

목표계획법을 활용한 군 공역 및 사격장 할당 모형 연구

류현민 · 이문걸[†]

국방대학교 군사운영분석학과

A Study of Allocation of Military Airspace and Range Using Goal Programming

Hyun-Min Lyu · Moon-Gul Lee

Dep. of Military Operations in Korea National Defense University

■ Abstract ■

The territorial air that our sovereignty is being applied to is divided into several zones and areas. In order to use and manage them effectively, these zones and areas have laws, regulations and rules. The number of airspaces (MOA : Military Operation Area) and Ranges that are used in the military are limited and many airbases are being used for training. Currently the central department manages some, and the rest are independent airbases. Therefore, efficient allocation is not performed and the result occurs where airspaces and ranges are allocated unnecessarily. This is increasing the workload of staff leading to unnecessary re-work. To solve problem, this study proposed models for allocating airspaces and ranges using goal programming with multi-objective functions of minimizing the deviations of the target values.

Keywords : Airspace and Range Allocation, Multi Objective, Goal Programming

1. 서 론

우리가 평소 올려다보는 하늘에는 무수히 많은 영역과 공간이 존재하고 있다. 그 중에서도 군 항공기들이 평시 비행훈련을 위해 만들어진 군 공역과 사격장 등은 하루에도 수백회의 비행이 이뤄지고 있다[1]. 이런 수백회의 비행은 각 비행기지(또는 비행전대)의 비행스케줄링이라는 과정을 통해 이루어지게 되는데 이 과정은 항공기, 가용 조종사, 공역 등 많은 비행자원을 통합적으로 고려하여 이루어진다.

여러 비행자원 중에 공군이 가지고 있는 공역이나 사격장을 최적의 비행기지에 할당하는 것은 중요한 문제이다. 원하는 시간에 가용한 공역이나 사격장이 없다면 해당 임무를 성공적으로 수행하기 어렵게 될 수밖에 없으며 이는 곧 훈련성과와 비행기량에 영향을 주게 된다.

그렇기 때문에 현재 각 비행기지는 부족한 공역과 사격장을 스케줄 담당 및 작전 통제 담당을 두어 획득하고 있다.

하지만 이 과정에서 각 비행기지 간의 신청지역이 중복될 경우 불균등하게 할당되는 경우가 발생하며 해당 임무를 수행하는 부서에는 필요한 공역과 사격장을 획득하기 위한 업무가 증가하게 되고 이로 인해 담당자의 업무 피로도 누적과 불필요한 행정사항들이 증가하게 된다.

따라서 본 연구에서는 각 비행기지의 상충되는 목표들을 최대한 만족시키는 공역과 사격장 할당 모델에 대해 다루고자 한다. 이를 통해 각 비행기지의 공역 및 사격장 할당에 대한 만족도를 최대한 높일 수 있고 스케줄 담당 부서의 업무 부담을 줄여줄 수 있을 것이다.

2. 이론적 배경 및 유사 연구 고찰

목표계획법(Goal Programming : GP)은 독특하고 혁신적인 수학적 방법론이 아니라 선형계획법(Linear Programming : LP)을 조금 더 확장시킨 방법론이다[8]. 선형계획 문제에서 풀지 못하는 불가능한

해를 가질 경우 가능한 해를 가지면서 제약식을 최대한 만족시키는 해를 찾을 수 있도록 해준다. 기존의 선형계획 모형 문제가 최대화, 최소화 하는 값을 찾는 것이라면, 목표계획 문제는 특정 목표값에 대한 편차를 최소화하는 방법이다[7, 9]. 따라서 이 방법은 서로 상충되는 목표를 정확히 만족할 수 없을 때 그 값에 가장 근접한 값을 가질 수 있도록 해준다.

모든 할당문제에서 가장 중요한 점은 한정된 자원(Resource)을 가지고 효율적으로 할당하여 관리자와 사용자가 원하는 결과를 도출하는 것이다[6]. 특히 군 자원의 경우 효율적인 할당을 하지 못했을 경우에는 국가안보와 국민의 생명을 위태롭게 할 수 있다. 또한 군 위성이란든지 함정, 항공기 등과 같이 고가의 자원인 경우가 대부분이어서 군사 분야에서 효율적인 할당은 항상 중요한 이슈가 되고 있다.

관련된 연구로는 외국의 경우 Delahaye et al.의 연구에서 원활한 항공교통통제(Air Traffic Control)를 위해 자동으로 영공을 균형적으로 나누어 주기 위해 유전자 알고리즘을 사용하였다[12]. 유전자 알고리즘은 염색체 진화를 모방하여 만든 최적화 기법으로 초기 가능해에서 변형을 통해 근사해를 구하는 휴리스틱 기법이다.

국내의 경우 최현진 등은 다수의 목표물과 다수의 임무, 그리고 장애물이 존재하는 상황 하에서 다수 무인항공기의 임무 할당을 하는 문제를 정의할 때도 혼합정수계획법을 다루었다[3]. 이 연구에서는 문제의 크기가 커지면서 계산 시간이 급격히 증가하는 것을 해결하기 위해 유전 알고리즘이라는 휴리스틱 방법론을 활용하여 근사해를 구함으로써 계산시간을 단축하였다. 또한 김동현은 신속한 표적할당과 사격 순서를 결정하기 위해 분할 알고리즘을 이용하여 종료조건이 되기 전까지 해를 개선시켰다[4]. 정민섭 등은 전시에 탄약을 할당하는 모형을 만들기 위해 다목적 최적화 방법을 적용하였다[5].

위와 같이 한정된 자원을 효율적으로 할당하는

연구는 여러 분야에서 진행 중이다. 군 공역이나 사격장의 경우에는 나라마다 가용한 공역이나 사격장의 수가 다르기 때문에 가용한 자원이 많은 나라일 수록 관심도는 떨어진다. 하지만 우리나라와 같이 공역과 사격장을 사용하려 하는 사용자가 많은 반면에 공급의 수가 적은 경우에는 이 문제에 대한 연구가 필요하다.

우리나라에서 군 공역 할당에 대한 문제는 송철호의 연구에서 다루어졌다[2]. 이 연구에서는 제한된 공역을 각 비행기지로 할당시키기 위해 혼합정수계획법을 사용하였다. 이 방법을 통해 공역 할당 시 고려요소를 도출하여 각 요소의 합을 최소화 시키는 최적해를 구하였다. 하지만 이 방법은 관리자가 상충되는 여러 할당 기준을 가지게 되면 가능해를 찾을 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 관리자의 상충되는 여러 기준을 동시에 최대한 만족시킬 수 있는 방법에 대해 연구하였다.

이처럼 다양한 방법을 가지고 제한된 자원에 대한 효율적인 할당을 한다. 혼합정수계획법은 최적해를 구할 수 있지만 늘어나는 변수와 제약식으로 인해 계산시간이 급증하는 단점이 있고, 휴리스틱 방법들은 계산시간의 단축이라는 장점은 있지만 문제 구성에 따라 해의 정확성이 영향을 받는 단점이 있다.

본 연구의 문제는 관리자가 주간단위로 공역 및 사격장을 할당을 시켜주기 때문에 시간적 여유가 있어 계산시간의 단축보다는 최적해를 찾는 방법인 혼합정수계획법을 선택하였으며, 관리자의 상충되는 여러 조건을 충족하기 위해 목표계획법을 활용하였다.

3. 문제 정의 및 수리 모델

3.1 문제 정의 및 가정 사항

본 연구의 목적은 효율적이고 형평성 있는 공역 및 사격장의 할당을 통해 해당 부서의 업무 감소와

효율성을 최대화하는 것이다. 이를 위해 여기에서 다루는 비행기지는 15개, 공역은 중고도 공역 27개, 사격장은 6개로 구분하여 할당하며 할당 시간대는 주로 비행하는 시간인 07시부터 18시까지의 시간을 선정하였고 할당 시간 간격은 공역과 사격장에 따라 상이하게 구분하였다. 그 외의 시간대의 할당은 관리자가 직접 입력이 가능하도록 하였다.

이때 사격장은 비활성 훈련탄(Dummy Bomb)만 사격이 가능한 일반사격장과 훈련탄뿐만 아니라 실무장(Live Bomb)에 대한 사격도 가능한 실무장 사격장으로 나누었으며, 할당 시간 간격은 실제 사용되고 있는 간격인 일반사격장 20분, 실무장 사격장 15분을 간격으로 할당하였다.

공역 및 사격장을 할당하는 순서는 다음과 같다.

Step 1) 해당 주간 공역 및 사격장에 대한 NOTAM 반영 및 비행기지별 요구 공역에 대해 조사하고 반영한다.

항공고시보(NOTAM : Notice to Airmen)는 작전, 훈련, 정비 등의 이유로 인한 특이사항을 비행과 관련된 부서에 전파하는 성격을 가진다. 이를 통해 훈련 공역의 제한, 일부 비행단의 전투 훈련일, 정비일등을 알 수 있다. 이 단계에서는 NOTAM에 의해 공역이나 사격장의 사용이 제한되는 경우가 발생 시에 할당이 이루어지지 않도록 한다. 또한 비행기지별로 특정 요일과 시간에 원하는 공역과 사격장이 있을 것이다. 이러한 요구 사항을 반영하여 미리 할당 시킬 수 있는 환경을 구성하고 겹치는 부분이 있다면 관리자가 알 수 있도록 하여 조정이 가능하도록 하여 보다 관리자가 사용하기 용이하도록 하였다.

Step 2) 형평성 있는 공역 및 사격장 할당을 위해 고려요소를 도출한다.

형평성 있는 할당을 위한 여러 가지 고려요소 중에 본 연구에서 고려한 것은 요구량에 비례한 실제 할당량, 기지별 공역에 대한 선호도, 기지별 시차제, 기상 등이 있다. 지금부터 각각의 고려요소

에 대해 알아보겠다.

첫 번째로 요구량에 비례한 실제 할당량이다. 공역을 할당하기 전에 우선 요구되는 사항은 비행기지 별로 원하는 공역의 수이다. 이때 원하는 공역의 수는 비행기지 규모가 반영되었다고 가정한다. 즉 비행기지의 규모가 크면 공역의 요구량도 많게 반영된다는 것이다. 본 연구에서는 각 비행기지의 요구량에 비례하여 목표 할당값을 설정하고 이 값에 최대한 만족하는 값을 가질 수 있도록 하였다. 이를 통해 비행기지의 규모를 반영하여 할당이 가능하도록 하였다.

두 번째로 선호도이다. 본 연구의 모델에서는 비행기지 별로 각각의 공역과 사격장의 선호도를 선정하였다. 선호도 선정기준은 비행기지와의 거리, 공역의 크기, 바다 위 또는 육지 위와 같은 위치 등이다. 선호도는 비행기지 별로 모든 공역 및 사격장에 대해 나타내었으며 선호도가 좋을수록 작은 값을 가진다.

세 번째는 기상에 대한 고려이다. 조종사들이 비행 전에 중요하게 확인하는 것 중의 하나는 기상을 파악하는 것이다. 본 연구에서는 여러 기상 요인들 중에 가장 임무에 많은 영향을 미치는 운량에 대해서 고려하였다. 운량은 구름의 양을 나타내는 것으로 하늘을 8등분하여 구름으로 인해 가리는 부분을 나타낸다. 8등분 중에 1정도의 구름이 있다면 FEW(Fewer), 2~4의 구름이 있으면 SCT(Scatter), 5~7은 BKN(Broken)이고 8은 OVC(Overcast)라고 표시한다. 여기에서는 임무를 위해 필요한 최소한의 운량 요구량을 선정하고 그 기준 요구량 보다 좋은 기상 하에서 임무를 할 수 있도록 하였다.

마지막으로 기지별 시차제에 대한 고려이다. 각각의 비행기지는 시차제를 도입하여 비행운영 하고 있다. 시차제는 동일 시간대에 항적이 물리는 현상을 막아주고 항적에 대한 통제를 보다 효율적으로 할 수 있도록 비행기지 별로 비행운영 시간을 다르게 운영하는 것을 말한다. 이것은 주간 단위로 바뀌기 때문에 현실적으로 각 비행기지의 시차제를 모두 고려하여 공역을 할당하기에는 어려움이 있었

다. 그렇다고 시차제를 고려하지 않고 공역을 할당하게 되면 사용할 수 없는 시간에 불필요하게 많은 공역을 보유하고 있는 경우가 발생하였다. 본 연구에서는 시차를 반영하기 위해 1~3의 수치를 부여하여 주 비행 시간대에는 1을 비행가능 시간대엔 2를 비 비행 시간대에는 3의 값을 부여하였다. 이를 통해 실제로 사용할 수 있는 시간 위주로 공역과 사격장을 할당함으로써 효율성을 높이고 부족한 부분에 대한 추가적인 획득을 위한 업무를 최소화하였다.

Step 3) 이 단계에서는 Step 2와 상호 조화된 값을 바탕으로 비행기지별로 공역이나 사격장을 할당한다.

기지별로 할당할 때 특정 요일, 특정 시간대의 공역이나 사격장은 오직 하나의 비행기지에 할당되어야 한다. 그리고 할당하고자 하는 시간대의 모든 공역은 할당되어야 한다. 이때 해당 공역이나 사격장에 NOTAM으로 인해 사용이 제한된다면 할당이 되지 않도록 해야 한다. 즉, 사용가능한 공역은 하나도 빠짐없이 특정 비행기지에 할당되어야 한다. 그래야만 부득이하게 공역이나 사격장이 필요한 경우에 해당 비행기지에 협조를 구할 수 있기 때문이다. 그리고 기지별로 보유한 항공기가 다르고 항공기의 성능 또한 다르다. 그렇기 때문에 기종별로 임무가 수행이 가능한 거리를 고려하여 임무 가능 거리 내의 공역이나 사격장만 할당 되도록 하였다.

또한 하나의 공역이나 사격장은 2~4대의 항공기가 편조를 이루어 임무를 수행한다. 임무는 군장기의 지휘 아래 이루어지며, 하나의 공역 안에는 하나의 편조만이 임무를 할 수 있다. 하지만 공역의 경우에는 훈련 목적상 여러 편조가 동시에 임무를 수행하기 위해 공역을 2개에서 4개까지 통합하여 사용하는 광역화 공역이 존재한다. 이것은 비행기지의 위치와 항공기 기종의 특성에 따라 서로 다르게 구성되어 있다. 본 연구에서는 비행기지 별 광역화 공역 요구를 충족할 수 있도록 하였다.

3.2 수리 모델(사격장)

3.2.1 인덱스(Indices) 및 집합(Set)

- $b \in B$ 비행기지
- $r \in R$ 사격장
 - $LR, DR \subset R$
 - LR 실무장 사격 가능 사격장
(이하, 실무장 사격장)
※ 실무장
 - DR Dummy탄 사용 가능 사격장
(이하, 일반사격장)
※ Dummy탄
- $s \in S$ 슬롯 시간(Slot Time)
 - $LS, DS \subset S$
 - LS 실무장 사격장 시간(15분 간격)
 - DS 일반 사격장 시간(20분 간격)
- $d \in D$ 비행가능일(월~금)

3.2.2 입력 데이터(Parameter)

- $Dist_{BR_{br}}$ 비행기지 b와 사격장 r과의 거리
- Max_{dist}_b 비행기지 b에서 운용하는 항공기의 최대 운항 거리
- $Demand_{LR_{bd}}$ 비행기지 b의 d요일의 실무장 사격장 요구량
- $Demand_{DR_{bd}}$ 비행기지 b의 d요일의 일반사격장 요구량
- $Pref_{R_{br}}$ 비행기지 b의 사격장 r에 대한 선호도
- $Pref_{Req_R}$ 사격장에 요구되는 목표 선호도
- $W\acute{e}a_{R_r,d}$ 사격장 r의 d요일의 날씨
- $W\acute{e}a_{Req_R}$ 사격장에 요구되는 목표 기상 요구치
- $Time_{Differ_{R_{bs}}}$ 비행기지 b의 시간 s에서의 목표 시차값 요구치
- $Time_{Req_R}$ 사격장에 요구되는 시차제 평균
- $Fair_Dem_{LR_{bd}}$ 비행기지 b가 d요일의 실무장 사격장 목표 할당값
- $Fair_Dem_{LR_{bd}}$

$$= \frac{|LR| \cdot |LS| \cdot |D|}{\sum_{b \in B} \sum_{d \in D} Demand_{LR_{bd}}} Demand_{LR_{bd}}$$

$Fair_Dem_{DR_{bd}}$ 비행기지 b가 d요일의 일반 사격장 목표 할당값

$$Fair_Dem_{DR_{bd}} = \frac{|DR| \cdot |DS| \cdot |D|}{\sum_{b \in B} \sum_{d \in D} Demand_{DR_{bd}}} Demand_{DR_{bd}}$$

$NOTAM_{R_{rs,d}}$ 사격장 r이 d요일 s시간에 NOTAM이 있으면 1, 없으면 0

3.2.3 결정변수(Decision Variable)

- $x_{brs,d}$ 일반 사격장 r이 비행기지 b의 s시간, d요일에 배분되면 1, 아니면 0 인 이진변수
 $b \in B, r \in DR, s \in DS, d \in D$
- $y_{brs,d}$ 실무장 사격장 r이 비행기지 b의 s시간, d요일에 배분되면 1, 아니면 0인 이진변수
 $b \in B, r \in LR, s \in LS, d \in D$
- $d_Fair_{bd}^+, d_Fair_{bd}^-$ 목표 할당에 대한 양의 편차와 음의 편차를 나타내는 비음실수
- $d_Pref_{bd}^+, d_Pref_{bd}^-$ 목표 선호도에 대한 양의 편차와 음의 편차를 나타내는 비음실수
- $d_Time_{bd}^+, d_Time_{bd}^-$ 목표 시차제 값에 대한 양의 편차와 음의 편차를 나타내는 비음실수
- $d_W\acute{e}a_{bd}^+, d_W\acute{e}a_{bd}^-$ 목표 기상 값에 대한 양의 편차와 음의 편차를 나타내는 비음실수

3.2.4 목적함수 및 제약식

3.2.4.1 목적함수

$$\sum_{b \in B} \sum_{d \in D} [w_1 \cdot (d_Fair_{bd}^- + d_Fair_{bd}^+) + w_2 \cdot d_Pref_{bd}^+ + w_3 \cdot d_Time_{bd}^+ + w_4 \cdot d_W\acute{e}a_{bd}^+] \quad (3.1)$$

3.2.4.2 일반 제약식

$$Dist_{BR_{br}} \cdot x_{brs,d} \leq Max_{dist}_b \quad \forall b \in B, r \in DR, s \in DS, d \in D \quad (3.2)$$

$$Dist_{BR_{br}} \cdot y_{brs,d} \leq Max_{dist}_b \quad \forall b \in B, r \in LR, s \in LS, d \in D \quad (3.3)$$

$$\sum_{r \in LR} \sum_{s \in LS} y_{brs,d} \geq Fair_Dem_{LR_{bd}} \quad \forall b \in B, d \in D \quad (3.4)$$

$$\sum_{b \in B} x_{brsd} = 1 \quad \forall r \in DR, s \in DS, d \in D, (r, s, d) \in (NOTAM_{R_{rsd}} = 0) \quad (3.5)$$

$$\sum_{b \in B} y_{brsd} = 1 \quad \forall r \in LR, s \in LS, d \in D, (r, s, d) \in (NOTAM_{R_{rsd}} = 0) \quad (3.6)$$

$$x_{brsd} \leq 1 - NOTAM_{R_{rsd}} \quad \forall b \in B, r \in DR, s \in DS, d \in D \quad (3.7)$$

$$y_{brsd} \leq 1 - NOTAM_{R_{rsd}} \quad \forall b \in B, r \in LR, s \in LS, d \in D \quad (3.8)$$

3.2.4.3 목표제약식

$$\begin{aligned} & \sum_{r \in DR} \sum_{s \in DS} x_{brsd} + \sum_{r \in LR} \sum_{s \in LS} y_{brsd} \\ & + d_{Fair}_{bd}^- - d_{Fair}_{bd}^+ \\ & = Fair_{Dem}_{DR_{bd}} + Fair_{Dem}_{LR_{bd}} \end{aligned} \quad \forall b, d \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{r \in DR} \sum_{s \in DS} Pref_{R_{br}} \cdot x_{brsd} \\ & + \sum_{r \in LR} \sum_{s \in LS} Pref_{R_{br}} \cdot y_{brsd} \\ & + d_{Pref}_{bd}^- - d_{Pref}_{bd}^+ \\ & = Pref_{Req}_{R} \cdot \left(\sum_{r \in DR} \sum_{s \in DS} x_{brsd} \right. \\ & \quad \left. + \sum_{r \in LR} \sum_{s \in LS} y_{brsd} \right) \end{aligned} \quad \forall b, d \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{r \in DR} \sum_{s \in DS} W\hat{e}a_{R_{rd}} \cdot x_{brsd} \\ & + \sum_{r \in LR} \sum_{s \in LS} W\hat{e}a_{R_{rd}} \cdot y_{brsd} \\ & + d_{W\hat{e}a}_{bd}^- - d_{W\hat{e}a}_{bd}^+ \\ & = W\hat{e}a_{Req}_{R} \cdot \left(\sum_{r \in DR} \sum_{s \in DS} x_{brsd} \right. \\ & \quad \left. + \sum_{r \in LR} \sum_{s \in LS} y_{brsd} \right) \end{aligned} \quad \forall b, d \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{r \in DR} \sum_{s \in DS} Time_{Diff}_{R_{bs}} \cdot x_{brsd} \\ & + \sum_{l \in LR} \sum_{s \in LS} Time_{Diff}_{R_{bs}} \cdot y_{brsd} \\ & + d_{Time}_{bd}^- - d_{Time}_{bd}^+ \\ & = Time_{Req}_{R} \cdot \left(\sum_{r \in DR} \sum_{s \in DS} x_{brsd} \right. \\ & \quad \left. + \sum_{r \in LR} \sum_{s \in LS} y_{brsd} \right) \end{aligned} \quad \forall b, d \quad (3.12)$$

식 (3.1)은 목적함수를 나타낸 것으로 목표 제약식에 있는 편차 변수들의 합이 최소가 되게 하여 목표값에 가장 근접 할 수 있게 하였다. 이때 고려 요소 별로 양의 편차만 최소화 시키는 것과 양의 편차와 음의 편차 모두를 최소화 시키는 것으로 구분하였다. 다시 말해 선호도나 시차, 기상 값들은 목표값 보다 작거나 같은 것을 목표로 하였기 때문에 양의 편차만을 최소화 하였고, 실제 할당량의 경우에는 목표값과 동일한 값을 목표로 한다. 따라서 목표 할당량은 양과 음의 편차 모두를 고려하였다.

여기서 $w_1 \sim w_4$ 는 관리자가 설정할 수 있는 가중치로서 고려요소에 따라 중요시 되는 요소에 대해 가중치를 높게 줌으로서 우선적으로 해당 편차에 대해 최소화를 시킬 수 있다. 본 연구에서는 가변적인 기상요소를 가장 적은 가중치를 두었으며 실제 할당량, 선호도, 시차 순으로 가중치를 두었다.

사격장을 할당함에 있어 비행기지와 사격장까지의 거리가 중요한 영향을 미친다. 식 (3.2)와 식 (3.3)은 비행기지별로 보유한 항공기들의 최대 임무수행 가능 거리 이내의 사격장에 대해서만 할당 시키는 제약식이다.

실무장 사격장에서는 실무장 뿐만 아니라 일반 목적탄도 사격을 할 수 있다. 하지만 일반 사격장 같은 경우 실무장 사격이 제한되므로 일반 사격장에 비해 실무장 사격장의 선호도가 높다. 따라서 식 (3.4)를 통해 사격장이 부족한 경우에도 실무장 사격장의 수는 우선적으로 목표 할당값 이상을 할당할 수 있게 하였다. 이때 우선순위가 상대적으로 낮은 일반 사격장은 사격장이 부족할 때는 목표보

다 적을 수 있기 때문에 실무장과 같이 목표 이상을 할당시키는 제약식은 설정하지 않았다.

식 (3.5)와 식 (3.6)은 가용한 사격장들은 모두 특정 비행기지에 할당시키는 제약식이다. 이때 하나의 사격장에 동시에 2개 이상의 비행기지가 할당되면 안 된다. 따라서 각각의 가용 사격장에는 오직 하나의 비행기지가 할당되도록 하였다.

식 (3.7)과 식 (3.8)은 NOTAM을 통해 다른 주요임무나 훈련 등을 할 수 있기 때문에 NOTAM이 설정되었을 경우 그 사격장은 어떠한 비행기지에도 할당되지 않도록 하는 제약식이다.

비행기지별로 각 사격장에 대한 선호도는 각각 다르다. 식 (3.10)은 비행기지별로 사격장에 대한 선호도 순위를 매겨서 각 비행단이 할당 받은 사격장의 선호도 평균이 일정 요구량 이상이 되도록 하여 모든 비행단이 만족할 만한 선호도를 가진 사격장을 우선적으로 할당 받을 수 있게 하였다. 만약 요구되는 선호도를 만족하지 못하는 경우에는 편차 변수의 최소화를 통해 해당 선호도에 가장 근접한 값을 가질 수 있도록 하였다.

비행이 가능하기 위해 중요한 요소 중에 하나가 바로 기상이다. 기상이 좋지 않다면 가용한 사격장이 있더라도 사격임무를 충족할 수 없기 때문이다. 따라서 기상에 대한 고려가 필요하며, 기상은 예보를 통해 어느 정도 예측이 가능하기 때문에 원하는 목표 기상치를 설정하게 되면 할당되는 사격장 기상의 평균이 목표치에 근접한 기상값을 가질 수 있다. 식 (3.11)을 통해 목표 기상보다 안 좋은 기상의 사격장을 할당받을 때 그보다 좋은 기상의 사격장도 함께 할당 받을 수 있어 어느 특정 비행단이 기상이 좋지 않은 사격장만 할당 받지 않도록 하였다. 비록 전국적으로 기상이 나빠서 목표 기상 제한치를 초과 하더라도 편차변수를 두어 기지별 편차를 최소화할 수 있도록 하였다.

앞서 언급했듯이 시차제에 따라 비행가능 시간에 1 또는 2의 값을 주고, 비행이 불가능한 시간에 3의 값을 부여하였다. 식 (3.12)를 통해 목표 시차제 값을 선정하여 비행이 가능한 시간에 최대한 많은 사격장이 할당될 수 있도록 하였다.

3.3 수리 모델(공역)

3.3.1 인덱스(Indices) 및 집합(Set)

| | |
|---|--|
| $b \in B$ | 비행기지 $F4_5, F15, F16 \subset B$ $F4_5$ F-4와 F-5를 운용하는 비행기지 $F15$ F-15를 운용하는 비행기지 $F16$ F-16을 운용하는 비행기지 |
| $m \in M$ $(m^{(1)}, m^{(2)}) \in M2$ | 일반 훈련 공역(이하, 공역) 2개의 공역으로 구성된 광역화 공역 $M2_F4_5, M2_F15 \subset M2$ $M2_F4_5$ 집합 $M2$ 에서 F-4/5가 사용하는 광역화 공역 $M2_F15$ 집합 $M2$ 에서 F-15가 사용하는 광역화 공역 |
| $(m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)}) \in M3$ | 3개의 공역으로 구성된 광역화 공역 $M3_F4_5, M3_F15, M3_F16 \subset M3$ $M3_F4_5$ 집합 $M3$ 에서 F-4/5가 사용하는 광역화 공역 $M3_F15$ 집합 $M3$ 에서 F-15가 사용하는 광역화 공역 $M3_F16$ 집합 $M3$ 에서 F-16이 사용하는 광역화 공역 |
| $(m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)}, m^{(4)}) \in M4$ | 4개의 공역으로 구성된 광역화 공역 |
| $s \in S$ | 일반 공역 시간(30분 간격) |
| $d \in D$ | 비행가능일(월~금) |

3.3.2 입력 데이터(Parameter)

| | |
|--------------------|-------------------------|
| $Dist_BM_{bm}$ | 비행기지 b와 일반 공역 m사이의 거리 |
| Max_dist_b | 비행기지 b의 항공기가 갈수 있는 최대거리 |
| $Demand_MOA_{bd}$ | 비행기지 b의 d요일의 일반 공역 요구량 |

| | |
|--------------------------|-----------------------------|
| $Demand_UNI_{bd}$ | 비행기지 b의 d요일의 광역화 공역 요구량 |
| $Pref_MOA_{bm}$ | 비행기지 b의 일반 공역 m에 대 한 선호도 |
| $Pref_Req_MOA$ | 일반 공역에 요구되는 목표 선 호도 |
| $W\bar{e}a_MOA_{md}$ | 일반 공역 m의 d요일의 날씨 |
| $W\bar{e}a_Req_MOA$ | 일반 공역에 요구되는 목표 기상 요구치 |
| $Time_Differ_MOA_{bs}$ | 비행기지 b의 시간 s에서의 시 차값 |
| $Time_Req_MOA$ | 일반 공역에 요구되는 목표 시차 값 요구치 |
| $Fair_Dem_MOA_{bd}$ | 비행기지 b가 d요일의 공역 목 표 할당값 |

$$Fair_Dem_MOA_{bd}$$

$$= \frac{|M| \cdot |S| \cdot |D|}{\sum_{b \in B} \sum_{d \in D} Demand_MOA_{bd}} Demand_MOA_{bd}$$

$NOTAM_MOA_{msd}$ 일반 공역 m이 d요일 s 시간에
NOTAM이 있으면 1, 없으면 0

3.3.3 결정변수(Decision Variable)

| | |
|--|---|
| w_{bmsd} | 비행기지 b가 m공역의 s시간, d요일에 할당되면 1, 아니면 0 인 이진변수 |
| $d_Fair_{bd}^+, d_Fair_{bd}^-$ | 목표 할당에 대한 양의 편차와 음 의 편차를 나타내는 비음 실수 |
| $d_Pref_{bd}^+, d_Pref_{bd}^-$ | 목표 선호도에 대한 양의 편차와 음의 편차를 나타내는 비음 실수 |
| $d_Time_{bd}^+, d_Time_{bd}^-$ | 목표 시차제 값에 대한 양의 편차와 음의 편차를 나타내는 비음 실수 |
| $d_W\bar{e}a_{bd}^+, d_W\bar{e}a_{bd}^-$ | 목표 기상 값에 대한 양의 편차와 음의 편차를 나타내는 비음 실수 |

3.3.4 목적함수 및 제약식

3.3.4.1 목적함수

$$\sum_{b \in B} \sum_{d \in D} [w_1 \cdot (d_Fair_{bd}^- + d_Fair_{bd}^+) + w_2 \cdot d_Pref_{bd}^+ + w_3 \cdot d_Time_{bd}^+ + w_4 \cdot d_W\bar{e}a_{bd}^+] \quad (3.15)$$

3.3.4.2 일반 제약식

$$Dist_BM_{bm} \cdot w_{bmsd} \leq Max_dist_b \quad (3.16)$$

$$\forall b, m, s, d$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{s \in S} w_{bmsd} \geq Demand_MOA_{bd} \quad (3.17)$$

$$\forall b, d$$

3.3.4.3 목표제약식

$$\frac{1}{2} \sum_{\substack{(m^{(1)}, m^{(2)}) \\ \in M2_F4_5}} \sum_{s \in S} (w_{bm^{(1)}sd} + w_{bm^{(2)}sd}) +$$

$$\frac{1}{3} \sum_{\substack{(m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)}) \\ \in M3_F4_5}} \sum_{s \in S} (w_{bm^{(1)}sd} + w_{bm^{(2)}sd} + w_{bm^{(3)}sd}) \quad (3.18)$$

$$= Demand_UNI_{bd}$$

$$\forall b \in F4_5, d \in D$$

$$\frac{1}{2} \sum_{\substack{(m^{(1)}, m^{(2)}) \\ \in M2_F15}} \sum_{s \in S} (w_{bm^{(1)}sd} + w_{bm^{(2)}sd}) +$$

$$\frac{1}{3} \sum_{\substack{(m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)}) \\ \in M3_F15}} \sum_{s \in S} (w_{bm^{(1)}sd} + w_{bm^{(2)}sd} + w_{bm^{(3)}sd}) \quad (3.19)$$

$$= Demand_UNI_{bd}$$

$$\forall b \in F15, d \in D$$

$$\frac{1}{3} \sum_{\substack{(m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)}) \\ \in M3_F16}} \sum_{s \in S} (w_{bm^{(1)}sd} + w_{bm^{(2)}sd} + w_{bm^{(3)}sd}) +$$

$$\frac{1}{4} \sum_{\substack{(m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)}, m^{(4)}) \\ \in M4}} \sum_{s \in S} (w_{bm^{(1)}sd} + w_{bm^{(2)}sd} + w_{bm^{(3)}sd} + w_{bm^{(4)}sd}) \quad (3.20)$$

$$= Demand_UNI_{bd}$$

$$\forall b \in F16, d \in D$$

$$w_{bm^{(1)}sd} = w_{bm^{(2)}sd} \quad (3.21)$$

$$\forall b \in F4_5, (m^{(1)}, m^{(2)}) \in M2_F4_5, s \in S, d \in D$$

$$w_{bm^{(1)}sd} - 2 \cdot w_{bm^{(2)}sd} + w_{bm^{(3)}sd} = 0 \quad (3.22)$$

$$\forall b \in F4_5, (m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)}) \in M3_F4_5, s \in S, d \in D$$

$$w_{bm^{(1)}sd} = w_{bm^{(2)}sd} \quad (3.23)$$

$$\forall b \in F15, (m^{(1)}, m^{(2)}) \in M2_F15, s \in S, d \in D$$

$$w_{bm^{(1)}sd} - 2 \cdot w_{bm^{(2)}sd} + w_{bm^{(3)}sd} = 0 \quad (3.24)$$

$$\forall b \in F15, (m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)}) \in M3_F15, s \in S, d \in D$$

$$w_{bm^{(1)}sd} - 2 \cdot w_{bm^{(2)}sd} + w_{bm^{(3)}sd} = 0 \quad (3.25)$$

$$\forall b \in F16, (m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)}) \in M3_F16, s \in S, d \in D$$

$$w_{bm^{(1)}sd} - 4 \cdot w_{bm^{(2)}sd} + 2 \cdot w_{bm^{(3)}sd} + w_{bm^{(4)}sd} = 0 \quad (3.26)$$

$$\forall b \in F16, (m^{(1)}, m^{(2)}, m^{(3)}, m^{(4)}) \in M4, s \in S, d \in D$$

$$\sum_{b \in B} w_{bmsd} = 1 \quad (3.27)$$

$$\forall (m, s, d) \in (NOTAM_MOA_{msd} = 0)$$

$$w_{bmsd} \leq 1 - NOTAM_MOA_{msd} \quad \forall b, m, s, d \quad (3.28)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{s \in S} w_{bmsd} + d_Fair_{bd}^- - d_Fair_{bd}^+ \quad (3.29)$$

$$= Fair_Dem_MOA_{bd} \quad \forall b, d$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{s \in S} Pref_MOA_{bm} \cdot w_{bmsd} \quad (3.30)$$

$$+ d_Pref_{bd}^- - d_Pref_{bd}^+$$

$$= Pref_Req_MOA \cdot \sum_{m \in M} \sum_{s \in S} w_{bmsd} \quad \forall b, d$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{s \in S} Wea_MOA_{md} \cdot w_{bmsd} \quad (3.31)$$

$$+ d_Wea_{bd}^- - d_Wea_{bd}^+$$

$$= Wea_Req_MOA \cdot \sum_{m \in M} \sum_{s \in S} w_{bmsd} \quad \forall b, d$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{s \in S} Time_Diff_MOA_{bs} \cdot w_{bmsd} \quad (3.32)$$

$$+ d_Time_{bd}^- - d_Time_{bd}^+$$

$$= Time_Req_MOA \cdot \sum_{m \in M} \sum_{s \in S} w_{bmsd} \quad \forall b, d$$

목적함수 (3.15)는 사격장 모델과 마찬가지로 목표제약식의 편차의 합이 최소가 되게 하였다. 또한 가중치의 값도 사격장 모델과 동일하게 입력하였다.

식 (3.16)은 각 기지에 속해있는 서로 다른 기종이 임무를 수행할 수 있는 최대가능거리 내에 위치한 공역에 대해서만 할당이 가능하게 하는 제약식이다. 또한 식 (3.17)은 각 기지별로 요구한 공역의 수 이상의 공역이 할당되어 지도록 하기 위한 제약식이다.

식 (3.18)은 F-4와 F-5 기종을 보유한 비행기지의 광역화 공역 요구량을 충족시키는 제약식이다. 광역화 공역은 임무의 특성상 2~4개의 공역을 통합하여 사용한다는 것은 이미 알고 있으며, 통합된 공역은 하나의 광역화 공역이기 때문에 통합된 공역의 수만큼 나누어 주어야 한다. 또한 F-4와 F-5 기종을 보유한 비행기지의 경우에는 2개 또는 3개의 공역이 통합된 광역화 공역만 할당되므로 해당 공역을 정의하여 할당해 주었다. 식 (3.19)는 F-15를 가진 비행기지의 광역화 공역 요구량을 충족한다는 제약식이이며 식 (3.20)은 F-16을 가진 비행기지의 광역화 공역 요구량을 충족한다는 제약식이다.

광역화 공역은 여러 개의 공역이 동시간대에 할당되어야지 임무 시에 함께 사용할 수 있다. 따라서 동일한 시간에 할당할 수 있도록 하는 작업이 필요하다. 공역이 통합된 수에 따라 시간을 동일화시키는 방법이 다르다. 식 (3.21)은 F-4/5를 운용하는 비행기지 중에 광역화 공역으로 사용하기 위해 합쳐지는 공역이 2개일 경우 시간을 동기화시키는 제약식이다. 식 (3.22)은 3개의 공역이 하나의 광역화 공역일 때 시간을 동일화시키는 제약식이다. 결정변수는 이진 변수이기 때문에 위 식을 적용하게 되면 동시에 1을 가지거나 0을 가짐으로서 할당 시간의 동일화를 가능하게 한다. 타기종도 식 (3.23)~식 (3.26)을 통해 동일 시간에 할당이 가능하도록 하였다. 이때 식 (3.26)은 4개의 공역이 광역화 공역으로 선정될 경우 동시에 1 또는 0의 값을 갖도록 하여 시간을 동기화 시킨다.

식 (3.27)은 NOTAM이 없는 공역을 모두 할당되 오직 하나의 비행기지에만 할당할 수 있게 하는 제약식이다. 식 (3.28)은 NOTAM이 있는 공역을 할

당시키지 않는 제약식이다. NOTAM이 없을 경우에만 비행기지에 할당된다.

목표 제약식 (3.29)~제약식 (3.32)은 사격장 모델과 유사한 형태로 나타낼 수 있다.

4. 실험 및 결과 분석

본 실험은 위의 다양한 제약식을 구현하기 위해 GAMS라는 최적화 프로그램을 사용하였다[11].

4.1 모델을 통한 할당결과

4.1.1 사격장 할당 결과

이 절에서는 사격장 할당 결과에 대해 알아보고자 한다. 우선 사격장을 할당하기 위해 비행기지 별로 사격장에 대한 요구량을 확인하여야 한다. <표 1>과 <표 2>는 각 비행기지가 일반 사격장과 실무장 사격장에 대한 각각의 요구량을 요일별로 나타낸 값이다.

<표 1> 비행기지별 일반 사격장 요구량

| 비행기지 | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 |
|------|---|---|---|---|---|
| 1FW | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 2TW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3MW | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ⋮ | | | | | |
| 15RG | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

<표 2> 비행기지별 실무장 사격장 요구량

| 비행기지 | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 |
|------|---|---|---|---|---|
| 1FW | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 2TW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3MW | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ⋮ | | | | | |
| 15RG | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

<표 3>과 <표 4>는 요구량에 비례하여 비행기지 별로 설정된 목표값이다. 일반 사격장의 경우에는 요구한 양보다 실제 가용한 사격장의 수가 적기

때문에 요구량에 비례하여 적게 설정되었고, 실무장 사격장 같은 경우에는 요구한 양보다 가용한 사격장의 수가 많기 때문에 요구량에 비례하여 많게 설정되었다. 이렇듯 가용 사격장의 수에 따라 목표값은 요구량보다 많을 수도 있고 적을 수도 있다.

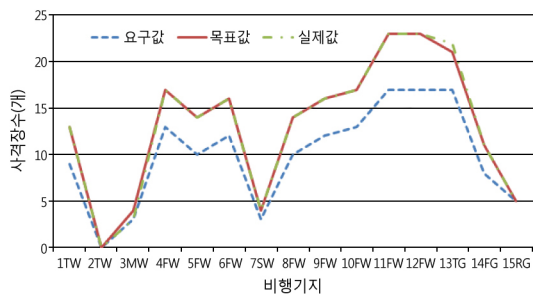
<표 3> 비행기지별 일반 사격장 목표 할당값

| 비행기지 | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 |
|------|---|---|---|---|---|
| 1FW | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2TW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3MW | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ⋮ | | | | | |
| 15RG | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

<표 4> 비행기지별 일반 사격장 목표 할당값

| 비행기지 | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 |
|------|----|----|----|----|----|
| 1FW | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| 2TW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3MW | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ⋮ | | | | | |
| 15RG | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

[그림 1]은 비행기지별 사격장 요구량과 목표값, 그리고 실제 할당량을 나타낸 것이다. 목표값은 비행기지별 요구량에 비례하여 설정되고 목표값에 최대한 만족할 수 있도록 할당된다. 실제 할당량은 기타 고려 요인에 의해 목표값에 대한 오차를 최소화 시키면서 비행기지별 요구량을 충족할 수 있는 범위 내에서 할당되었다.



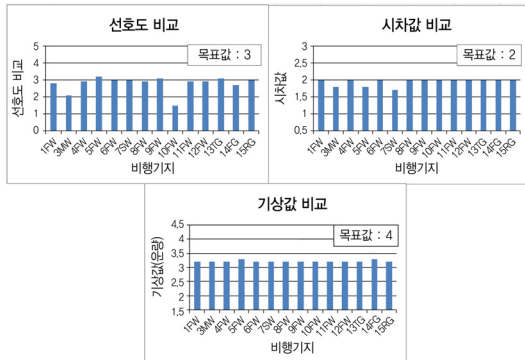
[그림 1] 사격장 요구량, 목표값, 실제 할당값

[그림 2]는 할당된 사격장의 선호도, 시차, 기상 값에 대한 평균을 나타낸 것이다. 사격장의 경우 각각의 목표값은 선호도는 3, 시차는 2, 기상은 4로 설정하였다. 앞서 설명하였듯이 선호도, 시차제, 기상 등의 값은 작을수록 좋다. 이때 특정 목표값 이하의 값을 가질 수 있도록 양의 편차값을 최소화하여 대부분의 값들이 목표값 이하의 값을 가지는 것을 알 수 있다.

또한 [그림 3]과 같이 10FW 기지를 예를 들어 보면 월~금까지의 할당량의 합은 DR1은 14개, DR2는 16개, LR3는 55개이다(음영 처리된 부분). 임무 수행 가능거리가 멀어서 최대 거리 제한을 초과하는 LR1, LR2, LR4에 대해서는 할당되지 않았다(음영 처리되지 않은 부분). 할당량에 있어서도 선호도 순서가 LR3, DR2, DR1의 순으로 설정되어 있기 때문에 선호도가 높은 사격장이 많이 할당되었다. 이것

을 통해 알 수 있듯이 거리제약을 통해 제외된 사격장을 제외하고 선호도가 높은 사격장을 우선 할당을 알 수 있다.

<표 5>는 시차 목표값의 변화에 따른 비행 가능 시간대의 사격장 할당비율이다. 이를 참조해 보면 현실에서는 시차제 운영으로 인해 비행기지에 따라 비행 불가능한 시간대에 할당되는 경우가 많았는데 모델에서 시차 목표값을 2로 했을 때는 약 70.4%가 비행 가능 시간에 할당되었고, 목표값을 1.5로 하였을 때는 약 90.2%가 비행 가능 시간에 할당되었다. 이것을 통해 알 수 있듯이 관리자는 시차 목표값을 조절함으로써 비행가능 시간대에 사격장을 할당하는 비율을 조절할 수 있도록 하였다. 이 문제에서 가정된 사격장 요구량의 총합은 745개이며 시차 목표값이 1.8보다 좋은 값을 선정 시에는 요구량 이상의 사격장을 비행가능 시간대에 할당하고 있음을 알 수 있다. 요구량보다 많은 사격장을 비행가능 시간대에 할당함으로써 비행계획 시에 보다 많은 융통성을 부여할 수 있다.



[그림 2] 비행기지별 선호도, 시차, 기상값 비교(사격장)

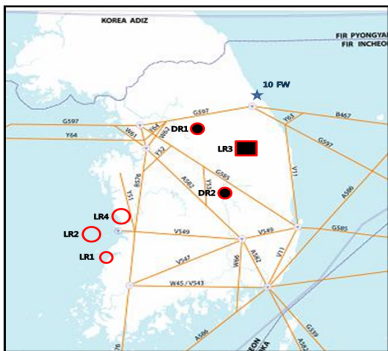
<표 5> 시차값 변화에 따른 비행가능시간대 할당률

| 시차 목표값 | 할당가능 사격장수 | 비 비행 시간할당 | 비행가능 시간할당 | 비행가능 시간대 할당률(%) |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| 2 | 990 | 293 | 697 | 70.4 |
| 1.8 | 990 | 113 | 877 | 88.6 |
| 1.5 | 990 | 97 | 893 | 90.2 |

또한 이러한 과정이 전체적으로 3분 이내의 합리적인 시간 내에 문제가 해결되었다. 이는 주간단 위로 계획되는 업무에 대해 관리자들이 실무에 적용하기에 적합한 시간이며 자동화된 할당 프로그램으로 인해 업무가 과중되는 것을 막을 수 있다.

4.1.2 공역 할당 결과

이 절에서는 공역 할당에 대한 결과를 나타내었다. 기본적인 방식은 사격장 할당 방식과 유사하다. 우선 <표 6>과 같이 비행기지 별 공역 요구량을 가 정하였고 그에 따른 목표값(<표 7>)을 설정하였다.



[그림 3] 10FW 비행기지의 할당 사격장

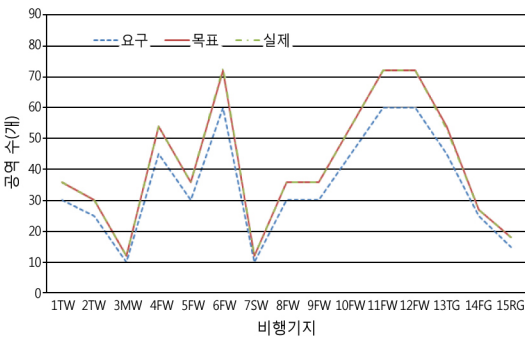
〈표 6〉 비행기지별 공역 요구량

| 비행기지 | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 |
|------|----|----|----|----|----|
| 1FW | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 2TW | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 3MW | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| ⋮ | | | | | |
| 15RG | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |

〈표 7〉 비행기지별 공역 목표값

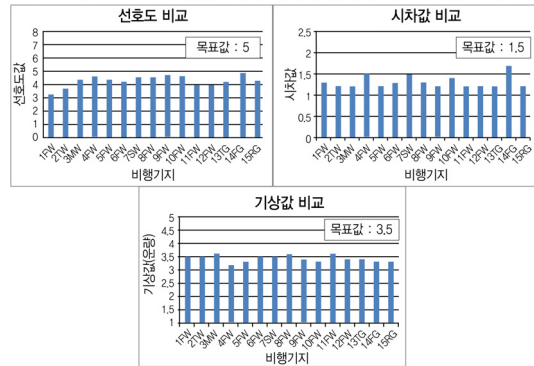
| 비행기지 | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 |
|------|----|----|----|----|----|
| 1FW | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 2TW | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 3MW | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| ⋮ | | | | | |
| 15RG | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |

할당은 목표값을 기준으로 한다. 이를 통해 비행 을 하지 않거나 일부 시간만 운영할 경우 요구량이 적어지고 이에 따른 목표값도 변화하기 때문에 융 통성 있는 할당이 가능하다.



〔그림 4〕 공역 요구량, 목표값, 실제 할당값

〔그림 4〕는 비행기지별 공역 요구량과 목표값 그 리고 실제 할당량을 나타낸 것이다. 이것을 통해 실제 할당한 값은 목표값과 거의 일치함을 알 수 있다. 목표값에 거의 일치하게 할당한 것은 비행기지의 규모에 따라 공역을 할당함으로써 비행기지 간의 형평성 있게 배분된 것을 의미한다.



〔그림 5〕 비행기지별 선호도, 시차, 기상값 비교(공역)

〔그림 5〕는 비행기지별로 공역에 대한 선호도, 시 차, 기상 값의 평균값을 나타낸 것이다. 각각의 목표 값은 비행기지별 공역에 대한 선호도는 5, 임무를 위 한 최소 요구 기상값은 3.5, 기지별 시차제 값은 1.5로 설정하였다. 위 결과를 보면 알 수 있듯이 각 목표값 에 대해 대부분 작은 값을 나타내고 있으며, 이는 관 리자가 정한 여러 기준을 최대한 충족하는 결과이다.

〈표 8〉은 비행기지별로 광역화 공역 요구량을 나타내었다. 앞서 말했듯이 광역화 공역은 임무의 특성상 공역을 2개에서 4개까지 동시에 필요할 때 사용하며 비행기지별로 사용할 수 있는 광역화 공 역의 종류가 다르다. 또한 모든 비행기지가 광역화 공역이 필요한 것은 아니다. 비행기지가 보유하고 있는 기종과 기지 주변 공역의 크기에 따라서 필요 성이 다를 수 있기 때문이다.

〈표 8〉 비행기지별 광역화 공역 요구량

| 비행기지 | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 |
|------|---|---|---|---|---|
| ⋮ | | | | | |
| 4FW | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 5FW | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 6FW | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ⋮ | | | | | |

〈표 9〉는 비행기지별 요구량에 맞게 광역화 공 역을 할당한 결과이다. 비행기지의 요구량에 맞게 광역화 공역이 할당되었으며, 공역의 특성상 2개에 서 4개의 공역이 합쳐진 형태로 이루어져 있다. 기

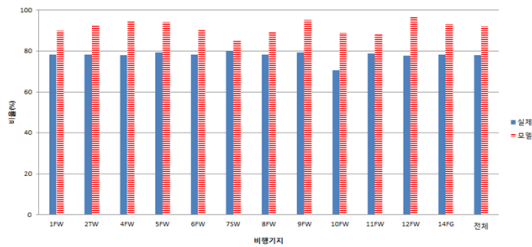
중별로 사용할 수 있는 광역화 공역이 다르게 설정되어 있기 때문에 비행기마다 다른 공역이 할당된다. 또한 할당된 여러 공역은 동시에 사용되기 때문에 동일 시간에 할당되도록 하였다.

〈표 9〉 광역화 공역 할당 결과

| 기지 | 월 | 화 | 수 | 목 | 금 |
|-----|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| ⋮ | | | | | |
| 4FW | | | | MOA 5, 11 | |
| 5FW | | MOA 2, 3 | | | |
| 6FW | MOA 8, 9, 12 | MOA 25, 26 | MOA 25, 26 | MOA 8, 9, 12 | MOA 8, 9, 12 |
| ⋮ | | | | | |

4.2 공역 할당 타당성 검증

이 절에서는 모델을 통해 할당된 공역의 타당성을 검증하기 위해 현재 방식으로 할당한 결과와 모델을 통해 할당한 결과를 비교해 보고자 한다. 현재는 비행단 개별공역의 경우 공군 규정인 훈련공역사용절차를 기준으로 비행기지에 할당하고 있으며 중앙계획공역은 중앙부서에서 주간단위로 할당한다.

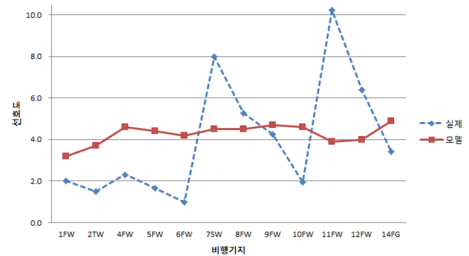


〔그림 6〕 비행가능 시간대 할당율 비교(모델 vs 실제)

〔그림 6〕은 시차제를 고려하지 않는 현재방식과 시차제를 고려하는 모델의 비행가능 시간대의 공역 할당 비율을 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 현재 할당 방식은 77.88% 만이 비행가능 시간대에 할당되고 있다. 이는 곧 비 비행 시간대에 22% 정도의 공역이 불필요하게 할당 된다는 의미이며 이로 인해 정작 필요로 하는 비행기지는 사용

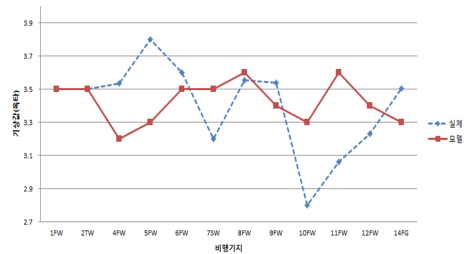
할 수 없게 되거나 사용하기 위해 공역 획득을 위한 추가적인 업무가 증가할 것이다.

이에 반해 모델은 상대적으로 높은 비율(91.72%)로 비행 가능 시간에 할당함으로써 추가적인 업무가 생기는 것을 최소화 할 수 있을 것이다.



〔그림 7〕 기지별 평균 선호도 비교

〔그림 7〕은 실제와 모델을 통한 할당시의 기지별 선호도 평균값을 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 모델을 통한 할당은 비행기지 별로 비슷한 선호도 값을 가지지만 실제 할당은 기지별 선호도 편차가 큰 것을 알 수 있다. 세부적으로 표준편차를 비교해 보아도 실제 운영은 약 2.93의 값을 가지지만, 모델은 0.4의 값을 가진다. 편차가 크다는 것은 기지별로 선호도에 대해 공평한 할당을 받지 못하다는 것을 의미한다. 이는 기지별 할당 받은 공역에 대한 만족도가 떨어지며 선호도를 선정할 때 고려한 공역의 위치나 거리적인 측면에서 본다면 상대적으로 불리한 위치나 거리가 먼 공역을 할당 받게 된다는 것을 의미한다. 이는 작게는 공역할당에 대한 만족도가 떨어지고 크게는 훈련 성과에도 영향을 줄 수 있는 요인이 될 것이다.



〔그림 8〕 기지별 평균 기상값 비교

[그림 8]은 실제와 모델을 통한 할당 시의 기지별 기상값 평균을 비교한 값이다. 이 결과 또한 역시 실제 할당값의 편차가 모델을 통한 할당보다 크다는 것을 알 수 있다(표준편차 실제 : 0.28, 모델 : 0.13). 이것은 모델이 기상 측면에서도 보다 공평한 할당이 가능하다는 것을 알 수 있다. 여기서 다른 고려요소에 비해 편차의 차가 적은 이유는 가중치를 적게 선정하였으며 가정한 현재 기상값의 평균값이 목표값 이하의 기상값을 가지기 때문이다. 만약 목표값보다 높은 기상값 위주로 입력하였다면 모델과 실제 할당 공역에 대한 편차는 더욱 클 것이다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 목표계획법을 이용하여 군 공역 및 사격장을 비행기지 별로 형평성 있게 할당하는 모델을 제시하였다. 목표계획 모델은 고려요소별로 목표값을 선정할 수 있어서 여러 가지 기준을 동시에 충족할 수 있다는 것과 비록 목표값을 초과하거나 미달하는 상황이 발생하더라도 그 편차를 최소화 하는 최적 가능해를 찾을 수 있다.

그리고 이 모델을 활용하게 되면 공역과 사격장을 관리 하는 여러 부서를 하나로 통합하였을 때 업무가 집중되는 것을 막을 수 있으며, 하나로 통합된 부서로 인해 수요자의 업무 협조 시간을 단축할 수 있을 것이다. 또한 실험결과에서도 알 수 있듯이 비행기지 별로 고려요소에 대한 편차가 크지 않으며, 이는 각 기지가 형평성 있는 할당을 받을 수 있다는 것을 의미한다. 이는 해당 기지의 공역 및 사격장 할당에 대한 만족도를 향상시킬 수 있다.

추가적으로 관리자 측면에서 사용하기 편리하게 하기 위해 NOTAM 및 요청 공역에 대해서 미리 반영할 수 있는 환경을 구축해 놓았다. 공역관리자는 NOTAM 및 요청 공역에 대한 반영을 하고 목표계획 모델을 실행시켜 주면 최적의 해를 얻을 수 있으며 이후에도 관리자가 필요시 수정이 가능하도록 하였다.

따라서 본 연구는 실제 공역 및 사격장을 관리하는 부서에서 다양한 기준을 충족하는 합리적인 방안이라고 할 수 있다.

하지만 이 연구에서는 근접항공지원 업무나 저고도 임무, 편대군 임무와 같은 특별한 임무에 대한 공역을 반영하지 않았다. 추가적으로 이 부분을 할당할 시에는 늘어나는 변수와 제약식으로 인해 계산시간이 늘어날 수 있다. 따라서 합리적인 시간 내에 근사해를 구할 수 있는 휴리스틱 방법론을 적용한 연구가 필요하다.

또한 평시 임무지역 뿐만 아니라 전시에 임무 지역을 할당하는 문제도 연구가 필요하다. 왜냐하면 전시에는 시 공간적인 분리요소들이 증가할 것이고 여러 가지 제약사항들이 발생할 것이며 많은 제약을 고려한 상태에서 신속하게 최적해를 구하는 방법이 필요하기 때문이다.

마지막으로 공역 할당 문제와 더불어 항공기 및 조종사 배정 문제를 통합하여 하나의 비행계획 모델을 만드는 연구가 필요하다. 이를 위해 해당 문제에 대한 고려요소를 추가적으로 식별하고 통합시 발생할 수 있는 문제점을 식별 보완해 나가야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 공군구성군사령부 편, 구성군사규정 55-9 훈련공역사용절차, 서울 : 공군구성군사령부, 2013.
- [2] 이문걸, 송철호, “공역 할당 최적화 기법”, 『한국항공경영학회지』, 제12권, 제2호(2014), pp. 47-65.
- [3] 최현진, 서중보, 김유단, “혼합정수 선형계획법과 유전 알고리즘을 이용한 다수 무인항공기 임무할당”, 『한국항공우주학회지』, 제38권, 제5호(2010), pp.427-436.
- [4] 김동현, 이영훈, “사격 표적 할당과 사격 순서 문제를 위한 휴리스틱 알고리즘”, 대한산업공학회/한국경영과학회 추계학술대회, 2008.
- [5] 정민섭, 박명섭, “상호작용 다목적 최적화 방

- 법론을 이용한 전시 탄약 할당 모형”, 한국경영과학회 학술대회논문집, (2006), pp.513-524.
- [6] Frederick, S. and J. Gerald, *Introduction to Operation research*, Holdenday Inc, San Francisco, CA, 1995.
- [7] Marc, J., *Goal Programming Methodology and Applications*, Springer Science and Business Media, 1995.
- [8] Eiselt, H.A. and Sandblom, C.-L., *Linear Programming and its Application*, Springer Science and Business Media, 2009.
- [9] Stanley Zionts, *Linear and Integer Programming*, Prentice-Hall, 1997.
- [10] Richard coppins, *Linear programming and Extensions*, New York : McGraw-Hill, (1981), pp.358-387.
- [11] Erwin Kalvelgen, *Solving Multi-Objective Models with GAMS*, The War, New York : Knopf, 2007.
- [12] Delahaye, D., J.M. Alliot, and J.L. Farges, *Genetic algorithms for partitioning air space*, In proceeding of the 10th Conference on Artificial Intelligence for Applications, (1994), pp.291-297.