

전투비행대대 비행스케줄링에 관한 연구

이문걸^{1†} · 서상훈²

¹국방대학교 운영분석학과, ²공군본부

A Study of Flight Scheduling Problem on Fighter Squadron

Moongul Lee^{1†} · Sanghoon Seo²

¹Korea National Defence University, ²Korea Air Force Head Quarter

■ Abstract ■

Fighter squadron flight scheduling is the integrated air operation plan that is an important role for improving pilot's flight skill and maintaining combat readiness by efficient using available all air resources including pilot, aircrafts, air-weapons, fuel and supporting facilities etc. Korea airforce, however, has a limit as to an effective flight operation due to manual flight scheduling with scheduler's own experience and intuition. Therefore, in our study, we propose the optimization model of flight scheduling based on mixed integer programming. This model includes several constraints of realistic and essential quantified data related with flight schedule and can assign appropriate pilots optimally which are distinctive three type's solutions : flight, alert and duty crew schedules.

Proposed solution method can be improved pilot's capability and allocated further air resources systematically and efficiently. In addition, it can be reduced a workload of flight scheduler and minimized obstructed factors of flight safety. Finally, we demonstrate the experiment's results for the check of efficiency and validity of this model.

Keywords : Flight Scheduling, Integer Programming, Optimization, Pilot

1. 서 론

현재 한국 공군 전투비행대대의 비행스케줄링은 조종사인 비행스케줄러에 의해 수작업으로 작성된다. 고가치 항공자원을 운영하여 조종사를 훈련하고 전비태세를 유지함에 있어, 이러한 수기식 방법들은 다음과 같은 문제점을 내포하고 있다.

- (1) 항공자원의 효율적인 배분 및 할당 곤란
- (2) 체계적이고 과학적인 기량향상 어려움
- (3) 비행스케줄러의 업무부담 및 비행안전 저해
- (4) 비행스케줄러의 주기적 교체로 취약시기 발생
- (5) 과학적, 계량적 자원관리 데이터 산출 제한

이러한 문제점은 현재 전 공군의 비행대대에 산재되어 있으며 할당된 항공자원의 운영 효율성을 저하하는 결과를 초래하고 있다.

또한, 최근 이슈가 된, 고자격 조종사 유출로 인한 전력공백과 맞물려 그 어려움은 날로 증가되고 있다. 공군은 과학적 방법을 적용해 자원운영 효율화를 달성해야 하는 시대적 요구에 직면해 있다.

2. 유사 연구 고찰

군용 항공기를 대상으로 한 비행스케줄링은 항공자원의 효율적 배분과 할당 문제, 교육훈련 문제, 운영비용 감소 문제가 해당된다. 미 공군은 이미 1980년대부터 효율적이고 체계적인 비행훈련을 위해 비행스케줄링 프로그램을 개발하고 운영 중에 있으며 지속 보완하고 있다. Robert는 F-15 비행대대 비행스케줄링 기법을 이용한 항공자원의 효율적 할당 문제를 다뤘다. 컴퓨터 프로그래밍을 통한 비행스케줄링 기법을 소개하여, 조종사 기량을 향상하고 항공자원을 효율적으로 관리하는 방법을 제시하였다[7]. 또한, Murat는 휴리스틱 기법을 이용한 터키공군 주간 비행스케줄링 기법을 제시함으로써 자원운영 효율성을 높이고자 하였다. 조종사 휴식, 비행소티, 근무 등의 고려요소를 GRASP 휴리

스틱 기법을 이용하여 해결하였다. 자동화된 스케줄링 기법이 전무한 터키공군의 현실을 반영하고 스케줄러의 시간여유를 확보하는 것을 그 목적으로 하였다[8]. Hozaki는 2011년에 SH-60J 헬리콥터 교육훈련을 위한 주간 스케줄링 방법론을 제시하였다. 비행순기, 실라버스, 비행좌석별 자격 구분을 적용하였고, 비행과 비상대기, 모의비행에 관한 스케줄링을 다뤘다[9]. Raffensperger와 Swords는 전자전 항공기인 EA-6B의 전투준비태세에 관한 논문을 발표하였다. 선형 계획법을 적용하여 결과를 도출하였으며 조종사의 훈련과, 훈련을 통한 자격획득, 장기 비 비행으로 인한 자격 상실 등의 제약조건을 다뤘다[10].

조종사 기량향상을 위한 연구는 훈련비행대대를 다룬 논문에서 살펴볼 수 있다. Thomas의 연구에서는 훈련을 전담하는 비행대대 조종사 스케줄링을 위한 수리모델을 소개하였다. 훈련비행대대의 비행, 조종사 휴식, 근무, 실라버스 운영 등에 걸친 다양한 제약조건에 대한 해답을 도출하였으며, 10개의 부분문제로 재분할하는 방법론을 포함한 두 가지 기법을 다루고 있다[11]. 국내에서는 이유인의 단위 비행체계의 승무원 일일 비행스케줄링에 관한 연구가 유일하다. 요구량과 비행순기를 고려하여 조종사를 일정 간격으로 탑승시키는 것을 목적으로 했다[5]. 하지만 이 연구의 경우 시기적으로 오래되었기 때문에 현 공군의 비행운영에 반영하기 곤란하다.

유사 연구 고찰을 통해, 우리는 다양한 형태의 군 비행스케줄링 방법론을 확인할 수 있었다. 군용 항공기 비행스케줄링에 관한 연구는 국내와는 달리, 국외의 경우 군 기관을 중심으로 다양한 분야에 걸쳐 활발하게 이뤄지고 있다. 이러한 연구결과는 운용 항공기 특성 차이, 군 조직 및 편제 차이, 운영 환경을 포함한 제반 제약조건의 차이로 인해 한국 공군에 적용하기는 어려운 실정이다[4, 5].

따라서, 본 연구에서는 한국 공군에 적합한 비행스케줄링 구축과 해법을 제시함으로써, 군의 체계적이며 과학적인 기법 적용 및 발전에 기여하고자 한다.

3. 문제 정의 및 설명

공군의 비행스케줄은 월간, 주간, 일일 비행스케줄로 구분된다. 월간 비행스케줄은 자원할당과 배정을 위한 지침이 되는 것으로, 전월 말 작성한다. 주간 비행스케줄은 차주의 비행 소티, 특기사항, 특수임무 등을 사전에 계획하는 단계로서, 전주 금요일 확정된다. 운영의 실질적인 지침을 말한다. 비행스케줄러는 조종사를 관리하고 배정하는 주 일일 비행스케줄은 실제 비행 운영을 위한 세부사항까지 명시한 계획서로서 비행임무를 담당하며, 비행, 비상대기, 근무 스케줄을 작성한다. 비행스케줄링이란 자격에 맞는 조종사를 비행과목별로 설정된 비행위치, 비상대기, 근무역할에 할당하는 작업을 말한다[1, 3].

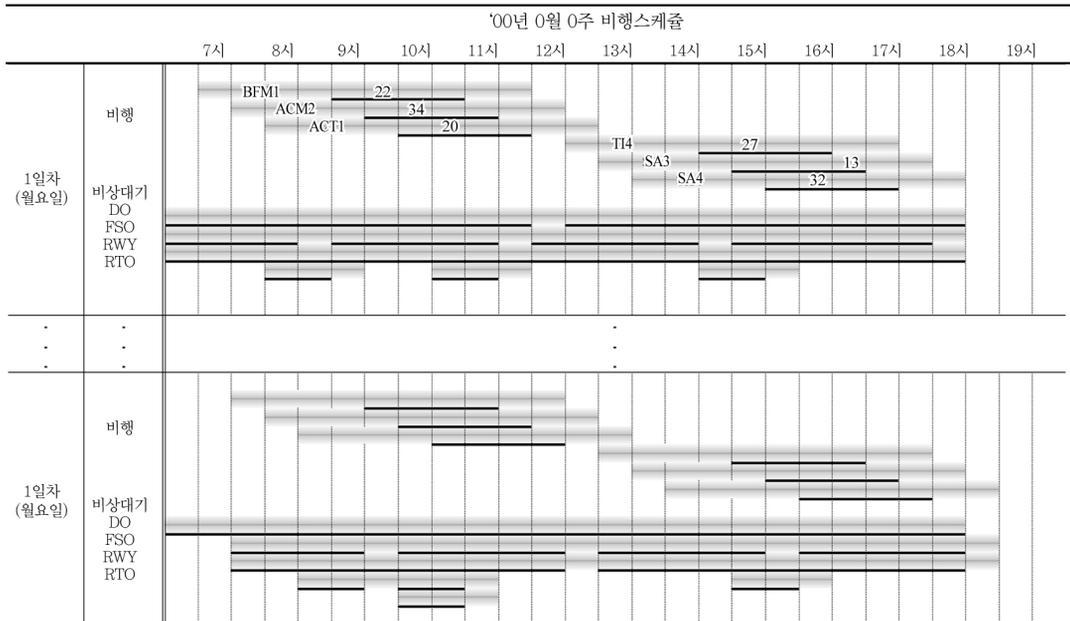
본 연구의 목표는 공군 F-16 전투비행대대 주간 비행스케줄링 수리모형 구축과 해법 제시를 통해, 항공자원 운용 효율성을 증대하고, 조종사의 기량을 향상하며, 비행스케줄러의 업무 부담을 줄이는 것이다. 주간 비행스케줄링 절차는 다음과

같다[2].

- (1) 개략적인 주간 계획 수립(편조, 과목, 시간)
- (2) 고려사항 계량화 및 수리모델 입력 데이터 작성
- (3) 수리 모델 적용을 위한 데이터 입력
- (4) 최적화프로그램을 이용 일자별 최적해 도출
- (5) EXCEL 함수를 이용한 주간 스케줄 작성

4. 비행스케줄링 모델

[그림 1]은 비행스케줄 작성을 위한 주간 비행스케줄 표이다. 1행은 시간을, 1열은 날짜를, 2열은 비행과 비상대기, 근무를 의미한다. 비행, 비상대기, 근무가 통합된 스케줄을 작성하기 위해, 스케줄러는 하달된 주간 비행시간표를 확인하여 실선표시한다. 또한, 비행임무를 위한 브리핑, 시동점검, 디브리핑 등에 소요되는 시간은 음영표시 한다. 이후 요구량, 작사임무 등을 고려하여 과목별 탑승 최우선 순위 조종사를 선정하며, BFM1, ACM2 등 비행과목도 함께 기입한다. 탑승 최우선 순위 조종사



[그림 1] 비행스케줄링 표

는 주로 승급, 기량향상, 중점관리, 요구량 과다, 비행 순기지연 등에 해당하는 조종사를 말한다. 스케줄링 표의 빈자리는 수리모형에서 도출한 최적값으로 채워진다.

4.1 고려사항

공군 교범 상 비행스케줄링 시 고려할 사항은 조종사 정보, 개별 조종사 기량관리(IPQC : Individual Pilot Quality Control), 적합도, 과목 요구량, 순기, 업무부담, 안전수준, 기상등급이다[4]. 총 34명의 조종사 중 자격별로 한 명씩 선정하여 구성하였으며, 비행과목은 23개 중 4개를, 비상대기는 4가지 형태 모두를, 근무는 6가지 형태 중 4가지를 제시하였다.

또한, 공군 전장관리 정보체계(C4I) 내 공군작전관리체계 데이터를 재가공하여 사용하였다. 아울러, 일관성 있는 결과 분석을 위해 목적식에 포함된 적합도, 요구도, 순기와 같은 개별 함수에 대한 파라미터 값을 표준화하여 적용하였다.

조종사 정보(PILOT INFORMATION)

조종사 정보란 비행자격, 비행등급, 임관년도 등 해당 전투대대에 소속된 전체 조종사의 비행관련 정보가 수록된 데이터를 의미한다. 조종사는 비행시간과 비행기량에 따라 교관, 4기 리더, 2기 리더, 요기로 구분한다. 또한 비행기량 관리를 위해 비행자격을 각각 A, B, C로 구분한 비행등급을 적용한다. 편조 내 임관년도를 구분하기 위한 정보도 포함된다.

IPQC(Individual Pilot Quality Control)

조종사는 자격별, 등급별, 기수별로 투입 가능한 비행과 비상대기와 근무가 정해져 있기 때문에, 이를 식별하고 적용하는 것은 매우 중요한 작업이다. <표 1>은 비행 IPQC 자료를 나타낸다. 이진변수를 적용하여, 조종사가 과목별로 해당 비행위치에 투입 가능하면 1, 아니면 0을 부여한다.

<표 1> 비행 IPQC

비행 IPQC	과목 1	과목 2	과목 3	과목 4	
조종사 1 (교관 A급)	1분기	1	1	1	1
	2분기	1	1	1	1
	3분기	1	1	1	1
	4분기	1	1	1	1
조종사 7 (4기 리더 A급)	1분기	1	1	1	1
	2분기	1	1	1	1
	3분기	1	1	1	1
	4분기	1	1	1	1
조종사 18 (2기 리더 B급)	1분기	0	0	0	0
	2분기	1	1	1	1
	3분기	1	1	1	1
	4분기	1	1	1	1
조종사 32 (요기 C급)	1분기	0	0	0	0
	2분기	1	1	1	1
	3분기	0	0	0	0
	4분기	1	1	1	1

적합도(SUITABILITY)

적합도란 조종사가 비행 위치별, 비행 과목별, 비상대기 종류별, 근무 형태별로 구분되어 배정되었을 경우 얼마나 적합한지를 나타내 값이다. 또한, 안전도와 더불어 편조별 안전수준을 판단하는 지표가 된다. <표 2>는 비상대기 적합도를 나타낸다. 비상대기 종류별 적합도가 낮은 1부터 최대값 10까지 구분하였다.

<표 2> 비상대기 적합도

비상대기 적합도	대기 1	대기 2	대기 3	대기 4	
조종사 1 (교관 A급)	1분기	7	7	7	7
	2분기	1	1	1	1
	3분기	0	0	0	0
	4분기	0	0	0	0
조종사 7 (4기 리더 A급)	1분기	10	10	10	10
	2분기	7	7	7	7
	3분기	0	0	0	0
	4분기	0	0	0	0
조종사 18 (2기 리더 B급)	1분기	0	0	0	0
	2분기	10	10	0	0
	3분기	0	0	7	7
	4분기	0	0	7	7
조종사 32 (요기 C급)	1분기	0	0	0	0
	2분기	4	4	0	0
	3분기	0	0	10	10
	4분기	0	0	10	10

요구도(DEMAND)

요구도는 조종사의 해당 과목별 연간 비행요구량 대비 현재 비행횟수를 나타내는 값으로 이 값의 역수로 <표 3>과 같이 목적함수 파라미터 값에 반영되어 높은 수치를 갖는 조종사가 우선 배정되도록 한다. 비행, 비상대기, 그리고 근무 스케줄 수리 모형에서 적절한 조종사 배정 여부를 판단 할 수 기준이 된다. 즉, 요구도가 높을수록 비행에 우선 투입되며, 낮을수록 근무에 투입될 것이다.

<표 3> 근무 요구도

근무 요구도	비행요구도의 역수
조종사 1 (교관 A급)	1.2
조종사 7 (4기 리더 A급)	1.9
조종사 18 (2기 리더 B급)	4.7
조종사 32 (요기 C급)	3.8

순기(ELAPSED TIME)

순기는 조종사가 해당 비행, 비상대기, 근무를 수행한 이후 경과한 기간을 나타내는 값이다. <표 4>는 근무 순기를 나타낸다. 근무 종류별로 경과한 날 일수를 나타낸다.

<표 4> 근무 순기

근무 순기	근무 1	근무 2	근무 3	근무 4
조종사 1 (교관 A급)	0	3	5	2
조종사 7 (4기 리더 A급)	0	2	2	1
조종사 18 (2기 리더 B급)	2	0	0	0
조종사 32 (요기 C급)	4	0	0	0

업무부담(WORKLOAD)

업무부담은 <표 5>와 같이 1개월동안 기준으로 비상대기와 근무에 투입된 횟수를 나타내며, 상대

적으로 적은 횟수의 근무를 한 조종사가 먼저 배정 된다.

<표 5> 비상대기 업무부담

비상대기 업무부담	근무 수행 횟수
조종사 1 (교관 A급)	6
조종사 7 (4기리더 A급)	9
조종사 18 (2기리더 B급)	5
조종사 32 (요기 C급)	2

안전도(SAFETY)

안전도는 조종사별, 비행 위치별, 비행과목별로 해당 위치에 투입되는 조종사의 안전기여도를 1부터 12단계로 구분하여 작성한다. 안전도는 비행 임무를 수행할 경우 적용되기 때문에 비행과 비상대기 만 입력된다. 이는 비행편조 구성 시 안전한 임무 수행이 가능한지를 나타내는 값이며, 중요한 기준이 된다.

기상등급(WEATHER CATEGORY)

안전한 비행 운영을 위한 필수 요소로서, 기상등급은 강설, 강우, 안개 등 악기상 시 비행 가능한 인원을 구별한다. 비행자격, 비행등급을 기준으로 3단계(Category I, II, III)로 구분된다.

4.2 비행스케줄링 수리모형

주간 비행스케줄링이란 일일 비행스케줄링과 조종사 관리 자료 업데이트의 연속된 작업이다. 오늘의 비행결과를 데이터에 업데이트하고, 업데이트된 데이터를 내일 스케줄에 적용한다. 따라서 본 연구에서는 일일 비행스케줄링에 집중하여 관련된 고려사항, 제한사항, 수리모형을 먼저 언급한 후, 다음날 조종사 휴식, 주간 비행과목 등을 고려한 연속된 작업을 통해 계획된 주간 비행스케줄을 포함하는 형태의 모델을 제시한다.

4.3 일일 비행 스케줄링

비행스케줄링은 다음의 제약조건을 포함한다.

- (1) 모든 비행편조는 IPQC, 요구도, 안전도, 적합도, 비행순기 등을 고려하여 구성되며, 이러한 기준이 어느 한 편조에 치중되지 않아야 한다.
- (2) 각 과목별로 지정된 항공기 대수와 조종사 자격별로 구분된 비행위치에 적합한 조종사가 배정되어야 한다.
- (3) 각 편조별 안전도는 일정수준 이상을 유지하며, 특정 편조에 편중되지 않게 한다.
- (4) 편조 내 비행등급 차등화를 통해 리더 역할을 구분한다.
- (5) 같은 편조 내 동일년도 임관 조종사를 배치하지 않는다.
- (6) 기상등급에 맞는 조종사를 배정한다.

인덱스(Indices)와 집합(Set)

$p \in P$: 조종사

$s \in S$: 비행위치

$f \in F$: 비행과목

$m \in M$: 스케줄링 날짜

$P_m \subset P$: m일 가용 조종사

$F_m \subset F$: m일 실시할 비행과목

$F_{2ship} \subset F$: 2기 편대로 구성된 임무 비행과목

$F_{3ship} \subset F$: 3기 편대로 구성된 임무 비행과목

$F_{4ship} \subset F$: 4기 편대로 구성된 임무 비행과목

파라미터(Parameter)

$FIPQC(p, s, f)$: 비행 IPQC

$FSUIT(p, s, f)$: 비행 적합도

$FSAFT(p, s, f)$: 비행 안전도

$FDMND(p, f)$: 비행 요구도

$FELAP(p, f)$: 비행 순기

$SEAT(s, f)$: 비행과목별 비행위치 수

$ALUMNI(p)$: 조종사 임관년도

$GRADE(p)$: 조종사 등급

$WEATHERCAT1(p)$: 기상등급 분류 1

$WEATHERCAT2(p)$: 기상등급 분류 2

$WEATHERCAT3(p)$: 기상등급 분류 3

$MINSAFT$: 최소 안전수준

$FW1 \sim 3$: 기상등급 분류

$FC1 \sim 3$: 상대 가중치(적합도, 요구도, 순기)에 대한 지휘관 지휘 지침

결정변수

$x(p, s, f)$: 조종사 p 가 비행 f 수행 시 비행위치 s 에 할당되면 1, 아니면 0(이진변수)

목적함수

비행스케줄링 목적식은 비행적합도, 비행요구도, 비행순기를 고려하여 비행과목별로 지정된 비행위치에 최적의 조종사를 할당하는 것이다. 비행적합도가 높거나, 비행요구량이 많거나, 비행순기가 길어질 경우 비행탑승 우선권을 갖는다. 또한, 지휘지침 설정 가중치를 통한 지휘관 의도 반영이 가능하다.

Maximize. (1)

$$\begin{aligned} & FC1 \cdot \sum_{p \in P_m} \sum_{s \in S_f \in F_m} FSUIT(p, s, f) \cdot X(p, s, f) \\ & + FC2 \cdot \sum_{p \in P_m} \sum_{s \in S_f \in F_m} FDMND(p, s, f) \cdot X(p, s, f) \\ & + FC3 \cdot \sum_{p \in P_m} \sum_{s \in S_f \in F_m} FELAP(p, f) \cdot X(p, s, f) \end{aligned}$$

제약조건

식 (2), 식 (3)은 비행과목별로 지정된 비행위치에 투입되는 조종사의 편조별, 과목별 인원수를 제한하며, 과목별 비행편조의 댓수를 반영한다.

$$\sum_{p \in P_m} \sum_{s \in S_f \in F_m} X(p, s, f) = \sum_{s \in S_f \in F_m} SEAT(s, f) \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P_m} \sum_{s \in S} X(p, s, f) = \sum_{s \in S} SEAT(s, f), \quad \forall f \in F_m \quad (3)$$

식 (3), 식 (4)는 비행과목별, 비행위치별로 탑승 가능한 조종사의 자격을 제한한다. 또한, 기상 악화 시 기상등급 반영에 따른 가용 조종사를 구분한다.

$$\begin{aligned}
 FW1 \cdot \sum_{p \in P_m} WEATHERCAT1(p) \cdot FIPQC(p, s, f) & \quad (4) \\
 \cdot X(p, s, f) + FW2 \cdot \sum_{p \in P_m} WEATHERCAT2(p) \\
 \cdot FIPQC(p, s, f) \cdot X(p, s, f) + FW3 \\
 \cdot \sum_{p \in P_m} WEATHERCAT3(p) \cdot FIPQC(p, s, f) \\
 \cdot X(p, s, f) = SEAT(s, f) \quad \forall s \in S, f \in F_m
 \end{aligned}$$

식 (5)는 비행과목별로 지정된 비행위치에 투입 가능한 조종사 인원을 제한하며, 식 (6)은 편조 구성시 안전도에 대한 기준을 제한한다. 비행편조는 설정된 안전도 값 이상을 충족해야 한다.

$$\sum_{s \in S} \sum_{f \in F_m} X(p, s, f) \leq 1, \quad \forall p \in P_m \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{\sum_{s \in S} SEAT(s, f)} \cdot \sum_{p \in P_m} \sum_{s \in S} FSAFT(p, s, f) \cdot X(p, s, f) \quad (6) \\
 & \geq MINSAFT(s, f), \quad \forall f \in F_m
 \end{aligned}$$

식 (7)과 식 (8)은 2기 편대 임무에 대한 원활한 비행운영을 위해 편조 내 비행등급을 고려한다. 등급 및 기수에 따라 편조 내 투입 가능한 조종사를 배정하는 식이다. 공군에서는 비행군기 유지와 역할 구분을 위해 동년도 임관 조종사를 한 편조 내에 배치하지 않고 있으며, 이러한 공군의 정책을 반영한다.

$$GRADE(p) \cdot X(p, No1, f) + 1 \leq \quad (7)$$

$$GRADE(p) \cdot X(p, No2, f), \quad \forall p \in P_m, f \in F_{2ship}$$

$$ALUMNI(p) \cdot X(p, No1, f) + 1 \leq \quad (8)$$

$$ALUMNI(p) \cdot X(p, No2, f), \quad \forall p \in P_m, f \in F_{2ship}$$

마찬가지로 3기, 4기로 구성된 편대 과목도 식 (7)과 식 (8)의 형태로 제약식을 반영하여야 한다. 3기 편대 임무 과목에 대한 예를 들면, 1번기는 2, 3번기 보다, 3번기는 2번기 보다 조종사 등급 및 기량이 높은 조종사가 배정되어야 한다는 제약식을 포함한다.

4.4 일일 비상대기 스케줄링

일일 비행 스케줄링에서 배정되었거나 비행 후 시간상 가용한 조종사를 대상으로 아래의 비상대기 스케줄링을 작성하며, 다음의 제약조건을 포함한다.

- (1) 모든 비상대기 편조는 IPQC, 요구도, 안전도, 적합도, 비상대기 순기를 고려하여 구성한다.
- (2) 각 비상대기 종류별로 지정된 항공기 대수와 조종사 자격별로 구분된 해당 비상대기 위치에 적합한 조종사가 배정되어야 한다.
- (3) 비상대기 안전수준을 설정하여 일정수준의 안전을 확보한다.
- (4) 비상대기 편조 내 비행등급 차등화를 통해 리더의 역할을 구분한다.
- (5) 비상대기 편조 내 동일년도 임관 조종사를 배치하지 않는다.
- (6) 비상대기 근무가 어느 한 조종사에게 치우치지 않고 균등하게 배분된다.
- (7) 기상등급에 맞는 조종사를 배정한다.

비상대기도 비행을 주 대상으로 하는 근무이다. 따라서 비행스케줄링과 수식 구성은 유사하며, 비상대기에 특화된 데이터가 입력된다. 총 14개의 수식 중 목적식만 소개하며, 잔여 제약식은 비행스케줄의 수리모형과 유사하다.

인덱스(Indices)와 집합(Set)

$s \in S$: 비상대기 위치

$a \in A$: 비상대기 종류

$n \in N$: 비상대기 파트

$P_{mn} \subset P$: m 일 n 파트 가용 조종사

$A_{mn} \subset A$: m 일 n 파트의 비상대기

$A_{2ship} \subset A$: 2기로 구성된 비상대기 임무종류

$A_{4ship} \subset A$: 4기로 구성된 비상대기 임무종류

파라미터(Parameter)

$AIPQC(p, s, a)$: 비상대기 IPQC

$ASUIT(p, s, a)$: 비상대기 적합도
 $ASAFIT(p, s, a)$: 비상대기 안전도
 $ADMND(p)$: 비상대기 요구도
 $AELAP(p)$: 비상대기 순기
 $ALOAD(p)$: 비상대기 업무부담
 $SEAT(s, a)$: 비상대기 종류별 비행위치 수
 $AW1 \sim 3$: 비상대기 기상등급 분류
 $AC1 \sim 4$: 상대 가중치(적합도, 요구도, 업무부담, 순기)에 대한 지휘관 지휘 지침

결정변수

$x(p, s, a)$: 조종사 p 가 비상대기 a 수행 시 비상대기 위치 s 에 할당되면 1, 아니면 0(이진변수)

목적함수 및 제약식

비상대기 스케줄링 목적식은 비상대기 적합도, 비상대기 요구도, 비상대기 업무부담, 비상대기 순기를 고려하여 비상대기 종류별로 지정된 비상대기 위치에 최적화된 조종사를 할당한다.

Maximize.

$$\begin{aligned}
 & AC1 \cdot \sum_{p \in P_{ms}} \sum_{s \in S_u} \sum_{a \in A_{ms}} ASUIT(p, s, a) \cdot X(p, s, a) \quad (9) \\
 & + AC2 \cdot \sum_{p \in P_{ms}} \sum_{s \in S_u} \sum_{a \in A_{ms}} ADMND(p, s, a) \cdot X(p, s, a) \\
 & + AC3 \cdot \sum_{p \in P_{ms}} \sum_{s \in S_u} \sum_{a \in A_{ms}} ALOAD(p, s, a) \cdot X(p, s, a) \\
 & + AC4 \cdot \sum_{p \in P_{ms}} \sum_{s \in S_u} \sum_{a \in A_{ms}} AELAP(p, s, a) \cdot X(p, s, a)
 \end{aligned}$$

비상대기 적합도가 높거나, 비상대기 요구도가 높거나, 비상대기 순기가 길어진 경우 비상대기 투입 우선권을 갖는다. 또한 지휘지침 가중치 설정을 통해 지휘관 지휘 의도가 반영된다.

제약식은 일일 비행스케줄링 수리모형에서 사용되었던 식 (2)~식 (8)이 유사하게 포함되며 식 (4)에서 사용되었던 매개변수 FIPQC(비행조종사등급)가 AIPQC(비상대기조종사등급)으로 파라미터만 바뀐 형태이다.

4.5 일일 근무 스케줄링

근무 스케줄링은 다음 제약조건을 만족하는 비행 및 비상대기스케줄에서 이미 배정된 조종사를 제외한 가용 조종사 집합을 대상으로 배정한다.

- (1) 근무는 IPQC, 요구도, 적합도, 순기를 고려한다.
- (2) 각 근무 형태별 역할과 위치를 구분한다.
- (3) 근무는 조종사별로 균등하게 할당된다.
- (4) 근무 역할 별 등급 차등화를 통해 주 역할과 보조 역할을 구분한다.
- (5) 동일 시간대 근무 조종사간 동일년도 임관 조종사를 배치하지 않는다.

근무스케줄링은 근무에 특화된 데이터가 입력된다. 총 10개의 수식 중 일부만 소개한다.

인덱스(Indices)와 집합(Set)

$r \in R$: 근무 역할, R : 근무 역할 집합
 $d \in D$: 근무 종류, D : 근무 종류 집합
 $k \in K$: 근무 슬롯, K : 근무 슬롯 집합
 $P_{mk} \subset P$: m일 k슬롯 가용 조종사
 $D_{mk} \subset D$: m일 k슬롯의 근무
 $D_{2role} \subset D$: 복수 근무 종류

파라미터(Parameter)

$DIPQC(p, r, d)$: 근무 IPQC
 $DSUIT(p, r, d)$: 근무 적합도
 $ROLE(r, d)$: 근무 종류별 비행위치 수
 $DDMND(p)$: 근무 요구도,
 $DLAPS(p)$: 순기, $DLOAD(p)$: 업무부담
 $DC1 \sim 4$: 상대 가중치(적합도, 요구도, 순기)에 대한 지휘관 지휘 지침

결정변수

$x(p, r, d)$: 조종사 p 가 근무 d 수행 시 근무역할 r 에 할당되면 1, 아니면 0(이진변수)

목적함수

목적식은 근무 적합도, 근무 요구도, 근무 업무부담, 근무 순기를 고려하여 근무 종류별로 지정된 근무 역할에 최적의 조종사를 할당한다. 즉, 근무 적합도가 높거나, 근무 요구도가 높거나, 근무 업무부담이 크거나, 근무 순기가 길어진 경우 근무 투입 우선권을 갖는다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize.} & (10) \\
 & DC1 \cdot \sum_{p \in P_{mk}} \sum_{r \in R_d} \sum_{d \in D_{mk}} DSUIT(p, r, d) \cdot X(p, r, d) \\
 & + DC2 \cdot \sum_{p \in P_{mk}} \sum_{r \in R_d} \sum_{d \in D_{mk}} DDMND(p, r, d) \cdot X(p, r, d) \\
 & + DC3 \cdot \sum_{p \in P_{mk}} \sum_{r \in R_d} \sum_{d \in D_{mk}} DLOAD(p, r, d) \cdot X(p, r, d) \\
 & + DC4 \cdot \sum_{p \in P_{mk}} \sum_{r \in R_d} \sum_{d \in D_{mk}} DLAPS(p, r, d) \cdot X(p, r, d)
 \end{aligned}$$

제약조건

식 (11)은 근무 종류별로 지정된 근무역할에 투입되는 조종사의 인원수를 제한하며, 근무별 좌석수를 반영한다. 가중치를 통해 지휘관의 지휘의도를 반영한다.

$$\sum_{p \in P_{mk}} \sum_{r \in R_d} \sum_{d \in D_{mk}} X(p, r, d) = \sum_{r \in R_d} \sum_{d \in D_{mk}} ROLE(r, d) \quad (11)$$

식 (12)는 DO근무는 비행관련 연락업무를 담당하고, 난이도가 낮기 때문에 후임 조종사가 담당한다.

$$\begin{aligned}
 & ALUMNI(p) \cdot X(p, MAIN, DO) \geq 2005, \quad (12) \\
 & \forall p \in P_{mk}, d \in D_{mk}
 \end{aligned}$$

식 (13)은 FSO는 비행과 관련하여 지휘관 역할을 대신하는 근무로서 DO를 지휘한다.

$$\begin{aligned}
 & GRADE(p) \cdot X(p, MAIN, FSO) + 1 \leq & (13) \\
 & GRADE(p) \cdot X(p, MAIN, DO), \quad \forall p \in P_{mk}, f \in F_m
 \end{aligned}$$

기타 제약식은 조종사 배정 등급 및 기수 제한 등의 비행스케줄링 수리모형의 식 (5), 식 (7)과 식 (8)의 유사한 형태의 제약식이 요구된다.

4.6 주간 비행스케줄링

이상에서 살펴 본 바와 같이 일일 비행스케줄링은 다양한 고려사항과 변수, 수리모형이 적용된다. 주간 비행스케줄을 작성하기 위해서는 반드시 일일 비행스케줄을 작성할 수 있어야 하며, 일일 단위의 최적화 기법에 대한 연구가 필수적이다.

주간 비행스케줄에는 조종사 휴식기준이 포함된다. 조종사는 해당일 12시간을 초과하는 근무를 했을 경우, 근무 후 12시간 이내에 비행에 투입이 불가하다. 고난이도 임무를 수행해야 하는 조종사는 어떠한 방해도 받지 않고 12시간 이상을 휴식하도록 규정되어 있다. 예를 들어 야간 비행임무를 수행한 조종사는 해당일 퇴근시간이 늦어지기 때문에 12시간 휴식을 보장하기 위해서는 다음날 오후에만 임무에 투입 가능하다. 주간 비행스케줄은 이러한 기준을 적용하여 작성되어야 한다.

본 모델의 실험 결과값을 엑셀 함수로 재구성하여 비행스케줄러의 편의성을 도모하였다.

5. 실험 및 결과 분석

5.1 실험 계획

수리모형을 이용해 실제와 유사한 데이터를 입력하여 스케줄을 작성하고, 실제 스케줄과 비교분석하여 그 성능을 검증한다. 실험은 GAMS(General Algebraic Modeling System) 23.3.3 최적화 툴과 Excel 2010 버전에서 수행하며, Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU@3.20GHz, 3.41GB RAM의 Windows 환경의 컴퓨터에서 실시한다. 데이터는 공군 00비행단 000전투비행대대의 비행수행 결과를 적용하였다. 실험대상은 전투비행대대 조종사 34명, 비행위치 4종류, 비행과목 23개, 근무종류 6개, 비상대기 형태 4개 수준이다. 또한 한명의 조종사가 탑승하는 단좌 항공기만 고려한다. 모델에 적용한 비행, 비상대기, 근무계획은 실제 전투 비행대대에서 수행하는 전 범위를 포괄하는 수준임을 밝혀둔다.

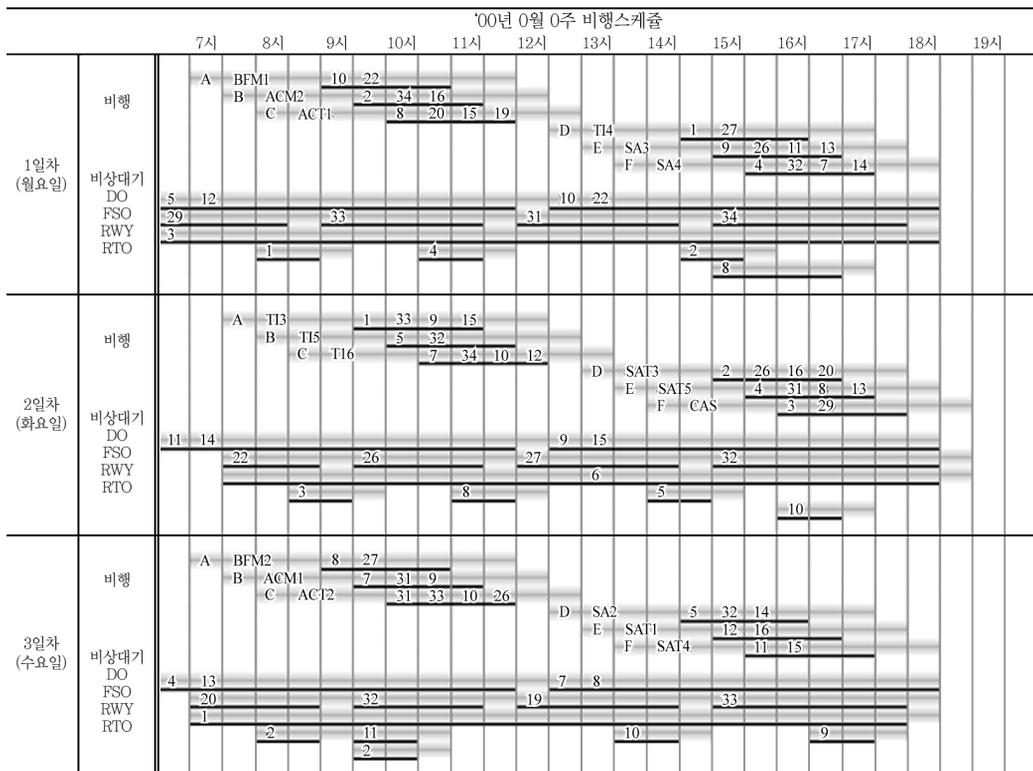
5.2 실험 결과

[그림 2]는 실험을 통해 도출한 주간 비행스케줄 중 3일간의 결과 값이다. 1행은 시간을, 1열은 날짜를, 2열은 비행 비상대기, 근무를 나타낸다. 1일 차 결과를 예를 들면, A부터 F까지 알파벳은 편조 호출부호를, BFM1, ACM2 등은 비행과목을, 실선 위의 숫자는 조종사 일련번호를 의미한다. 시간대 별로 중복되지 않게 조종사를 배정하는 것이 중요하다. 우선순위는 “비행-비상대기-근무”순이며, 가중치는 동일하게, 안전도는 중간값 6을 적용하였다. 비행은 일일 6개 과목 16~21소터를, 비상대기와 근무는 실제 전투비행대와 유사한 환경을 구현했다. 최적값 도출 소요시간은 데이터 입, 출력 시간을 포함하여 1일 스케줄링 기준 평균 23.5초가 소요된다.

5.3 결과 분석

주간 비행스케줄이란 일일 비행스케줄 작성과 일일 데이터 업데이트를 반복하는 일련의 작업이다. 따라서 주간 비행스케줄에 대한 실험 시 일일 비행스케줄 성능 검증만으로도 신뢰할 만한 결과 도출이 가능하다. 실험은 전투비행대대 실제 비행스케줄과 모델을 통해 작성한 스케줄을 비교하여 그 성능을 검증하는 방식을 적용했다. 실제 스케줄 표본은 숙련도를 고려해 스케줄러 교체 후 6개월 경과된 시점의 것을 적용하였으며, 기상의 영향을 가장 적게 받는 기간의 것을 선택하였다.

<표 6>은 기존 수기식 스케줄과 모델을 이용하여 작성한 스케줄의 목적식 값을 비교한 표이다. 합계를 기준으로 볼 때, 모델 스케줄은 기존 스케줄 대비 적합도 수치는 3이 낮으나(-1.8%), 요구도와 비행순기



[그림 2] 주간 비행스케줄 결과

는 각각 5.9, 29가 높았다(+6.14%, +23.4%). 즉, 모델 스케줄이 기존 대비 더 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 비행스케줄러는 기존 스케줄을 작성시 요구량과 순기보다는 비행안전을 고려해 적합도 위주의 편조구성을 했음을 알 수 있다. 즉, 안정적인 비행운영이 스케줄 작성의 목표였을 것으로 판단된다.

<표 6> 목적식 값 비교

과목	비행 위치	목적식 값					
		적합도		요구도		비행순기	
		기존	모델	기존	모델	기존	모델
BFM	1	10	10	1.9	1.9	4	4
	2	7	7	7.6	6.3	3	8
ACM2	1	10	7	3.7	1.9	4	6
	2	10	10	3.2	8.3	8	7
	3	10	10	6.8	3.5	2	3
ACT1	1	7	10	1.3	2.9	4	8
	2	10	7	4.5	7.1	7	8
	3	7	10	2.9	6.6	8	7
	4	7	7	3.1	7.2	9	8
TI4	1	10	7	4.8	1.7	3	3
	2	7	10	6.1	9.5	2	7
SA3	1	7	10	1.1	4.9	4	7
	2	10	10	9.8	6.2	2	6
	3	10	7	4.6	2.2	4	7
	4	7	10	5.2	7	7	7
SA4	1	7	7	1.8	1.8	5	5
	2	10	10	7.4	8.9	9	8
	3	10	7	5.4	3.4	2	8
	4	10	7	8.9	4.7	8	7
합계		166	163	90.1	96	95	124
환산 합계 (가중치 부여)		55.3	30.0	31.6	54.3	32	41.3
목적식 값		기존 수기식 스케줄 : 116.9 모델 적용한 스케줄 : 127.6					

<표 6>은 기존 수기식 스케줄과 모델을 이용하여 작성한 스케줄의 목적식 값을 비교한 표이다. 합계를 기준으로 볼 때, 모델 스케줄은 기존 스케줄 대비 적합도 수치는 3이 낮으나(-1.8%), 요구도와 비행순기는 각각 5.9, 29가 높았다(+6.14%, +23.4%). 즉, 모델 스케줄이 기존 대비 더 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 비행스케줄러는 기존 스케줄을 작성시 요구량과 순기보다는 비행안전을 고려해 적합도 위주의 편조구성을 했음을 알 수 있다. 즉, 안정적인 비행운영이 스케줄 작성의 목표였을 것으로 판단된다.

적합도의 경우 비행위치에 얼마나 적합한 조종사를 배정하는지를 나타내기 때문에 안전도와 직결된다. 그렇다면 과연 스케줄러가 추구하고자 했던 안정성 즉 안전도는 어떤 결과를 나타낼지 비교해 보자.

<표 7>은 편조별 평균 안전도를 비교한 값이다. 안전도는 편조의 안전수준을 나타내는 척도로, 일정 수준 이상을 유지하되, 전 편조에 균등하게 분포하는 것이 이상적이다. 하지만 분산을 기준으로 판단했을 때, 비행스케줄러는 특정 편조에 편중된 안전도를 적용했다는 것을 알 수 있다. 또한 일부 편조의 안전도는 중간값 6보다 적은 경우도 발견할 수 있었다. 비록 모델에서 제시한 안전도를 기준을 적용했지만, 일부 편조는 안전수준이 미달된 채 비행을 운영해 왔다고 판단할 수 있다.

<표 7> 편조별 평균 안전도 비교

과목	소티	편조별 평균 안전도	
		기존	모델
BFM1	2	7	6
ACM2	3	5.66	6.33
ACT1	4	7.5	6
TI4	2	6	7.5
SA3	4	5.75	6
SA4	4	4.75	6.75
합계		36.66	38.58
편차		0.991766	0.601997
분산		0.9836	0.3624

이상으로 기존 스케줄과 모델 스케줄의 목적값과 안전도에 대한 실험결과 살펴봤다. 모델을 적용한 스케줄은 요구도, 비행순기, 비행안전도 등에서 기존 대비 각각 6.14%, 23.4%, 5% 우수한 성능을 나타냈다. 우리는 이 실험을 통해, 모델을 적용한 비행스케줄링은 적합도, 요구도, 비행순기, 비행안전도 등 비행스케줄의 질을 결정하는 요소 전반에 걸쳐 만족할 만한 결과를 도출한다는 것을 확인하였다.

6. 결론 및 추후 연구방향

본 연구에서는 조종사 비행자격, 비행등급, IPQC,

요구도, 순기, 업무부담, 적합도, 안전도, 기상등급 등을 고려하여 최적화 기법을 이용한 주간 비행스케줄링 수리모델과 해법을 제시하였다. 수리모델은 공군에서 운용중인 실제 데이터와 유사한 데이터를 적용하였으며, 비행스케줄링 관련 공군의 규정과 제한사항을 최대한 반영하였다.

본 연구에서 제시한 비행스케줄링 기법이 공군에 적용된다면 주간, 월간, 분기, 연간 비행스케줄에 이르기까지 효율적이고 체계적인 항공자원 운영이 가능할 것으로 판단된다. 더불어, 체계적이고 과학적인 조종사 기량향상과 비행스케줄러 업무부담 감소, 비행자원 할당을 위한 기준제시 등이 가능할 것이다.

추후 연구방향으로 본 수리모델은 조종사 1명이 탑승하는 전투기에 국한되는 형태이지만, 전·후방석이 함께 탑승하는 전투기 및 3~4명이 탑승하는 헬기, 수송기 등 다양한 기종에 비행스케줄링 적용이 필요하다. 이를 위해서는 추가적인 제약사항에 대해 고려해야 하며, 어쩌면 전혀 새로운 형태로 모델링을 해야 할지도 모른다. 따라서, 본 모델을 기반으로 다양한 현실에 부합하는 다양한 비행스케줄링 연구로 확장되길 기대한다. 특히, 우리군의 다양한 비행대대 스케줄링에 적용되기 위해서는 본 연구의 제시된 수리모델을 기초로 사용자 편의성을 접목한 소프트웨어 개발이 함께 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 공군작전사령부, 「공작사 작전운영예규」, 2013.
- [2] 공군작전사령부, 「19비행단 작전운영예규」, 2013.
- [3] 공군작전사령부, 「KF-16C/D 공중근무자 비행훈련」, 2009.
- [4] 김석준, 이채영, “작업일정계획문제 해결을 위한 유전알고리즘 응용”, 『한국경영과학학회지』, 제17권, 제31호(1992), pp.1-12.
- [5] 이유인, “단위 비행체계의 승무원 일일 비행스케줄링에 관한 연구”, 『한국 군사운영분석학회지』, 제15권, 제1호(1989), pp.28-43.
- [6] 장대영, 최병천, “Just-in-time Scheduling with Multiple Competing Agents”, 『한국경영과학학회지』, 제37권, 제1호(2012), pp.19-28.
- [7] Robert, D.D., *Computer Assisted Flight Scheduling Optimization*, Master's Thesis, U.S Army Command and General Staff College, 1984.
- [8] Murat, Y., *Optimizing an F-16 Squadron Weekly Pilot Schedule*, Master's Thesis, US Air Force Air University, 2010.
- [9] Hohzaki, R., “Flight Scheduling for the SH-60J Military Helicopter,” *Military Operations Research Society*, Vol.16, No.2(2011), pp.5-17.
- [10] Raffensperger, J.F. and S. Swords, “Scheduling prowler Training,” *Naval Research Logistics*, Vol.50(2003), pp.289-305.
- [11] Thomas, M.N. *Mathematical programming model for fighter training squadron pilot scheduling*, Master's Thesis, Air Force Air University, 2007.