

항공기 정비사들의 근무 할당을 위한 최적의 스프레드시트 모형 설계

노 우 협, 정 석 재, 김 경 섭

연세대학교 정보산업공학과 / fac27@intizen.com

Abstract

항공기 정비는 고도의 기술과 많은 노력, 시간을 필요로 한다. 첨단화 되어가는 항공무기체계에 따라 정비작업도 고도화되어 가면서 시간과 작업량이 늘어나게 되고 정비사 부족 문제를 앓고 있는 현시점에서는 업무량은 과중되어 질 수 밖에 없다. 하지만 현재 공군에서는 보다 체계적이고 효율적인 정비사들의 업무 할당에 대한 시스템이나 절차가 없었다. 본 연구는 항공기의 비행스케줄에 따른 정비사들의 정비 시간을 균등히 할당함으로써 업무의 효율을 높이고 향후 정비사들의 스케줄 관리를 위한 지침을 제공하는데 그 목적이 있다. 현재 공군에 있는 실질적인 자료를 가지고 실험을 하여 입력 자료에 대한 현실성을 보다 높였으며, 수학적 모델링을 통하여 구축된 스프레드시트 모형을 가지고 인원할당과 근무시간 할당을 위한 최적의 시스템을 palisade사의 evolver를 사용하여 구축하였다.

1. 서론

전 세계적으로 그 나라의 군사력은 공군력으로 판단되어 지는 시대가 왔다. 많은 군사강대국들은 앞 다투어 최첨단 항공기 개발에 많은 비용과 시간을 들이고 있다. 항공기를 개발하고 운용하는 데 있어 보다 중요한 것이 이를 정비하고 점검하는 일이다. 과학 기술의 발전에 따른 정비기술 인력은 곧 공군 전력의 핵심적 요소이다. 일반 민간 항공회사는 늘 일정한 항로와 항공기만을 정비하면 되지만, 공군의 경우는 해당 기지의 기종, 작전 및 임무 형태에 따라 항공기 운용이 가변적이므로 정비사들의 수급에 상당한 어려움을 겪고 있다. 민간 항공회사처럼 인원을 비용이나 시기에 따라 즉시 수급을 할 수가 없기 때문에 정해진 인원을 가지고 적절한 임무 할당을 통해서만 최적의 시스템을 유지할 수가 있다. 정비인력의 올바른 활용은 직접적으로는 공군의

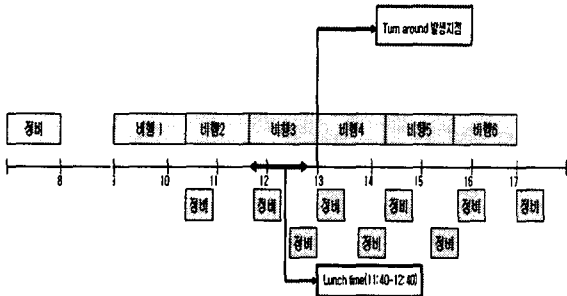
전투력과 간접적으로는 원활한 부대 운용에 직결되기 때문에, 이에 대한 과학적 연구가 지급껏 이루어지지 않았음을 알게 되었고 체계적인 인원 할당을 함으로 개개인에게 업무량을 줄임과 동시에 보다 원활한 인원 수급을 하기 위한 지침을 제시하고 공군의 정비인력 수급 향상뿐만 아니라 전투력을 향상시키는 데 그 목적이 있어 본 연구를 시작하게 된 계기가 되었다. 본 연구에서는 두 그룹으로 구성되어져 있는 정비사들을 비행스케줄에 맞게 최적의 정비시간을 해당 그룹과 개개인에게 할당하는 것을 목적으로 하며 이를 위해 수학적 모형을 제시하고 이를 다시 스프레드시트를 이용하여 palisade사의 evolver 4.0 버전을 사용하여 결과 값을 제시하였다.

기존의 관련 연구로는 Chellappan과 Ali가 휴리스틱적인 방법으로 항공기를 목적지에 재배치하여 스케줄을 조절함으로 유지비용을 최소화시키는 수학적 모형을 제시하였다 [1] David W는 대학도서관 사서들의 근무 편성을 정규직과 비정규직으로 나누어 해당그룹의 정해진 업무량을 준수할 수 있도록 인원 및 업무 할당을 함으로 해당 부서가 최적의 시스템을 유지할 수 있도록 보였다.[2]

2. 본론

본 연구의 전체적인 목적은 항공기 정비인원에게 업무를 할당하는 것이다. 논리적으로 복잡하게 연결되어 있는 여러 의사결정 제약들은 0또는 1의 값을 갖는 0-1변수를 도입했을 때 쉽게 모형화 되는 경우가 많다. 그러서 본 연구에서는 모든 변수에 0 또는 1의 0-1 제약이 있는 정수계획 모형을 사용하였다. 정비인원에 대한 업무 할당은 기본적으로 비행스케줄에 따라 공군의 비행 스케줄은 해당 기지의 특성, 임무와 기종에 따라 매우 다양하다. 그래서 본 연구에서는 비행스케줄이 일정한 비행교육대대를 모델로 하여 해당 부대의 일일 최대 활주로 허용용량을 고려하여 하루

에 비행가능한 최대한의 비행스케줄을 가정하기로 하였다. 해당 부대의 활주로 능력은 다음과 같다. 해당 부대가 보유한 항공기의 대수는 20대이며 한 번의 비행시간은 1h+20m이다. 한 비행시간에 동시 비행 가능한 항공기는 6대이므로 만약 첫 비행을 9시에 시작한다면 하루에 비행 가능한 총 time slot은 6slot이 된다. (업무 시간은 오전 7시부터 오후 6시까지이다) 항공기 정비는 한 항공기 당 2명 이상의 인원이 담당하며(첫 비행 시작 전 정비는 항공기당 1명 이상 점검), 첫 비행 2시간 전 한 시간 동안 정비를 시작으로 모든 비행 후 20분 동안 실시하며 4번째 비행부터는 비행 전 20분에도 정비를 실시하여 한다. 이는 제한된 비행기를 가지고 하루에 2회 이상 비행을 할 경우, 이를 turn around라 하며 동일한 항공기가 2번째 비행을 시작 할 때는 반드시 정비가 필요하다.[3] 예를 들어 총 20대의 항공기가 오전에 3개의 time slot에 비행을 하면 4번째 slot부터는 turn around가 발생하게 된다. 해당 항공기가 첫 비행을 하고 난 뒤, 두 번째 비행여부는 정비사들이 결정을 하지만, 본 연구에서는 90%의 항공기 가동률을 가지고 있는 가운데 이 항공기들이 모두 두 번째 비행을 할 수 있다고 가정하였다. 비행스케줄과 정비스케줄은 <그림1>과 같이 나타낼 수 있다.



<그림1> 비행 스케줄

비행스케줄에 따라 정비인원 할당이 되어지는데, 인원 할당은 부사관과 사병으로 나누어진다 이들의 규모는 부사관 25명과 사병 15명으로 이루어진 정비 중대를 모델로 삼았고, 이들에게는 각기 다른 업무적 제약이 주어진다. 정비요원들은 정비 및 일반 행정 업무도 같이 병행을 해야 하며, 본 연구에서는 훈련 부대를 모델로 했기 때문에 주간 스케줄이 일정한 관계로 일일 스케줄만 고려하였다. <그림1>의 정비스케줄을 고려하여 인원 할당 table을 작성하면 <표1>과 같다.

Time slot (K)	인원 할당	최소 요구 인원	비고
1 07:00-08:00	O	20	정비1(비행 전)
2 08:00-09:00	O	10	행정업무
3 09:00-10:20	O	2	비행1
4 10:20-10:40	O	12	정비2
5 10:20-11:40	O	2	비행2
6 11:40-12:00	O	12	정비3
7 11:40-13:00	O	2	비행3
8 12:40-13:00	O	12	정비4
9 13:00-13:20	O	12	정비5
10 13:00-14:20	O	2	비행4
11 14:00-14:20	O	12	정비6
12 14:20-15:40	O	2	비행5
13 15:40-16:00	O	12	정비7
14 15:40-17:00	O	2	비행6
15 17:00-17:20	O	12	정비8
16 17:20-18:00	x	0	.

<표1> 정비 인원 할당 table

2.1 정비인원 할당문제의 수리 모형

본 시스템은 다음과 같은 가정을 따른다.

- (1) 사병 정비 인원들은 점심시간(11:40~12:40)에 업무 할당을 할 수 없다.
- (2) 부사관의 정비 허용 최대/최소 slot과 일일 근무허용 최대/최소 slot은 각각 2/6 slot, 3/10 slot 이다.
- (3) 사병의 정비 허용 최대/최소 slot과 일일 근무 허용 최대/최소 slot은 각각 2/5 slot, 3/10 slot 이다.
- (4) 점심시간을 제외한 모든 time slot에는 부사관과 사병 정비인원이 같이 근무하는 것을 원칙으로 하며, 해당 slot에 필요한 최소 요구 인원 비율을 동일한 수준 이상으로 유지하며 근무함을 원칙으로 한다.
- (5) 기상이나 비상상황 등에 따른 외부적인 요소로 인한 비행 취소 및 인원 차출은 고려하지 않는다.

비행스케줄에 따른 인원 할당을 최대화하는 문제를 <표1>의 time table을 이용하여 정수 계획 문제(Integer Programming Problem)로 풀기 위하여 본 연구에서 사용할 모수 및 기호의 정의는 다음과 같다.

입력 파라미터 및 변수 정의 :

- i : 정비인원 index
- k : Time slot index
- m : 부사관 정비 인원

n : 사병 정비 인원
 d_{ik} : 인원 i 가 k slot에 업무 할당이 가능한 경우 1, otherwise 0
 w_{ik} : 1 k time slot에 인원 i 가 일하는 경우, otherwise 0
 x_{ik} : 1 정비 time slot에 인원 i 가 일하는 경우, otherwise 0
 a_{ik} : 1 행정 time slot에 인원 i 가 일하는 경우, otherwise 0
 f_{ik} : 1 항공기가 비행기 주기장에 인원 i 가 대기 하는 경우, otherwise 0
 u_i : 인원 i 가 할 수 있는 최대 정비 slot
 v_i : 인원 i 가 할 수 있는 최대 정비 slot.
 b_i : 비행 slot에 필요한 최소 요구인원의 수
 c_i : 행정 slot에 필요한 최소 요구인원의 수
 h_i : 인원 i 에게 허용된 최대 slot
 i_i : 인원 i 에게 허용된 최소 slot
 이에 따라 이 문제는 다음과 같이 수식화 된다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize } \sum_i \sum_k w_{ik} \\
 & \text{Subject to} \\
 & w_{ik} = x_{ik} + a_{ik} + f_{ik} \quad \forall i, k \quad (1) \\
 & \sum_i \sum_k d_{ik} \geq \sum_i \sum_k w_{ik} \quad \forall i, k \quad (2) \\
 & \sum_k x_{ik} \leq u_i, \quad \sum_k x_{ik} \geq v_i \quad \forall i \quad (3) \\
 & \sum_k w_{ik} \leq h_i, \quad \sum_k w_{ik} \geq i_i \quad \forall i \quad (4) \\
 & \sum_{i \in M} x_{ik} + \sum_{i \in M} f_{ik} = 0 \quad k=6,7 \quad \forall i \quad (5) \\
 & \sum_i a_{ik} \geq c_i, \quad \sum_i f_{ik} \geq b_i \quad \forall i \quad (6) \\
 & w_{ik}, x_{ik}, a_{ik}, f_{ik} = 0, 1
 \end{aligned}$$

목적식은 서론에서 설명한 바와 같이 제한된 인원들이 정해진 제약 속에서 최대한 많이 일을 할 수 있는 경우를 나타낸다. 식(1)은 w_{ik} 가 정비, 행정, 비행의 time slot으로 구성되어 있음을 나타내고 있으며, 식(2)는 모든 slot에 할당 가능한 인원은 각 slot에 일해야 하는 인원의 합보다 크음을 나타낸다. 식(3)은 정비 slot에 근무하는 정비 인원은 해당 그룹에 맞는 최대/최소 정비 허용 slot을 준수하여야 함을 나타내고 있다. 식(4)는 모든 인원은 일일 허용된 slot에서만 업무를 할당 받을 수 있음을 나타낸다. 식(5)는 점심시간에 사병의 인원 할당을 하지 않는다는 가정을 나타내고 있으며, 식(6)는 행정업무 slot과 비행 slot에

대기하는 인원은 항상 최소 요구인원 이상이 필요함을 나타내고 있다.

2.2 Evolver를 이용한 최적의 스프레드시트 모형 설계

본 연구에서의 실험은 두 가지 경우로 나누어서 실험을 하였다. 부사관과 사병의 경우가 서로 독립적이므로 각각의 경우로 나누어서 실험을 하였는데, 이는 두 그룹의 경우를 하나의 스프레드시트에 넣고 실험을 할 경우에는 모집단(population)의 규모가 커져서 해를 찾는 데 너무 많은 변수와 시간이 걸려서 해를 찾을 수가 없었다. 본 연구에서는 실험 도구로 PALISADE사의 EVOLVER 4.0 Ver.을 가지고 실험을 하였다. EVOLVER는 excel의 스프레드시트를 사용하며 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 기반으로 하는 optimal solution이다. 유전자 알고리즘에서 사용하는 교차연산과 돌연변이 연산을 통해서 해당 문제에 가장 적합한 해를 찾아가는 방식을 사용한다. 0과 1중에 값의 변화를 잘 파악하기 위해서 모든 셀에다 0을 넣고 실험을 하였다. 목적식은 각각의 셀들이 결정변수들의 범위 안에 값을 만족시키면서 모든 셀들이 최대값을 가지도록 설정하였다. 본 연구에서 목적식의 해는 인원할당의 문제이므로 반드시 정수값을 가져야 하기 때문에 목적식의 최대값도 정수값이 나올 수 있도록 하였다. EVOLVER에서는 유전 알고리즘 방식으로 해를 찾기 때문에 결정변수에 돌연변이 확률과 교차확률 값을 입력하여야 한다. 본 연구에서는 각각의 확률을 대입하여 가장 좋은 결과값을 선택하였다. 수행시간을 200분으로 설정하여 종료조건을 설정하고 돌연변이 확률과 교차연산 확률을 각각 0.5과 0.06으로 하여 실험을 수행하였다. 이 확률값들에 변화를 주어 여러 번 실험을 수행한 결과, 위 확률값들이 가장 좋은 해를 찾을 수 있음을 알 수가 있었다. <표2>는 실험을 통한 사병정비인원의 스프레드시트 모형이다. 위 과정을 통해 나온 각 조건을 만족하는 해당 slot에 일하는 사병의 최대 slot은 120이다. 이와 같은 방식으로 부사관 정비인원을 실험한 결과는 240slot의 결과값을 도출해 낼 수 있었다. <표2>를 보게 되면 정비 slot에 일하는 경우에는 차이가 있지만 전체적인 업무량은 동일한 것을 볼 수가 있다. 이는 수작업으로 업무 할당으로 인한 개개인의 작업량의 불균형을 개선한 것이라 볼 수가 있다.

K	R	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
1	12	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
2	12	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
3	10	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1
4	8	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
5	8	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	13	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
9	8	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
10	9	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
11	12	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
12	7	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0
13	8	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1
14	5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
15	8	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1
w	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
120	x	5	4	5	4	5	5	5	4	5	4	5	4	4	5	5

*w= w_{ij}, x= x_{ij} 120=max value R: 요구인원
 <표 2> 사병 정비 인원 할당 모형

3. 결론

평상시 한정된 자원만을 가지고 인원을 운영하여야 하는 각 부대에서는 인원관리와 업무할당을 효율적으로 하는 것은 필수적이다. 하지만 공군에서는 인원 수급의 어려움과 함께 과도한 업무량으로 항상 숙련된 인원에게만 업무가 집중되는 현상이 있었고, 이는 바로 전투력의 손실과 근무인원 모두의 효율성 저하로 이어진다. 기술군의 특성을 지닌 공군의 조직에서는 숙련된 정비인원을 곧바로 충당하고 수급하기에는 시간적, 비용적으로 어려움이 있으며, 또한 지금까지의 정비 인원할당 문제는 비용과 직결시켜서 연구가 이루어졌다. 하지만 군에서의 인원할당은 비용보다는 체계적이고 균등한 인원과 업무할당의 시스템이 필요하므로, 이를 위하여 한정된 인원 내에서 균등한 업무할당을 체계적으로 하기 위하여 본 논문에서는 스프레드 시트 모형을 설계하였고, 유전 알고리즘을 기반으로 하는 Evolver를 사용함으로 제약조건을 만족시키는 범위 안에서

각 그룹의 개개인에 대한 최대 업무할당량과 해당 그룹의 근무인원의 최대값 360을 제시하였다. 본 연구의 결과와 스프레드 시트 모형은 업무할당과 인원관리를 요하는 곳에서 이를 참조로 업무를 책정함으로써 모두에게 균등하고 체계적으로 인원을 관리하는 책임자에게는 숙련여부에 따라 일을 할당하는데 이용될 수 있다.

6. 참고 문헌

- [1] Chellappan Sriram and Ali Haghani, "An optimization model for aircraft maintenance scheduling & re-assignment", Transportation Research Part A37, pp. 29-48, 2003.
- [2] David W. Ashley, "A SPREADSHEET OPTIMIZATION SYSTEM FOR LIBRARY STAFF SCHEDULING ", Computers Ops Res. Vol. 22, No. 6, pp 615-624, 1995.
- [3] 공군본부, 공군 교범. 6-101 " 정비 관리 ", pp. 27-28. 1993.
- [4] 박구현, 송한식, 원중연, "경영 과학", 개정판, 교보문고, 2002.
- [5] <http://www.palisade.com>
- [6] Goran et al, "An optimization model for a real-time flight scheduling problem", Transportation Research Patr A36, pp.779-788, 2002.
- [7] 송근우, "항공기 정비인력最適所要算定에 관한 研究", 국방대학원, 석사학위 논문, 1999.
- [8] 황병헌, "線型計画法에 의한最適 航空機 정비 人員에 관한 研究", 연세대학원, 석사학위 논문, 1995
- [9] Lynne Stokes, John Plummer, " Using spreadsheet solvers in sample design", Computational Statistics & Data Anaiysis 44, pp. 527-546. 2004.
- [10] S. Yan et al, "Optimal construction of airline individual crew pairings ", Computer & Operations Research 29, pp. 341-363, 2002.
- [11] Gürsel A. SÜer, " OPTIMAL OPERATOR ASSIGNMENT AND CELL LOADING IN LABOR INTENSIVE MANUFACTURING CELLS", Computers ind. Eng Vol.31, No.1/2, pp. 155-158, 1996.