

# 혼합정수계획법과 시뮬레이션 기법을 이용한 군 공급사슬망 설계

(Design of military supply chain network  
 using MIP & Simulation model)

이 병 호(Byeong-ho Lee)\*, 정 동 화(Dong-hwa Jeong)\*\*, †서 윤 호(Yoon-ho Seo)\*\*\*

## 초 록

효율적인 공급사슬망 설계는 공급사슬망 전체의 최적화를 추구하고 이를 통해 장기적이고 전략적인 의사 결정을 뒷받침 한다. 공급사슬망 설계 문제는 고려 대상이 광범위하고 시스템 조건과 상황에 따라 많은 확률적 요소들을 포함하고 있기 때문에 이를 수리 모델로 표현하더라도 현실을 명확히 반영하기는 어렵다.

본 연구에서는 수리 모델 및 시뮬레이션 기법을 이용한 군 공급사슬망 설계 방법을 제시하였다. 혼합정수계획법이 적용된 수리 모델을 이용하여 총비용을 최소화하는 공급사슬망을 구성하고, 수리 모델의 결과를 시뮬레이션 모델에 반영하여 실험 파라미터의 반복적인 조정을 통해 차량할당 및 경로문제를 해결하였다. 본 연구의 두 모델은 각각 CPLEX와 AutoMod로 실행하였으며, 실제 군 공급사슬망에서 군지사의 임무 제한에 따라 공급사슬망을 재구성하는 실험을 실시하였다. 이 실험을 통하여, 본 연구에서 제시한 방법이 군 공급사슬망 설계 문제해결에 용이하게 적용될 수 있다는 것을 보였다.

## ABSTRACT

Design of supply chain network (SCN) is required to optimize every factor in SCN and to provide a long-term and strategic decision-making. A mathematical model can not reflect the real world because design of SCN contains variables and stochastic factors according to status of its system.

This paper presents the designing methodology of military SCN using the mathematical model and the simulation model. It constructs SCN to minimize its total costs using the Mixed Integer Programming (MIP) model. And we solve problems of a vehicle assignment and routing through adaptation of experiment parameters repeatedly in the simulation model based on the results from the MIP model. We implement each model with CPLEX and AutoMod, and experiment to reconstruct SCN when the Logistic Support Unit is restricted to support military units. The results from these experiments show that the proposed method can be used for a design of military SCN.

**Keywords : Supply Chain Management, Mixed integer programming, Simulation**

논문접수일 : 2008년 10월 15일    논문게재확정일 : 2008년 12월 10일

\* 고려대학교 공과대학 정보경영공학전문대학원

\*\* 고려대학교 공과대학 정보경영공학전문대학원

† 교신저자 고려대학교 공과대학 정보경영공학부 교수

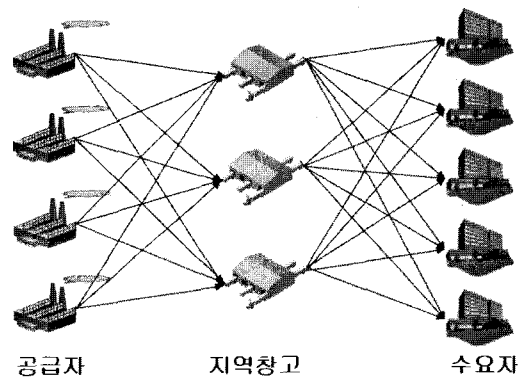
## 1. 서론

IT 발전에 21세기 들어 정보통신기술이 고도로 성장함에 따라 자료의 수집, 저장, 처리 분야가 발전하면서 정보·정찰·감시(ISR : Intelligence Surveillance and Reconnaissance) 체계의 출현이 가능해졌다. 이에 따라 감치체계, 지휘·통제체계, 정밀유도무기체계 등 군사과학기술의 첨단화에 따라 전쟁양상과 전장환경이 급격하게 변화하고 있으며 그로 인해 전장상황도 다양하게 발생되고 있다. 1991년 걸프전 이후, 코소보전, 아프간전, 이라크전의 전쟁양상을 분석해 보면, 전장에서 시간의 개념이 획기적으로 단축되고 있는 추세이다. 특히, 정찰·감시·표적획득을 위한 정보수집체계의 발전으로 전장정보의 수집·처리·분배에 소요되는 시간이 획기적으로 단축되고 있으며, 표적의 위치파악으로부터 추적·식별·타격에 이르는 전투수행 과정이 빠른 속도로 진행되고 있다. 이에 정확한 상황 판단과 신속한 의사결정이 가능하게 되어 작전의 진행속도와 템포 역시 매우 빠르게 진행되고 있다. 따라서 미래 군사작전에서는 전장이 확대되고 다양한 전투요소가 투입되며 작전상황이 신속하게 전개됨에 따라 적시적인 군수 지원이 작전의 주도권과 템포를 유지하는데 미치는 영향은 클 것이기 때문에 군수지원은 필요한 지원요소가 적시에, 적소에, 적정한 양과 질로 지원될 수 있는 태세로 발전시켜 나가야 한다.

군사기술연구서[1]는 2006년 연구보고서를 통해 육군의 전투발전을 위한 미래 군수지원체제 발전 방향으로 속도중심군수(Velocity Logistics), 자산가시화군수(Asset Visibility Logistics), 수요자중심군수(Pull Logistics)를 제시했으며, 미 육군은 국방 군수개혁의 하나인 속도중심의 군수를 추진하여 공급자 중심의 군수지원 시스템을 수요자 중심의 시스템으로 대체함으로써 전투부대의 수요에 신속히 반응하는 공급사슬망(Supply Chain Network)을 구축하여 시간을 줄이고 재고를 감축

하여 비용절감과 효율성을 향상시켰다[2].

일반적으로 공급사슬망은 물품 또는 서비스의 공급자로부터 수요자까지의 배달과 관련된 모든 기능과 활동의 집합으로서, 노드(Node)와 아크(Arc)의 형태로 구성되며 노드와 아크간의 연결 방법에 따라 다양한 형태로 설계될 수 있고 물류비용(재고 및 운송비용)과 고객 서비스 수준(납기 시간 및 수요충족률) 측면에서 효율성을 평가할 수 있다. <그림 1>은 일반적인 공급사슬망의 구조이다.



<그림 1> 공급사슬망 구조

공급사슬망 설계는 노드의 수 및 위치, 고객 및 제품할당, 수송수단, 차량경로, 재고정책, 고객서비스 수준 등을 결정하는 다양한 의사결정문제를 포함하며, 각 문제들은 수리모델 및 휴리스틱 등의 기법을 통해 주어진 환경에서 해를 도출할 수 있다. 그러나 공급사슬망은 시간의 흐름에 따라 고객수요의 변화와 함께 내부에 예기치 않은 동적인 상황 등이 발생할 수 있고, 공급사슬망 설계를 위한 의사결정문제들은 상호 매우 밀접한 관계를 유지하고 있어 서로 영향을 미친다. 또한 많은 확률적 요소가 존재하고 관련 비용들 사이에 복잡한 trade-off 분석과 여러 비계량적 요소들의 평가를 필요로 하기 때문에 수리모델 및 휴리스틱 기법을 공급사슬망에 적용하는 것은 상당한 가정과 제약

이 따르며 통합적 차원에서 최적의 해를 구하기는 매우 어렵다. 이에 반해 시물레이션 기법은 시간과 비용을 많이 소비하는 단점을 지니고 있으나, 실제 모델을 가장 많이 반영할 수 있고, trade-off 분석 및 다양한 분석을 할 수 있는 장점을 지니고 있다[3]

본 연구는 군 공급사슬망에 발생할 수 있는 상황 중 군수지원 임무수행 제한 부대 발생 시 효율적으로 군 공급사슬망을 재구성하기 위해 혼합정수계획법(Mixed Integer Programming)이 적용된 수리모델을 사용하여 구성 가능한 대안에 대해 재고비용과 운송비용을 최소화한 결과로 초기대안을 도출하였다. 수리모델을 통해 도출된 초기대안의 결과를 반영하여 AutoMod를 이용한 시물레이션 모델을 설계하고 수리모델을 통해 해결하지 못한 차량할당 및 배송문제를 실험 파라미터의 반복조정을 통해 해결함으로써 주어진 수요를 만족시킬 수 있는 최적의 공급사슬망을 설계하는데 본 연구의 목표를 두고 있다. 군 공급사슬망을 설계함에 있어 군수사령부 인트라넷 홈페이지의 군수통합관리정보체계(LIMIS)[4]를 통해 획득한 자료와 부대 간의 이동거리를 토대로 모델링하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 기존 연구에 대해 기술하였으며, 3장에서는 현재 군에서 사용하고 있는 공급사슬망에 대한 설명을 한다. 4장에서는 문제 가정과 이를 통해 도출된 혼합정수계획법 모델에 대한 설명을 하고, 5장에서는 AutoMod를 이용한 시물레이션 모델 설계 및 시물레이션에 대해 기술한다. 6장에서는 실제 군 공급사슬망을 반영한 예제를 만들고, 이를 수리모형과 시물레이션을 통한 검증 및 비교를 기술하고 7장에서는 결론을 통해 본 연구를 평가하고 한계점 및 추후연구에 대해 기술하겠다.

## 2. 기존 연구 고찰

공급사슬망 설계 문제는 다양한 관점에서 활발

하게 연구가 진행되고 있는 분야이며, 그 중 수리모델 및 시물레이션 기법으로 접근한 논문들은 다음과 같다. Shanthikumar and Sargent[5]는 수리모델과 시물레이션 모델의 각각의 장점과 단점에 대해서 연구하였으며 문제를 해결함에 있어 문제 특성에 따라 적합한 모델 선택 또는 두 모델의 혼합이 이루어져야 한다고 하였다. Maruta[6]는 공급사슬을 시물레이션 하는데 필요한 기능과 틀에 관한 전반적인 설명과 공급사슬을 시물레이션하고 모델링하는 방법을 제시하였다. Tak-akuwa[7]는 고객과 공장 사이에 있는 물류센터(DC)의 다양한 역할에 관해서 시물레이션을 사용하여 모델링하였으며, 큰 규모의 문제에 관해서 시물레이션 하는 것은 상당히 어렵다고 하였다. Lee and Kim[8]의 연구는 기존의 연구와는 다르게 공급사슬 환경에 시물레이션과 수리모델을 혼합한 형태를 제시하였으며, 주어진 시간에 소매점의 수요를 만족하는 최적의 작업시간을 사용하여 통합 생산분배 계획에 관해 연구하였다. 정석재[9]는 A사의 새롭게 구축될 물류센터의 규모를 산정하기 위해 Arena 7.0 Simulation Package를 활용하여 구성 가능한 대안을 시나리오 분석을 이용해 제시하고, 산정된 시나리오에 대해 재고비용과 운송비용을 최소화하는 결과를 제시하였다. Melachrinoudis et al.[10]의 연구는 물리적인 물동량을 고려하여 분배 센터 네트워크를 구성하는 문제를 수리모델로 해결하는 과정을 보여주었다.

이에 반해 기존 군 공급사슬망 설계관련 국내 연구는 다음과 같다. 최종근[11]은 현재 군 공급사슬의 문제점을 거론하고 미래 국방 군수시스템 구축방향을 제시하였으며, 황선일[12]은 두 가지 군수품에 대해 공급사슬을 조사하고 공급사슬상 나타나는 채찍효과(Bullwhip Effect)의 원인을 분석하여 대안을 제시하였다. 허경환[13]은 주요국의 군수개혁 사례 및 성과를 분석하여 우리 군의 특성에 맞게 적용하는 방안을 제시하고 기대효과를 분석하였으나 위 논문들은 실험을 통한 문제분

석 및 제시된 대안의 입증에 이루어지지 않은 한계가 있다.

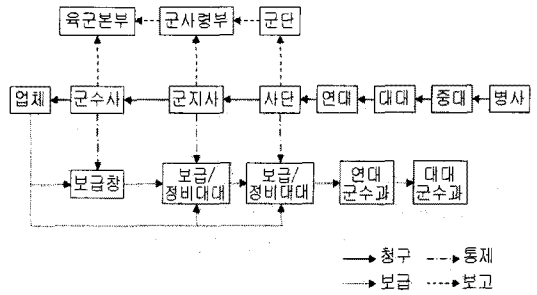
시물레이션 기법을 활용한 연구로서 안병기[14]는 군 공급사슬에서 재고관리 정책을 공급자위주에서 고객위주로 개선할 경우 공급사슬에 미치는 영향에 관해 연구하였으며, 이우현[15]은 현행 군 유통 공급사슬에서 평시에서 전시로 전환할 때 나타나는 동태성에 관한 연구를 하였고, 박근민[2]은 청구 주기를 반영한 혼합발주시스템이 현재 사용 중인 정량발주시스템보다 효과적이라는 연구 결과를 도출하였다. 위 논문들은 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 패키지인 벤심(Vensim)을 활용하여 시물레이션 하였으나 단일거래부대(단계별 노드 1개)만 있는 것으로 네트워크를 구성하였고 단일품목만 고려한 결과라는 한계가 있다.

본 연구는 Shanthikumar and Sargent[5]가 수리모델의 결과를 시물레이션 모델에 반영하여 문제를 해결한 과정에 착안하여 이를 군 공급사슬망 재구성 문제에 맞게 적용하였다. 군 공급사슬망 재구성 문제를 수리모델을 통하여 초기 대안을 도출하고 수리모델의 결과를 시물레이션 모델에 반영하여 수리모델에서 해결하지 못한 노드별 차량 할당 및 차량경로문제를 해결하였다. 또한 기존의 군 공급사슬망 연구가 단일거래부대로 이루어진 공급사슬망과 단일품목을 대상으로 한 것과 차별화하기 위하여 현행 군 군수지원 시스템의 구조를 반영한 단계별 다수 노드로 구성된 공급사슬망과 다품목(multi-product)을 처리대상으로 하였다.

### 3. 군 공급사슬망 고찰

현행 군 군수지원 시스템은 계획 및 지침이 하달되는 지휘계통과 필요한 물자를 청구, 보급하는 지원계통으로 2원화되어 있다. <그림 2>는 군의 일반적인 군수지원 시스템을 나타낸다.

군 공급사슬은 납품업체-군수사(보급창)-군지사(보급대대)-사단(보수대대)-편성부대(전투부대)의

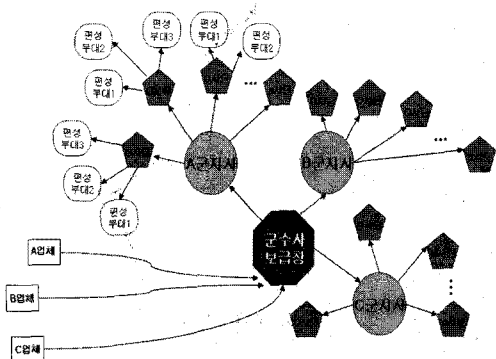


<그림 2> 현행 군 군수지원 시스템(16)

5단계 구조로 이루어져 있으며, 보급지원방식은 부대별 각각 보급수준과 보급한도량을 설정해 놓고, 그 물량을 확보하여 피지원부대로부터 수요 발생 시 소요량을 지원하고, 확보목표에 미달된 수량에 대하여 상급지원부대로부터 후속물량을 공급받는 방식으로 이루어져 있다. 보급수준이란 예상되는 수요에 대비하기 위해 군 공급사슬에 사전에 재고로 유지하도록 인가하는 보급품 수량 또는 일수를 말한다. 군은 <표 1>과 같이 군수지원 제대별로 보급수준을 다르게 운영하고 있으며, 일반적인 군 공급사슬망의 구조는 <그림 3>과 같다.

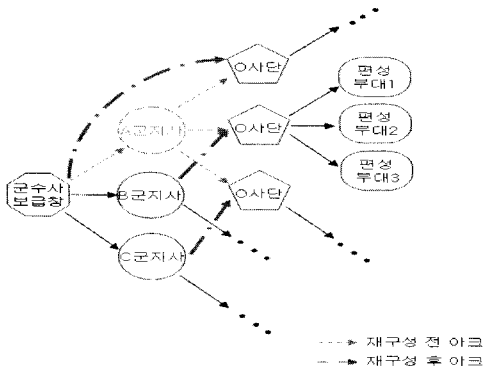
<표 1> 육군의 제대별 보급수준(17)

구분	계	운영수준 (OL)	안전수준 (SL)	발주/수송시간 (OST)
군수사	90일	-	30일	60일
군지사	65일	25일	15일	25일
사단	20일	10일	-	10일



<그림 3> 군 공급사슬망 구조

본 연구에서 고려한 문제는 일정기간동안 군수지원 임무수행 불가능 또는 재한부대 발생 시 기존의 군수지원체계를 유지한 상태에서 보급이 차단된 예하부대로 군수품을 효율적으로 보급하기 위해 공급사슬망을 신속하게 재구성해야할 필요가 있을 때 재고비용과 운송비용을 최소화하는 재구성된 공급사슬망 구조 및 운송차량수를 구하는 것이다. <그림 4>는 A군지사가 군수지원 임무수행 불가능일 때 재구성 가능한 공급사슬망의 한 예를 보여준다.



<그림 4> 공급사슬망 재구성

#### 4. 수리모델 설계

본 장은 군 공급사슬망 재구성 소요 발생 시 편성부대의 수요를 만족시키며 이를 신속히 해결하기 위하여 최적화의 혼합정수계획법을 이용한 수리모델을 제시하고자 한다.

##### 4.1 가정

본 연구에서는 수리모델을 수립하기 위하여 다음과 같은 가정을 두었다.

- (1) 공급사슬망의 구조는 군수사-군지사-사단-편성부대의 4단계로 구성된다.
- (2) 단계별로 하나 이상의 노드가 존재한다.
- (3) 각 노드는 모든 상급단계 노드 중 오직 한 곳의 노드로부터 만 군수품을 지원받는다.

- (4) 사단 단계 이상의 노드는 한 곳 이상의 모든 하급단계 노드로 군수품을 지원할 수 있다.
- (5) 모든 편성부대의 수요를 충족해야한다.
- (6) 각 노드의 군수품별 보급수준은 정해져있다.
- (7) 군수품별 단위 재고비용은 종류에 따라 다르며 한 군수품의 단위 재고비용은 모든 노드에서 동일하다.
- (8) 군수품별 단위 운송비용은 종류에 따라 다르며 군지사, 사단을 경유하는 단위 운송비용보다 중간단계를 거치지 않고 군수사로부터 직접 보급 받는 단위 운송비용이 더 크다.

#### 4.2 수리모델

군 공급사슬망 설계를 위한 수리모델 구축에 앞서 먼저 본 연구에서 사용되는 기호를 정의한다.

<기호표기>

$W$  : 군수사.

$X$  : 군지사.

$Y$  : 사단.

$Z$  : 편성부대.

$i$  : 노드.

$l$  : 아크.

$p$  : 군수품.

$HC_p$  : 1개의 군수품  $p$  를 1 period 동안 재고로 보관하는데 드는 단위 재고비용(원/개).

$TC_p$  : 1개의 군수품  $p$  를 1km 이동시키는데 드는 단위 운송비용(원/km).

$D_l$  : 아크  $l$  의 왕복운송거리(km).

$L_{*i}$  : 노드  $i$  가 종점인 아크의 집합.

$L_{i*}$  : 노드  $i$  가 시점인 아크의 집합.

$d_{pit}$  :  $t$  시점에 노드  $i$  ( $\in Z$ )가 수요로 하는 군수품  $p$  량.

$s_{pit}$  :  $t$  시점에 노드  $i$  ( $\in W$ )가 생산하는 군수품  $p$  량.

$ss_{pi}$  : 노드  $i$  에서 군수품  $p$  의 안전재고량.

$S_{pi}$  : 노드  $i$  에서 군수품  $p$  의 최대재고량.

<결정 변수>

$x_{plt}$  :  $t$  시점에 아크  $l$  을 통해 보급된 군수품  $p$  이동량.

$h_{pit}$  :  $t$  시점에 노드  $i$  에서의 군수품  $p$  재고량.

이와 같은 기호를 활용하여 혼합정수계획법으로 구축된 수리모델은 다음과 같다.

<MIP formulation>

$$\text{Min} \sum_{\forall t} \left[ \sum_{\forall i} \sum_{\forall p} HC_p h_{pit} + \sum_{\forall p} \sum_{\forall l} TC_p D_l x_{plt} \right] \quad (1)$$

$$h_{pi(t-1)} + \sum_{l \in L_i} x_{plt} = \sum_{l \in L_r} x_{plt} + h_{pit} \quad \forall p, t \ (i \in X, Y) \quad (2)$$

$$h_{pi(t-1)} + \sum_{l \in L_i} x_{plt} = d_{pit} + h_{pit} \quad \forall p, t \ (i \in Z) \quad (3)$$

$$h_{pi(t-1)} + s_{pit} = \sum_{l \in L_r} x_{plt} + h_{pit} \quad \forall p, t \ (i \in W) \quad (4)$$

$$ss_{pi} \leq h_{pit} \leq S_{pi} \quad \forall p, i, t \quad (5)$$

$$x_{plt}, s_{pit} \geq 0 \quad \forall p, i, t, l \quad (6)$$

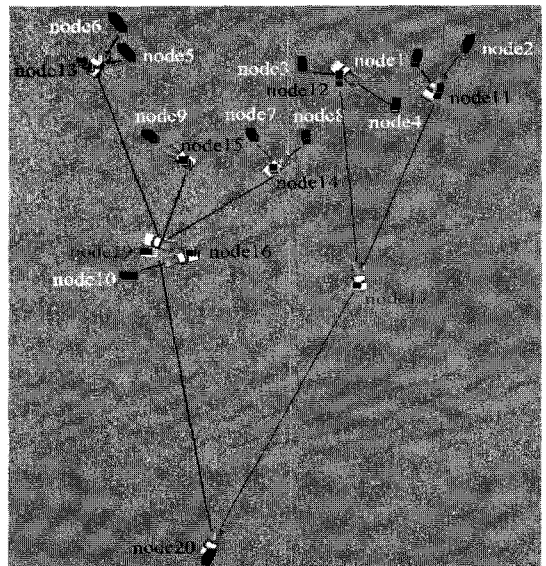
목적함수 (1)은 편성부대의 수요를 충족시키는 상황에서 총비용을 최소화하는 것이다. 즉 기간  $t$  동안 각 노드의 군수품별 재고비용과 각 군수품의 이동에 의해 발생한 운송비용을 최소화 하는 것이다. 제약조건 (2)는 각 군지사, 사단의 군수품별  $t-1$  시점 재고량에  $t$  시점의 입고량을 합한 값은  $t$  시점 출고량에  $t$  시점의 출고이후 재고량을 합한 값과 같음을 의미한다. 제약조건 (3)은 각 편성부대에서 군수품별로  $t-1$  시점 재고량에  $t$  시점의 입고량을 합한 값은  $t$  시점 수요량에  $t$  시점의 수요이후 재고량을 합한 값과 같음을 의미한다. (4)는 군수사에서 군수품별로  $t-1$  시점 재고량에  $t$  시점의 생산량을 합한 값은  $t$  시점 출고량에  $t$  시점의 출고이후 재고량을 합한 값과 같다는 제약식이며, 제약조건 (5)는 노드별로 각 군수품이 안전재고량

이상, 최대재고량 이하의 범위 내에서 재고 유효함을 의미하고 제약조건 (6)은 문제 범위를 정하기 위하여 주어졌다.

실제 군 공급사슬망에서 군수품의 이동은 차량과 같은 운송수단에 의해 움직이게 되는데, 서론에서 기술한 바와 같이, 수리모델을 통해 도출되는 기간별 노드 간 군수품 이동량과 재고량만으로는 실제 공급사슬망을 반영하는데 한계가 있다. 차량문제는 노드 간 차량할당 수 및 차량경로설정과 같은 문제로 구성되며, 반복적인 시뮬레이션을 통해 수요를 만족하는 최적의 차량 수 및 경로를 설정한다. 자세한 내용은 다음 장에서 설명하도록 하겠다.

## 5. 시뮬레이션 모델의 설계

본 장은 수리모델의 결과가 적용된 시뮬레이션 모델을 설계하고 차량 배송 정책이 적용된 실험을 통하여 차량할당문제를 해결하고자한다. 본 시뮬레이션 모델에서 공급사슬망은 군수품을 운반하는 차량과 군수품을 저장하는 물류창고, 물류창고 간 차량 이동로(Arc)로 구성되며 시뮬레이션 설계



<그림 5> 군 공급사슬망 시뮬레이션 모델

를 위하여 AutoMod II[18]를 사용하여 모델링 하였다. 군 공급사슬망에 관한 시물레이션 모델은 아래 <그림 5>과 같다.

본 연구에서는 시물레이션 모델을 설계하기 위하여 다음과 같은 가정을 두었다.

- (1) 차량은 각 노드에 위치하며 예하부대들의 주문에 따라 우선 배송지 및 중요군수품 순서로 배송 후 회송한다.
- (2) 차량 운행 시간에 제한이 있으며 모든 차량에 동일하게 적용한다.
- (3) 배송 및 회송 시 차량 운행 시간 이내에 목적지에 도착할 수 없을 경우 현 노드에 대기 후 다음 차량 운행 시간에 이동한다.
- (4) 군수품 적하 시간은 수량에 상관없이 각각 동일 시간이 소요되며 모든 노드 및 군수품에 대하여 동일하다.
- (5)  $t$  시점에 청구한 군수품 중 보급 받지 못한 양은  $t+1$  시점에 우선 청구된다.
- (6) 차량 배송 및 보급품 처리는 FIFO(First In First Out)를 따른다.

수리모델에서 최적으로 구해진  $x_{plt}$  에 의해 시점별로 군수품이 청구되며 시물레이션 모델 평가를 위하여 시스템 평가에 사용되는 결정 변수로 수요충족률(Fill rate) 및 미 주문 처리량(backlog) 발생 유·무를 선정하였다. 수요충족률은 시스템 전체의 성능을 나타내는 지표이며 미 주문 처리량 발생 유·무는 수리모델에서 도출한 최적의 비용을 만족하기 위한 차량할당 수를 구하기 위함이다. 시물레이션 모델의 설계 변수는 다음과 같다.

<표 2> 시물레이션 모델의 설계 변수

설계 변수(Design Factors)	
내 용	단 위
차량 운행 대수	대
차량 주행 속도	km/h
차량 적하 소요 시간	hour

## 6. 실험 : 실험결과 및 분석

본 장은 위의 두 모형에 적용하기 위하여 사용된 입력자료와 이를 사용한 실험결과를 보여준다. 여기서의 실험은 한 부대가 군수지원 임무 수행 불가능시 수리모델을 통해 도출된 재구성 대안의 총비용과 그 외 가능한 대안들의 총비용 값을 비교해 봄으로써 수리모델의 타당성을 보여주었다. 그리고 수리모델에서 도출된 최적의 대안을 시물레이션에 적용하여 최소 비용을 발생시키는 차량 할당 수를 결정하였다.

### 6.1 수리모델 입력자료

본 연구에서는 군수사령부 인트라넷 홈페이지

<표 3> 연구대상 품목 특성

품 명	○○ A 품목	포장단위	1 EA(개)
임무긴요도	전투긴요품목	품 류	기지반납부속
중량(kg)	26.4	부피(m <sup>3</sup> )	0.0642

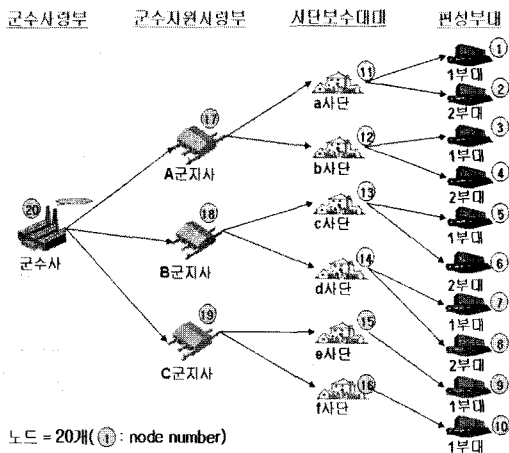
<표 4> 2007년도 ○○ A품목 연간수요 내역

구 분	연간수요량	비 고
군수사	92,620	보급부대
A군 군지사	31,376	보급부대
B군 군지사	35,437	보급부대
C군 군지사	22,690	보급부대
A군 a사단	14,797	보급부대
A군 b사단	15,616	보급부대
B군 c사단	19,721	보급부대
B군 d사단	13,864	보급부대
C군 e사단	12,957	보급부대
C군 f사단	7,981	보급부대

구 분	수요 범위	비 고
a사단 1부대	0~25	편성부대
a사단 2부대	0~24	편성부대
b사단 1부대	0~32	편성부대
b사단 2부대	0~18	편성부대
c사단 1부대	0~28	편성부대
c사단 2부대	0~37	편성부대
d사단 1부대	0~18	편성부대
d사단 2부대	0~28	편성부대
e사단 1부대	0~45	편성부대
f사단 1부대	0~28	편성부대

의 군수통합관리정보체계(LIMIS)를 통해 획득한 자료를 활용하여 연구대상 품목 선정 및 공급사슬망을 설계하였고, 부대 간의 운송거리는 직선거리가 아닌 운송로를 통한 실제거리로 인터넷 전자지도(Congnamul)[19]를 통해 획득한 자료를 적용하였다. <표 3>은 선정된 품목의 일반적인 특성을 나타내며, 선정 품목의 수요 부대와 2007년도 연간수요 내역은 <표 4>와 같다.

위와 같은 자료를 이용하여 공급사슬망을 구성하면 <그림 6>와 같다.



<그림 6> 공급사슬망

단위 운송비용을 도출하기 위해 제품 운송은 K-511 2½톤 트럭에 의해 이루어지는 것으로 가정하였으며, 2½톤 차량운영에 대한 연간 통계값 및 제품의 제원으로부터 아래와 같은 과정을 통하여 단위 운송비용을 도출하였다. <표 5>는 2½톤 차량운영에 대한 연간 통계값을 <표 6>은 제품별 제원 및 단위 운송비용을 나타낸다.

<표 5> 2½톤 차량운영에 대한 연간 통계값(20)

구분	유류비	운용거리	적재 하중
통계값	918,000원	23,579 km	4 ton

- 차량 1대를 1km 운행하는데 드는 비용  
= 유류비 / 운용거리 - - - - - ①
- 차량 1대의 적재 가능량  
= 적재 하중 / 제품 1개 무게 - - - ②
- 1개 제품을 1km 운송하는데 드는 비용  
= ① / ②

<표 6> 제품별 제원 및 단위 운송비용

구분	단위무게	적재 가능량	단위 운송비용
제품1	26 kg	153 개	0.255 원
제품2	32 kg	125 개	0.312 원
제품3	30 kg	133 개	0.293 원
제품4	19 kg	210 개	0.186 원
제품5	22 kg	181 개	0.215 원

단위 재고비용은 각 보급부대의 연간 창고유지비용[21]에서 평당 재고량을 나누어 1일 단위 유지비로 환산한 값으로 <표 7>과 같다.

<표 7> 제품별 단위 재고비용

구분	제품1	제품2	제품3	제품4	제품5
단위 재고비용	1.193원	1.789원	1.789원	0.716원	0.895원

보급부대별 최대재고량과 안전재고량은 <표 1>로부터 아래와 같이 구할 수 있으며, 편성부대의 일일수요량은 편성부대별 수요범위 내에서 난수를 생성하여 적용하였다.

- 최대재고량 =  $(OL + SL + OST) \times ADD$
- 안전재고량 =  $SL \times ADD$
- $ADD$  = 일일평균수요량

## 6.2 수리모델 실험 결과

본 연구에서는 <그림 5의>현 공급사슬망에서 노드 ⑱의 B군지사가 15일간 군수지원 임무수행이 불가능할 때 재구성 가능한 대안을 구성하고,



수리모델을 통해 재고비용과 운송비용 측면에서 최소가 되는 대안이 선정된다. 노드 ⑬의 B군지사가 임무수행 불가능할 때 기존의 군수지원체계를 유지한 상태에서 재구성 가능한 대안은 노드 ⑬, ⑭가 각각 노드 ⑰, ⑱, ⑳ 중 한 곳으로부터 군수 지원을 받는 것으로 총 3 × 3 개의 대안이 발생할 수 있다.

최적의 공급사슬망 재구성 대안을 구하기 위하여 펜티엄 4 CPU 2.66GHz, 512MB RAM PC에서 Cplex 9.0 을 이용하여 실행하였다. 실행결과 노드 ⑬과 노드 ⑭가 노드 ⑱로부터 제품을 공급 받을 때 재고비용과 운송비용의 합이 총 5,098,948 원으로 최소 비용인 것으로 나타났다. 수리모델에 의해 도출된 공급사슬망 구성과 총 비용이 최적인지 확인하기 위해 <표 8>과 같이 재구성 가능한 나머지 대안의 총 비용을 구하여 비교한 결과 최적인 것을 확인 할 수 있다.

<표 8> 공급사슬망 구성에 따른 총 비용

노드 연결 방법	총 비용
노드 ⑬ - ⑰, 노드 ⑭ - ⑰	5,393,710
노드 ⑬ - ⑰, 노드 ⑭ - ⑳	5,520,290
노드 ⑬ - ⑰, 노드 ⑭ - ⑱	5,281,010
노드 ⑬ - ⑳, 노드 ⑭ - ⑰	5,677,440
노드 ⑬ - ⑳, 노드 ⑭ - ⑳	5,804,020
노드 ⑬ - ⑳, 노드 ⑭ - ⑱	5,564,740
노드 ⑬ - ⑱, 노드 ⑭ - ⑰	5,211,660
노드 ⑬ - ⑱, 노드 ⑭ - ⑳	5,338,230

### 6.3 시뮬레이션 모델 입력자료

시뮬레이션 모델의 입력 자료는 수리모델에 적용된 입력 자료를 동일하게 적용하며 시뮬레이션 모델의 설계 변수 값은 <표 9> 와 같다. 시뮬레이션 실험 횟수를 줄이기 위하여 노드에 따라 차량 수의 변화 정도를 2대 이상으로 하였다.

시뮬레이션 전체 실험 회수는 차량 운행 대수

<표 9> 시뮬레이션 모델의 설계 변수

차량 운행 대수				
구 분	노드⑳	노드⑱	노드⑰	노드⑪~⑯
차량 수	18~28	4~10	2~4	1
변화 정도	5	3	2	-
경우 수	3	3	2	1

차량 운행 속도		
50 km/h	60 km/h	70 km/h

차량 적하 소요 시간	차량 운행 시간
1 hour	8:00~22:00

조합의 경우 수와 차량 운행 속도 및 차량 적하 소요시간의 경우 수 곱으로 총 54 회 실행한다.

### 6.4 시뮬레이션 모델 실험결과

수리모델을 통해 최적 값으로 도출된  $x_{pl}$  을 시뮬레이션 모델에 적용하여 설계 변수 값의 조합에 따른 실험결과는 <표 11>과 같다. 실험결과 모든 조합에 대하여 수요충족률이 100%로 편제부대가 청구한 군수품이 기간 이내에 보급되어지는 것을 알 수 있다. 하지만 54번째 경우를 제외한 나머지 경우는 미 주문 처리량(backlog)이 발생하여 보급 지연이 생겼음을 알 수 있다. 따라서 편제부대의 수요를 만족하고 미 주문 처리량이 발생하지 않도록 설계변수를 결정할 수 있고 그 값은 아래와 같다.

<표 10> 시뮬레이션 모델 설계변수 최적 값

구 분	노드⑳	노드⑱	노드⑰	노드⑪~⑯
차량 수	28	10	4	1
속도(km/h)	70	70	70	70

〈표 11〉 시뮬레이션 모델 실험결과

구분	노드 번호			속도 (km)	수요 충족률 (%)	backlog 발생유무	총 비용 (₩)
	20	19	17				
	차량 수						
1	18	4	2	50	100	○	5,104,515
2	18	4	2	60	100	○	5,103,120
3	18	4	2	70	100	○	5,101,376
4	23	4	2	50	100	○	5,104,320
5	23	4	2	60	100	○	5,103,120
6	23	4	2	70	100	○	5,101,376
7	28	4	2	50	100	○	5,104,320
8	28	4	2	60	100	○	5,103,320
9	28	4	2	70	100	○	5,101,376
10	18	4	4	50	100	○	5,102,501
11	18	4	4	60	100	○	5,101,539
12	18	4	4	70	100	○	5,100,808
13	23	4	4	50	100	○	5,102,306
14	23	4	4	60	100	○	5,101,539
15	23	4	4	70	100	○	5,100,808
16	28	4	4	50	100	○	5,102,306
17	28	4	4	60	100	○	5,101,539
18	28	4	4	70	100	○	5,101,808
19	18	7	2	50	100	○	5,102,879
20	18	7	2	60	100	○	5,101,247
21	18	7	2	70	100	○	5,100,060
22	23	7	2	50	100	○	5,101,766
23	23	7	2	60	100	○	5,101,247
24	23	7	2	70	100	○	5,100,060
25	28	7	2	50	100	○	5,101,766
26	28	7	2	60	100	○	5,101,247
27	28	7	2	70	100	○	5,100,060
28	18	7	4	50	100	○	5,100,865
29	18	7	4	60	100	○	5,099,666
30	18	7	4	70	100	○	5,099,492
31	23	7	4	50	100	○	5,099,751
32	23	7	4	60	100	○	5,099,666
33	23	7	4	70	100	○	5,099,492
34	28	7	4	50	100	○	5,099,751
35	28	7	4	60	100	○	5,099,666
36	28	7	4	70	100	○	5,099,482
37	18	10	2	50	100	○	5,102,826
38	18	10	2	60	100	○	5,101,234
39	18	10	2	70	100	○	5,099,744
40	23	10	2	50	100	○	5,101,712
41	23	10	2	60	100	○	5,101,174
42	23	10	2	70	100	○	5,099,744
43	28	10	2	50	100	○	5,101,680
44	28	10	2	60	100	○	5,101,107
45	28	10	2	70	100	○	5,099,516
46	18	10	4	50	100	○	5,100,811
47	18	10	4	60	100	○	5,099,653
48	18	10	4	70	100	○	5,099,176
49	23	10	4	50	100	○	5,099,698
50	23	10	4	60	100	○	5,099,593
51	23	10	4	70	100	○	5,099,176
52	28	10	4	50	100	○	5,099,666
53	28	10	4	60	100	○	5,099,526
54	28	10	4	70	100	×	5,098,948

## 7. 결론

군에서 공급사슬관리는 일반기업에서 추구하는 비용의 최소화와 높은 서비스 수준 유지와 더불어 급격하게 변화하는 전쟁양상에 신속, 정확하게 대응함으로써 높은 전투준비태세 유지 및 향상을 동시에 충족시켜야한다. 따라서 본 연구에서는 군의 군수지원시스템에 발생할 수 있는 상황 중 일부 군수지원부대의 임무수행 능력이 제한될 때 공급사슬망에 존재하는 노드들과 이를 연결하는 아크를 효율적으로 구성하여 총 비용을 최소화하는 공급사슬망 설계 문제를 다루었다. 이를 위해 현재 군의 공급사슬망을 혼합정수계획법 모델이 적용된 수리모델로 제시하고, 군의 거래 현황을 수집하여 수리모델에 적용, 공급사슬망을 운용할 수 있도록 한 것이 특징이다. 또한 수리모델에서 해결하지 못한 차량할당문제를 수리모델의 결과가 반영된 시뮬레이션 모델로써 해결하였다.

기존의 군 공급사슬망 관련 연구는 단일 품목, 단계별 단일 노드로 공급사슬망을 구성하여 실험이 이루어졌다. 그러나 본 연구에서는 현실적으로 군 공급사슬망을 반영하기 위해 다품목, 단계별 다수 노드를 고려함으로써 연구의 실용성 및 현장 적용성을 높임으로써 군 공급사슬망 평가 및 설계에 기여할 것으로 판단한다.

본 논문은 군수지원부대와 편성부대 간의 관계 위주로 연구가 이루어졌다는 한계를 가지고 있다. 또한 군사 작전 측면에서는 재고비용을 포함한 운송비용 이외에도 군수품이 지연 보급되었을 때 발생하는 손실비용이 결정적 요소로 작용할 수 있다. 따라서 향후 납품업체의 생산계획과 손실비용이 고려된 공급사슬망 설계로 연구 범위를 확장하여 수요를 만족시킬 수 있는 공급사슬망 대안을 도출하는 연구가 진행될 필요가 있다.

## 8. 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (R01-2006-000-10941-0) 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- [1] 군사기술연구소, 미래 군수지원체제 발전 방안, 2006.
- [2] 박근민, 군 공급체인에서 (m, M, T)시스템 적용에 따른 효과시물레이션, 국방대학교, 2005.
- [3] Anderson, Evans and Biles, Simulation optimization of logistics systems through the use of variance reduction techniques and criterion models, Engineering Optimization, 2006.
- [4] <http://www3.logcmd.army.mil>, 군수통합 관리정보체계(LIMIS).
- [5] J. G. Shanthikumar, R. G. Sargent, A Unifying View of Hybrid Simulation/ Analytic Models and Modeling, Operations Research, 1983.
- [6] Maruta, T. et al., Simulation Tool of Supply Chain Model with Various Structure and Decision Making Processes, IEEE, 1999.
- [7] Takakuwa, S. et al., "Simulation and Analysis of Non-Automated Distribution Warehouse", Proceeding of the Winter Simulation Conference, pp. 1177-1184, 2000.
- [8] 김숙한, 이영해, 시간과 능력을 고려한 공급사슬 경영에서의 생산-분배 계획을 위한 시물레이션과 최적화모델의 적용, 한국시물레이션학회, 2000.
- [9] 정석재, 이재준, 김경섭, 물류 네트워크 구축을 위한 입지 및 규모 선정을 위한 시물레이션 분석, 한국시물레이션학회, 2005.
- [10] Melachrinoudis et al. Facility Location of a Reliable Center on a Tree Network, IIE, 2005.
- [11] 최종근, 미래 국방 군수시스템 구축방향 연구, 한국국방경영분석학회, 2002.
- [12] 황선일, 군 공급체인에서의 동적특성에 관한 연구 : Bullwhip Effect를 중심으로, 국방대학교, 2002.
- [13] 허경환, 육군 군수체계에 SCM 적용 방안 연구, 국방대학교, 2006.
- [14] 안병기, 재고정책에 따른 군 공급체인 성과에 관한 연구 : 시스템 다이내믹스를 중심으로, 한국국방경영분석학회, 2002.
- [15] 이우현, 군 유류 공급체인에서의 동태성에 관한 연구, 국방대학교, 2003.
- [16] 국방부, 한국적 군사혁신의 비전과 방책, 2003.
- [17] 국방부, 국방물자시스템 실무지침서(I) (총괄편), 2002.
- [18] Brooks Automation, Inc. Auto Simulation Division, AutoMod User' Manual, 2001.
- [19] <http://www.congnamul.com>, 인터넷 전자 지도.
- [20] 국방부, 04 국방비용편람, 2004.
- [21] 국방부, 국방예산 편성지침 및 기준, 2005.

---

■ 저자소개 ■

**이 병 호** (E-mail: igohoya@korea.ac.kr)

2004 육군3사관학교 기계공학과 졸업(공학사)

현재 고려대학교 공과대학 정보경영공학전문대학원 산업시스템전공 석사과정

관심분야 Supply Chain Management, Simulation.

**정 동 화** (E-mail: dhjeong@korea.ac.kr)

2005 한국외국어대학교 산업시스템공학과, 중국어과 졸업(공학사, 문학사)

현재 고려대학교 공과대학 산업시스템정보공학과 석박사통합과정 수료

관심분야 Supply Chain Management, Meta heuristic.

**서 윤 호** (E-mail: yoonhoseo@korea.ac.kr)

1984 B.S. Dept. of Industrial Engineering, Korea University

1993 M.S. Dept. of Industrial Engineering, Pennsylvania State University

1993 Ph..D. Dept. of Industrial Engineering, Pennsylvania State University

현재 고려대학교 공과대학 정보경영공학부 교수

관심분야 Virtual Manufacturing Systems.

Facility & AGV Layout Design.

Enterprise Eng.