

## 군 통합 물류센터의 최적 위치 결정

심승배<sup>1</sup> · 장지홍<sup>1</sup> · 정호상<sup>2</sup> · 정봉주<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한국국방연구원 / <sup>2</sup>인하대학교 물류전문대학원 / <sup>3</sup>연세대학교 정보산업공학과

### Military Logistics Consolidation Center Location Problem : Modeling and Analysis

Seungbae Sim<sup>1</sup> · Jihong Jang<sup>1</sup> · Hosang Jung<sup>2</sup> · Bongju Jeong<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute for Defense Analyses

<sup>2</sup>Graduate School of Logistics, Inha University

<sup>3</sup>Department of Information and Industrial Systems Engineering, Yonsei University

In Korea military (KM), various military supplies are distributed to individual military units via three different multi-tier supply networks owned and operated by army, navy, and air force, respectively. Under the current supply networks, the chances for the occurrence of delayed supply, undersupply, and oversupply increase, and supply redundancy also can become a problem. Thus, KM is now trying to improve its current multi-tier supply networks by constructing logistics consolidation centers. Private companies operate logistics consolidation centers to effectively manage various types of inventories before delivering them to final customers. In this paper, we newly propose a mathematical model for building the optimized military supply network considering adopting the military logistics consolidation centers. Based on the real situation of KM, the proposed model was validated in terms of its feasibility, and it seems that the outcome (the location of the military logistics consolidation centers) of the proposed model can be one of the good alternatives for KM.

**Keywords:** Logistics Consolidation Center, Facility Location Problem, Military Logistics

#### 1. 서론

기업의 공급사슬관리(SCM : Supply Chain Management)는 원자재의 구매, 제품의 생산, 제품의 배송 등의 주요 프로세스를 통해 구현된다. 공급사슬관리의 목적은 원자재의 구매에서 최종 완제품의 배송까지의 과정을 효율적으로 관리하여 기업의 이익을 극대화시키는 데에 있다. 즉, 기업과 같은 민간부문에서는 고객의 요구사항을 만족시키는 동시에 조직의 경제적 이윤을 최대화시키기 위하여 노력한다.

한편, 기업과 다르게 공공부문에서는 조직의 경제적 이윤, 즉 영리를 추구하는 데에 조직의 목적을 두는 것보다는 조직 내의 사용자와 외부 고객의 요구사항을 만족시키는 데에 목적

을 두고 있다. 국방부문은 공공부문에서 추구하는 목적 외에도 비상시/전시 상황을 대비해야 하는 특수한 목적도 갖고 있다. 따라서 군의 군수지원체계는 비상시/전시 상황에 대비한 안전재고와 유사한 개념의 비축재고(reserve item)를 적절한 수준으로 유지하는 동시에 평시 상황에 사용하는 군수품의 재고 수준을 최소 수준으로 유지하는 것을 목표로 한다.

군수품은 기본적으로 9종(1종 : 급식, 2종 : 피복, 3종 : 유류, 4종 : 건설자재, 5종 : 탄약, 6종 : PX물품, 7종 : 장비, 8종 : 의무, 9종 : 수리부속)의 유형으로 구분할 수 있으며 특성에 따라 급식, 피복, 유류 등과 같이 평시에 사용량이 많은 군수품과 탄약, 장비 등과 같이 전시에 초점을 두고 관리하는 군수품으로 구분할 수 있다. 이러한 군수품의 특성을 포함하여 국방부문의

이 논문은 2013년도 인하대학교의 부분적인 지원에 의하여 연구되었음(INHA-47304).

\* 연락저자 : 정봉주 교수, 120-749 서울시 서대문구 연세로 50 연세대학교 정보산업공학과, Tel : 02-2123-4013, Fax : 02-364-7807,

E-mail : bongju@yonsei.ac.kr

2013년 3월 28일 접수; 2013년 8월 7일 수정본 접수; 2013년 9월 2일 게재 확정.

물류체계와 민간부문의 물류체계는 재고관리의 대상 및 목표, 물류체계의 핵심성과지표, 수요의 특성, 공급사슬 네트워크의 특성 등의 관점에서 <Table 1>과 같은 차이가 있다.

우선 재고관리의 목표 관점에서 민수는 재고를 최소화하는 것을 목표로 하고 있는 반면, 군수는 재고의 부족을 방지하는 것을 목표로 하고 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 군수의 특성상 전시를 대비하여 일정량의 재고를 보관하고 있어야 하기 때문이다. 그리고 재고관리의 대상도 군수는 다품종 다량의 재고를 동시에 관리하고 있어야 하기 때문에 기업이 특정 제품군이나 제품을 관리하는 환경과는 다르다고 할 수 있다. 이러한 맥락에서 물류체계의 핵심성과지표도 민수는 순익을 극대화했는지를 평가하는 반면, 군수는 일정한 비축 수준에 부합된 재고를 평균적으로 보유하고 있는지에 초점을 두고 있다.

한편, 군수품은 민수품과 다르게 수요가 지속적으로 발생하는 제품보다는 주기적으로 발생하는 제품으로 분류할 수 있으며, 이는 군수품을 공급하는 공급업체가 대량생산체제를 유지하기 어렵다는 것을 의미한다. 또한 공급업체가 미리 생산한 제품을 재고로 보관하고 있다가 계약 후에 군에 해당 제품을 공급할 수 있는 방식이 아니라, 계약 후에 비로소 생산할 수 있는 방식이라고 할 수 있다. 이러한 관점에서 군수에서는 공급업체의 신뢰성이 가장 중요한 구매/조달 기준에 속하며, 제품이 필요한 시점에 언제나 가능한 공급업체들이 많은 민수에서는 가격 및 기술이 구매/조달의 핵심 기준이 된다.

공급사슬 네트워크 구조와 관련하여 군수는 전시나 훈련 상황에서 사용자, 즉 부대가 이동하는 경우가 발생하기 때문에 고정된 위치에서 발생하는 수요나 물류를 고려하는 민수와는 구조적으로 다른 특성을 보인다.

현재 군에서 사용하는 군수품은 각 군별로 구축된 다단계 보급지원체계를 통해 소요군에게 보급되고 있다. 다단계 보급지원체계에서는 보급 지연, 재고 부족, 과다 재고유지 등의 문제점이 발생할 수 있으며 군별로 동일한 군수품을 독립적으로 유지하는 중복성의 문제점도 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 군은 각 군별 다단계 보급지원체계를 통합물류체계로 전환하기 위한 계획을 추진하고 있다.

본 논문은 군수품의 특성을 고려하여 군에서 고려할 수 있는 통합물류센터의 대안을 공급사슬 네트워크 관점에서 수리

적 최적화 모형을 사용하여 검증하여 최적의 군수 네트워크 구조를 제안하는 것을 목표로 하고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 물류센터 통합(consolidation)이나 공급사슬 풀링(pooling)에 대한 선행연구를 살펴보고, 제 3장에서는 군 물류 네트워크에 대한 소개와 함께 군 통합물류센터 위치 결정을 위한 수리적 모델을 제안한다. 그리고 제 4장에서는 제안된 모델을 군수품에 적용하는 사례 연구를 수행하고, 제 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

## 2. 선행 연구

본 연구와 관련된 기존의 연구는 다음과 같이 크게 세 가지로 분류할 수 있다.

첫 번째는 물류센터 위치 결정에 대한 연구이다. 이 분야의 연구로는 민간분야의 물류센터 위치선정 문제를 비롯하여 여러 분야의 제약사항이 고려되는 연구가 이루어지고 있으며, 군 물류센터의 제약조건을 반영한 연구도 최근 이루어지고 있음을 볼 수 있다. Bell(2011)은 미국 본토 방위를 위한 항공 경보기지의 위치 설정 최적화 방법을 제시하였다. 이를 위해 2단계 접근방법을 제시하였는데, 우선 전 영역을 커버하기 위한 기지의 최소한의 숫자를 결정한 후에 다음으로 누적 네트워크 거리 합산 최소화 등의 방법으로 최적화된 위치를 결정하였다. 이 연구에서는 기지의 숫자, 즉 비용과 비상시의 경보망 반응속도 사이의 절충관계(trade-off)가 존재하므로 주어진 비용 혹은 요구되는 반응속도에 따라 기지의 위치설정이 달라진다. 이 연구는 국방 분야의 위치 결정 문제에 대한 선행연구로서의 의미를 가진다. 동적모형을 이용하여 최적 물류 네트워크 설계를 제시한 연구로는 Manzini(2009)와 Gebennini(2009) 등이 있으며 Manzini(2009)의 연구는 네트워크 설계에 있어 운송수단의 종류를 복수화한 특징을 보인다. 그리고 Gebennini(2009)는 중앙물류센터 1개와 복수의 분배센터를 거쳐 사용자에게 공급하는 물류 네트워크를 가정한 후에 물류기지의 위치를 결정하고 안전재고비용을 최적화하는 동적모형을 제시하였다. Javid(2009)는 사용자의 수요가 불확정적인 확률 모델일 때 최

Table 1. Differences between military supply chain and private supply chain

Type	Military supply chain	Private supply chain
Goal	inventory shortage minimization	inventory holding cost minimization
Object	high variety product with high volume	high variety product with low volume or low variety product with high volume
Key Performance Indicator	inventory level against wartime	profit
Procurement Criteria	supplier reliability	price and technology
Demand Characteristics	unstable and unforecastable	stable
Supply Chain Network	variable location	fixed location
Acquisition of Product	priority based acquisition(procurement)	priority based production

적 공급사슬을 빠른 시간에 설계하는 휴리스틱을 제안하였고, Jin(2010) 역시 3단계로 이루어진 물류환경에서 빠른 시간 내에 최적화에 근접하는 네트워크안을 산출하는 휴리스틱을 제시하였으나 제안한 방법의 효율성이 작은 규모의 문제에 한정되는 한계를 보였다. 그 외에도 Song(2008)은 시간 관점, Tsao(2012)는 비용 감소 관점에서의 분배 최적화 문제를 해결하는 모델을 제안했으며, Tang(2009)은 유전알고리즘을 이용한 최적공급사슬 설계방안을 제안하였다. Creazza(2010)는 글로벌 소싱 환경에서 시나리오별로 최적 물류 네트워크를 찾아주는 시뮬레이션을 수행한 바 있다.

두 번째 공급사슬 풀링에 관한 연구는 공급사슬 네트워크의 통합(pooling)을 통한 효율성의 향상을 보이는 연구가 이루어지고 있다. Cheong(2007)은 3자 물류 기업에서 통합 허브를 설치함으로써 네트워크의 총 물류비용을 최소화하는 모델을 제안하였으며 Pan(2010)은 공급사슬의 연합을 통해 운송수단에서 배출하는 배기가스를 감축함을 보였다. 풀링에 대한 연구는 군 물류 네트워크에서도 예외가 아닌데, Brauner(1993)는 일찍이 군 물류네트워크 통합의 이점과 실행시의 주의사항을 제시하였다. Wenzel(2008)도 장기적 관점에서 미군의 통합 군수사령부를 설립 필요성을 제시하는 연구를 수행한 바 있고, Nowicki(2010)는 최근 군에서 적용중인 PBL에 대한 사례를 분석하며 왜 군에도 민간 통합물류센터와 같은 효율적 관리방식이 필요한가에 대하여 기술하였다. 최근에도 Peltz(2012)에서 군 공급사슬의 효율성 향상을 위한 통합을 제안하며 사례연구를 수행하여 통합의 효과를 제시하였다. 공급사슬 네트워크 통합에 대한 기존 연구는 대부분 민간영역에서 수행되었으며 국방 분야에 대한 연구는 주로 이론적인 필요성에 대한 연구가 대부분이며 군사적 데이터의 민감성으로 인해 실증적인 연구는 활발하게 수행되지 못했다는 한계점이 존재한다.

세 번째 군 물류센터에 대한 실증적인 연구로 KRIS(2010)에서는 통합물류체계의 구축 개념 및 정책방향을 제시하였다. 현재의 국방물류체계는 물량위주, 군수부대 중심의 다단계 피라미드 구조로 각군별로 품종별 지원을 하는 고비용-저효율 구조이므로, 이를 해결하기 위해 군 자체의 지원체계를 합리적으로 통합 및 집중화하고 민간부분 물류기술을 활용할 것을 제안하였다. 특히 통합과 집중을 위해 보급창의 수와 규모 재검토 및 최적화가 필요함을 제시하였다. 미국 GAO(2011)에서도 미군의 국방 물류 공급사슬 내의 자원분배 분야가 향후 발전이 필요한 주요 분야임을 미 의회에 보고하였는데 이는 한국군에도 시사점이 되는 내용이다. 또한, Jung(2011)은 군 및 민간 전문가를 대상으로 한 설문 인터뷰 분석 등을 통해 현재 한국군 물류시스템의 4대 문제로 다단계 공급지원 시스템, 부정확한 소요관리 시스템, 비효율적인 조달 및 수송관리, 물류종사자의 전문성 부족을 도출하였다.

기존 연구들은 주로 민간분야의 물류센터 위치결정 문제에 초점을 두고 있으며 국방분야의 물류 네트워크에 대한 연구도 주로 통합에 대한 이론적인 필요성을 언급하거나 설문 중심의

연구방법을 사용하고 있다. 이에 본 연구는 국방분야의 물류센터 위치결정에 대한 사례 중심의 실증적인 연구로서 수리적인 모델을 바탕으로 국방분야 물류 네트워크 환경에서 통합물류센터의 위치 결정문제를 다루고자 한다.

### 3. 군 통합물류센터 위치 결정문제

#### 3.1 군 물류 네트워크

현재 한국군의 물류 네트워크 환경은 다단계 지원구조로 이루어져 있으며 각 군별로 독립적인 네트워크를 구성하고 있다. 기본적인 각군별 다단계 지원구조는 생산자 → 군수사 → 군지사 혹은 군지단 → 사단(육군)/함대사(해군)/비행단(공군) → 편성부대 → 사용자를 거치는 형태이다. 물자의 종류에 따라 육군은 2~5단계, 해공군은 2~4단계의 물자흐름을 가지고 있는데, 같은 군 내에서도 단계의 차이가 발생하는 이유는 특정 품목은 공급자로부터 사단이나 사용자에게 직접 보급됨으로써 물자흐름의 단계가 줄어들기 때문이다. 해공군의 보급지원체계는 편성부대가 없어 보급단계가 육군보다 단순하다는 점 외에는 육군과 유사한 구조를 가지고 있다.

하지만 기본적으로 각 군별 독립적인 물류 네트워크를 가지고 있음에도 불구하고 일부 품목은 3군이 공통으로 취급하기도 한다. 해공군의 지상공통 지원품목인 1종(급식), 2종(피복), 5종(탄약), 7종(장비) 등은 3군 공통지원체제에 의해 지역별로 육군 지원체제를 공동으로 이용하여 지원된다. 예를 들어 1종(급식)의 경우 육군 군지사에서 관리하는 급양대를 3군 공통으로 이용하여 각 군의 급식부대에 주식을 지원하고 있다. <Figure 1>은 군 물류네트워크의 기본 구조를 나타낸 것이다.

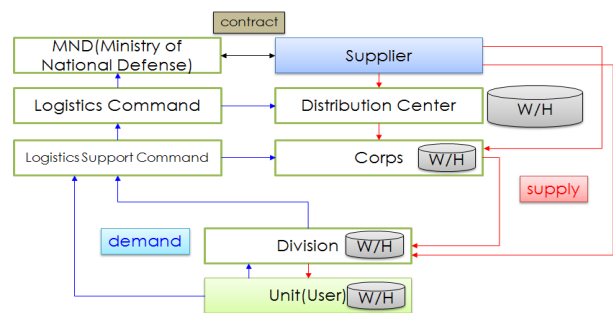


Figure 1. Basic structure of military supply chain

<Figure 1>에서 보는 바와 같이 군수사, 군지사 혹은 군지단, 사단/함대사/비행단, 사용자는 모두 자체적인 재고창고(W/H)를 가지며, 특히 인가저장품목(Authorized Stockage List, ASL)으로 선정되어 있는 군수품은 일정한 저장수준을 유지해야 한다. ASL 품목은 연간 일정 수준 이상의 수요가 발생하는 품목으로 부대별로 일정량을 평시에도 보유하고 있어야 하는 품목을 말한다. 이러한 다단계 물류 네트워크 구조는 네트워크 전

체에 다량의 재고를 발생시킬 수 있으며 이에 따른 재고유지 비용이 발생하며, 사용자의 실수요가 왜곡되는 채찍효과(Bullwhip Effect)가 발생할 수 있다. 또한 특정 수준에서 재고 고갈시 재고 보충을 위한 다단계를 진행하면서 시간이 지체되는 경우가 발생하기도 한다.

현재 국방부(MND)에서는 이러한 다단계 물류 네트워크의 단점을 인식하고 이를 개선하고자 비용과 효율성 차원에서 <Figure 2>와 같이 전군 통합물류체계를 구축하는 정책을 추진하고 있다. 물류체계 재설계를 통해 현재의 다수의 군별 물류거점을 통합하여 권역별 통합물류센터를 구축하고, 통합물류센터를 기준으로 하부 물류 네트워크를 구축하는 것이다. 이를 위해서 기존 물류센터의 확장, 신규 통합물류센터 건설 등이 대안으로 고려되고 있으며, 통합환경 구축을 통한 효율성 향상을 이루고자 한다.

### 3.2 군 통합물류센터 위치 결정 모델

본 연구에서는 제 3.1절에서 언급한 바와 같이 군의 물류환경이 분산 환경에서 통합물류센터 중심으로 통합 환경으로 변화할 때, 군 통합물류센터의 최적 위치와 개수를 결정하는 수리적 모델을 제시하고 사례연구를 통해 통합의 효과를 분석하고자 한다. 먼저 본 절에서는 군 통합물류센터 최적위치를 결정하는 수리적 모델을 제안한다. 공급사슬관리 차원에서 본 모델은 전략적 수준에서 물류 분야를 최적화하는 문제라고 할 수 있다.

군 통합물류센터 위치 결정 모델은 다음과 같은 사항을 가정한다.

- 군의 신규 물류센터는 통합물류센터(CC : Consolidation Center)와 중앙보급창고(CW : Central Warehouse)로 구분된다. CC는 공급자로부터 다양한 군수품을 공급받아서 통합 관리하는 물류센터이며, CW는 CC로부터 편성부대에 공급할

군수품을 주기적으로 공급받아서 관리하는 창고로써 부대에 근접하여 지원하는 개념의 소규모 물류센터를 말한다.

- 통합물류센터(CC)의 후보지가 존재한다. 기존에 존재하는 군별 물류센터를 통합물류센터로 확장할 수도 있으며, 신규로 통합물류센터를 후보지에 건설할 수 있다고 가정한다.
- 지역별 중앙보급창고(CW)의 후보지도 통합물류센터와 동일하게 후보지가 존재한다.
- 군수품을 공급하는 공급업체의 연간 생산능력은 군수품 전체 수요보다 크다.
- 인가저장품목(ASL : Authorized Stockage List)으로 선정되어 있는 군수품은 일정한 저장수준을 유지해야 한다. ASL 품목은 전시/비상사태에 대비하여 일정 기간 소요를 평시에도 보유하고 있어야 하는 품목을 말한다.
- 편성부대의 창고에는 일시적인 재고부족이 발생할 수 있다.
- 통합물류센터, 중앙보급창고, 편성부대 창고의 후보지별 저장 용량은 동일하다. 즉, 신규 통합물류센터를 건설하는 경우에는 신규 건설비(construction cost)가 소요되며, 기존 물류센터를 확장하여 통합물류센터로 활용하는 경우에는 필요로 하는 저장 용량을 확보하기 위한 확장비용(expansion cost)이 소요된다.

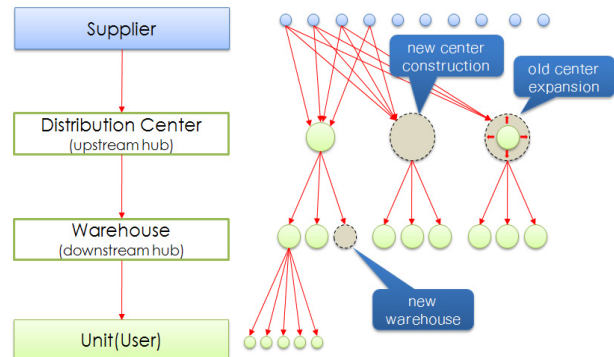


Figure 3. Structure of military supply chain

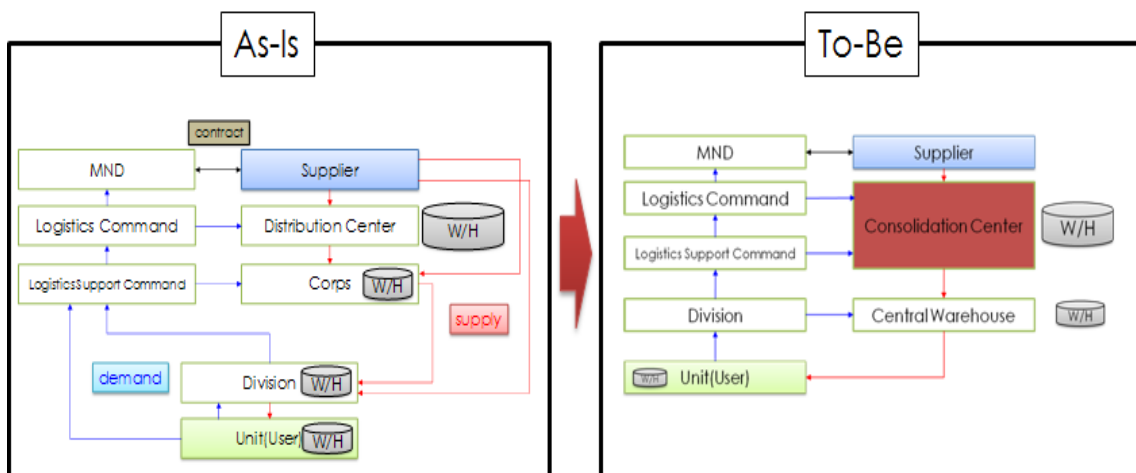


Figure 2. Changes in military logistic environments

본 논문에서 제안하는 수리적 모델은 <Figure 3>과 같은 물류 네트워크 구조에서 공급자 관점에서 새로운 CC의 건설여부 또는 기존 물류센터의 확장여부를 결정하고, 수요자 관점에서 새로운 CW의 건설여부 또는 기존 보급창고의 확장여부를 결정하는 것을 목표로 한다. 또한 CC나 CW와 같은 물류거점의 건설여부를 결정하는 동시에 공급자와 물류센터, 물류센터와 보급창고, 보급창고와 편성부대 간의 물류량을 결정하는 것을 목표로 한다.

본 모델에서 사용하는 파라미터 및 의사결정변수는 다음과 같다.

<Notation>

• Indices, Sets

- $j$  : 부대( $j \in J, J = J_1 \cup J_2 \cup J_3$ )( $J_1$  : 육군,  $J_2$  : 해군,  $J_3$  : 공군)
- $p$  : 제품( $p \in P$ )
- $P_s$  : 공급자  $s$ 가 공급할 수 있는 제품의 집합
- $ASL$  : ASL 품목으로 정의되어 있는 제품의 집합
- $s$  : 공급자( $s \in S$ )
- $d$  : 물류센터( $d \in D, D = D_{new} \cup D_{old}$ )
- $w$  : 보관창고( $w \in W, W = W_{new} \cup W_{old}$ )
- $m$  : 수송모드( $m \in M$ )
- $t$  : 시간(단위 : 주)( $t \in T$ )

• Parameters

- $c_p$  : 제품  $p$ 의 구매(계약) 가격
- $s_p$  : 제품  $p$ 의 크기(부피)
- $c_{sdmp}$  : 공급자  $s$ 가 제품  $p$ 를 물류센터  $d$ 로 수송모드  $m$ 으로 수송하는 데 필요한 단위 수송비용
- $c_{dcmp}$  : 물류센터  $d$ 에서 제품  $p$ 를 보관창고  $w$ 로 수송모드  $m$ 으로 수송하는 데 필요한 단위 수송비용
- $c_{wjmp}$  : 보관창고  $w$ 에서 제품  $p$ 를 부대  $j$ 로 수송모드  $m$ 으로 수송하는 데 필요한 단위 수송비용
- $h_{dp}$  : 물류센터  $d$ 에서 제품  $p$ 를 보관하는 데 필요한 단위 재고유지비용
- $h_{wp}$  : 보관창고  $w$ 에서 제품  $p$ 를 보관하는 데 필요한 단위 재고유지비용
- $h_{jp}$  : 부대  $j$ 에서 제품  $p$ 를 보관하는 데 필요한 단위 재고유지비용
- $f_d$  : 물류센터  $d$ 를 신규 통합물류센터로 건설하는데 필요한 고정비용( $d \in D_{new}$ )
- $e_d$  : 물류센터  $d$ 를 통합물류센터로 확장하는데 필요한 고정비용( $d \in D_{old}$ )
- $y_d$  : 물류센터  $d$ 를 통합물류센터로 건설 또는 확장하는데 필요한 고정비용의 회수기간(payback year)( $d \in D$ )
- $v_d$  : 물류센터  $d$ 를 단위시간  $t$ 동안 운영하는데 필요한 변동비용( $d \in D$ )

- $f_w$  : 보관창고  $w$ 를 신규 통합보관창고로 건설하는데 필요한 고정비용( $w \in W_{new}$ )
  - $e_w$  : 보관창고  $w$ 를 통합보관창고로 확장하는데 필요한 고정비용( $w \in W_{old}$ )
  - $y_w$  : 보관창고  $w$ 를 통합보관창고로 건설 또는 확장하는데 필요한 고정비용의 회수기간(payback year)( $w \in W$ )
  - $v_w$  : 보관창고  $w$ 를 단위시간  $t$ 동안 운영하는데 필요한 변동비용( $w \in W$ )
  - $SS_{dp}$  : 물류센터  $d$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대한 안전재고수준( $p \in ASL$ )
  - $SS_{wp}$  : 보관창고  $w$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대한 안전재고수준( $p \in ASL$ )
  - $SS_{jp}$  : 부대  $j$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대한 안전재고수준( $p \in ASL$ )
  - $\beta_{dp}$  : 물류센터  $d$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대하여 안전재고 수준에 미달하는 보관량에 대한 페널티 비용( $p \in ASL$ )
  - $\beta_{wp}$  : 보관창고  $w$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대하여 안전재고 수준에 미달하는 보관량에 대한 페널티 비용( $p \in ASL$ )
  - $\beta_{jp}$  : 부대  $j$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대하여 안전재고 수준에 미달하는 보관량에 대한 페널티 비용( $p \in ASL$ )
  - $\gamma_{jp}$  : 부대  $j$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대하여 재고부족량에 대한 페널티 비용
  - $C_s$  : 공급자  $s$ 의 공급 가능한 최대용량(부피)
  - $C_d$  : 물류센터  $d$ 의 보관 가능한 최대용량(부피)
  - $C_d^M$  : 통합물류센터에 요구되는 최대용량(부피)
  - $C_w$  : 보관창고  $w$ 의 보관 가능한 최대용량(부피)
  - $C_w^M$  : 통합보관창고에 요구되는 최대용량(부피)
  - $D_{jpt}$  : 부대  $j$ 에서  $t$ 기간에 필요로 하는 제품  $p$ 의 수요량
  - $C_m$  : 수송모드  $m$ 로 수송 가능한 제품의 최대 수송량
  - $distance_{sd}$  : 공급자  $s$ 와 물류센터  $d$  간의 거리
  - $distance_{dw}$  : 물류센터  $d$ 와 보관창고  $w$  간의 거리
  - $distance_{wj}$  : 보관창고  $w$ 와 부대  $j$  간의 거리
  - $B$  : 총 군수품 예산
  - $S$  : 군수품을 공급할 수 있도록 허용된 공급자의 최대 수
  - $D$  : 예산 범위 내에서 건설/확장할 수 있는 통합물류센터 최대 개수
  - $W$  : 예산 범위 내에서 건설/확장할 수 있는 통합보관창고 최대 개수
- Decision Variables
- $z_s$  : 공급자  $s$ 에 대한 선정여부( $z_s \in \{0, 1\}$ )
  - $z_d$  : 물류센터  $d$ 에 대한 통합물류센터 활용여부( $z_d \in \{0, 1\}$ )
  - $z_w$  : 보관창고  $w$ 에 대한 통합보관창고 활용여부( $z_w \in \{0, 1\}$ )
  - $y_{sdmp}$  : 공급자  $s$ 가 수송 모드  $m$ 을 사용하여 물류센터  $d$

- 에 제품  $p$ 를 공급하는 지에 대한 여부( $y_{sdmp} \in \{0, 1\}$ )
- $y_{dwmp}$ : 물류센터  $d$ 에서 수송모드  $m$ 을 사용하여 보관창고  $w$ 로 제품  $p$ 를 공급하는 지에 대한 여부( $y_{sdmp} \in \{0, 1\}$ )
  - $y_{wjmp}$ : 보관창고  $w$ 에서 수송모드  $m$ 을 사용하여 부대  $j$ 로 제품  $p$ 를 공급하는 지에 대한 여부( $y_{wjmp} \in \{0, 1\}$ )
  - $x_{sdmpt}$ : 단위시간  $t$  동안 공급자  $s$ 에서 물류센터  $d$ 까지 수송 모드  $m$ 으로 수송하는 제품  $p$ 의 수송량
  - $x_{dwmp}$ : 단위시간  $t$  동안 물류센터  $d$ 에서 보관창고  $w$ 까지 수송모드  $m$ 으로 수송하는 제품  $p$ 의 수송량
  - $x_{wjmp}$ : 단위시간  $t$  동안 보관창고  $w$ 에서 부대  $j$ 까지 수송모드  $m$ 으로 수송하는 제품  $p$ 의 수송량
  - $\beta_{dpt}^+$ : 단위시간  $t$ 에 대하여 물류센터  $d$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대하여 안전재고수준을 초과하는 보관량 ( $p \in ASL$ )
  - $\beta_{dpt}^-$ : 단위시간  $t$ 에 대하여 물류센터  $d$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대하여 안전재고 수준에 미달하는 보관량 ( $p \in ASL$ )
  - $\beta_{wpt}^+$ : 단위시간  $t$ 에 대하여 보관창고  $w$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대하여 안전재고 수준을 초과하는 보관량 ( $p \in ASL$ )
  - $\beta_{wpt}^-$ : 단위시간  $t$ 에 대하여 보관창고  $w$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대하여 안전재고 수준에 미달하는 보관량 ( $p \in ASL$ )
  - $\beta_{jpt}^+$ : 단위시간  $t$ 에 대하여 부대  $j$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대하여 안전재고 수준을 초과하는 보관량( $p \in ASL$ )
  - $\beta_{jpt}^-$ : 단위시간  $t$ 에 대하여 부대  $j$ 에서 보관하고 있는 제품  $p$ 에 대하여 안전재고 수준에 미달하는 보관량( $p \in ASL$ )
  - $\gamma_{jpt}^-$ : 단위시간  $t$ 에 대하여 부대  $j$ 에서 필요한 제품  $p$ 의 수요 대비 부족량
  - $I_{dpt}$ : 물류센터  $d$ 의 단위시간  $t$ 에 대한 제품  $p$ 의 재고량 (기초재고)
  - $I_{wpt}$ : 보관창고  $w$ 의 단위시간  $t$ 에 대한 제품  $p$ 의 재고량 (기초재고)
  - $I_{jpt}$ : 부대  $j$ 의 단위시간  $t$ 에 대한 제품  $p$ 의 재고량(기초재고)

본 모델의 목적함수는 전체 군수 네트워크에서 발생하는 비용을 최소화시키는 데에 있으며, 목적함수는 ① 군수 네트워크의 각 노드(물류센터, 보관창고, 부대)에서 발생하는 재고비용 ② 통합물류센터 및 통합보관창고의 건설/확장비용(고정비) 및 운영비용(변동비) ③ 군수품의 군수 네트워크 내 수송비용 ④ ASL에 해당하는 군수품에 대한 안전재고 수준 미달량에 대한 페널티 비용으로 구성된다. 목적함수는 식 (1)과 같으

며, 목적함수에서 재고비용은 전체 T 기간에 대하여 각 기간의 기초 재고에 대한 재고유지 비용의 합계로 계산할 수 있다. 그리고 물류시설의 건설/확장과 관련하여  $y_d$ ,  $y_w$ 는 물류센터  $d$ 나 보관창고  $w$ 를 통합물류센터 또는 통합보관창고로 건설 또는 확장하는데 필요한 고정비용의 회수기간을 의미한다. 즉, 기존 물류센터를 확장하는 데 필요한 비용이 \$1,000,000이고  $y_d$ 가 10년이라면 통합물류센터 확장에 필요한 고정비용은 연간 \$100,000으로 가정한다. 본 논문에서는 물류센터와 보관창고 모두에 대하여 고정비용의 회수기간을 10년으로 가정하였다.

$$\min. TC = C_I + C_D + C_W + C_{Tr} + C_P \quad (1)$$

s. t.

$$C_I = \sum_{d,p,t} h_{dp} I_{dpt} + \sum_{w,p,t} h_{wp} I_{wpt} + \sum_{j,p,t} h_{jp} I_{jpt}$$

$$C_D = \sum_{d \in D_{new}} \frac{f_d}{y_d} z_d + \sum_{d \in D_{old}} \frac{e_d}{y_d} z_d + \sum_t v_d z_d$$

$$C_W = \sum_{w \in W_{new}} \frac{f_w}{y_w} z_w + \sum_{w \in W_{old}} \frac{e_w}{y_w} z_w + \sum_t v_w z_w$$

$$C_{Tr} = \sum_{s,d,m,p \in P_s,t} c_{sdmp} x_{sdmpt} + \sum_{d,w,m,p,t} c_{dwmp} x_{dwmp} + \sum_{w,j,m,p,t} c_{wjmp} x_{wjmp}$$

$$C_P = \sum_{d,p \in ASL,t} \beta_{dpt}^+ \beta_{dpt}^- + \sum_{w,p \in ASL,t} \beta_{wpt}^+ \beta_{wpt}^- + \sum_{j,p \in ASL,t} (\beta_{jpt}^+ \beta_{jpt}^- + \gamma_{jpt}^- \gamma_{jpt}^-)$$

본 모델의 제약조건은 ① 재고 입고 및 출고에 대한 제약조건 ② 최대 보관 가능 재고량 및 수송량에 대한 제약조건 ③ 안전재고에 대한 제약조건 ④ 네트워크 구성 및 구매예산에 대한 제약조건 ⑤ 의사결정변수의 비음 및 정수조건이 있다. 재고에 대한 제약조건은 목적함수에서  $C_I$ 와 관계가 있으며, 수송에 대한 제약조건은 목적함수에서  $C_{Tr}$ 과 관계가 있다. 그리고 안전재고 수준에 대한 제약조건은 목적함수에서  $C_P$ 에 해당한다. 먼저 재고 입고 및 출고에 대한 제약조건은 다음의 식 (2)에서 식 (5)까지와 같다. 본 논문에서 공급자와 물류센터, 물류센터와 보관창고, 보관창고와 편성부대 간에 수송은 단위시간  $t$  이내에 이루어진다고 가정하였으며, 공급자에 대한 제품 주문에 대한 리드타임도 별도로 고려하지 않고 0으로 가정하였다.

식 (4)에서  $\gamma_{jpt}^-$ 는 단위시간  $t$ 에 대하여 부대  $j$ 에서 필요한 제품  $p$ 의 수요 대비 부족량을 의미하며, 앞서 가정에서 언급한 바와 같이 편성부대의 창고는 일시적인 재고부족을 허용하기 때문에 이러한 재고부족(stock-out)이 발생할 수 있다. 재고부족량은 식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$I_{dpt} + \sum_{s,m} x_{sdmpt} = I_{dp,t+1} + \sum_{w,m} x_{dwmp}, \forall d,p \in P_s, t \quad (2)$$

$$I_{wpt} + \sum_{d,m} x_{dwmp} = I_{wp,t+1} + \sum_{j,m} x_{wjmp}, \forall w, p, t \quad (3)$$

$$I_{jpt} + \sum_{w,m} x_{wjmp} = I_{jp,t+1} - \gamma_{jpt}^+ + D_{jpt}, \forall j, p, t \quad (4)$$

$$\beta_{wpt}^- \leq SS_{wp}, \forall w, p, t \quad (14)$$

$$I_{jpt} - SS_{jp} + \beta_{jpt}^- - \beta_{jpt}^+ = 0, \forall j, p, t \quad (15)$$

$$\beta_{jpt}^- \leq SS_{jp}, \forall j, p, t \quad (16)$$

최대 보관 가능 재고량 및 수송량에 대한 제약조건은 식 (5)에서 식 (10)까지와 같다. 식 (5)에서 보는 것과 같이 선택된 공급자가 공급할 수 있는 용량은 한정되어 있다. 이때, 공급자  $s$ 의 공급 가능한 최대용량이나 물류센터  $d$ 의 보관 가능한 최대용량은 제품의 수량이 아닌 부피 단위로 가정하였다. 그리고 식 (6)과 같이 기존에 운영 중인 물류센터를 통합물류센터로 확장하는 경우나 신규로 통합물류센터를 건설하는 경우에는 통합물류센터의 목표 저장용량으로 설계되어 있는 용량, 즉  $C_d^M$ 만큼 재고를 보관할 수 있게 된다. 그리고 식 (7)과 같이 단위시간  $t$ 에 물류센터에서 보관창고로 수송할 수 있는 양은 물류센터에 보관되어 있는 양을 초과할 수 없다. 보관창고에 대해서도 물류센터와 마찬가지로 식 (8)과 식 (9)와 같이 최대 저장가능한 양과 수송가능한 양이 제한되어 있다.

본 모델에서는 제품별로 크기가 다르다고 가정하였으며, 이에 따라 물류센터나 보관창고에서 제품을 보관할 때 제품을 수송할 때 제품별 크기( $s_p$ )를 고려하였다. 즉, 제품의 부피가 크면 창고에서 차지하는 크기도 증가하고 수송용 트럭이나 수송 열차에서 해당 제품이 차지하는 크기가 증가한다고 가정하였다. 식 (10)은 군의 최대 수송량을 고려한 제약조건이며, 단위시간  $t$ 에 군에서 가용한 수송수단  $m$ 을 사용하여 동시에 수송할 수 있는 제품은 한정되어 있다고 가정한다.

$$\sum_{d,m,p \in P_s} s_p x_{sdmpt} \leq z_s C_s, \forall s, p, t \quad (5)$$

$$\sum_p s_p I_{dpt} \leq z_d C_d^M, \forall d, t \quad (6)$$

$$\sum_{w,m} x_{dwmp} \leq I_{dpt}, \forall d, p, t \quad (7)$$

$$\sum_p s_p I_{wpt} \leq z_w C_w^M, \forall w, t \quad (8)$$

$$\sum_{j,m} x_{wjmp} \leq I_{wpt}, \forall w, p, t \quad (9)$$

$$\sum_{s,d,p \in P_s} s_p x_{sdmpt} + \sum_{d,w,p} s_p x_{dwmp} + \sum_{w,j,p} s_p x_{wjmp} \leq C_m, \forall m, t \quad (10)$$

안전재고에 대한 제약조건은 식 (11)에서 식 (16)까지와 같다. 식 (12)에서 보는 것과 같이 물류센터에서 안전재고에 미달하는 양은 정의에 따라 안전재고보다 작거나 같다. 마찬가지로 보관창고나 편성부대도 식 (14)와 식 (16)과 같은 제약조건이 적용된다.

$$I_{dpt} - SS_{dp} + \beta_{dpt}^- - \beta_{dpt}^+ = 0, \forall d, p, t \quad (11)$$

$$\beta_{dpt}^- \leq SS_{dp}, \forall d, p, t \quad (12)$$

$$I_{wpt} - SS_{wp} + \beta_{wpt}^- - \beta_{wpt}^+ = 0, \forall w, p, t \quad (13)$$

네트워크 구성에 대한 제약조건은 식 (17)에서 식 (26)까지와 같다. 식 (24)과 식 (25)에서 보는 것과 같이, 통합물류센터는 예산 범위 내에서 최대  $D$ 개까지 건설/확장할 수 있으며 통합보관창고는 예산 범위 내에서 최대  $W$ 개까지 건설/확장할 수 있다. 예를 들어, 통합물류센터를 각 군에서 1개씩 운영하는 개념이라면  $D$ 는 3이 되며, 통합물류센터 1개당 통합보관창고를 2개씩 운영한다면  $W$ 는 6이 된다. 그리고 구매예산에 대한 제약조건은 식 (26)과 같다. 즉, 모든 공급자에게 구매할 제품의 총 가격은 정해진 예산(1년 군수품 예산)을 초과할 수 없다.

$$y_{sdmp} \leq \min(z_s, z_d), \forall s, d, m, p \in P_s \quad (17)$$

$$s_p x_{sdmpt} \leq C_m y_{sdmp}, \forall s, d, m, p \in P_s, t \quad (18)$$

$$y_{dwmp} \leq \min(z_d, z_w), \forall d, w, m, p \quad (19)$$

$$s_p x_{dwmp} \leq C_m y_{dwmp}, \forall d, w, m, p, t \quad (20)$$

$$y_{wjmp} \leq z_w, \forall w, j, m, p \quad (21)$$

$$s_p x_{wjmp} \leq C_m y_{wjmp}, \forall w, j, m, p, t \quad (22)$$

$$\sum_s z_s \leq S \quad (23)$$

$$\sum_d z_d \leq D \quad (24)$$

$$\sum_w z_w \leq W \quad (25)$$

$$\sum_{s,d,m,p \in P_s,t} c_p x_{sdmpt} \leq B \quad (26)$$

의사결정변수에 대한 비음조건 및 정수조건은 식 (27)에서 식 (30)까지와 같다.

$$x_{sdmpt}, x_{dwmp}, x_{wjmp} \geq 0 \quad (27)$$

$$y_{sdmp}, y_{dwmp}, y_{wjmp}, I_{dpt}, I_{wpt}, I_{jpt} \geq 0 \quad (28)$$

$$\beta_{dpt}^+, \beta_{dpt}^-, \beta_{wpt}^+, \beta_{wpt}^-, \beta_{jpt}^+, \beta_{jpt}^-, \gamma_{jpt} \geq 0 \quad (29)$$

$$z_s, z_d, z_w, z_{sd}, z_{dw}, z_{wj} \in \{0, 1\} \quad (30)$$

## 4. 사례연구

### 4.1 사례 개요

본 논문에서 제안한 수리적 모델의 검증은 위해 현재 군 물류환경의 특징을 반영한 사례연구를 실시하였다. 모델의 검증을 위해 군의 현 물류환경 및 특성을 반영한 가상의 데이터를 생성하였는데, 생성한 데이터는 통합물류센터와 중앙보급창고의 건설 및 확장비용, 연간운영비용, 제품가격 및 부피, 재고비용, 수송비용 등이다.

우선 통합물류센터 및 중앙보급창고의 신규건설 비용과 기존시설의 확장비용을 설정하였는데, 기존시설의 확장비용은 기존시설의 크기에 따라 신규건설비용의 50~65% 정도가 소요되도록 하였다. 완성후의 운영비는 신규건설시설이 기존시설의 확장시설보다 적도록 하였으며, 신규건설한 물류센터나 보급창고를 10년 정도 운영할 경우 건설비용의 차이를 따라잡을 수 있는 것으로 설계하였다(단, 이자 비용은 제외). <Figure 4>의 그래프는 신규건설과 기존시설 확장시 초기건설비용과 연간운영비용의 합을 비교한 예시이며, 운영기간이 10년이 넘어갈 경우 신규시설의 총 운영비용이 더 적어짐을 볼 수 있다. 중앙보급창고는 통합물류센터에 비해 건설비용, 운영비용 및 보관가능용량이 모두 작으며 대략 통합물류센터의 20~30% 수준으로 설정되었다.

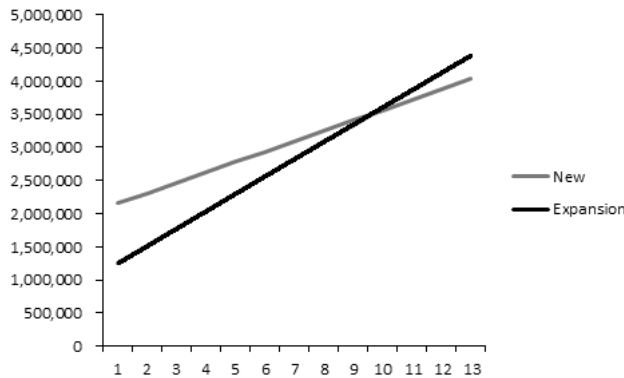


Figure 4. Example of annual operation cost of distribution center : New vs. Expansion

다음으로 제품관련 데이터를 생성하였다. 본 실험에서 다루는 제품군은 6개 종류로 설정하였는데 각 제품은 고가, 중가 및 저가품목으로 나뉘며, 부피 역시 큰 품목과 작은 품목이 있다. 군수품은 무엇보다 연간 수요빈도의 특성에 따라 분류가 달라지므로 이를 실험설계에 반영하였다. 일반적으로 인가저장품목(ASL)은 수요 빈도가 연간 일정수요 이상일 경우에 지정되므로 수요빈도가 적은 품목은 비인가저장 품목(NASL)으로 수요빈도가 큰 품목은 ASL로 설정하였다. 국내에서 조달하는 품목과 국외에서 조달하는 품목 역시 구분하였는데, 이는 조달원의 거리 및 조달기간에 영향을 미친다. 본 논문의 계약식에서는 품목별 조달기간의 차이를 반영하지 않았으나 향후 연구에서는 이를 반영한 조건식을 추가할 수 있을 것이다. 각 제품의 수요는 주 단위로 발생하는 것으로 52주간의 수요를 랜덤 생성하였다. 본 실험에서 설정한 제품군의 분류는 <Table 2>와 같다.

각 제품은 각 통합물류센터와 중앙보급창고에서의 안전재고수준이 설정되어 있고 이를 유지하는데 필요한 재고유지비용이 있다. NASL 제품은 각 창고의 안전재고 수준이 0이며 그에 따라 재고유지비용도 발생하지 않는다. 각 물류센터 및 보급창고에서의 단위 재고유지 비용은 신축 시설이 기존시설 확

장시설보다 10~20% 더 낮도록 설정하였으며, 통합물류센터 보다는 중앙보급창고가, 중앙보급창고 보다는 각 부대에서의 재고유지 비용이 좀 더 높다. 이는 규모가 큰 통합물류센터가 제품을 보관하는데 있어 드는 단위 재고유지비용이 작을 것이며, 또한 신축시설이 재고관리능력에 있어 높은 효율성을 가질 것임을 반영한 것이다.

Table 2. Classification of product

Product	Source	Annual Demand Frequency	Price	Volume	ASL
P1	Domestic	2	Medium	High	NASL
P2	Domestic	12	Medium	Low	ASL
P3	Domestic	26	Low	High	ASL
P4	Foreign	2	High	Low	NASL
P5	Foreign	6	High	High	ASL
P6	Foreign	12	Medium	Medium	ASL

마지막으로 수송비용과 관련한 데이터를 생성하였다. 제품별로 통합물류센터-중앙보급창고-부대간의 수송비용을 산정하기 위해 우선 현재 우리 군의 물류기지 및 부대위치를 바탕으로 격자지도를 작성하였다. 현재 운영중인 대표 보급창 위치 근방을 기존 통합물류센터로 설정하고 단위부대의 위치와 입지를 고려하여 신규시설의 후보지를 설정하여 센터, 창고 및 부대별로 좌표값을 부여함으로써 거리를 계산할 수 있도록 하였다. 통합물류센터-중앙보급창고, 중앙보급창고-부대간의 수송비용은 기본적으로 거리에 비례하되 각 제품별로 가중치를 두어 그 값을 달리하였다. 이는 제품별로 부피의 차이나 수송의 난이도가 달라 거리당 수송비용이 다를 수 있음을 반영한 것이다. 통합물류센터와 중앙보급창고, 단위부대의 위치를 표시한 격자지도는 <Figure 5>와 같다.

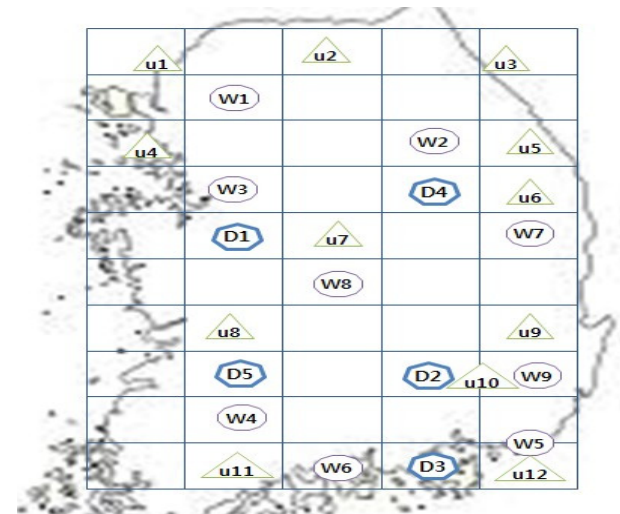


Figure 5. Candidates of integrated distribution center and warehouse



이밖에 본 실험을 수행하기 위해 다음과 같은 사항을 가정하였다.

- 사용자의 주문 후 공급자가 물건 공급을 개시할 때까지의 주문대기 시간은 고려하지 않는다.
- 공급자에서 물류센터(DC)로, 물류센터에서 보관창고(WH)로, 보관창고에서 부대(j unit)으로는 모두 단위시간 내에 수송이 이루어진다(이상은 조달기간 및 배송시간 조건을 제외한 것으로 이는 향후 연구주제로 남겨두도록 한다).
- 특정 제품은 특정 물류센터에서만 취급하는 경우도 존재할 수 있다.
- 한 종류의 제품은 하나의 공급자에게 공급받는다.

### 4.2 분석결과 및 시사점

본 논문에서는 군수품을 공급할 수 있는 공급자는 총 6개, 통합물류센터를 운영할 수 있는 후보지는 총 5개, 통합보관창고를 운영할 수 있는 후보지는 총 9개, 부대는 총 12개로 가정하였다. 이와 같은 군수 네트워크 환경에서 <Table 3>과 같이 총 6개의 대안에 대하여 IBM의 ILOG CPLEX Optimization Studio 12.4를 활용하여 제 3.2절에서 제시한 수리적 모델의 최적해를 도출한다. 실험에 사용된 데이터는 우리 군의 군수 네트워크 환경을 고려하되, 데이터의 민감성을 고려하여 데이터 스케일을 조정하여 사용하였다.

Table 3. Experimental design

Type	Number of Integrated Distribution Centers	Number of Integrated Warehouses
Alternative 1	2	3
Alternative 2	2	4
Alternative 3	2	5
Alternative 4	3	3
Alternative 5	3	4
Alternative 6	4	4

Table 4. Summary of experimental results

Type	Annual Cost(unit : \$)				
	Total Cost	Inventory Cost	Facility Cost	Transportation Cost	Penalty Cost
Alternative 0(D = 3, W = 6)	3,352,704	65,219	18,000	10,893	3,258,600
Alternative 1(D = 2, W = 3)	3,439,323	46,582	321,600	13,734	3,057,400
Alternative 2(D = 2, W = 4)	3,047,065	50,394	475,600	13,666	2,507,400
Alternative 3(D = 2, W = 5)	3,296,274	46,723	352,400	14,280	2,883,300
Alternative 4(D = 3, W = 3)	3,157,541	49,476	385,200	13,549	2,709,300
Alternative 5(D = 3, W = 4)	2,904,398	50,532	506,400	13,956	2,333,500
Alternative 6(D = 4, W = 4)	2,560,985	54,692	709,400	13,545	1,783,300

물류센터와 물류창고의 통합에 대하여 본 논문에서 제시한 6개 대안에 대한 실험결과와 현재 군수 네트워크 환경에서의 운영결과(대안 0)를 요약하면 <Table 4>와 같다. <Table 4>에서 보는 바와 같이 연간 군수관리 비용은 재고관리비, 시설운영비, 수송비용, 페널티 비용 등으로 구성된다. 본 논문에서는 군수품의 특성을 고려하여 전시에 대비하여 관리해야 하는 군수품에 대하여 안전재고수준에 미달하는 부족량에 대한 페널티 계수를 높게 설정하였기 때문에 페널티비용의 값이 총 비용에서 차지하는 비중이 높은 결과를 보였다. 본 연구에서는 안전재고에 미달하는 재고 부족에 대한 페널티 비용계수는 물류센터가 물류창고보다 높다고 가정하였다. 예를 들어, 물류센터의 페널티 비용계수를 해당 제품 가격의 50%로 설정하였으며, 물류창고와 부대창고로 이동할수록 페널티 비용계수는 낮아진다고 가정하였다. 그리고 인가저장품목에 해당하는 군수품은 전시와 비상시 재고부족이 전투력에 치명적인 영향을 줄 수 있기 때문에, 부대의 재고부족은 부대에서 재고부족에 대한 페널티 비용계수는 물류센터나 보관창고 수준으로 높다고 가정하였다. 또한 시설 운영비의 경우, 초기 시설투자비가 회수되는 기간을 10년으로 설정하여 연간 시설운영비에서는 초기 시설투자비인 고정비를 10으로 나눈 값을 사용했기 때문에 실제 투자 시점에서는 초기 시설투자비 전체가 예산으로 확보되어야 한다. 즉, 국방예산으로 확보할 수 있는 시설투자비에 대한 제약조건이 추가되어야 하며, 본 논문에서는 연간 군수품 구매예산에 대한 제약조건 (28)과 함께 초기 시설투자비 ( $B_f$ )에 대한 예산에 대한 제약조건을 다음과 같이 추가로 고려한다. 본 논문에서는 초기 시설투자비에 대한 예산을 현재의 연간 군수 관리비용과 비슷한 수준인 \$3,500,000으로 가정하였다.

$$\sum_{d \in D_{new}} f_d z_d + \sum_{d \in D_{old}} e_d z_d + \sum_{w \in W_{new}} f_w z_w + \sum_{w \in W_{old}} e_w z_w \leq B_f \quad (31)$$

실험결과는 <Figure 6>에서 <Figure 9>와 같이 몇 가지 관점으로 분석할 수 있다. 먼저 통합할 수 있는 물류센터의 수가 2개일 때, 통합보관창고의 수를 3개에서 증가시키는 경우에 총

비용은 <Figure 6>과 같이 감소한다. 통합보관창고의 수가 증가하면 재고관리비와 시설운영비는 증가하는 반면, 페널티 비용이 감소한다. 이는 통합보관창고가 2개일 때의 모든 창고의 총 저장용량보다 3개일 때의 모든 창고의 총 저장용량이 크기 때문이다. 즉, 부대를 지원하는 창고의 저장용량이 확보될수록 창고에 보관하고 있는 군수품의 재고수준을 안전재고 수준 이상으로 유지할 수 있는 확률이 증가한다.

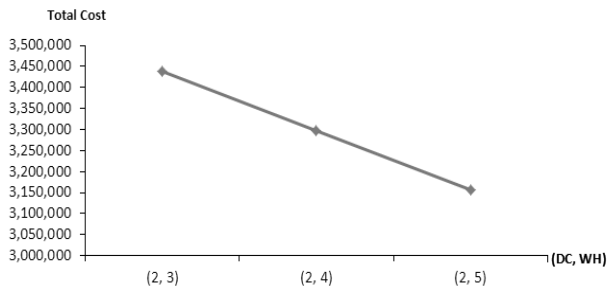


Figure 6. Experimental results : # of DC(fixed), # of WH(variable)

<Figure 6>의 경우와는 반대로 통합할 수 있는 보관창고의 수가 4개일 때, 통합물류센터의 수가 2개에서 4개로 증가하는 경우에도 <Figure 6>과 마찬가지로 <Figure 7>과 같이 총 비용은 통합물류센터의 수가 증가할수록 감소한다. 즉, 보관창고를 지원하는 물류센터의 총 저장용량이 크게 확보될수록 페널티 비용을 부담할 확률이 떨어지기 때문이다. 이는 재고를 추가로 유지하는 비용보다 재고가 안전재고수준 이하로 떨어질 때 발생하는 페널티 비용이 크기 때문에, 군에서는 전시에 대비하여 관리할 필요가 있는 군수품의 재고를 일정 수준 이상으로 보유할 필요가 있다. 이는 민수에서 재고를 최소화하는 재고관리정책과 반대되는 정책으로, 비용 최소화보다는 전시 군수지원능력을 일정 수준 이상으로 유지하는 것에 군수 관리정책의 목표가 있기 때문이다.

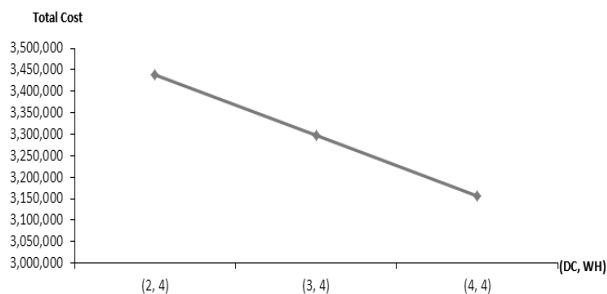


Figure 7. Experimental results : # of DC(variable), # of WH(fixed)

<Figure 8>은 물류거점에 대한 통합이 진행될수록 총 재고관리비는 감소한다는 것을 나타내고 있다. 이는 통합물류센터나 통합보관창고가 증가할수록 보관하고 있는 군수품의 총량이 증가하기 때문이다.

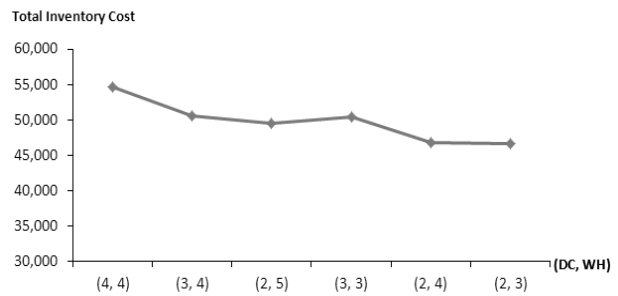


Figure 8. Experimental results : total inventory cost of each alternative

<Figure 8>의 재고관리비용과 다르게 시설운영비용은 <Figure 9>와 같이 통합거점의 수가 증가할수록 총 시설운영비용이 증가한다. 이는 기존 시설을 확장하거나 통합하는 경우 발생하는 초기 투자비용에 기인한다. 따라서 군의 의사결정자는 투자시점에 가용한 시설예산을 고려하여 군의 물류거점에 대한 통합을 추진할 필요가 있다. 본 논문에서는 초기 투자비용을 투자회수기간을 고려하여 연간 투자비로 환산하여 적용하였으나, <Figure 9>에서 통합물류센터가 2개이고 통합보관창고가 5개인 대안부터는 투자시점의 총 건설비용이 앞서 설정한 시설투자예산을 초과하기 때문에 고려할 수 있는 대안에서 제외해야 한다. 본 논문에서는 BTO(Build Transfer Operate)나 BTL(Build Transfer Lease) 방식과 같이 민간기업의 자본을 활용하여 초기 투자예산의 부담을 경감시키는 경우는 고려하지 않았다. 따라서 초기투자예산이 현재의 연간 군수 관리비용을 초과하는 대안, 즉 (통합물류센터, 통합보관창고)의 대안조합이 (2, 5), (3, 3), (3, 4), (4, 4)인 경우는 현실적으로 가능한 대안에서 제외하였다. 따라서 본 논문에서는 (통합물류센터, 통합보관창고)의 대안조합이 (2, 3) 또는 (2, 4)인 경우만 군 물류 네트워크의 통합을 위한 최종 대안으로 도출하였다.

그러나 2개의 최종 대안 중에서(통합물류센터, 통합보관창고)의 대안조합이(2, 3)인 경우는 앞서 <Table 4>에서와 같이 현재의 군수 네트워크 환경에서의 군수 관리비용보다 오히려 높은 군수 관리비용을 지출해야 한다. 따라서 본 논문에서는 군수 네트워크 통합을 위한 대안으로 통합물류센터가 2개이고 통합보관창고가 4개인 대안 2를 최종 대안으로 선정하였다. <Figure 10>은 최종 대안의 군수 네트워크의 구성을 나타낸다.

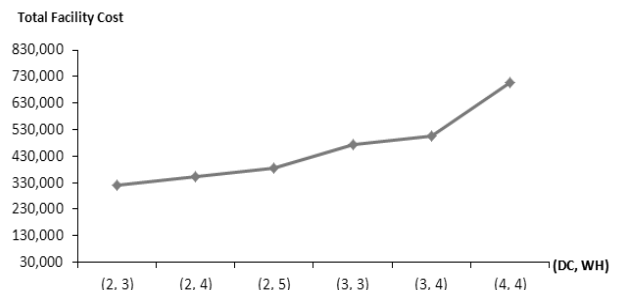


Figure 10. Experimental result : total facility operation cost

<Figure 10>에서 공급자 1은 제품 P1을 통합물류센터 1과 3에 공급하며, 공급자 2는 제품 P2를 마찬가지로 통합물류센터 1과 3에 공급한다. 이는 본 사례연구에서 공급자 1(공급자 2)은 제품 P1(P2)만 공급하는 방산기업으로 가정했기 때문이다. 유사하게 공급자 3은 제품 P3을 공급하며, 공급자 4는 제품 P4를 공급한다.

그리고 통합보관창고에서는 지리적으로 근접한 부대에 대하여 우선적으로 군수품을 보급한다. 예를 들어, 부대 2는 통합보관창고 3과 6으로부터 군수품을 공급받으며 부대 3은 통합보관창고 3과 5로부터 군수품을 공급받게 된다.

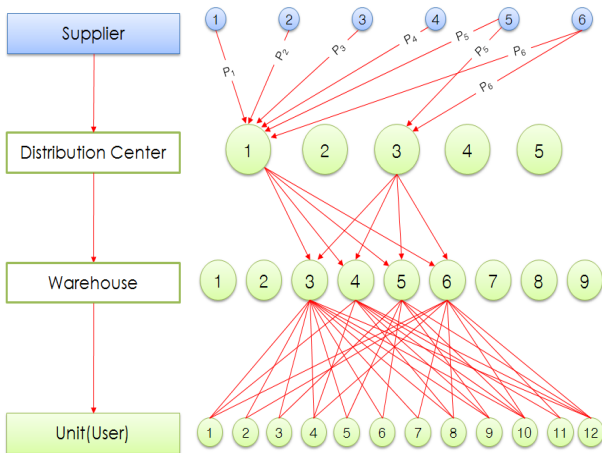


Figure 10. Result of military logistics consolidation : alternative #2

### 5. 결론

본 연구는 군수품의 특성을 고려하여 군에서 고려할 수 있는 통합물류센터의 대안을 공급사슬 네트워크 관점에서 검증하기 위한 수리적 최적화 모형을 제안하였으며, 이를 사례에 적용하여 제시된 군수 네트워크 환경에서의 최적의 군수 네트워크 구조를 제안하였다.

현재 군은 분산된 물류환경을 통합된 물류환경으로 변화시키는 정책을 추진하고 있으며, 군수품의 특성을 고려하여 군 통합물류센터와 같은 물류거점의 최적 위치와 개수를 결정할 필요가 있다. 본 연구에서는 MIP 모델을 사용하여 군수 네트워크 통합 문제를 모델링하였으며, 이를 실제 사례를 기준으로 가상으로 생성한 실험 데이터를 적용하여 최적 위치와 개수를 제시하였다. 실험결과에 따르면, 군수 네트워크 통합을 위해서 통합물류센터를 2개 건설하고, 통합보관창고를 4개 건설하여 운영하는 대안이 최적 대안으로 도출되었다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다.

- 일반적으로 신규거점의 경우 건설에 따른 신규 투자비가 기존거점의 확장 투자비보다 높은 반면에, 통합 후의 연간 운영비는 기존거점보다 신규거점이 낮다. 그러나 본 연구

에서는 통합물류센터나 통합보관창고와 같은 물류거점을 신규로 건설하는 경우와 기존의 거점을 확장하는 경우의 연간 운영비용의 차이를 크게 두지 않았다. 이는 투자회수에 따른 기간을 고려하여 초기 투자비를 연간비용으로 환산하여 목적함수에 반영했기 때문이다.

- 본 연구에서는 군수 네트워크 노드 간에 수송시간은 고려하지 않았으며, 수송량은 단위 시간 내에 모두 이동된다고 가정하였다. 즉, 수송수단의 용량을 초과하는 경우에 발생할 수 있는 수송량의 분배문제나 다수의 수송수단을 운영하는 문제를 고려하지 않았다.
- 수송의 경우 군내에 존재하는 수송부대를 이용한 도로수송만 고려하였으며, 민간 수송수단의 아웃소싱은 고려하지 않았다.
- 국외 공급자의 경우, 주문 후의 리드타임이 국내 공급자에 비해 상당히 길고 제품이 국내에 도착하는 시간에 대한 데이터가 확정적이라고 볼 수 없다. 즉, 국외에서 도입해야 하는 군수품의 경우 국외 수송시간은 확률적인 분포를 갖는 확률변수로 가정할 필요가 있지만 본 연구에서는 이를 확정적인 변수로 가정하였다.

향후 연구로는 군수품을 필요로 하는 부대에서 군수품을 주문한 후에 군수품을 수령할 때까지의 고객대기시간(CWT : Customer Waiting Time)을 고려한 통합 물류거점 결정에 대한 연구와 환경 친화적인 군수 네트워크 운영에 대한 연구가 있다. 온실가스 배출량을 줄이는 활동은 전쟁에 대비하는 군도에 예외는 아니며, 군도 친환경 탄약고의 건설과 같이 군의 기본적인 요구사항인 방호력을 유지하는 동시에 이산화탄소 배출량을 절감하는 방향으로 군 시설을 건설하고 있다. 군의 녹색 성장을 위해서는 군의 무기체계에서 배출하는 온실가스뿐만 아니라 군수품을 보급 및 관리하는 군수 네트워크의 친환경화에도 노력을 기울일 필요가 있다. 본 연구에서 제시한 군의 물류거점 통합문제는 총 군수 관리비용을 최소화시키는 데에 목적을 두고 있으나, 친환경 시설 건설이나 친환경 수송수단의 사용과 같은 대안을 함께 고려한다면 온실가스 배출량 감축을 또 하나의 목적함수로 하는 군의 녹색 물류 최적화 모델을 개발할 수 있을 것이다.

### 참고 문헌

Bell, J. E. et al. (2011), Location optimization of strategic alert sites for homeland defense, *Omega*, **39**, 151-158.  
 Brauner, M. et al. (1993), Is consolidation being overemphasized for military logistics?, *RAND issue paper*.  
 Cheong, M. et al. (2007), Logistics network design with supplier consolidation hubs and multiple shipment options, *Journal of Industrial and Management Optimization*, **3**(1), 51-69.  
 Creazza, A. et al. (2010), Evaluating logistics network configurations for a global supply chain, *Supply Chain Management : An Interna-*

- tional Journal*, **15**(2), 154-164.
- GAO (2011), DoD Needs to Take Additional Actions to Address Challenges in Supply Chain Management, *Report to Congressional Committees*.
- Gebennini, E. *et al.* (2009), An integrated production-distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization, *Int. J. Production Economics*, **122**, 286-304.
- Javid, A. A. *et al.* (2010), Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design, *Transportation Research Part E*, **46**, 582-597.
- Jin, L. *et al.* (2010), Integrated optimization model for three-layer distribution network design and its solution algorithm, *ICIS*, 610-615.
- Jung (2011), The Improving Way of Logistics Management in Korean Army, *Air Force Institute of Technology*.
- KRIS (2010), Concept and Policy Directions of Integrated Logistics System Construction.
- Manizini, R. *et al.* (2009), Strategic design and operational management optimization of a multi stage physical distribution system, *Transportation Research Part E*, **45**, 915-936.
- Manzini, R. *et al.* (2008), Optimization models for the dynamic facility location and allocation problem, *International Journal of Production Research*, **46**(8), 2061-2086.
- Nowicki, D. *et al.* (2010), A Framework for Performance Based Logistics : A System of Systems Approach, *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops*.
- Pan, S. (2010), The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by pooling supply chains, *Int. J. Production Economics*.
- Peltz, E. *et al.* (2012), Integrating the department of defense supply chain, *RAND Technical Report*.
- Song, H. *et al.* (2008), Distribution coordination between suppliers and customers with a consolidation center, *Operations Research*, **56**(5), 1264-1277.
- Tang, Q. *et al.* (2009), Distribution center location optimization by genetic algorithm, *Fifth International Conference on Natural Computation*, 196-199.
- Tsao, Y. *et al.* (2012), A supply chain network design considering transportation cost discounts, *Transportation Research Part E*, **48**, 401-414.
- Wenzel, F. (2008), Should the Department of Defense establish a Unified U. S. Logistics Command?, *US Army Command and General Staff College*.