  $N(\alpha r_i, (\alpha r_i)^2)$

터미널 → 센터 이동시간:  $N(\alpha' r_i, (\alpha' r_i)^2)$

단,  $0 < \alpha < 1$

수송시간이 지수분포를 따르는 경우는 일반적으로 대기모형에서 널리 활용되고 있기 때문에 채택하였으나 실제로 지수분포는 극단적으로 작은 값이 발생할 가능성이 크기 때문에 실제의 수송시간으로 고려하기에는 적합하지 않다. 일양분포의 경우는 최소수송시간( $\alpha r_i$ )과 최대수송시간( $\alpha r_i + \alpha r_i$ ) 사이에서 일정하게 발생한다고 간주할 수 있으므로 채택하였다. 그리고 정규분포는 실제 수송시간분포를 가장 잘 설명해 줄 수 있는 분포이기는 하지만 수송시간의 변화 폭이 크다. 따라서 본 연구에서는 극단값의 발생을 피하기 위하여 평균수송시간이 포함될 확률  $P[(1-\alpha) \sigma_i < \text{이동거리} < (1+\alpha) \sigma_i]$  이 0.9973 이 되도록 설정하면 표준편차  $\frac{\alpha \sigma_i}{3}$  인 경우가 되므로  $N(\alpha r_i, (\alpha r_i)^2)$  를 적용할 수 있다.

수송시간이 위의 3가지 분포를 따라서 확률적으로 변할 경우의 영향을 살펴보기 위하여 <표 1>에 주어져 있는 값들을 입력자료로 하여  $\alpha=0.3$ 일 때 시뮬레이션을 수행하여 확정적 수송시간의 경우와 비교한 것이 <표 4>이다. 수송시간이 확률적으로 변하더라도 큰 영향이 없음을 알 수 있다. 즉, 확률적으로 어느정도 변하는 경우에 확정적 수송시간을 평균으로 설정하여 빈 수송장비의 분배정책과 보유대수를 결정하더라도 무리가 없음을 알 수 있다.

<표 4> 확률적 수송시간의 결과

구 분	확정적	지수분포	일양분포	정규분포
과잉터미널	912.33	1122.61	1145.59	1128.02
부족터미널	1034.27	1208.49	1205.64	1205.19
센터	1418.54	1414.13	1404.4	1415.17
총비용	3365.14	3745.23	3755.13	3748.38

#### 4.4 빈 수송장비의 터미널간 이동을 고려한 모형

본 연구에서 제시한 방사형 시스템에서 빈 수송장비는 과잉 터미널에서 센터로 보내지고 센터에서는 부족터미널에서 빈 수송장비의 요청이 있을 때마다 보내 주는 정책을 적용하였다. 하지만 실제로 터미널 간에 빈 수송장비의 이동이 허용되어 진다면 시스템의 효율에 상당한 영향을 미칠 수 있으므로 이의 영향을 파악하기 위하여 터미널 간의 이동이 가능할 경우 센터와 모든 터미널간의 거리가 동일하고 과잉터미널과 부족터미널이 9개씩 교차배치되어 있는 방사형 시스템의 경우에 시뮬레이션을 실시하여 이동이 없는 경우와 비교하였다.

센터보다 거리가 짧은 과잉터미널로부터 빈 수송장비를 요청할 수 있다는 제약하에서 부족터미널  $i$ 에서 빈 수송장비 요청이 발생했을 때 인접해 있는 두 과잉터미널을 비교하여 순 재고가 비록  $S_i$ 에 미달되지만 순 재고가 많은 터미널로부터 요청을 하며, 순 재고가 같으면 랜덤하게 요청을 하는 절차로 시뮬레이션을 실행하였다. 즉, 모든 센터-터미널간 간격( $r_i$ )이 동일하다고 가정할 경우 인접한 터미널 사이의 간격은  $\pi r/9$  이고,  $3\pi r/9 > r$  이므로 만일 부족터미널에서 3칸 건너 있는 과잉터미널에 빈 수송장비를 요청할 경우 센터에 요청하는 것보다 거리가 멀게 된다. 따라서 빈 수송장비의 이동이 3칸을 넘을 수 없다는 즉, 인접한 두 터미널에만 빈 수송장비를 요청할 수 있다는 조건과 과잉터미널에서만 빈 수송장비를 보내 줄 수 있다는 제약하에서 인접한 두 과잉터미널의 수송장비 순 재고를 비교하여 재고가 큰 터미널에 빈 수송장비를 요청하고, 두 과잉터미널의 순재고가 같으면 랜덤하게 수송장비를 요청한다. 만약 순재고가 없으면 센터에 빈 수송장비를 요청한다는 절차에 따라 시뮬레이션을 수행하였다.

입력자료는 <표 1>에서 센터와 터미널에서의 도착률과 비용(단, 터미널간의 1회당 빈수송장비 운행비용은 이동거리를 고려하여  $12(b_i)$ 의 0.4)로 설정함)은 같으며 센터에서 터미널까지의 이동시간은 모두 2일로, 터미널간의 이동시간은 거리에 비례하여 설정하였으며 터미널간 이동이 허용되는 경우와 허용되지 않는 경우에 관해서 각각 시뮬레이션한 결과가 <표 5>에 주어져 있다. 따라서 전술한 조건하에서 터미널간 이동을 허용하는 것보다 허용하지 않는 것이 비용이나 품질확률 면에서 모두 유리함을 파악할 수 있다.

〈표 5〉 터미널간의 이동이 불가능한 경우와 가능한 경우의 결과

구분	터미널간의 이동이 불가능				터미널간의 이동이 가능			
	운행비	재고 유지비	품질비	합계 (품질 확률)	운행비	재고 유지비	품질비	합계 (품질 확률)
과잉 터미널	501.2	322.7	89.7	913.6 (3.03%)	198.8	41.6	1592.3	1832.7 (41.43%)
부족 터미널	722.3	291.4	63.8	1077.5 (3.74%)	540.9	340.8	22.6	904.3 (1.41%)
센터	1554**	108.2	65.5	1727.7 (4.34%)	1554**	338.3	0	1892.3 (0.00%)
총비용	3718.8				4629.3			

\* 품질확률의 평균. \*\* 투자비

### 5. 결론

현대의 기업은 주변 여건의 격심한 변화에 직면하고 있으며 기업간의 경쟁 그리고 국가간의 경쟁이 극한적으로 나타나고 있으므로 이러한 변화는 기업의 물류부문에 예외없이 영향을 미치고 있다. 물류부문중에서도 수송비가 차지하는 비율이 매우 높기 때문에 더욱더 관심의 대상이 되고 있지만 지금까지 기업에서는 제품을 싣고 운반하는 수송장비들에 대해서는 관심이 많지만 전체 장비이동의 거의 반을 차지하고 있는 하역후 빈 수송장비의 효율적 이용에 관한 연구는 드문 형편이다. 따라서 본 연구는 물류체계의 형태로 자주 발생하는 방사형 체계에 대해 다단계 재고시스템의 재고정책을 이용하여 상충적 관계가 있는 수송장비의 재고로 인한 재고유지비와 품질로 인한 품질비 및 투자비용등 제비용등을 최소화하는 수송장비에 대한 최적의 보유대수를 결정하고 각 터미널에서 개별적으로 빈 수송장비에 대해 효율적인 이동을 위한 재분배정책, 과잉터미널에서의 회수재고수준 및 부족터미널에서의 재주문재고점을 결정하는 비용모형을 근사적인 해석적 방법에 의해서 구축하였다. 또한 제시된 모형의 타당성을 수치예에 의한 시뮬레이션에 의해서 입증하였다.

그리고 방사형 체계에서 센터와 터미널간의 운송시간이 확정적이라고 가정하고 모형화하였을 때 발생할 수 있는 위험을 분석하기 위하여 운송시간이 여러 가지 확률분포(지수, 일양, 정규분포)를 따를 경우를 시뮬레이션으로 비교하여, 운송시간이

3가지 분포에 의해 확률적으로 변하더라도 운송시간이 확정적이라고 가정하여 결정변수 값을 설정하더라도 무리가 없음을 알 수 있다.

또한 방사형체계에서 터미널간의 이동이 허용이 되지 않은 경우 부족터미널에서 빈 수송장비의 요청이 있을 경우 센터뿐만 아니라 과잉터미널에서도 보내는 것을 허용한다면 시스템의 효율에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 몇 가지 가정하에 시뮬레이션을 실시한 결과 인근 과잉터미널에서의 품질확률이 높아짐에 품질비가 증가하므로 터미널간의 이동을 허용하는 것보다 허용하지 않은 것이 비용이나 품질확률 면에서 모두 유리함을 알 수 있기 때문에 다단계 재고시스템에서 risk pooling effect가 물류체계에서도 존재함을 파악하였다.

향후 과제로는 해석적 방법으로 해를 구하기 힘든 경우에 시뮬레이션을 이용한 최적화하는 방법(Simulation optimization method)에 의해서 각 터미널에서의 빈 수송장비의 보유 정책 등을 설정하는 연구가 필요하다. 그리고 다단계 방사형시스템을 비롯한 다양한 물류체계에서 빈 수송장비의 이동을 최소화하는 모형을 개발하여 수송비용, 더 나아가 전체 물류비용을 줄일 수 있는 정책수립이 필요하다.

### 【참고 문헌】

- [1] Crainic. T. G and Laporte. G, "Planning Models for Freight Transportation", European Journal of Operational Research, pp.409-438, 1997.
- [2] Turnquist. M. A, "Research Opportunities in Transportation System - Characteristics and Operations", Transportation Research, Vol. 19A, pp.357-366, 1985.
- [3] Koenigsberg. E and Lam. C, "Cyclic Queue Models of Fleet Operations", Operations Research, Vol. 24, No.3, pp. 516-529, 1976.
- [4] Dejax. P. J and Crainic. T. G, "A Review of Empty Flows and Fleet Management Models in Freight Transportation", Transportation Science, Vol. 21, No. 4, pp.227-247, 1987.
- [5] Turnquist. M. A and Jordan. W. C, "Fleet Sizing under Production Cycles and Uncertain Travel Times", Transportation Science, Vol. 20, No. 4, 1986.
- [6] Powell. W. B, Sheffi. Y and Thiriez. S, "The Dynamic Vehicle Allocation Problem with Uncertain Demands", The

Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp.357-374, 1984.

- [7] Du. Y and Hall. R, "Fleet Sizing and Empty Equipment Redistribution for Center-Terminal Transportation Networks", Management Science, Vol. 43, No. 2, pp.145-157, 1997.
- [8] Aykin. T, "Networking Policies for Hub-and-Spoke Systems with Application to the Air Transportation System", Transportation Science, Vol. 29, No. 3, pp. 201-221, 1995.
- [9] Ross. S. M, Introduction to Probability Models, Fifth Edition, Academic Press, San Diego, pp.356-372, 1993.
- [10] System Modeling Corporation, ARENA User's Guide, Sewickley(USA), 1995.



서순근

서울대학교 공과대학 산업공학과를 졸업하고 한국과학기술원에서 산업공학 석사 및 박사학위를 취득하였다. 현재 동아대학교 공과대학 산업공학과에 재직중이며 주요 관심 분야는 신뢰성공학 및 수명시험, 생산체계의 확률적 모형화 및 최적화 등이다.



이병호

동아대학교 산업공학과를 졸업했으며 동대학원 산업공학과에서 석사 및 박사학위를 취득하였다. 현재 부산전문대학 공업경영과에 재직중이다. 주요 관심분야는 생산시스템 운영관리, 물류시스템 최적운영등이다.