

## 전시 전략물자 항공수송 능력분석 (Analysis on the Wartime Airlift Capability of Strategic Materials)

이 명 우(Lee Myung Wo)\*, 이 상 진(Lee Sang Jin)\*\*

### 초 록

한국군은 전시 상당량의 전략물자를 미국으로부터 항공수송을 통해 도입하고자 한다. 이 연구는 항공수송 모델을 형성하고 전시 동원될 민간 항공기를 포함한 동원자원의 항공수송 능력을 평가하는 것이다. 전략 항공수송계획은 국군수송사령부에 의해 매년 조정 수립되고 있으나 항공수송 과정의 불확실성으로 인해 시뮬레이션을 통해 실현가능성을 평가할 필요가 있다. 불확실한 요인은 미국 공항에서의 전략물자 도착에 대한 불확실성, 적하역 시간, 동원령 발령시 항공기 최초 위치 지점 등이다. 시뮬레이션은 두 개의 시나리오 하에서 실행되었으며 결과에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 시뮬레이션 결과, 항공수송 능력에 가장 큰 영향을 미치는 요인들은 미국 공항에서의 물자 도착 불규칙성과 항공기 동원 대수이었다.

### Abstract

It is required to transport a considerable amount of wartime strategic materials from US to Korea via airlift operation. This study attempts to formulate the wartime airlift operation model and evaluate the airlift capability of mobilized resources, including civil aircrafts. Although an airlift plan has been annually updated by the Korea Transportation Command, it is necessary to evaluate the feasibility through simulation due to uncertainties in the process of airlift operation. Uncertain parameters are as follows; the inter-arrival time of materials in the US airfields, loading and unloading times, the distribution of aircraft's initial location at the time of mobilization order. The simulation is executed under two scenarios and the results are analyzed through a sensitivity analysis. Simulation result shows that the irregularity of inter-arrival time and the number of mobilized civil aircrafts are the most critical factors in influencing airlift capability.

**(KeyWords: strategic airlift, airfield capability, simulation)**

\* 해군 작전사

\*\* 국방대학교 관리대학원

## 1. 서론

전쟁이 발생하면 국내 비축 및 국내공급물자만 가지고는 전쟁수행에 필요한 전략물자가 부족하다. 따라서 해외에서 계획된 물량을 원하는 시일 내에 신속하게 도입해야할 필요가 있다. 최근 걸프전과 이라크전에서 연합군이 승리할 수 있었던 중요한 원인중의 하나가 이동대상 전략 물자를 전구내에 단기간에 신속하게 수송한 것이라 할 수 있다[1]. 해상수송은 막대한 전쟁물자를 수송하기에 효과적인 수단이며 걸프전 당시에도 약 90%의 전쟁물자 수송을 담당하였다. 반면 항공수송은 수송할 수 있는 물자의 부피와 무게에 한계가 있지만 신속하게 수송이 가능하기 때문에 주로 인원 및 긴급 물자를 수송하고 있다[2].

현재 한국 국군수송사령부는 전시 대부분의 물자를 미국에서 도입할 계획이며, 이 중에서 긴급 핵심품목은 해상이 아니라 공중으로 수송할 예정이다. 전시 동원령이 선포되면 한국 국적 민간항공으로부터 화물기를 동원하여 미국 공항으로부터 한국까지 물자를 수송하게 된다. 국군수송사령부는 동원 화물기 종류와 대수, 한국 공항에서의 하역 동원 장비 등을 확인하여 수송계획에 반영하고 있다.

그러나 수송과정 중에 많은 부분들이 불확실하기에 동원 자원의 규모 설정과 항공수송 능력평가에 어려움을 겪고 있다. 공항의 혼잡도(congestion), 각종 자원의 능력 등에 내재되어 있는 불확실한 요인들이 항공수송 작전에 영향

을 줄 수 있다. 적·하역시간, 화물기 비행시간, 동원령이 발령되는 순간 화물기의 위치 등이 항공수송 능력에 영향을 주기도 한다.

이 연구의 목적은 다음 세 가지이다.

첫째, 전시 항공수송능력을 제한할 수 있는 불확실한 요소들을 식별하고 이를 포함한 항공수송모델을 구축하는 것이다. 미군 연구[3]와 한국군 연구[4]는 전시 해상수송 작전과 수송능력을 평가하고 있다. 이 연구는 해상수송모델과 절차에서 상당히 유사하지만 항공수송 측면에서 차이가 나는 부분을 포함한다.

둘째, 항공수송 자원에 있어 동원 화물기 대수와 종류 뿐만 아니라 정비자원, 보급자원, 하역장비 자원 등의 항공수송 능력에 대한 영향력을 평가한다. 군의 전략 항공수송 작전에 있어 가장 큰 제약요인의 하나가 비행장 능력이다[5,6]. 기존의 비행장 능력 평가 모델은 제한된 작전시간 내에 얼마나 많은 물자나 인원을 하역할 수 있는 것인지를 평가하는 것으로 정적인 상태에서 능력을 평가하는 연구였다[7]. 그러나 이 연구는 항공수송 프로세스와 비행장 능력을 평가하는 부분을 결합함으로써 비행장 능력에 따라 항공수송 능력이 얼마나 영향을 받는지를 동태적으로 평가할 수 있도록 하였다.

셋째, 시뮬레이션을 통하여 전략물자의 한국 공항 도착시기, 계획대비 실제 수송물량, 동원 지정 화물기의 수, 한국 공항에서의 하역, 연료 보급, 정비 능력의 판단을 통해 효율적이고 효

과적인 전시 항공수송계획 수립에 도움이 되도록 하였다. 항공 수송절차, 수송물량과 기간, 동원 공항과 화물기 대수 등 상당부분이 비밀에 속하기 때문에 자료중의 일부는 변경하여 사용하였다. 따라서 이 모델에 의한 결과값을 실제 전시 항공수송계획에 반영하기 위해서는 일부 자료를 실제값으로 변화하여 실행해야 할 것이다.

이 연구는 전시를 가정함에도 불구하고 전시에 발생할 수 있는 민간 동원 화물기, 비행장 및 적하역 관련 자산의 피해를 포함하지 않고 있다. 전시 화물기, 활주로 및 하역장비에 대한 피해를, 피해 활주로 복구시간에 대한 자료들 중 일부는 기존의 위게임 결과로 부터도 산출되지 않고 있다[8]. 그래서 이 연구에서는 전시 피해에 의한 불확실성은 고려하지 않고 평시 항공수송 및 적하역 과정에서 발생하는 불확실성만을 고려하였다. 전시 피해를 고려하지 않음으로 시뮬레이션 결과는 전시에 발생할 수 있는 낙관적인 결과가 될 것이다. 그러나 비록 낙관적인 결과이지만 이를 기초로 하여 항공 수송 및 동원 절차 뿐 아니라, 수송계획과 관련한 여러 성과지표를 평가할 수 있을 것이다.

## 2. 전시 해외도입물자 항공수송

### 2.1 전략 항공수송 개요

한반도에 전쟁이 발발할 경우 한국군과 미군은 각각의 수송 소요에 따라 육상, 해상, 항공의 세 부분으로 나뉘어 수송을 한다. 현재 한

국군의 전시 해외 도입물자의 조달과 수송은 국군수송사령부 책임 하에 이행하도록 되어 있다. 전시 해외 도입물자는 대부분 미국으로부터 도입하도록 계획되어 있다.

국군수송사령부의 수송 책임물자는 대외군사 판매(FMS)와 상업구매물자이며 종류는 탄약과 일반물자이다. 항공수송 대상물자는 동원령 발령 이후 총 365일 내에 탄약 00만톤, 일반물자 00만톤을 수송하도록 되어 있다. 수송은 M+60일 이내에 15~20%, M+120일 이내에 15~20%, M+360일 이내에 나머지 60~70%를 수송하도록 계획되어 있다. 같은 물자라 하더라도 물자의 긴급 소요에 따라 물자의 수송 우선순위가 시점에 따라 달라진다. 같은 수리부속품이라 하더라도 어떤 경우에는 수송의 우선순위가 높아지는 경우가 있어 일률적으로 얼마가 최고의 우선순위를 가진 것인지 평가할 수 없다. 그러나 걸프전 사례를 보아 약 20% 정도의 물자가 우선순위를 가질 것으로 예측할 수 있다[1].

미국에서 항공수송 대상물자는 물자가 보관되어 있는 보급창 혹은 생산공장에서 부터 공항까지의 이동이 필요하다. 이동간 혹은 야적장에서 창고보관이 필요할 경우도 있다. 그런데 미국지역 수송업체의 창고수용능력 부족과 교통혼잡 등으로 인해 화물처리가 지연되어 공항도착이 예정시간보다 늦어지는 경우가 발생하고 있다. 걸프전 당시에도 미군이 물자를 주문한 이후 부두 야적장까지 평균도착일수가 51일이며 심지어는 180일 이내에 도착하지 못한 청구전수도 있었다[9]. 미국에서의 물자조달 및

공항까지의 이동 평균시간 및 분산에 관련한 상당부분의 자료는 획득이 불가능하다. 따라서 이들 부분은 과거 경험 자료와 국군수송사령부와 수송업체와의 인터뷰 자료를 활용하였다.

전시에 미국에서 물자를 적재할 공항은 2곳, 한국에서 하역할 공항은 1곳으로 선정한다. 미국에서는 탄약을 적재할 공항과 일반 물자를 적재할 공항이 구분되어 있다. 미국의 공항 A는 탄약을 적재하며 공항 B는 일반 물자를 적재한다.

## 2.2 비행장 능력

동원령이 선포되면 이미 동원 지정되어 있는 한국 국적의 민간 화물기들이 동원된다. 이 경우 동원 지정된 화물기들은 세계 각 곳의 정기 노선과 비정기노선에서 운항을 하고 있다. 동원 지정된 화물기는 세 종류로 시물레이션에서 사용된 대수와 적재 용량은 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 시물레이션에서 사용된 화물기 종류와 적재용량

화물기 종류	대수	적재용량(ton)
AB400	8	110
AB200	6	85
AB11	6	81

동원령이 선포된 시점에 동원지정 화물기들은 화물을 적재했을 수도 있고 안 했을 수 있다. 적재된 경우라면 가까운 공항에 화물을 하역하고 연료를 보급 받은 후 미국 공항으로 이동하게 된다. 이 때 동원 지정된 화물기가 정

비중인 경우가 있을 수 있다. 이 경우 정비 중인 화물기는 동원령이 선포되더라도 일단 정비 후 미국 공항으로 이동하게 된다.

동원되어 미국으로 이동한 화물기는 미국 공항에서 탄약이나 물자를 적재하고 난 후 한국 공항으로 이동하게 된다. 이동시간은 바람 등 일기의 영향으로 비행시간이 달라질 수 있다. 공항에서는 동원 지정된 화물기 이외에 다른 항공기도 함께 공항을 사용함으로써 활주로, 주기장, 적·하역자원, 연료보급 및 정비시설 등의 자원사용에 경쟁이 따르게 된다. 따라서 공항 상공에 도착한 이후에도 착륙을 허가받은 시간부터 이륙할 때까지의 시간은 확률적이라 할 수 있다. 항공기가 착륙한 이후 주기장 배정으로부터 적·하역, 연료보급, 정비 등의 과정에 있어 비행장 능력에 따라 전체 소요 시간이 달라진다.

비행장 능력이 화물기 착륙 후의 지상소요 시간을 좌우한다. 과거 미군에서 비행장 능력을 평가할 때 사용한 개념은 최대주기(MOG: Maximum On Ground) 대수에 근거한 것이다 [5]. 이 개념은 비행장 능력이 주기장에 주기할 수 있는 최대 항공기가 몇 대인지에 따라 평가하는 것이었다. 그런데 최근에는 최대 주기대수(MOG) 개념이 아니라 비행장 능력에 영향을 주는 여러 요인 중 최소 능력이 비행장 능력을 좌우한다는 개념 하에서 비행장 능력 모델을 개발하고 있다[6]. 비행장 능력에 영향을 주는 요인은 다음과 같다[6]. (1) 항공정비 장비 및 인원, 정비팀의 수, 주기장의 크기 등 항공기 정비 자원능력이 영향을 준다. (2) 급유체

계를 비롯하여 연료차량, 연료보급대, 급유 지원차의 대수 등 연료보급 자원 능력이 영향을 준다. (3) 버스, 지게차, K-loader 및 엘리베이터 등 적·하역 장비의 대수와 인원 등의 적하역 자원능력이 영향을 준다. (4) 그 외에 항공 관제 능력, 승무원지원 능력, 지상관제 능력 등이 비행장 능력에 영향을 주는 요인이다.

정적인 상태에서 비행장 능력은 각 자원의 능력 중 최소치가 해당 비행장의 능력으로 결정된다. 즉 어떤 자원의 능력이 부족하여 공수 항공기들을 지원할 수 없다면 그 자원이 제약요인이 되며 그 자원에 의해서 수행될 수 있는 최대 항공기 대수가 해당 비행장 능력이 된다. 이 논리는 간단하지만 실제 평가에 있어 변수들간의 복잡한 관계를 고려해야 한다. 적·하역 시간은 화물기를 어디에 주기하느냐에 따라 달라진다. 왜냐하면 화물기의 주기 위치가 화물기와 하역장소를 왕복하는 이동시간에 영향을 주기 때문이다. 또한 화물 적·하역이나 연료보급 등과 같은 작업이 동시에 이루어지느냐, 순차적으로 진행되느냐에 따라서 지상소요

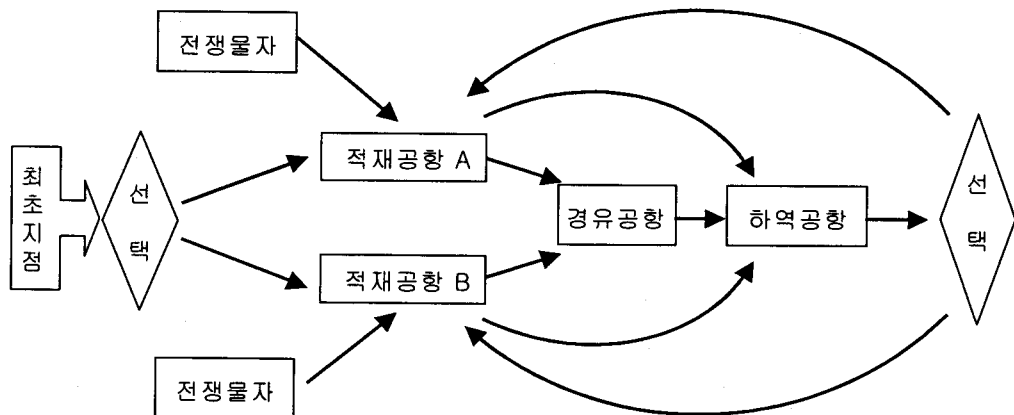
시간에 영향을 주며, 다른 항공기의 가용한 주기장소와 시간에도 영향을 준다.

### 3. 항공수송 모델

이 연구에서는 미국에서 한국까지의 항공수송 절차를 다음 <그림 1>의 Flow Chart에서 보는 바와 같이 전체를 6단계로 나누었다.

단계1은 미국에서 탄약과 일반물자를 조달하여 공항 야적장 혹은 공항 창고까지 이동시키는 단계이다. 단계2는 동원령 발령시 화물기 최초 지점에서 미국 공항까지 이동하는 단계이다. 단계3은 미국의 공항에서 물자를 적재하는 단계이다. 단계4는 미국에서 한국으로 이동하는 단계이다. 단계5는 한국의 공항에서 물자를 하역하는 단계이다. 단계6은 한국에서 미국의 공항으로 이동하는 단계이다. 단계 3-6은 전쟁이 종료되거나 또는 요구되는 항공수송 대상 물자를 모두 수송하는 시점까지 반복적으로 적용된다.

단계적으로 어떤 논리와 자료에 의하여 모델



<그림 1> 항공수송모델 Flow Chart

을 구축하였는지 설명한다. 단계4와 단계6은 항공기의 화물 적재 유무에 따른 차이 밖에 없기 때문에 함께 설명한다.

### 3.1 단계1: 미국 공항까지의 물자 수송

이 연구에서 동원령이 선포되면 항공수송 대상물자는 탄약은 A공항에, 일반물자는 B공항에 집하되도록 되어 있다. 전시물자조달계획에 따라 항공수송대상으로 분류된 물자는 미국의 보급창 또는 공장으로부터 물자를 기차나 트럭으로 목표 공항에 수송해야 한다. 이 경우 교통 혼잡도 등으로 인해 계획보다 늦게 도착하는 경우가 있다. 이 연구에서는 미국 공항에 물자의 도착이 결정적인 경우와 확률적인 경우의 2가지 시나리오로 구분하였다.

첫째 시나리오는 전시에 물자조달과 미국내 수송이 아주 이상적(ideal)으로 집행되어 물자가 계획대로 미국 공항에 매일 일정한 물량이 공항 야적장에 도착하는 결정적인 경우이다. 둘째 시나리오는 물자의 도착이 확률적인 경우이다. 둘째 시나리오에는 여러 가지 경우의 수가 발생할 수 있으나 M+5일부터 음의 지수분포로 도착하며 도착물량은 삼각분포를 따른다고 가정하였다. 도착물량은 실제로 적재 수단에 따라 최대 및 최소 적재량이 제한되어 있어 삼각분포를 따른다고 할 수 있다.

A, B 두 공항에 탄약과 물자가 도착하는 도착 시간분포와 물량은 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 도착시간분포와 물량

구분	수송특성	공항 A	공항 B
시나리오 1 (매일도착)	긴급수송 물자	110 톤	55 톤
	보통수송 물자	439 톤	220 톤
시나리오 2 (EXPO(3))	긴급수송 물자	TRIA(278, 300, 333)	TRIA(139, 152, 166)
	보통수송 물자	TRIA(1113, 1223, 1333)	TRIA(556, 606, 666)

미국 공항에서 수송해야 할 물자의 우선순위는 다르다. 여러 단계의 수송 우선순위로 구분할 수 있으나 이 연구에서는 각 물자별로 2단계 우선순위로만 구분하였다. 특정 품목 자체가 수송 우선순위를 가지는 경우도 있으나 같은 물자라도 시점에 따라 우선순위가 달라질 수 있다. 따라서 각 공항에 도착하는 물자의 약 20%를 우선순위를 가진 것으로 분류하였다.

### 3.2 단계2: 동원령 발령시 최초 분포지점에서 미국 공항까지 이동시간

동원 지정된 화물기들은 평시에 전세계를 다니며 운항 중에 있는지 혹은 정비 중에 있다. 동원령이 선포되면 운항 중에 있는 화물기가 물자를 적재하고 있을 경우 가까운 공항에서 물자를 하역하고 연료보급을 받은 후 미국의 공항으로 이동하며 운항 중에 있지 않은 화물기는 바로 미국으로 이동하게 된다.

이 연구에서 동원령 발령시 화물기의 최초 지점을 모두 고려하는 것이 아니라 동원대상 화물기의 평시 운항빈도가 가장 높은 몇 개의 권역으로 한정하였다. 과거 연구사례에 의하면

최초 위치지점에 대한 분포를 몇 개의 대표적인 권역으로만 나누더라도 큰 문제는 없었다 [3]. 항공사와의 면담 결과 화물기의 위치 권역을 한국과 중국을 중심으로 한 아시아 지역, 미국을 중심으로 한 미주 지역, 유럽을 중심으로 한 3개 지역으로 확인할 수 있었다.

동원령이 선포될 때 정비 중인 화물기는 1일 정비주기와 7일 정비주기의 두 가지 경우에 해당될 수 있다. 화물기는 비행시간이 500시간에 도달했을 때 1일간의 정비를 필요로 하고 5,000시간에 도달한 경우는 7일간의 정비를 필요로 한다. 양쪽 모두 정비가 끝나면 미국으로 이동하게 된다.

미국 공항을 선택하는 규칙을 항공수송 절차와 국군수송사 요원과의 인터뷰 결과 다음과 같이 설정하였다. (1) 각 공항 야적장에 물자종류별로 조달 계획된 물량을 확인한다. (2) 야적장 물량 중에 긴급 수송대상이 있다면 해당 공항으로 이동한다. (3) 두 공항 물자의 수송 우선순위가 같다면 각 공항에서의 물량과 현재 대기하고 있는 화물기들의 총 적재용량과의 비율을 고려하여 그 비율이 큰 공항으로 이동한다. 대기하고 있는 화물기가 없다면 물량이 많은 공항으로 이동한다.

단계2에서 확률변수는 다음 여섯 가지이다. (1) 동원령 발령시 개별 화물기의 총비행시간 (2) 동원령 발령시 정비 중에 있는 화물기의 대수 (3) 정비가 1일 정비주기인지 또는 7일 정비주기인지의 여부와 7일 정비주기라면 남은 정비소요시간 (4) 동원령 발령시 동원 화물기의 최초 위치 (5) 최초 위치에서 필요한 상용

화물 하역시간과 연료급유시간 (6) 최초 위치에서 미국 공항까지의 이동소요시간이다.

### 3.3 단계3: 미국 공항에서 화물기 지상소요시간

미국 공항에서 적재하는 양은 현재 야적장에 있는 물자량에 따라 달라진다. 해당 공항에 화물기 종류별 적재용량을 초과하는 양이 있다면 최대 적재용량까지 적재한다. 그러나 적재용량보다 적은 물량이 있다면 여러 가지 경우가 발생한다. 적재용량의 30% 미만인 야적장에 있다면 30%가 될 때까지 화물기는 해당 공항에서 대기하게 된다. 30% 미만 수송은 항공 수송 경제성에 문제가 될 수 있기 때문이다. 30% 이상의 물량이 있다면 적재용량에 미치지 못하더라도 수송의 긴급성 때문에 해당 물량만큼 수송을 하게 된다. 그러나 30% 미만의 물량이 있더라도 긴급 수송물자가 있다면 물량에 상관없이 바로 수송하게 된다. 화물기의 최소 적재량은 시간적, 경제적 효율성을 고려하여 결정되어야 할 값이지만 전시라는 특수 상황을 고려하여 30%로 결정하였다[3,4].

공항에서의 지상소요시간(AGT)은 다음 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$AGT = AT + BIT + WT + \text{Max}[LT, FT, MT] + BOT + BT \quad (1)$$

여기서, AT = 착륙 후 지상활주 시간

BIT = 착륙 이후 주기장으로 이동하여 Block In 할 때까지 소요되는 시간

WT = 화물 적재시까지 대기하는 시간

LT = 화물 적재 시간

FT = 연료 보급 시간

MT = 항공기 정비 시간

BOT = Block Out 이후 이륙 장소까지  
이동시간

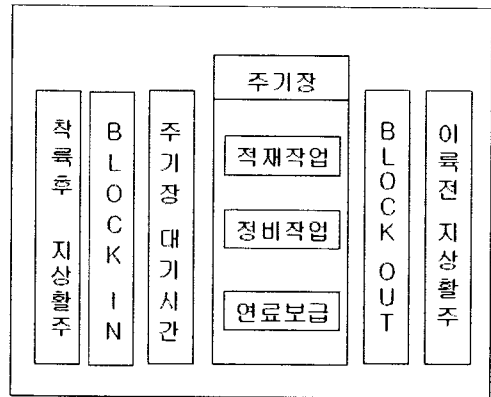
BT = 이륙 전 지상활주시간

화물기가 Block In 한 후 화물적재, 연료보급, 정비 작업은 같은 주기장에서 동시에 이루어 질 수 있다. 정비 작업은 정비사에 의한 육안검사로 진행되며 항공기에 큰 문제가 발견된다면 정비 격납고로 옮겨져 창정비 수준의 정비를 받겠지만 이 연구에서는 이러한 경우는 제외하였다. 동시에 이루어지는 하역, 연료보급, 정비 작업시간 중에서 최대로 걸리는 시간이 전체 지상소요시간에 영향을 미친다. 공항에서 주기장의 확보가 어려워 대기하는 경우도 있을 수 있다. 그러나 미국내 A 공항은 미군 공항으로 주로 탄약 등 위험물을 취급할 수 있는 공항이며 B 공항은 국제공항으로 평시에 주기장에 문제가 없는 것으로 평가되어 주기장 제약요인으로 인해 지상 소요시간에는 영향이 없다고 가정하였다.

미국 공항에서의 지상소요시간은 다음 <그림 2>와 같이 순차적인 시간과 동시 작업 중 최대시간의 합이 되는 것이다. 또한 기상요인 등의 환경적 요인에 따른 지연시간이 지상소요시간에 포함될 수 있으나 무작위적으로 발생할 수 있기에 식 (1)에는 포함하지 않았다. 기상 등 환경적 요인에 의하여 이·착륙이 불가능한 경우는 평균 90일의 음의 지수분포로 발생하며 활주로 사용불가시간은 최소 4시간, 최빈 6시

간, 최대 48시간의 삼각분포를 이루고 있다고 가정한다.

단계3에서 단계6까지의 지상 및 공중소요시간은 삼각분포를 가정하였다. 이는 전시 화물기의 지상 및 공중소요시간은 최소 요구시간 및 작전의 최대 허용시간이 주어져야 하기에 삼각분포를 가정하는 것이 적절하다고 보았다.



<그림 2> 공항에서의 지상소요시간

착륙과 이륙시 활주로 활주시간은 항공기 종류, 적재량, 일기에 따라 다르다. 화물기 종류별로 활주시간은 비슷하지만 온도 등 일기의 영향을 가장 많이 받는 것으로 알려져 있어 확률변수로 고려하였다. 공항에서 화물기는 적재할 물량이 없는 경우에는 대기하게 된다. Block In 및 Block Out 시간은 활주로에서 주기지역까지 거리에 따라 시간의 차이가 나지만 두 공항 모두 평균 시간으로 계산하였다. 정비 시간은 육안검사만 수행하는 수준이기에 평균 30분으로 주었다. 연료보급시간은 순수한 연료보급은 거의 확정적이지만 연료차량의 유무 등에 따라 불확실성이 존재하고 있으므로 확률변수로 고려하였다. 연료보급시간은 최소 50분,



최빈 60분, 최대 70분의 삼각분포로 주었다. 화물 적재시간(LT)은 결정적인 값으로 다음 식(2)와 같이 구한다.

$$LT = \text{적재 Set Up 시간} + (\text{적재대상 물량/시간당 평균적재 톤수}) \quad (2)$$

미국 공항에서의 시간당 평균 적재톤수는 장비의 성능이 좋고 더 많은 장비를 동원한다면 평균 적재톤수가 늘어날 수 있지만 전시에 한국군의 입장으로 이것을 조정 통제하기가 힘들다. 따라서 평시 미국 공항에서의 평균 적재능력이 전시에든 평균적으로 기대될 수 있다고 가정하였다. 적재시간은 수송대상 물량의 적재 시간에 적재에 필요한 설비준비 시간을 합한 값이다.

### 3.4 단계4와 단계6: 화물기 공중소요시간

미국에서 한국으로 이동하는 경우 화물을 적재하고 있으나 한국에서 미국으로 이동하는 경우에는 화물을 적재하지 않고 있다. 이는 동원 지정된 화물기의 운항 규칙상 빠른 시간 내에 화물을 수송해야 함으로 미국으로 가는 경우는 적재하지 않은 빈 항공기로 간다.

미국과 한국간 이동시간은 적재량에 따라 차이가 나는 것은 아니다. 다만 화물 적재량에 따라 적재 연료량이 결정되고 이에 따라 한국으로 바로 직항할 수 있는지의 여부가 결정된다. 따라서 화물의 적재량이 70% 이상이면 알래스카를 경유하여 한국 공항으로 이동하는 것으로 하였다. 경유지 없이 이동하는 경우 이동

시간은 계절, 바람 등의 일기 조건에 따라 영향을 받는데 여기서는 최소 12.5시간, 최빈 14시간, 최대 16.5시간의 삼각분포를 이룬다고 가정하였다. 한국에서 미국으로 이동시에는 화물이 없으므로 알래스카를 경유하지 않고 직접 미국공항으로 이동한다. 한국에서 미국으로 이동할 때 미국 공항을 선택하는 규칙은 단계 2에서 제시한 것과 같다.

### 3.5 단계5: 한국 공항에서의 화물기 지상 소요시간

한국 공항에서 지상소요시간은 미국 공항과 유사하게 구성되어 있다. 그러나 미국에서의 적재, 연료보급, 정비는 미국측에 의존하여 수행되기 때문에 평시의 능력과 같은 수준으로 고려하였다. 그러나 한국 공항의 경우 적재장비, 연료보급 및 정비 능력을 동원할 수 있기 때문에 동원규모에 따라 소요시간이 달라질 수 있다.

화물기가 Block In 한 후 화물 하역, 연료보급, 정비 작업은 같은 주기장에서 동시에 이루어질 수 있다. 하역작업의 경우 동원할 수 있는 K-loader, 지게차 등의 하역팀의 수를 한국측이 결정할 수 있으므로 이들의 능력을 구체적으로 구할 수 있다. 한국 공항에서 2개의 하역팀을 운영하는 것으로 하였다. 하역팀의 인원은 제한을 두지 않았고 팀당 지게차 2대, K-loader 2대를 운영하고 있다고 가정하였다. 각 장비들의 작업시간과 작업물량에 대한 확률 분포는 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> 하역장비들의 작업능력

장비	작업장소	하역시간(분)	1회작업능력(톤)
지게차	화물기	3	TRIA(4, 5, 6)
	하역장소	1	TRIA(4, 5, 6)
Loader	화물기	5	TRIA(7, 9, 11)
	하역장소	5	TRIA(7, 9, 11)

한국 공항에서의 지상소요시간은 순차적인 시간과 동시 작업 중 최대시간의 합이 된다. 여기에 일기불순 등의 환경적 요인에 따른 지연시간이 지상소요시간에 포함될 수 있으며 이는 무작위적으로 발생할 수 있다. 환경적 요인에 따라 이·착륙이 불가능한 경우는 평균 50일의 음의 지수분포로 발생하며 활주로 사용불가시간은 최소 3시간, 최빈 6시간, 최대 24시간의 삼각분포를 이루고 있다고 가정한다.

## 4. 시뮬레이션 실행과 결과

### 4.1 시뮬레이션 실행

구성된 전시 항공수송 모델은 Arena 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 코딩하였다. Arena는 동적 애니메이션이 가능하여 항공수송 계획관계자들에게 현실감있게 계획의 실행과정을 보여줄 수 있다[10]. 시뮬레이션의 무작위성을 배제하기 위해서 20번의 시뮬레이션을 반복적으로 실시하였다.

시뮬레이션을 통해 다음 5개의 성과지수를 중심으로 전시 항공수송능력을 분석하였다. 이 성과지표는 수송사령부의 동원 및 수송의 절차와 계획을 평가하기 위한 것이다.

- 평균물자 수송 완료시간
- 동원 시차별 수송 물량과 완료비율
- 화물기 종류별 평균 수송량과 운항횟수
- 각 공항에서 항공기 대기시간
- 한국 공항에서의 지상소요 시간

### 4.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 미국 공항 야적장에 도착하는 물자량의 분포에 따라 그 결과가 상당히 달라질 수 있다. 전시조달계획에 따라 매일 일정한 물량이 미국 공항에 도착하는 결정적인 경우라면 단계2부터 단계6까지 발생하는 불확실한 요인과 자원능력에 따라 항공수송능력이 결정된다고 볼 수 있다. 그러나 미국 공항에 도착하는 물자가 확률적이라면 항공수송 능력은 더 제한을 받을 수밖에 없다. 이제 두 가지 시나리오에 따른 결과를 살펴보자.

<표 4> 물자별 수송종료시간 (단위: 일)

(95% 신뢰구간)

시나리오	물자	평균	신뢰하한	신뢰상한	최소값	최대값
1	탄약	376	370.1	381.9	365	404
	일반물자	378	370.6	385.4	363	422
2	탄약	395	377.1	412.1	339	468
	일반물자	423	405.7	440.3	368	507

미국 공항에 물자가 확정적으로 도착하는 시나리오의 경우 종료일자가 <표 4>에서 보는 바와 같이 탄약은 평균 376일과 최대 404일, 일반물자는 평균 378일과 최대 422일까지 소요되었다. 확률적인 시나리오의 경우 탄약은 평균 395일과 최대 468일, 일반물자는 평균 423

일과 최대 507일이 소요되었다. 두 물자 모두 수송계획을 충족하지 못하였다.

물자가 확률적으로 도착하면 상황은 더 악화되어 일반물자의 경우 수송이 더 지연된다. 미국 공항에 물자가 도착하는 것이 확정적이라기 보다는 확률적으로 발생할 가능성이 높으므로 계획된 수송 완료시간에 수송을 끝내기가 힘들 것으로 평가할 수 있다. <표 5>에서 보는 바와 같이 시차별 물자수송량이 시나리오 1에서는 상당히 목표에 근접하고 있으나 시나리오 2에서는 목표에 상당히 미달하고 있다. M+365일 이내에 물자가 미국 공항에 확정적으로 도착하는 경우라도 94.3%에 불과하며 확률적인 시나리오의 경우 겨우 87.8%이다. 확률적인 경우 상당량이 365일 이내에 수송되지 못하고 이후까지 계속 수송되어야만 목표 수송량을 완료할 수 있다.

<표 5> 시차별 물자수송량

시나리오	M+60	M+120	M+360
수송예정량	16.4%	32.9%	100%
시나리오 1	15.36%	30.96%	94.93%
시나리오 2	12.85%	27.49%	87.79%

화물기 종류별로 평균 수송량과 평균수송 횟수는 다음 <표 6>에 나타나 있다. AB400은 시나리오 1의 경우 평균 99.4%, 시나리오 2의 경우는 99.2%의 적재율을 보이고 있다. 다른 화물기들도 AB400과 같이 높은 적재율을 보이고 있다. 화물기 당 동원기간 중 운항횟수는 AB400이 시나리오 1과 2에 있어 167.3회와

166.7회로 가장 많으며 AB200은 155.3회와 154.3회로 운항횟수가 가장 작다. 앞서도 지적한 바와 같이 수송횟수는 365일 동안에 발생한 것이 아니라 두 가지 시나리오에 있어 일반물자를 모두 수송할 때까지의 운항횟수이다.

<표 6> 화물기 종류별 수송실적

시나리오	화물기 종류	평균 수송량	평균 수송횟수
1	AB400	109.30	167.27
	AB200	84.50	155.29
	AB11	80.56	156.61
2	AB400	109.14	166.69
	AB200	84.48	154.29
	AB11	80.53	157.57

미국 공항에서 화물기에 적재할 긴급우선순위 물량이 있거나 또는 보통물자라도 30% 이상 야적되어 있는 경우에는 대기할 필요가 없다. 미국 공항에서 화물기 대기시간은 적재할 물량이 없어 대기하는 시간이고, 한국 공항의 경우 하역팀을 2팀으로 했기 때문에 하역팀이 모두 작업을 하는 경우 하역을 위해 대기하게 된다. <표 7>은 미국 공항과 한국 공항에서 항공기가 화물을 적·하역하기 위해 대기하는 시간을 보여 주고 있다. 시나리오 1의 경우 공항 A에서는 평균 7시간 22분 대기하며 최대 8시간 47분을 대기하고 있다. 미국 공항에 물자가 확률적으로 도착하는 경우 화물기 대기시간은 평균 2일 이상으로 늘어난다. 이를 통해 알 수 있는 것은 시차별로 목표 수송량에 미달하는 주요 원인은 미국 공항까지의 물자의 도착 지연과 불규칙성 때문이다.

<표 7> 화물기 대기시간  
(95% 신뢰구간)

시나리오	구분	공항 A	공항 B	한국 공항
1	평균	7:27	10:50	0:50
	신뢰하한	6:59	07:00	0:36
	신뢰상한	7:55	14:40	1:04
	최소값	4:55	1:07	0:33
	최대값	8:47	1:10:28	2:11
2	평균	2:02:24	2:14:10	1:14
	신뢰하한	1:22:39	2:02:53	0:29
	신뢰상한	2:06:09	3:01:27	1:59
	최소값	1:11:02	1:04:05	0:34
	최대값	2:12:58	4:13:26	2:10

한국 공항에서의 지상소요시간은 <표 8>에서 보는 바와 같이 시나리오 1과 2의 경우 평균 21시간 54분과 22시간 6분이 소요된다. 한국 공항에서 상당한 시간이 소요되고 있으나 시나리오 별로는 시간의 차이가 없다. 시나리오 오는 미국 공항에 도착하는 물자가 확률적이나 확정적이나의 차이에 기인한 것으로 한국에 도착한 후에는 시나리오 별로 차이가 없다고 할 수 있다.

<표 8> 한국 공항에서의 지상소요시간  
(95% 신뢰구간)

시나리오	통계치 구분	물자하역 시간	연료보급 시간	총지상 소요시간
1	평균	1:41	0:59	21:54
	신뢰하한	1:31	0:56	21:11
	신뢰상한	1:54	0:62	22:41
	최소값	1:07	0:50	13:45
	최대값	2:28	1:10	7:22:21
2	평균	1:44	1:01	22:06
	신뢰하한	1:32	0:59	21:23
	신뢰상한	1:56	1:03	22:49
	최소값	1:11	0:50	13:33
	최대값	2:28	1:10	8:03:57

한국 공항의 총 지상소요시간은 공항에 도착한 후 <그림 2>와 같은 절차를 수행한 후 이

륙할 때까지 소요되는 시간이다. 물자하역시간은 평균 1시간 44분이 소요되며 연료보급시간은 평균 1시간이 소요된다. <표 7>에서 보여주는 하역팀 대기시간은 시나리오 1과 2의 경우 평균 50분과 1시간 14분이다. 여기서 지상 활주 시간, Block In, Block Out 시간의 비중은 낮다. 그렇다면 대부분의 지상소요 시간은 정비시간 때문에 발생하는 것이다. 정비시간은 비행기가 비행시간 500시간에 도달하면 1일, 5,000시간에 도달하면 7일이 소요되기 때문이다.

### 4.3 민감도 분석

동원자원의 규모에 따라 수송능력이 좌우된다. 자원확보에 있어 문제가 되는 항공기 대수와 하역장비, 연료보급 능력을 중심으로 민감도 분석을 통해 자원의 변화에 따른 수송평균 종료시간과 한국 공항에서의 대기시간을 분석한다. 미국 공항에서 물자 조달이 확률적인 경우에만 수송지연이 크게 발생함으로 시나리오 2의 경우만 분석한다.

<표 9> 민감도 분석 결과

시나리오	구분	장비 수	평균 종료일	한국 공항 대기시간
2	화물기 대수	15	477	1:13
		20	423	1:14
		25	381	1:19
	하역장비 수	2	426	1:33
		4	423	1:14
		6	420	0:59
연료보급시간	TRIA(40, 50, 60)	422	1:14	
	TRIA(50, 60, 70)	423	1:14	
	TRIA(60, 70, 80)	421	1:14	

화물기를 20대에서 25대로 늘이면 수송완료

일수는 423일에서 381일로 42일 줄어든다. 하역장비는 K-loader의 수를 팀당 3대로 하면 평균 종료일수는 별 영향이 없고 한국 공항에서의 하역팀을 위한 항공기 대기시간만 약 15분 감소하게 된다. 연료보급 능력의 향상도 평균 종료시간의 단축에 크게 기여하지 않는다. 이 결과를 통해 알 수 있는 것은 수송목표량의 달성은 미국 공항까지의 물자 도착이 가장 중요하고 다음이 동원 화물기의 확보라는 것이다.

## 5. 결 론

한국 국군수송사령부는 한반도에서 전쟁이 발발할 경우 필요한 전략물자를 미국으로부터 도입하는 계획을 가지고 있다. 이 계획에 의하면 수송경로를 항공 및 해상 수송으로 나누며 이 중 긴급하게 요구되는 품목들은 항공으로 수송한다. 이 연구는 전시 해외도입 전략물자의 항공수송 절차와 필요한 자원의 동원에 대한 불확실성을 고려하여 시뮬레이션을 이용하여 분석한 것이다.

수송절차를 다음의 6단계로 나누었다. 단계1은 미국에서 탄약과 일반물자를 조달하여 두 곳의 공항까지 이동, 단계2는 동원령 발령시 화물기 최초지점에서 미국 공항까지 이동, 단계3은 미국의 공항에서 물자를 적재, 단계4는 미국에서 한국으로 이동, 단계5는 한국의 공항에서 물자를 하역, 단계6은 한국에서 미국의 공항으로 이동이다. 각 단계에서 발생 가능한 불확실한 확률변수를 확인하여 수송절차 안에 포함하였다.

단계3과 단계5에서 공항 자원능력이 화물기의 지상소요시간을 계산하는데 결정적인 요인이 되고 있다. 지상에서의 적·하역, 정비, 연료보급은 같은 주기장에서 이루어지며, 주기장을 떠날 때까지의 시간은 이러한 자원 능력 중에서 최소의 능력에 따라 결정된다. 즉 자원능력이 최소인 것이 최대의 시간을 요구하며 이 최대 시간이 지상소요시간을 결정하게 되는 것이다. 그런데 이 연구에서는 비행장 능력 평가 모형을 항공수송 절차 안에 포함함으로써 동태적으로 적용하도록 하였다.

시뮬레이션 모델은 Arena로 코딩하여 다음 5가지 성과지수 (1) 평균 물자 수송 완료시간 (2) 동원 시차별 수송 완료 비율 (3) 화물기 종류별 평균 운항횟수와 평균 수송량 (4) 각 공항에서 화물기 대기시간 (5) 한국 공항에서의 평균 지상 소요시간을 분석하였다. 이와 더불어 항공수송계획 상에 포함된 동원자원에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 화물기의 종류와 대수, 한국 공항에서 동원할 수 있는 하역 장비, 연료보급 시설과 장비 등을 변화시켜 이들 자원의 영향력을 분석하였다.

시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있는 것은 수송 항공기의 동원 대수도 중요하나 가장 중요한 것은 미국 공항까지의 물자의 도착이었다. 물자수송이 365일 안에 이루어지지 못하는 중요한 원인 중의 하나가 동원자원의 부족보다는 미국 공항에 물자가 불규칙하게 도착하기 때문이다. 따라서 미국내 물자 조달과 수송의 불확실성을 감소할 수 있다면 목표 달성이 더 용이하다는 사실이다.

시뮬레이션 결과를 통해 바람직한 수송절차 뿐만 아니라 효율적인 동원 자원의 소요를 확인할 수 있었다. 적절한 동원 자원의 결정은 전쟁비용과 관련되어 있을 뿐 아니라 전시 필요한 민·관 자원의 항공 및 해상 수송계획에도 영향을 미칠 수 있다. 그런 점에서 이 연구는 전시 항공수송과 관련한 자산의 확보 및 절차 및 계획의 평가에 기여한다고 할 수 있다. 그렇지만 이 연구가 전시 동원되는 화물기와 활주로 피해를 등을 고려하지 못하여 평시 전략항공수송 능력을 평가한 것이라는 비난이 있을 수 있다. 그렇지만 평시 항공수송 절차와 능력은 전시에 있어 낙관적인 상황을 예측할 수 있다는 측면에서 의의가 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Matthews, James K. and Cora J. Holt, So Many, So Much, So Far, So Fast, Joint History Office of the Chairman of the Chiefs of Staff and Research Center of United States Transportation Command, 1996.
- [2] O'Neill, June E., Moving US Forces: Options for Strategic Mobility, Congressional Budget Office, The Congress of the United States, 1997.
- [3] Mahoney, Peter J., Analysis of Port Congestion upon Sealift Operation Using Simulation, US Naval Postgraduate School, 2000.
- [4] 조운철, 이상진, “한국의 전시 해상수송능력 분석”, 「한국국방경영분석학회지」, 제28권 제1호(2002), pp.29-46.
- [5] Stucker, James P. and Ruth T. Berg, Understanding Airfield Capacity for Airlift Operation, RAND, 1998.
- [6] Stucker, James P. and Laura M. Williams, Analyzing the Effects of Airfield Resources on Airlift Capacity, RAND, 1998.
- [7] 오승학, 이상진, “시뮬레이션을 이용한 비행장능력 평가모형에 대한 연구”, 「한국군사운영분석학회지」, 제26권 제1호(2000), pp.15-33.
- [8] 조관현, 이상진, “전시 비행장 항공작전능력 평가모형에 관한 연구”, 「한국국방경영분석학회지」, 제30권 제1호(2004), pp.153-167.
- [9] Girardini, Kenneth, et. al., Improving DoD Logistics, RAND, 1995.
- [10] Kelton, W. David, Randall P. Sadowski, and Debora A. Sadowski, Simulation with Arena, McGraw-Hill, 1999.

## 저 자 소 개

**이 명 우** (E-mail: mw68@netian.com)  
1991 해군사관학교 졸업(학사)  
2002 국방대학교 국방관리학과 졸업(석사)  
현재 작전사 해양전술정보단 신세기함 기관장  
관심분야 군수관리, 시뮬레이션

**이 상 진** (E-mail: sjlee@kndu.ac.kr)  
1981 서울대학교 경영학과 졸업(학사)  
1985 샌프란시스코대학 경영대학원(MBA)  
1993 위스컨신대학 경영대학원(박사)  
현재 국방대학교 관리대학원 교수  
관심분야 획득군수, 최적화이론 및 시뮬레이션