

최소비용 수송방법 결정에 관한 연구
- 공군부정기공수 인원수송을 중심으로 -
(A Study on the Nonscheduled Air Flight
Method to Minimize the Transportation Cost)

이준모*, 이상진**

Abstract

The ratio of the nonscheduled air flight transportation is about 49% among the personnel transportation at the Korean Air Force from 1993 to 1997. If an appropriate nonscheduled air flight method is developed, it may considerably achieve a reduction of the transportation cost. The purpose of this paper is to propose the least cost transportation method using the optimization technique. The nonscheduled air flight for the personnel can be classified into three types. The proposed least cost transportation method is tested with a current air flight method for each of three types. It is shown that a proposed method can considerably reduce the transportation cost.

* 공군본부
** 국방대학원

1. 서 론

한국공군은 1955년 10월 27일 제 5공수전대 창설과 아울러 C-46 2대가 도입되어 동년 11월 4일부터 4개 기지에 대하여 정기공수를 시작하였다.[1] 그 이후 현재까지 많은 인원과 화물을 수송하여 왔고 그 중요성이 날로 더해가고 있다. 항공수송은 타 수송수단보다 속도면에서 압도적인 우위를 점유하고 있어 필요한 인원과 화물을 신속히 수송함으로써 효율 가치가 높지만 운영비용이 고가로 수송비용 최소화 에 역점을 둔 경제적 운영이 요구된다. 현재 공군은 주 18회의 정기공수 지원계획을 수립, 지원하고 있고 정기공수 능력을 초과하거나 긴급을 요하는 공수 화물이나 인원에 대하여 부정기공수를 운영하고 있다. 인원에 대한 부정기공수 실적을 살펴본 결과 1993년부터 1997년까지 5년간 인원공수 실적에서 부정기공수 실적이 차지하는 비율이 평균 약 49%에 이르고 있었다.[2,3]

따라서 부정기공수의 효율적 운영은 수송비용을 절감시킬 것이며 사전에 적절한 계량적 기법의 적용에 의하여 합리적으로 운영할 경우 상당한 경제적 비용절감의 효과를 가져올 것이다. 인원공수의 효과성 및 효율성을 달성하기 위하여 현 부정기공수 실태를 살펴보고 현실에 맞는 수송 계량 기법을 개발 하려고 한다. 본 연구에서는 인원공수 그 중에서도 부정기공수의 최소비용수송방법을 개발하는데 목적이 있다.

2. 수송형태 분류와 이론적 배경

공군의 '97년 부정기공수 인원 수송실적[4,5]을 근거로 부정기공수 수송형태를 세 가지로 분류하였다. <

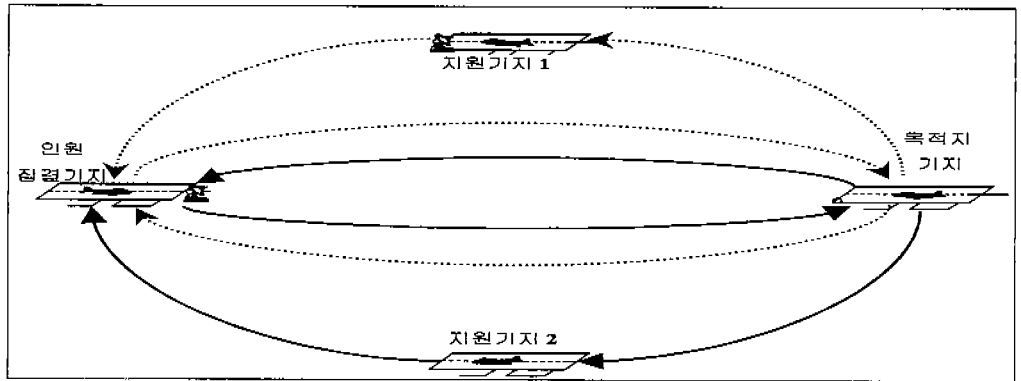
표 2-1>에 나타난 '97년 부정기공수 수송실적을 살펴보면 다음과 같다.

(단위 : 명)
<표 2-1> '97년 공수실적 수송형태 분류

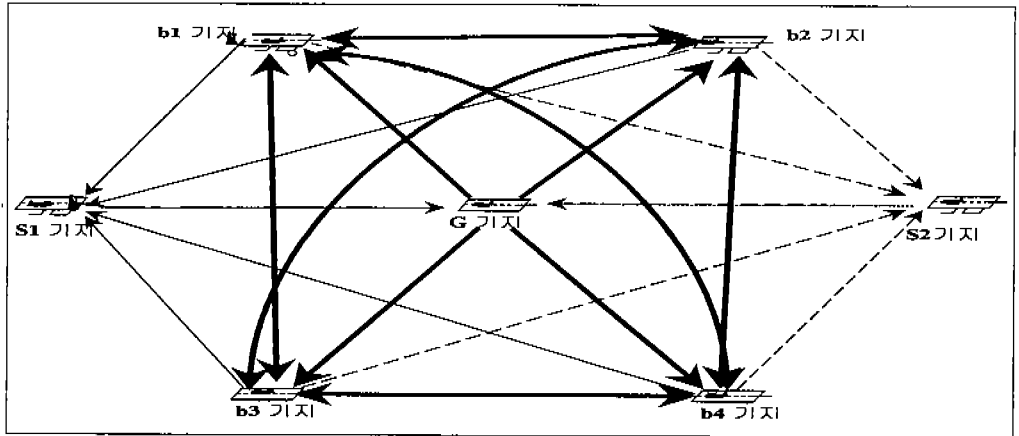
정기공수	부정기공수 수송형태					계
	A	B	C	기타	소계	
20,062	6,910	674	525	1,784	9,893	29,955

A형태란 예를 들면 사관생도들의 제주도 국토순례 지원, 특전사 훈련지원 등 공수대상 인원을 한 지점에서 다른 한 지점으로 수송하는 형태로 도해하면 <그림 2-1>과 같은 수송형태이다. 2개의 지원기지 와 인원 집결기지와 목적지지가 각각 단일로서 지원기지에서 출발한 수송기는 인원 집결기지를 우선 경유하여 적재용량 범위 내로 인원을 싣고 목적지지로 인원을 수송하여야 한다. 이 때 수송대상 인원이 수송기 1대 분의 적재용량을 넘을 경우 수송기는 인원 집결기지와 목적지지 사이를 반복 운항 할 수도 있고 여러 대가 동시에 수송임무에 투입될 수도 있다. 임무 후에는 반드시 소속 지원기지로 귀환하여야 한다.

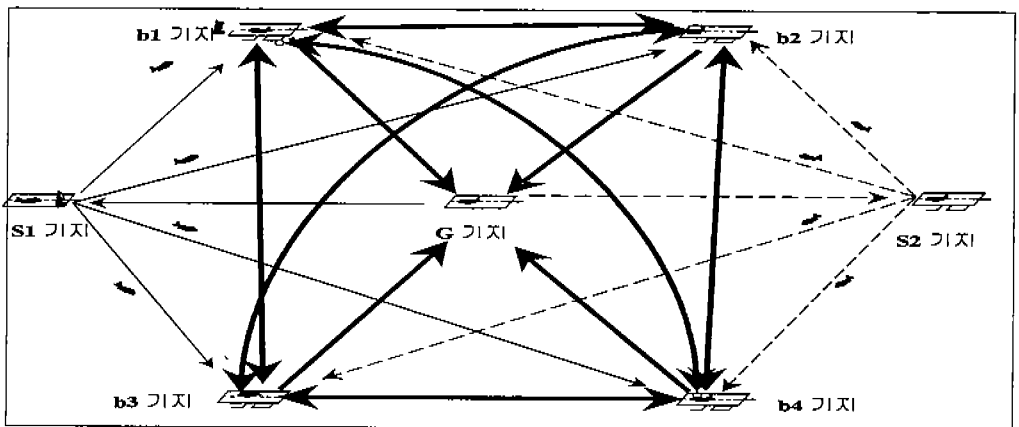
B형태란 전입사병 공수처럼 한 기지에 인원이 집결되어 있고 이 집결된 인원을 각 기지로 배분해야 하는 경우로 인원 집결기지가 지원기지 일 수도 있고 지원기지와 인원 집결기지가 상이할 수도 있다. 지원기지에서 출발한 수송기는 인원이 집결되어 있는 기지를 우선 경유한 다음 인원을 싣고 각 배분기지로 수송한다. 임무를 마친 수송기는 소속 지원기지로 귀환하여야 한다. B 형태를 도해하면 <그림 2-2>와 같다.



<그림 2-1> 부정기공수 A 형태



<그림 2-2> 부정기공수 B 형태



<그림 2-3> 부정기공수 C 형태

C형태란 B형태와 반대되는 경우로 여러 기지에 있는 인원을 하나의 집결지지로 수송하는 형태이다. 예를 들어 모형 항공기 대회 지원 등을 들 수 있고 도해하면 <그림 2-3>과 같다.

<그림 2-1>에서 점선은 지원기지1 소속의 수송기가 사용 가능한 수송경로이고 실선은 지원기지2 소속의 수송기가 사용 가능한 수송경로를 의미한다. <그림 2-2>에서 S1, S2기지는 지원기지를, G기지는 인원 집결지지를 나타내고, 있으며 b1-b4기지는 인원 배분기지를 의미한다. 가는 실선은 S1기지 소속의 수송기만이 사용할 수 있는 수송경로이고 점선은 S2기지 소속의 수송기만이 사용 가능한 수송경로이다. 굵은 실선은 공동으로 사용 가능한 경로이다. <그림 2-3>에서 b1-b4기지는 인원 발생기지 즉 탑승기지를 의미하며 S1, S2, G기지와 수송경로는 <그림 2-2>와 같은 의미를 가진다.

세 종류의 수송형태가 '97년 부정기공수 인원 수송 실적의 대부분(약 82%)을 차지하고 있어 연구대상으로 설정하였다. 위 경우와 다른 부정기공수 형태는 발생빈도가 낮으므로, 본 연구에서는 세 가지 경우로 한정하였다.

본 연구의 부정기공수 문제는 최소비용경로에 따라 일정한 시간 안에 인원을 수송하는 문제를 다루므로 차량 배차문제(vehicle fleet planning problem)의 일부분이라고 말할 수 있다. 차량 배차문제란 차량을 이용하여 고객에 대한 서비스를 수행하기 위하여 차량경로와 방문시간 및 순서를 정하는 제반문제를 말한다. 배차문제는 방문순서나 방문시간의 제약 조건 유무에 따라 크게 3가지로 구분된다.[6] 만일 수요지점에 대하여 방문시간이나 방문순서의 선행관계 제약이 없으면 차량 운행경로문제라 하며, 방문

시각이 미리 확정적으로 주어지면 차량운행 시간 계획문제(vehicle scheduling problem)라 한다. 또한 방문순서의 선행관계와 방문시간의 상·하한이 주어지면 차량운행경로 및 시간계획문제(vehicle routing and scheduling problem)라 하며 일반적으로 포괄적인 의미로서의 배차문제는 이 차량운행경로 및 시간 계획문제를 일컫는다.

부정기공수 문제는 방문순서 선행관계에 대한 제약조건과 최대운행시간에 대하여 상한이 설정되어 있으므로 차량운행경로 및 시간계획문제로 분류할 수 있다. 배차문제의 많은 응용사례들을 송성현과 박순달[6]은 몇 가지 특성요인으로 분류하였는데 이 특성요인으로 부정기공수 문제를 분류하면 부정기공수 A, B, C형태 모두 차고와 차량, 차종은 복수이며 수요는 확정적이고 수요위치는 지점(node)이며, 네트워크는 방향이 설정되어 있고, 차량적용량은 차종별로 같지 않은 문제이다. 목적함수 값은 총 운행비용의 최소화로 설정되었으며 차량별로 가용 운행시간은 같고 정해진 시간을 초과하여 차량을 운행할 수 없는 문제로 분류할 수 있다. 부정기공수 문제가 기존 배차문제 응용사례들과 다른 점은 본점은 수송 도구만을 지원하고 적재나 하역은 지점에서만 이뤄진다는 점이다. 특정지점에서 특정지점으로 인원이나 화물을 수송하고 본점은 수송도구만을 지원한다는 점이 기존 응용사례와 다른 상황이다. 또한 부정기공수 문제가 속하게되는 차량경로 및 시간계획문제는 차량운행경로와 시간계획문제가 결부된 문제로 대부분의 경우 문제들이 복잡하여 선형계획법으로 풀 수 없는 경우가 많아 최적해를 찾는 기법보다는 최적해에 근사한 해를 구할 수 있는 발견적 기법(heuristic approach)을 개발하는데 많은 연구가 이

루어져 왔다. 최적해를 찾는 기법으로는 Bellmore-Malone과 Christofides-Pierce 등에 의해 소개된 Branch & Bound기법과 Balinski & Quandt 그리고 Foster & Ryan에 의해 제안된 0-1 정수 계획법을 들 수 있는데 복잡한 시스템의 실무적 적용이 어렵고 다양한 제약식의 적용이 미흡하므로 극히 작은 차량경로 문제에 대해서만 적용할 수 있었다.[7] 부정기공수 문제는 소규모 공군 부대를 대상으로 하여 다양한 제약조건을 만족하는 수송경로와 경로별로 소요되는 수송기 대수를 구하게 되므로 본 연구에서는 선형계획문제를 이용하여 복잡한 실무적용이 가능하고 다양한 제약조건을 적용하고자 하였다.

3. 모형의 설정

3.1 가정사항

실제 수송기 운영실태를 반영하여야 최소비용 부정기공수 수송모형이 실효성이 있게 되므로 공군 수송기 운영상황을 기초로 다음 사항을 가정하였다.

- ① 수송기는 지원기지에서 출발하여, 부정기공수 업무를 수행하고 다시 지원기지로 되돌아오는 것을 원칙으로 하며 일일 수송기 대 당 총 운영시간과 운항 횟수는 공군규정 5-41(1992.9.1)에 의거 일일 8시간, 7쵸티로 제한한다.
- ② 인원공수는 화물과 달리 적재 및 하역 능력이 필요치 않고 인원이 탑승하고 내리는 시간만 요구된다. 따라서 수송기 최대 적재 가능인원의 탑승 및 하승시간을 기준으로 탑승시간과 하승시간을 각각 20분으로 제한한다.
- ③ 부정기공수 지원을 위해 수송기를 지원할 수 있는 기지는 현실과 마찬가지로 2개의 기지로 한정한다.

다. 현재 K-1과 K-16기지에서 수송기를 운영하고 있으며, 각종 공수업무를 지원하고 있다.

- ④ 실제 정비나 시험비행 등에 의하여 운영할 수 없는 수송기도 있을 수 있으나 본 연구에서는 이런 요소들은 고려하지 않고 모형에 투입된 수송기는 정상 가동상태로 가정한다. 즉 지원기지에서 보유하고 있는 수송기는 모두 정상가동상태로 가정한다.

3.2 A형태 수송모형

3.2.1 기호정의

A형태에서 사용되는 변수를 정의하면 다음과 같다.

N : 2개의 지원기지(=1,2) 인원 집결기지(=3), 목적지(=4)로 구성된 지지(node)들의 집합. N={1,2,3,4}

A : 지지와 지지를 잇는 비행구간(arc)의 집합.
A={(i,j) : i,j ∈ N}

k : 수송기 형태(k1, k2, k3)

D_{ij} : i지지와 j지기간의 운항거리

C_k : k기종 수송기의 NM당 연료 유틸비용

R_k : k기종 수송기의 적재능력

P_g : 부정기공수 인원 집결지에서 발생한 수송대상 인원수

H_{sk} : s지원기지에서 보유하고 있는 k형태 수송기 보유대수

X_{ijsk} : 지지 i와 j간에 소요되는 s지원기지 소속의 k형태 수송기 소요대수

3.2.2 수리 모형

가. 목적함수

$$Min Z = \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 C_k (D_{sg} \cdot X_{sgsk} + D_{gb} \cdot X_{gbsk} +$$

$$D_{bg} \cdot X_{bgsk} + D_{bs} \cdot X_{bssk} \quad (3-1)$$

나. 제약조건

(지원기지에서의 수송기 흐름)

$$X_{sgsk} = X_{bssk} \quad (s=1, 2, k=1, 2, 3) \quad (3-2)$$

(인원 집결기지에서의 수송기 흐름)

$$X_{gbsk} = X_{sgsk} + X_{bgsk} \quad (s=1, 2, k=1, 2, 3) \quad (3-3)$$

(목적기지에서의 수송기 흐름)

$$X_{bssk} + X_{bgsk} = X_{gbsk} \quad (s=1, 2, k=1, 2, 3) \quad (3-4)$$

(수송기 대당 일일 운영시간)

$$T_{sgk} \cdot X_{sgsk} + T_{gbk} \cdot X_{gbsk} + T_{bgk} \cdot X_{bgsk} + T_{bssk} \cdot X_{bssk} \\ + 40 \cdot X_{gbsk} \leq 480 \quad (s=1, 2, k=1, 2, 3) \quad (3-5)$$

(수송기 대당 일일 운항횟수)

$$7 \cdot X_{sgsk} - X_{sgsk} - X_{gbsk} - X_{bgsk} - X_{bssk} \geq 0 \\ (s=1, 2, k=1, 2, 3) \quad (3-6)$$

(지원기지의 수송기 보유량)

$$H_{sk} \geq X_{sgsk} \quad (s=1, 2, k=1, 2, 3) \quad (3-7)$$

(수송기 적재용량)

$$\sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 R_{ik} \cdot X_{gbsk} \geq P_g \quad (3-8)$$

(구간별 수송기 소요대수는 정수임)

$$X_{ijsk} \geq 0 \text{ 그리고 정수} \\ ((i,j) \in A, s=1, 2, k=1, 2, 3) \quad (3-9)$$

위 수식을 설명하면 다음과 같다. (식 3-1)은 구간별 소요되는 수송기 대수와 수송기 운행거리를 최소로 하는 운행비용 최소화 목적함수이며, (식 3-2)에서 (식 3-4)까지는 각 기지에서의 수송기 흐름 즉, 수송기가 갈 수 있는 경로를 설정해 준 것을 말한다. (식 3-5)는 수송기 대당 운영시간이 8시간(480분)을 초과하지 말 것을 제한하는 제약식이며, $40 \cdot X_{gbsk}$ 를 한 이유는 인원 집결기지(g)에서 인원이 수

송기에 타는데 20분이 소요되며 목적기지(b)에서 인원이 내리는 데 20분을 합하여 g기지와 b기간 노선에 40분을 할당한 것이다. (식 3-6)은 수송기 대당 일일 운항횟수가 7회 이내여야 한다는 제약식이고, (식 3-7)은 지원기지에서 보유하고 있는 수송기 대수 이내에서 수송기를 지원할 수 있음을 의미한다. (식 3-8)은 인원 집결기지에 모여있는 인원보다 수송기 적재용량이 커야함을 의미하고 (식 3-9)는 기지간 수송기 대수는 정수임을 나타낸다.

3.3 B형태 수송모형

3.3.1 기호정의

B형태에서 사용되는 변수를 정의하면 다음과 같다.

N : 2개의 지원기지와(s=1,2) 인원 집결기지(g=3)

인원 배분기지(b={r : r = 4,5,6,...,n})로 구성된 기지(node)들의 집합.

N={1,2,3,4,...,n} (단, s=1, 2, g=3, b=N-{s,g})

e : 수송기가 인원 집결기지(g)에서 처음으로 간 배분기지를 말하며 수송경로 구분을 위하여 설정하였다. 따라서 배분기지 집합 b의 개수와 e의 개수는 동일하다.

e = {q : q = 4,5,...,n}

P_{ij} : 기지 i와 기지 j간 수송해야할 인원수

RP_g : 인원 집결기지(g)에서 수송을 요하는 인원수

A, k, D_{ij}, C_k, R_k, P_g, H_{sk} 기호는 A형태와 동일함.

X_{ijске} : i, j ∈ N

1 : s지원기지(g)에서 출발하여 인원 집결기지를 거쳐 처음으로 배분기지 e로 갈 k기종 수송기가 기지 i와 기지 j 간에 운항될 경우

0 : 그렇지 않을 경우

X_{ijске}는 0-1 정수 계획법에 의하여 설정된 결정변

수로 비행구간별 수송기 운행여부를 결정해준다. 어느 소속기지, 어느 기종 수송기가 소요되는지 알기 위하여 s, k를 설정해 주었고 수송기 적재용량내에서 경유하는 기지가 결정되도록 e를 설정하였다.

3.3.2 수리 모형

가. 목적함수

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 \sum_{e=4}^n C_k(D_{sg} \cdot X_{egske} + \sum_{(i,j \in b)} D_i \\ & \cdot X_{ijske} + \sum_{b=4}^n D_{bs} \cdot X_{bskse}) + \sum_{b=4}^n D_{gb} \cdot X_{gbkske}(b=e) \end{aligned} \quad (4-1)$$

나. 제약조건

(지원기지에서의 수송기 흐름)

$$X_{egske} = \sum_{b=4}^n X_{bskse} \quad (s=1,2, k=1,2,3, e=4,5,\dots,n) \quad (4-2)$$

(인원 집결기지에서의 수송기 흐름)

$$\begin{aligned} X_{egskc} = X_{gbkske} \quad (b=e, s=1,2, k=1,2,3, \\ b=4,5,\dots,n, e=4,5,\dots,n) \end{aligned} \quad (4-3)$$

(배분기지에서의 수송기 흐름 I)

$$\begin{aligned} X_{grskq} = \sum_{(i \in b-r)} X_{rkskq} + X_{rkskq} \\ (r=q, r \in b, q \in e, s=1,2, k=1,2,3) \end{aligned} \quad (4-4)$$

(배분기지에서의 수송기 흐름 II)

$$\begin{aligned} X_{nrskq} = \sum_{(j \in b-i-r)} X_{ijkskq} + X_{isskq} \\ (i \in b, q \in e, r \in b-i, i \neq q, j \neq q, s=1,2, k=1,2,3) \end{aligned} \quad (4-5)$$

(기지간 반복 운항금지)

$$X_{ijksk} + X_{jiskk} \leq 1 \quad (ij \in b, i \neq e, j \neq e) \quad (4-6)$$

(수송기 필요대수)

$$\sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 \sum_{e=4}^n X_{egske} \cdot R_k \geq RP_s \quad (4-7)$$

(지원기지의 수송기 보유량)

$$\sum_{e=4}^n X_{egske} \leq H_k \quad (s=1,2, k=1,2,3) \quad (4-8)$$

(배분기지에 들어올 수 있는 노선은 한 개 이하)

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 \left(\sum_{(r \in b-i)} \sum_{(q \in e-i)} X_{rkskq} \cdot P_{ri} + X_{giskq} \cdot P_g(i=q) \right) \\ = RP(i \in b) \end{aligned} \quad (4-9)$$

(수송기 대당 일일 운항횟수)

$$\begin{aligned} X_{egske} + X_{gbkske}(b=e) + \sum_{(i,j \in b)} X_{ijske}(j \neq e) + \sum_{b=4}^n X_{bskse} \leq 7 \\ (s=1,2, k=1,2,3, b=4,5,\dots,n, e=4,5,\dots,n) \end{aligned} \quad (4-10)$$

(수송기 적재용량내에서 배분기지 경유)

$$\begin{aligned} X_{egske} \cdot R_k - X_{gbkske} \cdot P_{gb}(b=e) - \sum_{(i,j \in b)} X_{ijske} \cdot P_{ij} \\ - \sum_{b=4}^n X_{bskse} \cdot P_{bs} \geq 0 \quad (j \neq e, b=4,5,\dots,n, e=4,5,\dots,n) \end{aligned} \quad (4-11)$$

위 수식을 설명하면 다음과 같다. (식 4-1)은 구간별 소요되는 수송기 대수와 수송기 운행거리를 최소로 하는 운행비용 최소화 목적함수이며, (식 4-2)에서 (식 4-5)까지는 각 기지에서의 수송기 흐름을 의미한다. (식 4-1)에서 b=e를 한 이유는 e의 의미가 g기지에서 첫 번째로 간 기지를 뜻하기 때문이다. 예를 들어 X₃₄₁₁₅의 경우는 발생하지 않는다. g기지(3)에서 b기지(4)로 수송기가 갔다면 e는 b기지와 같은 4이어야 한다. (식 4-4)는 인원 집결기지에서의 배분기지로 수송기가 갔을 경우 수송기 가용경로를 말하며, (식 4-5)는 배분기지에서의 배분기지로 수송기가 올 경우의 수송기 가용경로를 말한다. (식 4-6)은 같은 비행구간을 1회 이상 운항할 수 없음을 나타내는 제약식이며, (식 4-7)은 소요된 수송기의 총 적재용량은 인원 집결기지에 있는 인원수보다 커야한다는 것을 의미한다. (식 4-8)은 지원기지의 수송기 보유량에 대한 제약조건이고, (식 4-9)는 배분기지에 들어올 수 있는 노선은 1개임을 나타낸다. (식 4-10)은 수송기 대당 일일 운항횟수가 7회 이하여야 한

다는 제약조건이며, (식 4-11)은 수송기가 경유할 수 있는 배분기지의 수는 수송기 적재용량 한도 내에서 결정됨을 말한다. 즉 배분기지의 인원을 분할하여 수송하지 않고 1회에 수송해야 함으로 수송대상 인원이 많을 경우 이를 수송 가능한 적재용량이 큰 수송기가 할당되어 수송임무를 담당하게 됨을 의미한다.

3.4 C형태 수송모형

3.4.1 기호정의

C 형태에서 사용되는 변수를 정의하면 다음과 같다.

N : 2개의 지원기지외($s=1,2$) 인원 집결기지($g=3$),
인원 발생기지($b=r : r = 4,5,6,\dots,n$)로 구성된
기지(node)들의 집합.

$N=(1,2,3,4,\dots,n)$ (단, $s=1, 2, g=3, b=N-(s,g)$)

e : 수송기가 인원 집결지에서 처음으로 간
인원 발생기지를 말하며 수송경로 구분을
위하여 설정하였다. 따라서 인원 발생
기지 집합 b 의 개수와 e 의 개수는 동일
하다. $e = \{q : q = 4,5,\dots,n\}$

P_{ij} : 기지 i 와 기지 j 간 수송해야할 인원수

RP_r : 인원 발생기지(r)에서 인원 집결지지로
수송해야 하는 수송대상 인원수

F_g : 인원 집결기지(g)에 집결할 총 인원수로
인원 발생기지의 수송대상 인원을 모두
합한 값과 같다.

$A, k, D_{ij}, C_k, R_k, P_g, H_{sk}$ 기호는 A형태와 동일함.

$X_{ijске}$: $i, j \in N$

1 : 지원기지에서 출발하여 처음으로 인원 발생
기지 e 로 갈 k 기종 수송기가 기지 i 와 기지
 j 간에 운항될 경우

0 : 그렇지 않을 경우

$X_{ijске}$ 는 0-1 정수 계획법에 의하여 설정된 결정변수로 비행구간별 수송기 운행여부를 결정해준다. s, k, e 를 설정해준 이유는 수송기의 지원기지과 기종, 수송기 적재용량 이내에서의 기지경유를 위해서이다.

3.4.2 수리 모형

가. 목적함수

$$\text{Min } Z = \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 \sum_{e=4}^n C_k \left(\sum_{b=4}^n D_{ib} \cdot X_{ibске} \right) + \sum_{(i,j \in b)} D_{ij} \cdot X_{ijске} + \sum_{b=4}^n D_{bg} \cdot X_{bgске} + X_{gsске} \quad (5-1)$$

나. 제약조건

(지원기지에서의 수송기 흐름)

$$X_{abске} = X_{gsске} \quad (s=1,2, k=1,2,3, e=4,5,\dots,n, b=e) \quad (5-2)$$

(인원 발생기지에서의 수송기 흐름 I)

$$X_{arsקה} = \sum_{(i \in b-r)} X_{riskקה} + X_{rgskקה} \quad (r=q, r \in b, q \in e, s=1,2, k=1,2,3) \quad (5-3)$$

(인원 발생기지에서의 수송기 흐름 II)

$$X_{riskקה} = \sum_{(j \in b-i-r)} X_{ijskקה} + X_{igskקה} \quad (i \in b, q \in e, r \in b-i, i \neq q, j \neq q, s=1,2, k=1,2,3) \quad (5-4)$$

(인원 집결기지에서의 수송기 흐름)

$$\sum_{b=4}^n X_{igskקה} = X_{gsске} \quad (s=1,2, k=1,2,3, e=4,5,\dots,n) \quad (5-5)$$

(기지간 반복 운항금지)

$$X_{ijске} + X_{jiske} \leq 1 \quad (ij \in b, i \neq e, j \neq e) \quad (5-6)$$

(수송기 필요대수)

$$\sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 \sum_{e=4}^n X_{ebске} \cdot R_k \geq \sum_{b=4}^n RP_b(b=e) \quad (5-7)$$

(인원 집결기지에 들어올 수 있는 노선의 개수)

$$\sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 \sum_{b=4}^n \sum_{e=4}^n X_{ksbke} \cdot P_{kg} = F_g \quad (5-8)$$

(지원기지의 수송기 보유량)

$$\sum_{b=4}^n X_{ksbke} \leq H_{kk} \quad (s=1, 2, k=1, 2, 3, b=e) \quad (5-9)$$

(수송기 대당 일일 운항횟수)

$$X_{ksbke}(b=e) + \sum_{(i,j \in b)} X_{ijske}(j \neq e) + \sum_{b=4}^n X_{ksbke} + X_{kgsbke} \leq 7$$

(s=1,2, k=1,2,3, b=4,5,...,n, e=4,5,...,n) (5-10)

(수송기 적재용량내에서 배분기지 경유)

$$R_k \cdot X_{ksbke}(b=e) - \sum_{(i,j \in b)} X_{ijske} \cdot P_{ij} - \sum_{b=4}^n X_{ksbke} \cdot P_{kg} \geq 0$$

(s=1,2, k=1,2,3, b=4,5,...,n, e=4,5,...,n, j \neq e) (5-11)

위 수식을 설명하면 다음과 같다. (식 5-1)은 구간별 소요되는 수송기 대수와 수송기 운행거리를 최소로 하는 운행비용 최소화 목적함수이며, (식 5-2)에서 (식 5-5)까지는 각 기지에서의 수송기 흐름을 의미한다. (식 5-1)에서 b=e를 한 이유는 e의 의미가 s 기지에서 첫 번째로 간 인원 발생기지를 뜻하기 때문이다. (식 5-3)는 지원기지에서 인원 발생기지로 수송기가 갔을 경우 수송기 가용경로를 말하며, (식 5-4)는 인원 발생기지에서 인원 발생기지로 수송기가 올 경우의 수송기 가용경로를 말한다. (식 5-6)은 같은 비행구간을 1회 이상 운항할 수 없음을 나타내는 제약식이며, (식 5-7)은 소요될 수송기의 총 적재용량은 인원 발생기지에 있는 인원수 보다 커야한다는 것을 의미한다. (식 5-8)은 인원 집결기지에 들어올 수 있는 노선은 1개임을 나타내며, (식 5-9)는 지원기지의 수송기 보유량에 관한 제약조건이다. (식 5-10)은 수송기 대당 일일 운항횟수가 7회 이하야 한다는 제약조건이며, (식 5-11)은 수송기가 경유할 수 있는 인원 발생기지의 수는 수송기 적재용량

한도 내에서 결정됨을 의미한다.

4. 수송모형 실행 결과

인원 부정기 공수는 '97년에 세 가지 유형별로 각각 6,910건, 674건, 525건의 사례가 발생하였다. 이중에서 각 형태별로 1건씩을 여기서 추출하여 수학적 모형을 적용하였다. 추출한 사례를 실제사례와 비교하면 건당 수송 인원수나 기지의 수가 비슷하거나 더 작은 것이 선택되었는데 이는 수학적으로 모형에 어떻게 적용할 것인지를 보이는 것에 더 초점을 맞추었기 때문이다.

4.1 A형태

4.1.1 A형태 사례

00년 0월 0일 00부대원 241명을 K-59기지에서 K-40기지로 수송하기 위하여 K-1기지의 k1기종 2대, k3기종 2대가 투입된 사례가 있다. 이 사례를 3장에서 연구한 수송모형으로 수송하기 위하여 사례에 적용된 초기자료를 살펴보면 다음과 같다.

지원기지는 K-1과 K-16기지 2곳이며, 수송기 보유대수는 K-1기지가 k1, k2, k3 기종을 각각 8대 보유하고 있으며, K-16기지는 k1, k2기종을 각각 8대 보유하고 있고 k3기종은 보유하고 있지 않다. 기종별 공수능력은 k1기종이 114명, k2기종이 92명, k3기종이 40명이며, 기종별 NM당 연료 유류비용은 k1기종과 k2기종은 \$36.64이고 k3기종은 \$7.32이다. 비행구간별 운항거리 및 소요시간은 <표 4-1>과 같다. <표 4-1>에서 0으로 된 대각선 우측 상단 부분이 거리이며 좌측 하단 부분이 기종별 운항 소요시간이다. 이 초기자료를 수송모형에도 같이 적용하여 수

송비용 절감효과를 살펴본다.

<표 4-1> A형태 적용 운항거리 및 소요시간
단위 : 소요시간(분) \ 거리(NM)

구분	기종	K-1	K-16	K-59	K-40
K-1	k1, k2	0	180	124	157
	k3				
K-16	k1, k2	52	0	48	243
	k3	62			
K-59	k1, k2	41	25	0	234
	k3	47	28		
K-40	k1, k2	47	65	62	0
	k3	56	78	76	

4.1.2 A형태 수송모형 실행결과

A형태 사례를 3장에서 연구한 수송모형으로 수송한 결과는 <표 4-2>와 같다.

<표 4-2> A형태 수송결과

구분	소요대수	수송경로
A형태 사례	K-1기지	K-1 → K-59 → K-40 → K-1
	k1(2대)	
	k3(1대)	
A형태 수송 모형	K-1기지	K-1 → K-59 → K-40 → K-1
	k3(1대)	
	K-1기지 k3(3대)	

<표 4-2>의 수송결과를 보면 A형태 실제사례에서는 K-1기지에서 k1기종 2대와 k3기종 1대가 투입되어 일시에 같은 수송경로로 인원을 수송하였다. 그러나 A형태 수송모형을 적용한 결과, K-1지원기지에서 k3기종 4대가 출발하여 K-59기지에서 적재용량에 맞게 인원 160명(404=160)을 싣고 K-40기지로 수송한 다음 다시 k3기종 3대가 K-59기지로 되돌아 와서 나머지 인원 81명(241-160=81)을 싣고 K-40기지에 수송하는 것을 알 수 있다. 즉 K-1지원

기지에서 출발한 k3기종 4대중 3대는 수송경로가 같고 1대는 다른 수송경로를 가진다. 수송임무를 마친 수송기는 모두 소속 지원기지로 귀환한다. 사례에서 소요된 수송비는 \$41,509.00이고 수송모형으로 수송한 수송비는 \$25,356.48이다. 수송모형 실행결과 값이 A형태 사례에 소요된 수송비용의 61%(약 39%의 절감효과)밖에 소요가 안되고 있으므로 수송비용이 현저히 감소됨을 알 수 있다.

4.2 B형태

4.2.1 B형태 사례

00년 0월 0일 사격대회를 마친 4개 기지 72명을 K-1기지의 k3기종 수송기 2대를 투입하여 본 기지로 귀환시킨 사례가 있다. 사격대회가 열린 기지는 K-4기지이고 인원 배분기지는 4개 기지 (K-55, K-18, K-59, K-46)이었다. K-4기지에 모여있는 72명을 4개 기지로 배분하였고 각 기지당 18명을 수송하였다. B형태 사례에 적용된 초기자료를 살펴보면 지원기지, 지원기지별 수송기 보유대수, 수송기 기종별 적재용량, NM당 유틸비용은 A형태 사례에 적용된 자료와 같으며, 구간별 운항속도는 <표 4-3>과 같다.

<표 4-4> B 형태 수송결과

구분	소요대수	수송경로
B형태 사례	K-1기지 k3(1대)	K-1 → K-4 → K-55 → K-18 → K-1
	K-1기지 k3(1대)	K-1 → K-4 → K-59 → K-46 → K-1
B형태 수송 모형	K-1기지 k3(1대)	K-1 → K-4 → K-55 → K-59 → K-1
	K-1기지 k3(1대)	K-1 → K-4 → K-46 → K-18 → K-1

<표 4-3> 비행구간별 운항거리

(단위 : NM)

	K-1	K-16	K-59	K-2	K-18	K-58	K-75	K-4	K-55	K-46
K-1	0	180	124	50	206	122	154	44	155	175
K-16	180	0	48	130	99	90	53	209	30	51
K-59	124	48	0	74	137	135	101	169	28	99
K-2	50	130	74	0	158	105	137	97	105	176
K-18	206	99	137	158	0	183	142	290	109	52
K-58	122	90	135	105	183	0	34	50	35	44
K-75	154	53	101	137	142	34	0	57	30	37
K-4	44	209	169	97	290	50	57	0	179	222
K-55	155	30	28	105	109	35	30	179	0	71
K-46	175	51	99	176	52	44	37	222	71	0

<표 4-5> C형태 수송결과

구분	소요비용	소요대수	수송경로
C형태 사례	\$21,873.12	K-16기지 k2기종(1대)	K-16→K-18→K-75→K-59→K-16
		K-1기지 k3기종(2대)	K-1→K-2→K-59→K-58→K-59→K-1
C형태 수송모형	\$10,797.00	K-1기지 k3기종(1대)	K-1 → K-2 → K-59 → K-1
		K-1기지 k3기종(1대)	K-1 → K-18 → K-59 → K-1
		K-1기지 k3기종(1대)	K-1 → K-58 → K-59 → K-1
		K-1기지 k3기종(1대)	K-1 → K-75 → K-59 → K-1

4.2.2 B형태 수송모형 실행결과

B형태 사례를 3장에서 연구한 수송모형으로 수송한 결과는 <표 4-4>와 같다. <표 4-4>의 수송결과를 보면 B형태 사례와 B형태 수송모형 모두 K-1기지의 k3기종 2대로 수송하였으며 수송경로는 각각 다르다. B형태 사례의 수송비용은 \$7,503.00이고 B형태 수송모형의 수송비용은 \$6,580.68이었다. 약 8%의 절감효과를 가져왔다.

4.3 C형태

4.3.1 C형태 사례

00년 0월 0일 00부대원이 비행단 현장교육을 마치고 소속부대로 귀환하는 것을 K-16기지의 k2기종 1대와 K-1기지의 k3기종 2대의 수송기를 투입하여 수송시킨 사례가 있다. 4개기지(K-2, K-18, K-58, K-75)에 흩어져 있는 136명의 인원을 K-59기지로 집결시킨 것으로 각 기지에 있는 수송대상 인원은 34명으로 모두 같았다. C형태 사례에 적용된 초기자료를 살펴보면 지원기지, 지원기지별 수송기 보유대수, 수송기 기종별 적재용량, NM당 유류비용은 A형태 사례에 적용된 자료와 같으며, 구간별 운항속도는 <표 4-3>과 같다.

4.3.2 C형태 수송모형 실행결과

C형태 사례를 3장에서 연구한 수송모형으로 수송한 결과는 <표 4-5>와 같다. <표 4-5>의 수송결과를 보면 C형태 사례는 K-1기지의 k2기종 1대와 k3기종 2대가 소요되었고 C형태 수송모형은 K-1기지의 k3기종 4대가 소요되었다. C형태 사례의 수송비용은 \$7,583.52이고 C형태 수송모형의 수송비용은 \$10,797.00이었다. 약 51%의 절감효과를 가져왔다.

4.4 소 결론

현실에 적용 가능한 수송 기법을 개발하고자 97년 부정기공수 인원 수송 실적을 근거로 부정기공수 수송형태를 A, B, C 세 가지 형태로 구분하였다. A형태는 공수대상 인원을 한 지점에서 다른 한 지점으로 수송하는 형태로 수송대상 인원이 있는 인원 집결지와 수송대상 인원을 수송하여 내려주어야 하는 목적지지가 각각 단일인 경우이다. B형태는 한 기지에 인원이 집결되어 있고 이 집결된 인원을 각 기지로 배분해야 하는 경우이다. C형태는 B형태와 반대로 여러 기지에 있는 인원을 하나의 집결지지로 수송하는 형태이다.

세 가지 수송형태가 97년 부정기공수 인원 수송 실적 중 82%를 차지하고 있어 연구대상으로 설정하였다. 세 종류의 수송형태에 대하여 최소비용으로 수송할 수 있는 수송모형을 구성하였고 연구효과를 증명하기 위하여 수송형태별로 실제 사례를 발췌하여 실증분석을 시도하였다. 수송모형 구성에 있어 A, B, C형태 수송모형 모두 지원기지에서 출발한 수송기는 소속 지원지지로 귀환하도록 제약조건에 경로 설정을 하였고, 제한된 시간과 운항횟수¹ 내에서(공군규정에 의거) 수송기가 운영될 수 있도록 하였으며, 적재용량을 초과하여 수송할 수 없도록 제

약조건을 설정하였다. A형태 수송모형의 경우 인원 집결지와 목적지지 사이를 여러 번 방문할 수 있도록 경로를 설정하여 일시에 수송할 필요가 없는 임무에 적용토록 하였다. B, C형태 수송모형의 경우 수송대상 기지를 수송기가 1회 방문하여 수송 요구 인원을 수송하도록 하였다. 따라서 B, C형태의 수송모형의 경우 최대 필요한 수송기 대수는 수송대상 지 수와 동일하다.

수송모형을 선형계획 모형으로 구성하여 해법 패키지인 GAMS[8]를 실행해 본 결과 A형태의 경우 실제 사례에 소요된 수송비용보다 39% 절감하였으며, B형태의 경우는 8%, C형태의 경우는 51%를 절감하였다. 구축된 수송모형이 부정기공수 수송비용을 최소화하는데 효과적임을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 현재 공군에서 운영하고 있는 병참공수중 부정기공수를 대상으로 부정기공수 운영에 따른 비용의 최소화 방안을 모색하였다. 이러한 연구의 배경은 1993년부터 1997년까지 5개년도 인원공수 실적에서 부정기공수 실적이 차지하는 비율이 평균 약 49%에 이르고 있어 부정기공수의 효율적 운영으로 경제적 비용절감 효과를 얻고자 했기 때문이다. 그러나 수송모형 연구에서는 다음과 같은 한계점이 도출되었다.

첫째, 연구된 수송모형으로 A, B, C 수송형태의 실제 사례를 수송한 결과 비용 면에서는 상당한 절감효과가 있었지만 k3기종 수송기만이 소요되는 결과를 초래했다. 이는 k3기종 수송기의 유류소모량이 k1, k2기종 수송기의 20%에 불과하기 때문인데 수송거리가 5배 이상 차이가 나지 않는 한 연구된 수

송모형으로 어떠한 수송문제를 실행해도 k3기종 수송기만이 소요될 것이다. 따라서 공군 내에서는 특정 수송기만을 운영하게 되는 한계점이 있다.

둘째, 97년의 경우 부정기공수 운영 실적 중 인원과 화물이 동반하여 수송된 인원이 9,893명중 1,959명으로 20%에 달하고 있는데 이처럼 인원과 화물을 동시에 수송해야 하는 경우 연구된 수송모형으로는 해결하기 어렵고 추가적 연구가 요구된다.

셋째, B, C 수송형태의 경우 본 연구에서는 수송대상 기지를 수송기가 1회 방문하여 수송 요구인원을 수송하도록 하였다. 따라서 최대한 필요한 수송기 대수는 수송대상 기지 수와 동일하게 된다. 그러나 수송대상 기지 중 적재용량이 제일 큰 수송기로 1회 이상 수송대상 기지를 방문하여야 수송이 가능한 경우 연구된 B, C 형태 수송모형을 적용하기는 어렵다. 이러한 경우는 발생빈도가 낮지만(97년 인원 부정기공수 실적에서는 한 건도 발생하지 않았다) 이러한 상황도 포함될 수 있는 수송모형 설립이 요구된다.

넷째, 수송비용 산출 시 수송기 운항고도, 속도 등에 따라 유류소모량이 다를 수 있으나 본 수송모형은 이러한 여러 사항을 고려하지 못했다.

특정 기종 수송기에 임무가 편중되는 문제로 인해 수송기 기종별로 가중치를 부여하여 적절하게 임무를 분산시킬 수 있는 방법이 요구되고, 향후 발전 사항으로 위와 같은 수송모형 적용의 한계점을 극복할 수 있는 수송모형을 구축한다면 공군 부정기공수 운영에 유익하게 사용될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] 공군본부, 「항공수송」, (대전:공군교범 6-171(1),

1993).

- [2] 공군본부, “96년 정기공수 운영계획”, 군수처, 1996.
- [3] 공군본부, “98년 정기공수 운영계획”, 군수처, 1998.
- [4] 공군 군수사령부, “97년 업무분석 통보”, 수송전대, 1998.
- [5] 공군 군수사령부, “전반기 부정기공수 신청 및 지원실적보고”, 수송전대, 1997.
- [6] 송성현·박순달, “배차문제:연구현황과 전망”, 「한국군사운영분석학회지」, 제12권 제2호, 1986, pp.37-49.
- [7] 양병희·이영해, “다목적 최적화를 고려한 배차 계획 시스템”, 「한국경영과학회지」, 제19권 제3호, 1994, p.67.
- [8] A. Brooke, D. Kendrick, and A. Meeraus, GAMS, Boyd & Fraser Publishing Company, 1992.

[99년 1월 6일 접수, 99년 4월 16일 최종수정]