

# 군 수송기 운영 효율성 제고를 위한 최적경로 연구

김승기<sup>1</sup> · 이문걸<sup>1†</sup> · 이현수<sup>2</sup>

<sup>1</sup>국방대학교 운영분석학과, <sup>2</sup>금오공과대학교 산업공학부

## Effective Route Scheduling for Military Cargo-Plane Operation

Seung-Ki Kim<sup>1</sup> · Moon-Gul Lee<sup>1†</sup> · Hyun-Soo Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Operations Research, Korea National Defence University(KNDU)

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

### ■ Abstract ■

A scheduled airlift is the most critical part of the air transportation operations in ROK Air Force. The military cargo-plane routing problem is a PDPLS (pickup and delivery problem in which load splits and node revisits are allowed). The cargo which is transported by a military cargo-plane is measured in pallet. The efficiency of pallet needs to be considered with respect to its volume and weight. There are some guidelines about orders of priorities and regulations in the military air transportation. However, there are no methodologies which can raise the efficiency of flight scheduling using Operations Research (OR) theories. This research proposes the effective computing methodology and the related heuristic algorithms that can maximize the effectiveness of the path routing model.

Keywords : PDPLS, Vehicle Routing Problem, Heuristic Algorithm

## 1. 서 론

현재 군에서 이루어지고 있는 항공수송은 여러 가지 형태가 존재하지만 가장 많은 화물수송이 이루어

어지고 있으며 전시에 가장 중요한 항공 수단은 공군에서 이루어지고 있는 정기/부정기 공수라고 할 수 있다. 공군에서 이루어지고 있는 항공 수송은 규정상에 우선순위 등의 규정지침은 존재하지만 효

논문접수일 : 2015년 10월 12일

논문게재확정일 : 2015년 12월 22일

논문수정일 : 2015년 11월 05일

† 교신저자, [bombslee@naver.com](mailto:bombslee@naver.com)

율성 측정에 있어 명확한 기준이 없는 것이 현실이다. 현재는 스케줄링 담당자가 여러 고려사항들을 토대로 수기 식으로 화물운송계획을 수립하고 있다. 이에 따른 일부 요소의 누락 가능성이 상존하고 화물운송의 효율성을 정확히 측정하고 평가할 도구가 없는 것이 현실이다.

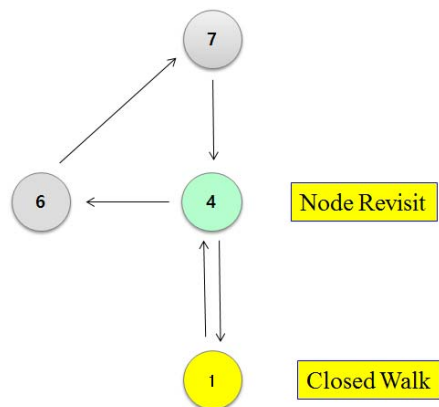
정기 공수의 경우 연단위로 계획이 수립되며, 전년도 화물 수송량을 토대로 수립하고 있으나 과학적 기법이나 효율성 평가 척도가 수립되어 있지 않아 계획의 적절성 검증에 어려움이 있는 것이 현실이다. 또한 감사원 기관감사(2014. 3. 10~4. 2)시 항공기 특성에 따른 효율성 산출요소(중량, 부피, 팔레트 등) 선정 및 노선/구간에 대한 과학적 분석을 통한 정기공수 운영계획 수립을 권고 받은바 있다. 이에 따라 본 연구에서는 과학적, 전문적인 운영분석 방법으로 정기공수 운영계획을 분석하고 항공기 특성에 따른 효율성 산출요소(중량, 부피, 팔레트 등)를 선정 하고자 한다. 또한 수송 계획 수립을 위한 알고리즘과 이를 활용한 프로그램을 활용하여 최적화된 운영계획이 이루어지도록 지원하고자 하였다.

## 2. 기존연구 및 군 수송기 문제의 특징

Aksoy and Kapanoğlu[1]는 터키 공군의 수송문제를 해결하기 위해 4개의 기지 3개의 기종을 고려한 작은 모델을 개발했으나 지점 재방문이나 Load Split은 불가능하였다. Beraldi et al.[2]는 local Search를 활용한 heuristic을 활용하여 여러 종류의 차량이 사용 가능한 Vehicle Pickup and Delivery Problem을 적용하였으나 역시 지점의 재방문 및 Load Split은 고려되지 않았다. Koulaeian et al.[7]는 Multi Vehicle Pickup and Delivery Problem 중 Single Hub로 물품이 모아지는 특수한 경우를 산정하여 Column Generation을 통한 알고리즘을 적용하였다. 하지만 지점 재방문이나 Load Split은 불가능함을 가정하였고 Single Hub로 모아지는 특수한 경우를 한정하여 연구를 진행하였다. Stefan

[10]는 동시에 pickup and Delivery가 가능한 상황에서 운전자를 할당하는 문제를 ICA(Imperialist Competitive Algorithm)과 GA(Genetic Algorithm)를 활용하여 연구하였다. Park and Lee[8]는 지점 재방문과 Load Split이 가능한 Pickup and Delivery Problem을 연구하였으며 열생성 기법을 적용하여 문제를 개선하고 하였다. 하지만 단일 기종을 가정하여 연구를 진행하였다. 기존연구에서 보듯 군 수송기 문제는 기존연구에서 다루어진 가정 뿐 아니라 지점 재방문과 Load Split이 가능한 아주 난해한 문제로서 현재까지의 연구사례는 거의 없는 실정이다.

군 수송기 경로는 주단위의 계획이 고정되어 있으며 경로는 지점 재방문이 가능하며 화물의 분리수송 또한 가능하다. Vehicle Pickup and Delivery Problem 중 지점 재방문(Node Revisit)이 가능하며 기종은 한 개 기종이 아닌 2가지의 기종이 출발하는 형태를 가진 문제로 귀결되며, 복잡도면에서 볼 때 NP-hard 타입의 문제에 해당한다. 이 문제가 NP-hard임은 보이기 위해서는 먼저, 각 지점의 수요 중 어떤 한 지점을 Pickup 수요로 고정하고 나머지 지점은 Delivery 수요로 두면, Dror and Trudeau [4]에 의해 NP-hard 문제로 증명된, 즉, SDVRP (Split Delivery VRP) 문제로 다항변환이 되는



<Figure 1> Example of Military Cargo Transport Path

PDPSSL의 특별한 경우로 고려되어진다. 따라서 이 문제는 NP-hard이다.

<Figure 1>에서 보듯 수송기는 1번 기지를 출발하여 4번-6번-7번-4번(재방문)-1번 기지의 경로를 갖는다. 즉 출발한 모기지로 다시 돌아와야 하며(Closed Walk) 지점 재방문이 가능하고 도착한 어느 기지에서나 화물의 적재 및 하역(Load Split)이 가능한 문제임을 알 수 있다.

### 3. 군 수송기 효율성 척도 연구

#### 3.1 적재기준 및 효율관련 기존연구

Fok et al.[5]는 적재계획의 중요성을 언급하며 화물항공기의 적재계획과 적재방법 개선은 효율성을 높이고 비즈니스 성과를 향상 시킨다고 보았다. 적재 가용공간을 고려한 최적의 적재방법을 탐색하면서 안전판단 및 확보를 위해서는 중량(weights), 용적(volume), 균형/안전(load balancing)이 중요함을 언급하였다. Brosh[3]의 연구에서는 중량(weights), 용적(volume), 구조적 제한/안전(structural constraints)을 고려한 알고리즘을 언급하였다. 군사 작전에 있어서는 Gueret et al.[6], Rappoport et al. [9]의 연구에서 군사운영의 효율성은 효율성뿐만 아니라 효과성을 동시에 고려한 적재기준 및 방법의 고려가 필요하며 비용절감도 중요하지만 임무수행 및 임무완수에 중점을 두어야 함이 강조된다. 기존의 연구에서는 어느 특정 항공기 효율성의 구체적인 판단보다는 효율성의 방법론을 일반적으로 제시하였다. 그러나 본 연구의 가장 큰 목적은 일선에서 사용이 가능한 구체적인 효율성 척도의 제시이기 때문에 이러한 기존연구들을 토대로 팔레트 단위로 수송이 이루어지는 군 수송기에 있어서 가장 효율적인 대안이 무엇인가를 제시하여 보고자 한다. 평시 상황에서의 효율성이란 적은 비용으로 효율적인 노선을 통해 화물수송량을 극대화 하는 것을 말하며 전시상황에서의 효율성은 필요한 곳에 가장 적시 적으로 필요한 물품을 공급하는 것이 될

것이다. 본 논문에서는 평시 상황을 고려하여 경제적 효율성을 고려한다.

#### 3.2 군 수송기 효율성 적용가능 척도 제시

공군은 공군교범을 통해 적재우선 순위를 제시하고 있고 항공기의 무게중심과 최대 능력치를 기준으로 안전을 고려할 것을 명시하고 있다. 이에 따라 공군 항공 수송을 담당하는 60수송전대에서는 항공기 최대 능력치의 80%를 기준으로 제한치를 설정하고 있다. 공군 수송기의 기종으로는 C-130 항공기와 CN-235 항공기가 있으며 각각의 항공기는 팔레트 탑재 능력과 제한치에 있어 차이를 보인다. <Table 1>과 <Table 2>는 공군 수송기 기종별 무게 제한치와 용적 제한치, 팔레트 탑재능력을 나타낸다.

<Table 1> Safe Loading Capacity Standards (Weight)

Type of aircraft	Max loading weight	Safe loading weight(80%)	A pallet load weight
C-130 (5 pallets)	40,000 LBS (18.14 ton)	32,000 LBS (14.51 ton)	6,400 LBS (2.90 ton)
CN-235 (2 pallets)	11,000 LBS (4.98 ton)	8,800 LBS (3.99 ton)	4,400 LBS (1.99 ton)

<Table 2> Safe Loading Capacity Standards (Volume)

Type of aircraft	Max loading volume	Safe loading volume(80%)
C-130 (5 pallets)	260×210×230/28316.8 = 443m <sup>3</sup>	354m <sup>3</sup>
CN-235 (2 pallets)	260×210×150/28316.8 = 289m <sup>3</sup>	231m <sup>3</sup>

이러한 일반적인 제한치가 제시되어 있고 효율성 평가 시에 중량, 팔레트를 기준으로 하고 있지만 정확한 효율성 산출기준은 명시하고 있지 않다. 사실상 효율성에 대한 평가 척도가 명확치 않은 상태이다. 군 수송기의 적재효율성을 제고하기 위해서

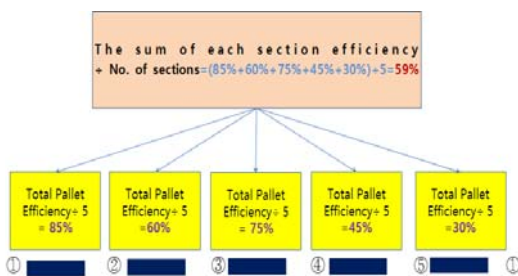
는 중량/용적 허용한계와 항공안전, 항공지원 능력, 인원/화물우선순위를 종합적으로 고려하여, 논리적이고 타당한 적재 효율성 판단기준 정립 및 발전 필요한 상태이다. 본 연구에서는 가장 일반적이며 군에 적용할 수 있는 효율성의 척도로서 기술적 효율성을 제안하며 현재 군에서 기준하는 중량과 용적을 동시에 고려하여 그 효율성을 평가하고자 한다.

본 논문에서 사용하는 효율성 평가 기준은 다음과 같다.

- 1) 항공기 적재의 기술적 최대 가용능력 대비 해당 항공기의 적재량(%) 계산
- 2) 팔레트 단위의 최대 적재량 대비 현재 적재량(%)을 계산
- 3) 중량과 용적을 동시에 고려하되 최대 허용 범위는 공군의 기준을 따라 고려(최대 80%)

• 효율성 평가의 예시

이를 통하여 계산되는 효율성 평가는 다음 절차를 따라 진행된다. 각 노선의 경로 해를 기준으로 기종별로 구간별 선적된 팔레트의 효율성의 평균을 구하고 전체 구간의 효율성의 합에서 구간수를 나눈다(<Figure 2> 참조). 이를 통해 전체 구간에서의 효율성을 산출하게 된다.



<Figure 2> Example of Efficiency Rating

<Figure 2>는 총 5개의 팔레트 탑재가 가능한 C-130 항공기를 가정하여 효율성 평가의 예시를 보여주고 있다. 이러한 효율성 평가를 통하여 각 구간별 효율성의 합을 경유 구간의 수로 나누어 줌으로써 해당 노선의 효율성을 산출하게 된다.

## 4. 운항노선 계획수립 방법론 연구

### 4.1 방법론 연구 고려사항

• 목표

이동거리는 최소화하면서 효율성을 최대화하는 노선(경로)을 구한다.

• 입력값

기지의 위치좌표, 기지 간 화물운송 실적(운송요청량)이 필요하며 이중 항공기(C-130, CN-235)가 운용됨을 고려한다. 최대 방문회수를 설정(최대 6회)하고 기종 별 최대 적재 중량 및 용적, 팔레트 수를 입력한다.

• 제약조건

- 1) 모기지(김해)에서 출발하여 여러 지점을 경유한 후 모기지로 복귀한다.
- 2) 항공기 화물 적재시 팔레트 단위 최대 중량 또는 부피를 초과하면 안 된다.
- 3) 기종별 최대 팔레트 적재수량을 초과 할 수 없으며 Repacking은 제한된다.
- 3) 노선 길이 제약은 1회 비행 시 최대 이·착륙횟수는 6회 이내여야 한다.
- 4) 모든 기지의 운송 요청량을 충족시켜야 한다.

### 4.2 용어정의 및 수리 모형구성

PDPLS는 완전호 그래프  $G = (V, E)$  상에 다음과 같이 정의된다. 여기서  $V = \{0, 1, \dots, n\}$ 는 지점의 집합이고  $E = \{ij | i, j \in V, i \neq j\}$ 는 호의 집합이다. 호  $ij$  상의 비음 가중치  $c_{ij}$ 는 지점  $i$ 와 지점  $j$  간의 거리를 의미한다.  $H$ 를 화물(또는 운송요청)의 집합이라고 하자. 각 운송 요청  $h$ 의 수집지, 배달지 그리고 운송량으로 구성된  $(o_h, d_h, l_h)$ 로 나타낸다. 그리고 용량  $Q$ 를 갖는 동일한 항공기의 집합  $K$ 가 존재한다. 그러면 PDPLS는 총 이동거리를 최소화하고 다음의 제약조건을 만족하는 Closed walk과 경

로위의 운송량으로 구성된 경로의 집합을 찾는 것이다[8].

- (i) 모든 운송 요청량은 충족되어야 하고 각 운송량은 분리될 수 있다.
- (ii) 각 항공기는 출발지점 0에서 출발하고 다시 돌아온다. 경로 이동시 이착륙은 L번 이하로 제한된다.
- (iii) 이동 중에 각 항공기는 동일한 지점을 재방문할 수 있고 운송량은 항상 Q 이내이다.

closed walk을 수반하며 지점의 재방문을 허용하므로 어떠한 구체적인 IP 수식도 존재하지 않는다. 따라서 출발지에서 출발하여 출발지로 돌아오는 closed walk의 집합 W를 이용하여 함축적으로 지점 재방문을 모형화 한다. 이를 구현하기 위해서는  $w \in W$ 에 관한 몇 가지 표기법을 정의한다.  $c_w$ 와  $E_w$ 는 각각 w의 이동거리와 호의 집합이다. 운송요청  $h \in H$ 에 대해  $I_{wh}, h_w$ , 그리고  $E_{whi}$ 는 각각 만일 w가  $o_h, d_h$ 를 순차적으로 적어도 1 이상 포함하고 있으면 1, 아니면 0인 지시값을, w 상에서  $o_h$ 에서  $d_h$ 로의 subwalk 수를, 그리고 i번째 subwalk 호의 집합을 나타낸다(만일  $I_{wh} = 0$ 이면,  $h_w = 0$ 이고  $E_{whi} = \emptyset$ ). 결정변수  $x_w^k$ 는 만일 k번째 항공기가 w를 사용하면 1, 그렇지 않으면 0으로 설정되는 이진변수이다.  $y_{wh}^k$ 와  $y_{whi}^k$ 는 각각, k번째 항공기가 운송하는 w를 통해 운송되는 운송 요청 h의 운송량을 나타낸다. 그리고 여기서 i번째 subwalk을 이용하는 것을 나타낸다. 따라서  $y_{wh}^k = \sum_{i=1}^{h_w} y_{whi}^k$ 의 수식이 성립되며 그러면 PDPLS는 아래와 같이 수식화 될 수 있다.

군 수송기 경로 문제의 목적식 및 제약조건은 다음과 같으며, Park and Lee[8]의 수리모형을 기본으로 제시하였다.

$$(MIP) \min = \sum_{k=1}^K \sum_{w \in W} c_w x_w^k \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{k=1}^K \sum_{w \in W} h_{wh}^k = l_h, \quad \forall h \in H \quad (2)$$

$$c_w x_w^k \leq L, \quad k = 1, 2, \dots, k, \quad \forall w \in W \quad (3)$$

$$\sum_{h,i:e \in E_{wh}} y_{whi}^k \leq Q, \quad k = 1, 2, \dots, k, \quad \forall w \in W \quad (4)$$

$$\forall e \in E(w)$$

$$k = 1, 2, \dots, k$$

$$y_{whi}^k \leq I_{wh} l_h, \quad \forall w \in W, \quad \forall h \in H, \quad (5)$$

$$i = 1, 3, \dots, h_w$$

$$\sum_{i=1}^{h_w} y_{whi}^k = y_{wh}^k, \quad k = 1, 2, \dots, k, \quad \forall h \in H \quad (6)$$

$$x_w^k \in \{0, 1\}, \quad k = 1, 2, \dots, k, \quad \forall w \in W \quad (7)$$

$$k = 1, 2, \dots, k$$

$$y_{whi}^k \geq 0, \quad \forall w \in W, \quad \forall h \in H, \quad (8)$$

$$i = 1, 3, \dots, h_w$$

본 모형의 목적함수는 사용된 경로들의 이동거리의 합을 최소화하는 것이다. 제약식 (2), (3), (4)는 각각 조건 (i), (ii)와 (iii)을 반영한 것이고 제약식 (5)는 경로에서 closed walk과 운송량간의 실행 가능성을 나타낸다.

### 4.3 경로생성 휴리스틱 및 알고리즘 연구

지역탐색을 통하여 현재 해를 기준으로 이웃해의 탐색을 통해 가장 효율성이 높은 가능한 경로(노선)을 탐색한다. 반복 단계에서 다양한 경로를 생성하고 이 중 가장 좋은 경로를 찾아 고정해 가면서 모든 운송 요청량을 충족할 때 까지 수송기의 경로 해를 찾는 방법이다. 본 논문에서 연구한 휴리스틱 알고리즘은 Local Search에 기반한다. 2-Opt 및 Or-Opt 기법을 사용하며 Pseudo code 및 구성도는 <Figure 3>과 같다.

- 기지 이동(이웃해) 기준

Notation

$N$  Next base priorities(최댓값을 가지는 지점)

$i, j \in B$  Airbase set

$W_{ij}$  i 기지에서 j 기지로 이동하는 화물의 총 적재  
중량

$V_{ij}$  i 기지에서 j 기지로 이동하는 화물의 총 적재  
용적

max  $W$  항공기 탑재가능 총 중량

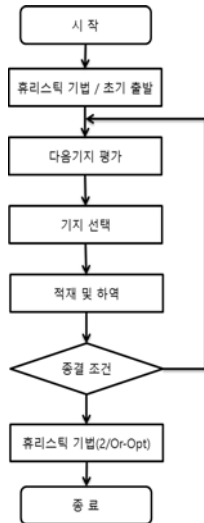
max  $V$  항공기 탑재가능 총 용적

$C_{i,j}$  i 기지에서 j 기지까지의 거리

$$N = \frac{\max(\frac{W_{ij}}{\max W}, \frac{V_{ij}}{\max V})}{C_{ij}}$$

```

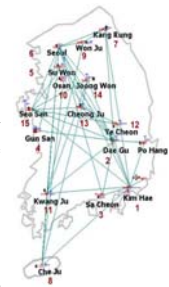
Main()
{
  initial_Route();
  initial_Base start();
  saving_heuristic_initial();
  fitting();
  next base evaluation();
  while(satisfy or not)
  {
    selection();
    loading();
    unloading();
    all request confirmed();
  }
  heuristic();
  2-Opt();
  Or-Opt();
  show_result();
}
    
```



<Figure 3> Algorithm Configuration

휴리스틱 기법을 활용하여 이웃해(이동 기지)를 결정하되 우선순위는 거리는 최소화 하면서 중량 또는 용적을 최대로 실을 수 있는 기지를 선정하여 이동한다. 공군은 한 번의 운항노선에서 이착륙 횟수를 제한하고 있으므로 정해진 최대 이착륙 횟수에 의해 방문 기지수는 제약되며 물론 항공기의 최대 탑재 중량이나 용적을 넘을 수 없다. 또한 가용 항공기의 총 대수는 넘을 수 없으며 모든 운송 요청량을 운송해야 한다는 제약조건이 있다. <Figure 4>에서 보듯 기지간의 위치좌표는 모기지(김해)를 기준으로 직선거리로 간주한다.

base	coord.	base	coord.	base	coord.
1(depot)	0 0	6	-5 8.2	11	-5.6 -0.4
2	-1.2 2.8	7	-1.8 9.3	12	-1 3.7
3	-2 -0.6	8	-6 -4.8	13	-3.5 4.7
4	-6.3 3.3	9	-3.2 8.6	14	-3 6.3
5	-5 7	10	-4.7 6.4	15	-7 4.5



<Figure 4> The Relative Position between the Bases

● 알고리즘의 진행

1) 입력값 설정

Parameter Setting(제한값의 작성)

maxVisit = 6; (최대 이착륙)

maxc130 = 4; (C-130 항공기 수)

maxc235 = 10; (CN-235 항공기 수)

Pallet Capacity Setting

lbsCapacityc130 = 6400\*5;

volumeCapacityc130 = 354\*5;

(팔레트 능력/C-130)

lbsCapacityc235 = 4400\*2;

volumeCapacityc235 = 231\*2;

(팔레트 능력/CN-235)

Route의 초기화

visitCount = 0;

currentLoad = 0; currentVolume = 0;

startingVar = 1; (각 노선, 적재/하역량 초기화)

2) 기지 i를 기준으로 다음 방문기지 j의 우선순위 설정(거리대비 물량/용적 대비 효율성이 높은 순)

$$(N = \frac{\max(\frac{W_{ij}}{\max W}, \frac{V_{ij}}{\max V})}{C_{ij}})$$

for j = 1 : n(전체 방문가능 기지)

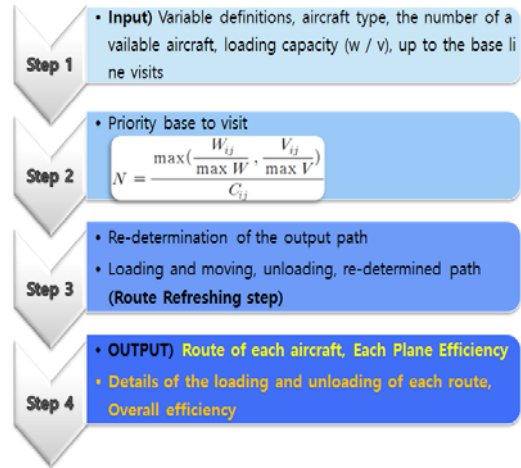
if (d(ii, j) == 0)

calMatrix = [calMatrix 0];

```

else
    calMatrix = [calMatrix max(lbs(ii, j)/d(ii, j),
                            vol3(ii, j)/d(ii, j));
end;
end;
end;
Determination of Loading lbs/volume
possibleLoad1 = lbsCapacityc130
                -currentLoad-lbs(ii, calIndex);
possibleLoad2 = volumeCapacityc130
                -currentVolume-vol3(ii, calIndex);
if(possibleLoad1 >= 0) && (possibleLoad2 >= 0)
    (무게와 부피 측면에서 모두 가능한 경우)
elseif (possibleLoad1 > 0) && (possibleLoad2 < 0)
    (무게는 가능하나 부피가 초과되는 경우)
elseif (possibleLoad1 < 0) && (possibleLoad2 > 0)
    (부피는 가능하나 무게가 초과되는 경우)
Else (부피와 무게 모두 초과되는 경우)
    
```

- 3) 목적함수와 조건들을 만족시키는 초기해 산출
  - 조건 1 : 최대 이착륙 제한
  - 조건 2 : 중량 및 부피 제한
  - 조건 3 : 모든 운송 요청량의 충족
- 4) 산출된 초기 해를 가지고 메타휴리스틱 과정으로 개선함
- 5) 초기 해를 통하여 개선하는 메타휴리스틱 과정
  - ① 중복 방문기지 제거를 통한 효율성 증대 모듈  
eg) 1-5-4-6-3-4-6-1 경우 중복 기지(4번) 제거가 가능한지에 체크하여 가능한 경우 새 경로를 산출함
  - ② 한 개의 route를 통하여 전체 수송기의 route가 달라지므로 O(nlogn) 방법을 통하여 전체 효율성 개선
  - ③ 각 경로별로 2/Or-Opt를 통하여 개별 수송 효율성 제고
  - ④ 개선된 후보군을 선별하여 최대효율경로별로 다시 O(nlogn) 정렬하여 전체경로들의 효율성을 산출



<Figure 5> Algorithms Summary

## 5. Case Study

### 5.1 2013 운항노선 수송량 실험

2013년 운항노선 전체 수송량 데이터를 공군으로부터 제공 받아 실험을 진행하였으며 2013년의 운송 실적 데이터를 기준으로 하였다. 운송 요청량을 기준으로 분석한다면 더욱 효율성이 높아 질 수 있을 것으로 생각되지만 공군에서 제공받은 실적 데이터를 기준으로 실험을 진행하였다. 프로그램의 작성은 Matlab 2014(3.3 GHZ Intel core™ i3-2120 CPU, 16 Gb memory)로 수행되었다. <Table 3>, <Table 4>에서 보듯이 수송량 데이터는 전체 15개 기지의 상호간 운송 실적 데이터이며 주당 평균 수송량으로 환산하여 사용하였으며 각각의 단위는 LBS와 세제곱미터이다.

- 효율성 분석을 위한 가정
  - 1) 항공기의 기상제함에 따라 평균 운영일수는 52주의 약 80% 운항을 가정한다.
  - 2) 운항노선 계획수립 시 100 LBS 이하의 항공 수송 실적은 제외한다.
  - 3) 김해로의 연계수송이나 기지 간 육로연계 수송은 고려하지 않는다.

<Table 3> Weight Performance Data Example(2013)

From \ To	1(Base)	2	3	4	5	6
1(Base)	0 LBS	6331 LBS	772.5 LBS	81.1 LBS	1548 LBS	260.6 LBS
2	8227 LBS	0 LBS	65.5 LBS	222.9 LBS	4952 LBS	3630 LBS
3	257.1 LBS	66.1 LBS	0 LBS	0 LBS	0 LBS	44.6 LBS
4	182.1 LBS	0 LBS	0 LBS	0 LBS	0 LBS	0 LBS
5	1358 LBS	1643 LBS	0 LBS	0 LBS	0 LBS	0 LBS
6	155 LBS	1591 LBS	209.5 LBS	0 LBS	0 LBS	0 LBS

<Table 4> Volume Performance Data Example(2013)

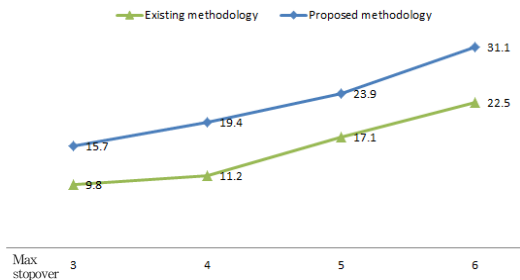
From \ To	1(Base)	2	3	4	5	6
1(Base)	0m <sup>3</sup>	602.89m <sup>3</sup>	56.94m <sup>3</sup>	6.29m <sup>3</sup>	137.07m <sup>3</sup>	24.3m <sup>3</sup>
2	549.75m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	1.49m <sup>3</sup>	11.31m <sup>3</sup>	322.78m <sup>3</sup>	248.85m <sup>3</sup>
3	20.09m <sup>3</sup>	3.54m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	1.86m <sup>3</sup>
4	15.63m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>
5	76.95m <sup>3</sup>	116.71m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>
6	17.12m <sup>3</sup>	220.4m <sup>3</sup>	16.66m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>	0m <sup>3</sup>

5.2 기존 공군 방법론과의 비교

공군은 경로 선정 시 초기 출발기지는 고정된 상태에서 운송 요청량(중량만 고려)이 많은 기지 순으로 고정시키며 모든 운송 요청량을 충족시키는 방식을 사용하여 왔다(단순 Greedy 알고리즘). 공군 60수송전대의 자료를 활용하여 공군의 기준으로 자료 분석 시 2013년 수송된 구간의 효율성은 15.5%로 산출되었으며 팔레트를 기준으로 한 효율성의 경우에는 22.5%로 산출되었다. 전체적인 효율성이 이렇게 적게 산출된 이유는 항공 수송에서 정기공수 운항노선은 연단위로 계획이 수립되며 전년도 실적용 기준으로 작성되므로 전체 수요를 예측하는 데에는 한계가 있기 때문이다. 또한 정기공수 운항노선은 조종사들의 기량유지 및 신규 조종사 양성이라는 측면에서 반드시 필요한 비행의 횟수가 있어 적은 항공 수송량이라도 반드시 해야 하는 비행이 존재하기 때문이다. 하지만 앞서 구현한 휴리스틱 알고리즘을 활용할 경우 그 효율성이 기존의 방법론 대

비 크게 향상되는 것을 <Table 5>, <Table 6>을 통해 확인 할 수 있다.

<Table 5> Relative Performance Analysis



<Table 6> Program Results Analysis

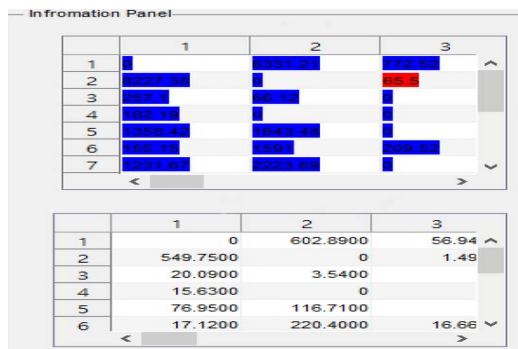
Max Stopover	Total Efficiency	No. of Aircraft		Total Aircraft	Performance Analysis(2013)	
		C-130	CN-235		Total Aircraft	Efficiency
3	11.4(15.7)	9	11	20	C-130 (7) CN-235 (9)	10.5% 16.5% (Pallet)
4	13.8(19.4)	8	10	18		
5	17.1(23.9)	5	7	12		
6	19.9(31.1)	5	5	10		



휴리스틱 알고리즘을 사용한 프로그램을 사용한 결과 기존대비 효율성은 약 29%가 향상되며 팔레트 기준으로는 약 38.2% 효율성이 증가됨을 알수 있다. 최대 경유지 수 및 항공기 대수가 적절히 고려될 시에는 더욱 향상된 결과를 기대할 수 있으며, 향후 정확한 예상 수요량을 기초로 산출시 보다 합리적이고 효율적인 운항노선 계획수립이 가능할 것으로 판단된다.

### 5.3 구현된 프로그램의 활용성

본 연구를 통해 우리는 사용자가 손쉽게 접근할 수 있는 매우 실용적인 프로그램을 개발하고자 하였다. 학문연구로서 종료되는 것이 아니라 실제 사용자가 스케줄 작성 시에 사용할 수 있고 참고할 수 있다면 연구의 가치는 높아질 것이다.



<Figure 6> Program Data Loading

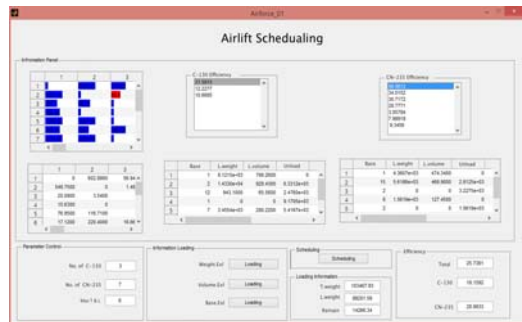
Matlab 2014를 통해 작성 되었으며 사용자편의성 (User Interface)을 추가하여 손쉽게 사용 가능한 운항노선 계획수립 프로그램을 구현한다. <Figure 6>에서 보듯 중량 및 부피 입력 자료는 엑셀 파일을 통해 자동적으로 입력 자료를 호출할 수 있으며 <Figure 7>에서 볼 수 있듯이 항공기별 대수, 최대운항경로 설정이 가능하도록 하였다.

또한 최적화된 경로를 추천하도록 하였다. 기종별, 항공기별 효율성을 볼 수 있으며 전체 효율성이 출력된다. 특히 다음해의 예상 수요화물이나, 신청화

물 수요를 근거로 한다면 다음해 정기공수 운항에 있어 효율성을 제고할 수 있다. 현재 2015년 정기공수 운항노선은 현재의 프로그램을 통해 추천되었으며 효율성의 커다란 향상이 기대되고 있다.



<Figure 7> Aircraft Operating Condition Input



<Figure 8> Results and Analysis Screen

## 6. 결론 및 발전 방향

본 연구에서는 기존의 연구 자료들을 검토하여, 중량(weights), 용적(volume), 구조적 제한/안전(structural constraints)을 고려한 알고리즘을 적용하고자 하였다. 정기공수 효율성에 적용가능한 척도로 항공기 적재의 기술적 최대 가능성력 대비 해당 항공기의 적재량을 측정하는 방법과 팔레트(Pallet) 단위의 최대적재량 대비 현재 적재량을 통해 측정하는 방법을 제시하였다. 마련된 효율성 척도를 통해 알고리즘을 구축하였다. 구축된 알고리즘은 휴리스틱 기반의 알고리즘으로 경로를 구하고 계산하는데 수 초 내외의 시간이 걸리는 매우 효율적인 알고리즘이다. 본 알고리즘은 Matlab을 통해 구현되었으며 사용자 친화적이다. 이 프로그램을 좀 더 효율적으로 사용하기 위해서는 엑셀로 읽어 들이게 되는 데

이더 값이 무엇보다 중요하며 앞으로 공수를 계획하고자 하는 부서에서는 더욱 발전적인 방법을 통해 수요예측이 가능하도록 해야 한다. 그래야만 정확한 자료를 근거로한 최적화된 정기공수 경로를 구축할 수 있기 때문이다. 본 프로그램을 활용하면 기 작성된 공수경로와의 비교를 통한 효율성 검증 도구로 활용 가능하며 사용자가 편리하게 개인의 능력에 영향을 받지 않고 실시간으로 경로 작성이 가능하다. 또한 향후 기종별/기지별 스케줄링 프로그램 개발시 본 연구 산출물을 토대로 사업 확대추진을 위한 기초자료로 활용할 수 있다. 공군의 전수송기 운영부대는 물론이며 이 연구를 기초로 육로 수송, 해상 수송 분야 등으로 확대 또한 가능하다. 본 연구가 공군의 효율적인 정기공수 경로구축의 밑거름이 될 것을 확신한다. 또한 비슷한 형태의 육상/해상 수송에서도 충분히 활용될 수 있을 것으로 보인다. 본 연구의 방법론은 공군에서 채택되었으며(2015년 10월) 2016년 전반기 정기공수 노선부터 본 연구를 통한 방법론을 사용하여 노선을 추천하게 된다.

- 효율성과 효과성의 복합적인 고려

항공수송은 효율적으로 수송하는 것도 중요하지만 우선순위에 따라서 화물을 정확하게 수송하는 것이 필요하다. 또한 인원 수송에서도 그 우선순위가 고려되어야 한다. 이러한 효율성과 효과성을 양립시키기 위한 연구가 반드시 필요할 것으로 본다. 효과성을 어떻게 계량화 할 수 있을 지에 대한 연구도 선행되어야 할 것이다.

- 복합기지 출발/도착이 가능한 알고리즘으로의 발전

현재 개발된 알고리즘은 반드시 출발한 기지로 돌아와야 하는 알고리즘이다. 그러나 전이상황이나 특수한 상황에서는 출발기지와 도착기지가 달라질 수 있다. 다른 기지로의 출발이나 도착이 효율성이나 효과성을 증대시켜 줄 수 있다면 이러한 방법도 충분히 고려가 되어야 할 것이다. 하지만 항공기 수송 경로문제는 최적화 문제 중에서도 NP-Hard 문

제에 속하는 문제로서 알고리즘의 개발이 매우 어려운 문제로서 많은 시간을 두고 심도 깊은 연구가 수행되어야 할 것이다.

- 충실한 Database의 구축 필요

프로그램의 실행에 있어 가장 중요한 부분은 예측 가능한 정확한 데이터의 입력이다. 다시 말해 소요량이 정확한 데이터가 반영되면 그만큼 효율성이 높은 경로가 정해지게 된다. 소요의 예측이 반영되지 않는 한 어느 수준 이상의 효율성 상승은 기대하기 힘들어진다. 따라서 연간 소요과약, 기상에 따른 제한 반영, 소요와 실제 운송량의 비교분석 등을 통해 매년 업데이트 될 수 있는 정확한 Database 구축이 필요하다. 현재의 국방수송 정보체계의 Database는 이러한 자료들을 종합하기에는 다소 제한이 따르는 것이 사실이다. 특히 실무자가 모든 것을 판단하기에는 난해한 업무이며 이러한 운영체계의 보완이 반드시 필요하다.

## 참 고 문 헌

- [1] Aksoy, Ö and M. Kapanoğlu, "Multi-Commodity, Multi-Depot, Heterogenous Vehicle Pickup and Delivery Problem For Air Transportation In The Turkish Air Force," *Journal of Aeronautics and Space Technologies/Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Vol.5, No.4(2012), pp.53-57.
- [2] Beraldi, P., G. Ghiani, R. Musmanno, and F. Vocaturro, "Efficient Neighborhood Search for The Probabilistic Multi-Vehicle Pickup and Delivery Problem," *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol.27, No.3(2010), pp. 301-314.
- [3] Brosh, I., "Optimal cargo allocation on board a plane : a sequential linear programming approach," *European Journal of Operational Research*, Vol.8(1981), pp.40-

- 46.
- [4] Dror, M. and P. Trudeau, "Split delivery routing, Naval Research Logistics," Vol.37(1990), pp.383-402.
- [5] Fok, K., M. Ka, A. Chun, and H. Wai, *Optimizing air cargo load planning and analysis*, Proceeding of the International Conference on Computing, Communications and Control Technologies, 2004.
- [6] Gueret, C., N. Jussien, O. Lhomme, C. Pavy, and C. Prins, "Loading aircraft for military operations," *Journal of the operational research society*, Vol.54(2003), pp. 458-465.
- [7] Koulaeian, M., H. Seidgar, M. Kiani, and H. Fazlollahtabar, "A Multi Depot Simultaneous Pickup and Delivery Problem with Balanced Allocation of Routes to Drivers," *International Journal of Industrial Engineering*, Vol.22, No.2(2015), pp.223-242.
- [8] Park, M.-J. and M.-G. Lee, "A Scalable Heuristic for Pickup-and-Delivery of Splittable Loads and Its Application to Military Cargo-Plane Routing," *Management Science and Financial Engineering*, Vol.18, No.1 (2012), pp.27-37.
- [9] Rappoport, H. K., L. S. Levy, B. L. Golden, and D. S. Feshbach, "Estimating loads of aircraft in planning for the military airlift command," *Interface*, Vol.21, No.4(1991), pp.63-78.
- [10] Stefan I., "A multi-depot pickup and delivery problem with a single hub and heterogeneous vehicles," *European Journal of Operational Research*, Vol.122, No.2(2000), pp. 310-328.