



J. Korean Soc. Aeronaut. Space Sci. 48(8), 621-629(2020)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2020.48.8.621

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

유전알고리즘을 이용한 무인항공기 장비 배치 최적 설계

백선우¹

UAV LRU Layout Optimizing Using Genetic Algorithm

Sunwoo Back¹

Korean Air

ABSTRACT

LRU layout is a complex problem that requires consideration of various criteria such as airworthiness, performance, maintainability and environmental requirements. As aircraft functions become more complex, the necessary equipment is increasing, and unmanned aerial vehicles are equipped with more equipment as a substitute for pilots. Due to the complexity of the problem, the increase in the number of equipment, and the limited development period, the placement of equipment is largely dependent on the engineer's insight and experience. For optimization, quantitative criteria are required for evaluation, but criteria such as safety, performance, and maintainability are difficult to quantitatively compare or have limitations. In this study, we consider the installation and maintenance of the equipment, simplify the deployment model to the traveling salesman problem, Optimization was performed using a genetic algorithm to minimize the weight of the connecting cable between the equipment. When the optimization results were compared with the global calculations, the same results were obtained with less time required, and the improvement was compared with the heuristic.

초 록

탑재 장비의 위치 결정 문제는 감항, 성능, 정비성, 환경요구사항 등의 다양한 기준을 고려해야 하는 복잡한 문제이다. 항공기의 기능이 복잡해짐에 따라 필요한 장비가 증가하고 있으며, 무인항공기는 조종사를 대신할 장비의 탑재로 더 많은 장비가 장착된다. 문제의 복잡성, 대상 장비의 수량 증가, 제한된 개발 기간 등으로 인하여 장비의 배치 결정은 설계자의 직관과 경험에 의존하는 부분이 크다. 최적화를 위해서는 정량적인 기준으로 평가가 필요하나 안전, 성능, 정비성 등의 기준은 정량적인 비교가 어렵거나 대상이 제한적인 한계가 있다. 본 연구에서는 장비의 장착과 정비를 고려하고 배치 모델을 순회판매원 문제로 단순화하고, 장비 간 연결 케이블의 중량이 최소가 되도록 유전알고리즘을 이용하여 최적화를 수행하였다.

최적화 결과를 전역 계산 결과와 비교하였을 때 더 적은 소요 시간으로 동일한 결과를 얻을 수 있었으며, Heuristic과 비교하여 개선됨을 확인하였다.

Key Words : UAV(무인항공기), LRU Layout(장비 배치), Genetic Algorithm(유전알고리즘), Cable Weight(전선 중량), Optimize(최적화), TSP(순회판매원 문제)

† Received : May 11, 2020 Revised : July 29, 2020 Accepted : July 27, 2020

¹ Assistant Manager

¹ Corresponding author, E-mail : swback@koreanair.com, ORCID 0000-0002-5639-645X

© 2020 The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences

Nomenclatures

l_i	=	Cable Length, m
m_i	=	Cable Weight, kg
n	=	Number of Population
ρ_i	=	Specific Cable Weight, kg/m
P_m	=	Probability of Mutation
P_x	=	Probability of Crossover
CSP	=	Constraint Satisfaction Problem
FOV	=	Field of View
ILS	=	Integrated Logistics Support
IMA	=	Integrated Modular Avionics
KBE	=	Knowledge Based Engineering
LOS	=	Line of sight
LRU	=	Line-Replaceable Unit
MTBF	=	Mean Time Between Failure
PDF	=	Probability Density Function
PMX	=	Partially Mapped Crossover
PSO	=	Particle Swarm Optimization
ROC	=	Required Operational Capability
TSP	=	Travelling Salesman Problem

I. 서 론

안전, 임무, 성능에 대한 요구사항이 증대됨에 따라 항공기에 탑재되는 장비의 수량이 증가하고 있다.

Figure 1은 항공기 발전에 따른 탑재 장비의 증가를 나타낸 그림[1]으로 탑재 장비 수량의 증가 경향을 확인할 수 있다.

Concorde와 A340-600을 비교할 경우, 탑재 장비 수량은 10배 이상 탑재 장비가 증가하였다. A380은 장비 수량 억제를 위하여 IMA 기술을 적용하여, 더 복잡한 기능을 더 적은 수량의 장비로 수행할 수 있도록 설계되었다.

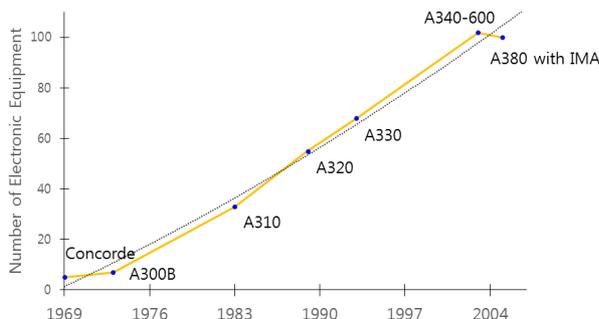


Fig. 1. Commercial Aircraft Equipment Number

무인항공기의 경우 조종사를 대체하기 위하여 비행 제어 컴퓨터, 다양한 센서, 고장을 대비한 추가 장비 및 항공기 모니터링을 위한 무선통신 장비 등으로 인하여 더 많은 장비의 탑재가 요구된다.

항공기는 중량과, 공기저항 감소를 위하여 동체의 크기에 대한 제약이 크며, 이로 인하여 탑재가능한 공간이 한정적이다. 한정된 공간 내에 많은 장비를 배치하는 일은 다양한 제약으로 인하여 어려운 일이며, 이를 위하여 각 배치 모델들을 평가하기 위한 기준이 필요하다.

Xiaoian, H.[2]은 장비 전체 CG와 목표 CG와의 차이가 최소가 되도록 배치 가능한 3차원 공간을 정의하고 장비의 위치에 따른 CG 변화를 모델링하여 목표 CG에 제일 근접하는 배치 조합을 PSO방법을 이용하여 최적화하는 연구를 수행하였으나, 장비의 위치와 그에 따른 CG만을 고려하여 점점장을 통한 장착/탈거, 케이블 장착을 고려한 여유 공간 등의 분석이 더 필요한 단점이 있다.

Lee, K. Y.[3]는 구조내벽과 통로를 가지는 선박 내부의 공간 배치 문제를 해결하기 위해 총 이동 거리와 가까이 배치해야 되는 시설 간의 거리를 목적함수로 객실 배치 최적화를 수행하였으나 항공기에 적용할 경우 정비성에 대한 추가 고려가 필요하며, 최적화 대상이 달라 목적함수의 수정 및 추가 변수가 필요한 한계가 있다.

본 연구에서는 장비의 배치를 정량적으로 비교하기 위하여 장비의 배치에 따라 변화하는 케이블 중량을 모델링하고 유전 알고리즘을 이용하여 전체 케이블의 중량이 최소가 되는 배치를 찾는 방법을 제안하고자 한다.

II. 평가 기준 분석

배치 모델 평가에 있어 중요한 기준들은 안전, 환경 요구조건, 성능 및 정비성 등이 있으며 그 중에서 주요한 항목은 Table 1과 같다.

안전은 항공기의 고장, 사고발생빈도 및 사고 피해 정도에 직접적인 영향을 미치며, 성능은 개발 프로그램의 성패를 결정하는 항목이며, 정비성은 ILS 및 운용에 따른 비용에 직접적인 영향을 미친다.

각각의 기준을 세부적으로 살펴보면, 안전관련 요구사항은 적용되는 감항(Airworthiness) 인증 기준에 의해 정의되며 위험요소와의 이격, 차폐, 추가적인 보호처리 요구 등을 요구하고 있다.

군용 무인항공기의 감항 기준인 STANAG-4671을 살펴보면 화재 방지, 낙뢰 보호, 위험요소(점화원(Ignition Source), 가연성 액체, 부식성 가스 등)와의 분리에 대한 요구로 분류할 수 있다.

화재 방지 및 위험요소와의 분리는 배치 가능한 공간의 Layout에 직접적인 제약사항이며, 낙뢰 보호

는 장비의 성능 요건으로 장비의 배치 순서 결정에 직접적인 영향은 적다.

성능관련 요구사항은 광학장비, RF 안테나, 센서 등의 장비가 해당되며, 미충족 시에 관측이나 통신 영역 제한, 통신 거리 감소 등의 성능 저하가 발생하나 탑재되는 장비 중에서 위치에 따라 성능이 영향을 받는 장비의 수량은 제한적이다.

정비성은 MTBF, 점검주기, 점검창의 크기 및 형태, 장비의 위치에 영향을 받으며, 정량적인 평가가 어려워 설계자의 경험에 의존하는 부분이 많다.

이러한 한계로 인하여 배치 모델의 평가를 위하여 다른 기준이 필요하며, 본 연구에서는 중량을 기준으로 각각의 배치 모델을 평가하였다.

배치 모델 간의 평가를 위하여 배치 모델의 전체 중량을 목적함수로 설정하여 전체 중량이 최소가 되는 모델을 선정한다. 전체 중량은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$W_t = W_{LRU} + W_{cable} + W_{ballast} \quad (1)$$

W_{LRU} 는 대상 LRU 전체의 중량이며, 장착 위치와 무관하게 고정된 중량이다. W_{cable} 은 장비 연결에 사용되는 케이블 전체의 중량이며, 배치 순서에 따라 달라질 수 있다. $W_{ballast}$ 는 CG범위의 요구사항이 있을 경우, 요구되는 CG 범위와 배치 모델의 전체 CG 차이를 보정하기 위한 Ballast 중량으로 초기 설계에서는 고려하지 않는다. 위의 가정을 반영하면 식 (1)은 $W_t = W_{cable}$ 으로 간략하게 나타낼 수 있으며, 배치 모델 간의 비교는 장비 간 연결 케이블의 중량이 최소가 되도록 배치하는 문제로 표현할 수 있다.

Table 1. Layout Requirements for Military Aircraft

Category	Detail Category	Reference of Requirements
System Safety	Fire protection	Airworthiness Requirements MIL-HDBK-516 STANAG-4671
	Lightning Protection	
	Environmental Separation	
Environment requirement	Operation Temperature	MIL-HDBK-310
	Altitude	MIL-STD-810
	Vibration Level	
Performance	FOV	RoC, Manufacturer Manual
	LOS	
	Signal Reduction	
Maintenance	Door Size	MIL-STD-1472 RoC
	Door Type	
	MTBF	

III. 케이블 중량 계산 방법

케이블의 중량 계산을 위해서는 장비의 위치 결정이 필요하다. 가용한 공간에서 장비 배치 시에 정비성의 제약으로 인하여, Fig. 2와 같이 배치 가용 공간은 점검창에서 일정한 거리의 공간으로 제한된다. 그리고 장비의 장착 및 탈거의 효율성을 고려하여 장비가 겹쳐지지 않게 배치해야하기 때문에, 3차원 공간 배치가 아닌 1차원의 TSP 문제로 단순화가 가능하다.

3.1 필요 항목 정보

케이블 중량 계산을 위해서는 장비의 수량 및 크기, 배치 가능한 공간의 크기, 고정 클램프의 수량 및 위치, 장비 간의 케이블 연결 및 케이블의 중량 (kg/m) 정보가 필요하다.

장비의 크기는 Fig. 3과 같이 장비의 물리적 크기가 아닌 요구되는 공간으로 정의한다. 실제 크기 외의 추가적인 공간을 반영하지 않았을 경우 결정된 순서로 장착 시 공구와 장비의 간섭으로 장착이 안되거나 진동 발생 시 장비 간 충돌로 손상이 발생할 수 있다.

직접 구조물에 장착되는 장비는 공구의 크기를 고려하여 공간을 설정하여야 한다. 장착대(Tray)를 이용하는 장비는 장비 간에 최소의 공간이 필요하며, 진동저감장치(Vibration Isolator)가 적용된 경우 발생 가능한 최대 변위를 고려한 공간이 필요하다.

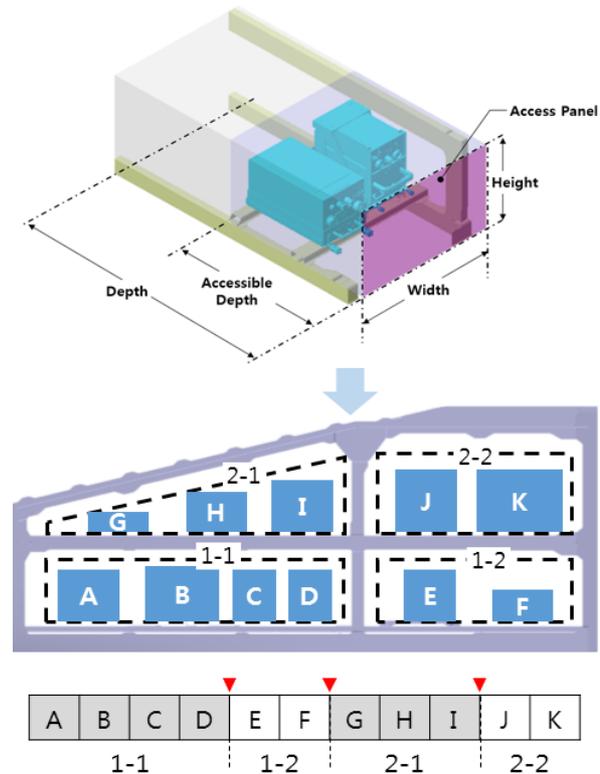


Fig. 2. Simplification of Problem

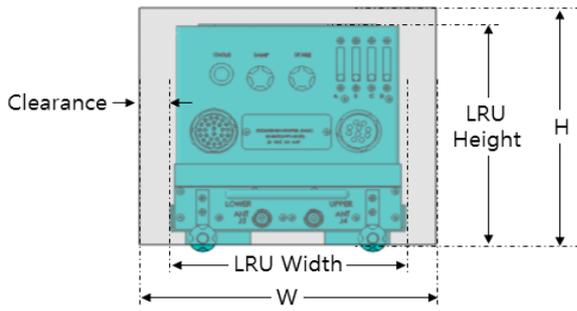


Fig. 3. Definition of W and H

Figure 4는 배치 가능한 공간 및 고정 클램프의 위치의 예를 나타낸 그림으로, 연료탱크로 분리된 전방,후방 2개의 공간으로 구성되고 각각의 공간에 고정 클램프가 배치된 형상을 나타낸다.

항공기의 클램프 고정 간격은 케이블의 진동 및 주변과의 간섭(Chaffing)으로 인한 손상을 방지하기 위하여, MIL-HDBK-508에서 24인치 이하로 설치하도록 규정하고 있다. 본 연구에서는 문제의 단순화를 위하여 공간의 좌우 끝 부분에서만 케이블이 분기되어 장비와 연결된다고 가정하였으며, 분기되지 않는 고정 클램프의 위치는 생략하였다.

연결 케이블의 구성은 Fig. 5와 같이 와이어의 끝단에 커넥터가 장착되고, 필요 시 접지나 버스바 연결을 위한 터미널 러그가 추가될 수 있다. 그리고 고온영역이나 외부 오염 가능성이 있는 곳에서는 케이블을 감싸는 보호재가 추가될 수 있다.

케이블 커넥터의 중량은 장착 위치와 무관한 고정된 값으로 장착 위치에 따른 중량 변화를 살펴보는 본 연구에서는 제외할 수 있다. 보호재의 무게는 장착 환경에 따라 일정 구간 또는 전체에 적용할 수 있으나 본 연구에서는 적용하지 않는다고 가정한다.

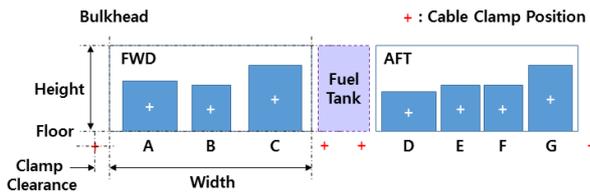


Fig. 4. Bay Dimension and Clamp Location

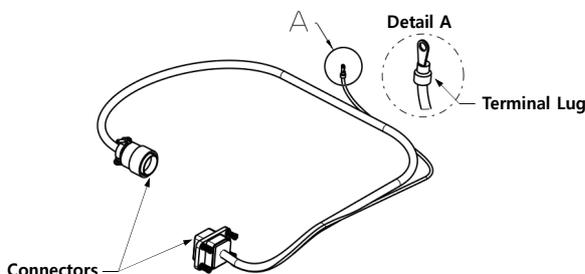


Fig. 5. Typical Cable Assembly

Table 2. Cable Type and Weight

Signal	Wire	Gauge	No.	ρ_i
1553B	M22759/34-22-5	AWG22	4	0.0042kg/m
Ground			2	
Total			6	0.025kg/m

장비 간 연결 케이블은 전원, 신호 및 RF 등 여러 종류의 연결이 사용되나, 장비 간의 연결에 사용되는 케이블은 여러 종류의 와이어를 합하여 하나의 케이블로만 연결된다고 가정하고, 개별 와이어의 중량(kg/m)을 합산하여 전체 케이블의 중량을 계산한다.

Table 2는 두 장비 간의 연결 케이블의 중량을 계산하는 예를 보여주는 표이다. MIL-STD-1553B용 AWG22 와이어 4개, 접지용 AWG22 와이어 2개가 사용될 때 전체 케이블의 중량은 AWG22 와이어 6개와 동일한 0.025kg/m로 나타낼 수 있다.

3.2 케이블 중량 계산

장비의 장착 위치 결정을 위하여 Fig. 6과 같이 배치 가능한 공간의 처음부터 장비를 배치하고, 순서에 따라 장비의 폭을 합산하여 장착 공간의 폭과 비교한다. 합산 값이 장착 공간의 폭보다 클 경우 해당 장비와 그 이후의 장비는 다음 공간에 배치한다.

배치 순서가 결정된 후에는 장비 간 연결 케이블 길이를 계산하며, 각 케이블의 중량 m_i 은 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_i = \rho_i \sum l_i \tag{2}$$

장비간의 연결 케이블 길이는 각 장비의 커넥터의 직선거리가 아니라 케이블이 지나가는 경로를 고려하여 계산되며, 케이블 l_i 의 길이는 장비의 거리 및 클램프 간의 거리의 합으로 표현된다.

Figure 7은 장비 간 연결정보를 나타낸 그림으로 각 장비의 연결 클램프 위치 및 케이블의 경로를 알 수 있다. A와 F의 연결 케이블 길이는 l_1 에서 l_4 까지 모든 케이블 길이의 합과 동일하다.

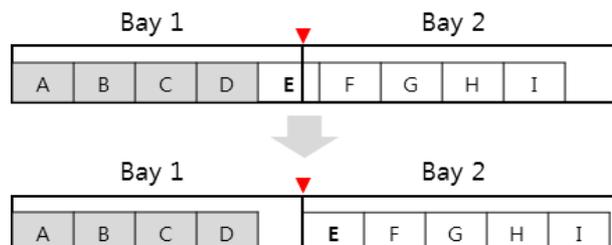


Fig. 6. Method of Positioning LRU

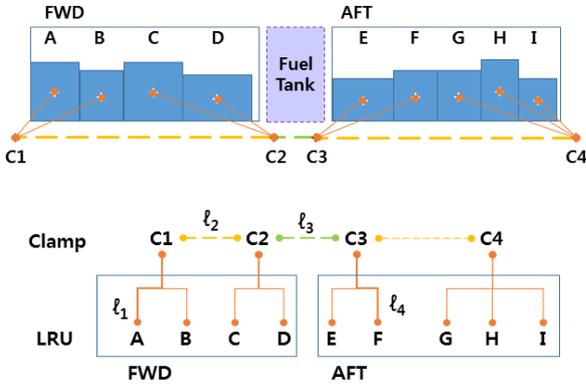


Fig. 7. Cable Wiring Diagram

케이블 l_3 는 연료 탱크를 관통하는 케이블로, 실제 항공기에서는 직선이 아닌 복잡한 경로로 연결되며, 화재 예방을 위하여 Conduit 또는 연료탱크 일부에 빈 공간을 설계하여 지나갈 수 있도록 설계한다.

IV. 유전알고리즘을 이용한 최적화

Figure 8은 유전 알고리즘의 최적화 순서를 나타낸 그림으로 최초의 집단(Population)을 생성한 후 선택, 교차, 변이, 적합도 계산과정을 반복하여 집단 내 적합도의 최적값 및 평균을 개선하는 순서를 나타낸다. 넓은 공간의 탐색을 위하여 무작위로 초기 집단을 생성하였고, 선택을 위하여 생성된 초기 집단의 적합도를 계산한다. 본 연구에 사용된 유전 알고리즘은 문제 정의의 자유도 제약 문제와, 자유로운 기능의 구현을 위하여 직접 개발한 코드를 이용하여 분석하였다[4].

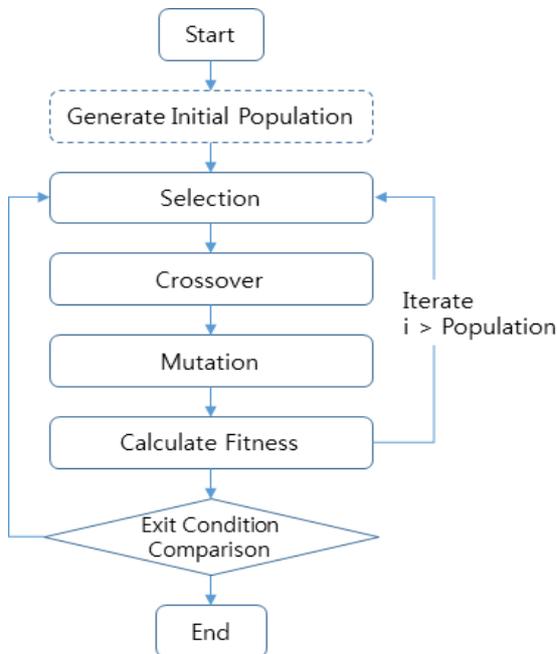


Fig. 8. Flowchart of Algorithm

4.1 선택

선택 연산은 룰렛 휠, 순위 기반, 토너먼트 등 다양한 방법이 있으나 계산이 간단하고 빠른 토너먼트 선택법을 이용한다.

Figure 9는 집단 내에서 무작위로 N개의 해를 추출하고 그 중에서 적합도가 가장 우수한 해를 선택하는 토너먼트 선택법을 나타내고 있다. N의 크기에 따라 선택법이 조절되며 커질수록 우수한 해가 선택될 가능성이 많아진다.

4.2 교차

교차 연산은 Fig. 10과 같이 선택된 부모 해 P_1 과 P_2 에서 임의의 두 지점을 지정하여, 잘라낸 유전자를 합치고 중복되는 유전자는 P_1 의 위치에 해당하는 P_2 의 유전자로 대체하여 자식 해 C_1 를 생성하는 PMX 교차를 사용한다[5].

4.3 변이

변이 발생은 무작위로 두 유전자를 선택하여 위치를 교환하여 변이를 생성하였다. 변이 확률의 결정은 적용되는 문제에 따라 다양하게 설정이 가능하다. 너무 작은 변이 확률은 지역최적화에 빠질 가능성이 커지며, 너무 큰 확률은 해의 수렴을 방해하여 계산 시간이 증가하게 된다.

본 연구에서는 식 (3)과 같이 각 세대의 크기와 확률을 조정하여 한 세대에서 99% 이상의 확률로 최소한 변이 이상의 변이가 될 수 있도록 설정하였다.

$$(1 - P_m)^n \leq 0.01 \quad (3)$$

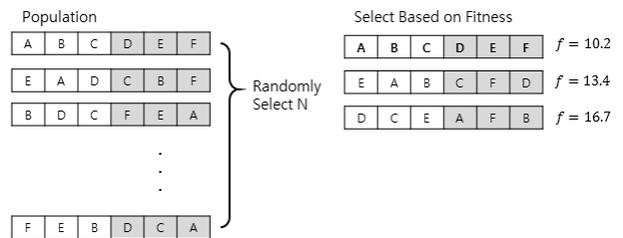


Fig. 9. Tournament Selection

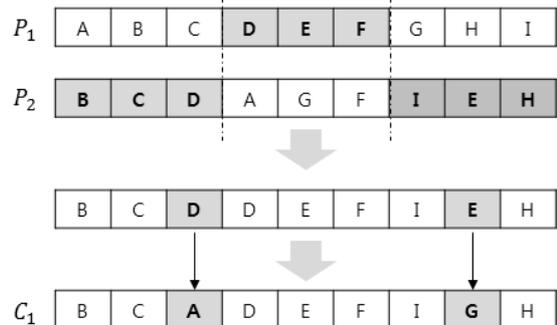


Fig. 10. PMX Crossover

4.4 적합도 계산

적합도를 계산할 때 비교의 편의를 위하여 무차원화하여 각 계산 결과를 비교할 수 있으나, 직접적인 중량 감소량 확인을 위하여 무차원화 하지 않고 각 장비의 케이블 중량을 전부 합산한 값을 적합도로 정의하며 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f = \sum m_i \quad (4)$$

V. 분석 방법

배치 가능한 모든 조합에 대하여 적합도를 계산한 후 최적의 적합도를 찾고 Heuristic 방법, 유전 알고리즘의 결과를 최적 적합도와 비교하여 유효성을 확인한다.

분석 대상 항공기는 Fig. 11과 같이 전방과 후방에 각각 하나의 장착 공간을 가지고 있고, 좌우 구분은 없는 2개의 장착 공간을 가지고 있다고 가정한다.

케이블은 각 장착공간의 좌우의 끝 부분에서만 분기되고, 각 공간에 2개씩 총 4개의 클램프를 이용하여 케이블을 고정한다. 주 케이블의 경로는 클램프 간의 케이블 경로와 일치한다고 가정한다.

위치에 따라 성능이 영향을 받는 EO/IR, 위성 및 LOS 안테나 및 관련 장비는 Fig. 11의 영역 밖에 장착되어 배치 대상에서 제외된다.

분석 대상 장비는 총 9개이며 장비의 크기(mm)는 Table 3과 같으며 장비 간 연결정보 및 케이블 중량(kg/m)은 Table 4와 같다.

5.1 전역 계산 방법

Tables 3, 4의 조건에서 최적의 조합을 찾기 위하여 전체 조합에 대하여 계산을 수행한다. 9개의 장비로 조합 가능한 숫자는 362,880개이다.

복잡한 계산이 필요한 조건에서는 모든 계산을 수행하기에는 시간과 계산 자원이 크게 소모되나 본 연구에서는 조건 당 계산 수행 시간이 0.13초 정도로 짧아 모든 조합의 적합도를 계산하였다.

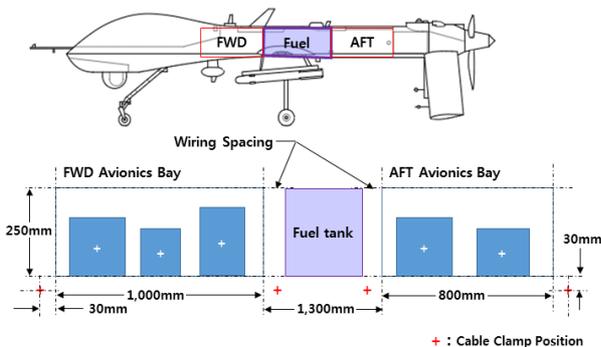


Fig. 11. Avionics Bay Layout and Dimension

Table 3. Dimension of Equipments

LRU	W(mm)	H(mm)
A	210	130
B	150	100
C	120	220
D	155	110
E	220	200
F	120	170
G	200	185
H	180	135
I	250	220

Table 4. Cable Connections and Weights

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	/	.660	.334	.225	.115	.667	.500		
B	-	/			.225				
C	-	-	/	.780	.220				
D	-	-	-	/			.227	.352	
E	-	-	-	-	/				.442
F	-	-	-	-	-	/	1.34		.563
G	-	-	-	-	-	-	/		.629
H	-	-	-	-	-	-	-	/	
I	-	-	-	-	-	-	-	-	/

5.2 Heuristic 방법

Heuristic 방법은 H_c 와 H_w 두 가지로 구분하여 적용하였다. H_c 는 시스템 아키텍처의 장비 간 연결 정보를 이용하여 다른 장비와의 연결 케이블 숫자로 우선순위를 결정하고, 숫자가 동일할 경우 전체 케이블의 단위 중량이 큰 장비를 우선하도록 순위를 결정하는 방법이고 H_w 는 전체 케이블의 총 단위 중량(kg/m)이 큰 순서대로 순위를 결정하는 방법이다.

케이블의 길이가 최소가 되도록 배치하려면, 배치 영역의 중앙에 최우선 순위의 장비가 배치되고 다음 순위의 장비는 고정 클램프 위치에 제일 가까이 배치되어야 하며, 고정 클램프의 순서에 따라 4가지 조합으로 나타낼 수 있다.

Figure 12는 고정 클램프의 방향에 따른 배치 방법을 나타낸 그림으로, 우선하는 고정 클램프의 방향에 따라 ①순위의 장비와 ②, ③순위 장비의 배치 위치를 알 수 있다. 그 외의 장비는 ①순위 장비와의 케이블 거리가 가까운 위치에 차례대로 배치한다.

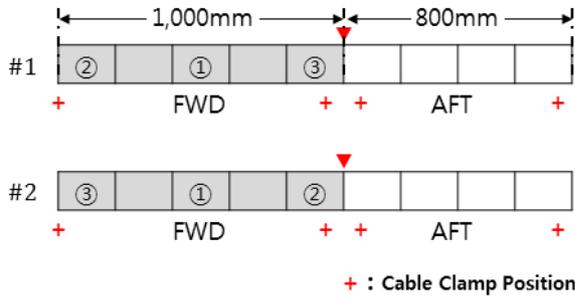


Fig. 12. Equipments Sorting Algorithm

5.3 유전 알고리즘 방법

유전 알고리즘 계산은 세대당 200개의 유전자로 20세대 총 4,000개 조건의 계산을 수행하였다. 자체 한 계산 조건은 Table 5와 같다.

VI. 분석 결과

6.1 전역 계산결과

전역 계산결과는 최소 8.163, 최대 21.125, 평균 15.214 및 표준편차는 2.010이다. 표준정규분포에 따라 결과가 분포하고 있으며, 사전 지식 없이 임의로 배치할 경우 50% 확률로 적합도가 15.214보다 우수하게 나타난다. 최적의 적합도는 8.163으로 나타났으며 이 때 장비의 배치 순서는 Table 6에 나타나 있다.

Table 5. Parameters of Calculation

Generation No.	g = 20
Population Size	n = 200
Selection	Tournament Selection Tournament Size = 5
Crossover	Partially Mapped Crossover Px = 0.70
Mutation	Pm = 0.05
Elitism	N/A

Table 6. Fitness and Permutation of Brute Force Method

Fitness		FWD					AFT				
<i>Brute_{min}</i>	8.163	F	G	I	B	A	D	C	E	H	
<i>Brute_{max}</i>	21.125	E	D	G	A	I	H	F	C	B	

6.2 Heuristic 결과

Table 7은 2가지 방법으로 결정된 배치 순위를 나타낸 표로 각 방법에 따른 장비의 우선순위를 알 수 있다.

Figure 12의 배치 방법에 따라 4가지 배치 조합이 생성된다. Table 8은 각 조합의 순서 및 적합도를 나타낸 표로, 평균인 15.214보다 우수한 것으로 나타나 모델의 가정이 유효한 것을 알 수 있다.

순위결정 방법에 상관없이 #1방법이 #2방법보다 더 우수하게 나타났다. 두 방법의 차이를 살펴보면 배치순서의 중요도에서 ②, ③ 순위 장비와 후방에 배치되는 장비와의 거리 차이가 발생한다.

#1방법은 #2방법에 비해 ② 순위 장비와 후방 배치 장비와의 거리에서 FWD 영역 길이만큼 더 길게 연결된다. Table 9는 ②, ③ 순위 장비와 후방 배치 장비와의 연결 관계를 나타낸 표로 ② 순위 장비는 두 방법 모두 후방 배치 장비와 연결되지 않아 #1번 방법이 더 우수하게 나타나는 이유를 알 수 있다.

최적 적합도의 배치 순서와 비교하면 Heuristic에서 예측했던 ① 순위 장비인 A, G장비의 위치는 예측과 같이 전방 동체에 배치되어 있고, 배치 순서는 H_c 보다 H_w 와 유사하게 배치되어 있다.

Table 7. Priority of Equipments

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
H_w	G	F	A	I	D	C	E	B	H
Sum	2.70	2.57	2.50	1.63	1.58	1.33	1.00	0.89	0.35
H_c	A	G	D	E	F	I	C	B	H
No.	6	4	4	4	3	3	3	2	1
Sum	2.50	2.70	1.58	1.00	2.57	1.63	1.33	0.89	0.35

Table 8. Fitness and Permutation of Heuristic Method I

Fitness	FWD					AFT				
H_w (#1)	10.760	F	I	G	D	A	C	E	B	H
H_w (#2)	13.947	A	D	G	I	F	C	E	B	H
H_c (#1)	13.666	G	F	A	E	D	I	C	B	H
H_c (#2)	15.775	D	E	A	F	G	I	C	B	H

Table 9. Cable Connection of second and third priority LRU

		C	E	B	H
H_w	②	F	X	X	X
	③	A	.334	.115	.660
		I	C	B	H
H_c	②	G	X	X	X
	③	D	X	.780	X
					.352

Table 10. Fitness and Permutation of Heuristic Method II

	f	Δf	FWD					AFT				
$Brute_{min}$	8.163	-	F	G	I	B	A	D	C	E	H	
H_w	10.760	2.597	F	I	G	<u>D</u>	A	C	E	<u>B</u>	H	
H_w'	9.404	1.356	F	I	G	<u>B</u>	A	C	E	<u>D</u>	H	
H_c	13.666	5.503	G	F	A	<u>E</u>	<u>D</u>	<u>I</u>	C	<u>B</u>	H	
H_c'	9.549	1.386	G	F	A	<u>B</u>	<u>I</u>	<u>D</u>	C	<u>E</u>	H	

Table 10은 전역 최적조합의 전방, 후방의 배치와 H_w , H_c 의 전방, 후방 배치를 비교한 표이다. H_w 는 D 장비가 후방으로 이동하고 B장비가 전방으로 이동하여야 하며, H_c 는 D, E장비가 후방으로 이동하고, I, B장비가 전방으로 이동하여야 한다. H_w' , H_c' 는 장비의 이동을 반영한 배치 순서로 수정 전에 비해 적합도가 개선되는 것을 볼 수 있다.

H_w 와 H_c 의 적합도를 전역 계산결과의 표준정규분포에 나타내면 Fig. 13과 같다. H_c 의 Z는 -0.770으로 상위 22.06%, H_w 는 -2.215로 상위 1.33%에 해당한다.

Table 10에서 보는 바와 같이 두 가지 Heuristic 방법 모두 장비의 우선순위 결정방법에서 최적 배치와는 차이를 보이며, 추가적인 분석 기준이 필요한 것으로 나타났다. 장비의 분류에 따른 가중치의 도입이나, 기존 설계를 참고하여 보정항목을 추가하는 등의 개선이 필요하다.

6.3 유전알고리즘 결과

Figure 14는 세대 증가에 따른 적합도의 변화를 보여주는 그래프로 18세대 이후 $Brute_{min}$ 의 최적값에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 세대별 최소 적합도는 계단식으로 개선되는 양상을 보이며, 1~3, 5~9, 11~17세대까지 3번 지역최적화 되었으나, 변이를 이용하여 지역 최적화에서 벗어나 전역 최적화된 값을 찾아가는 유전 알고리즘의 특징으로 인하여 전역최적화 상태로 수렴하였다.

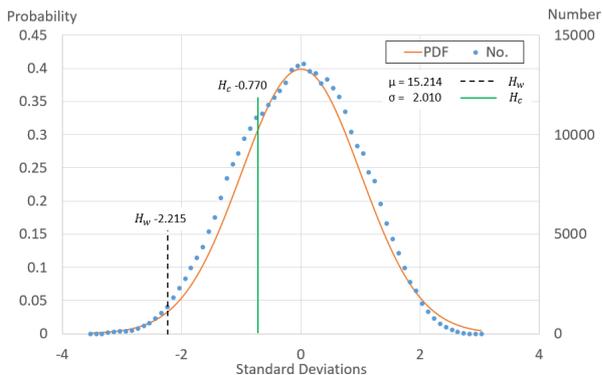


Fig. 13. Z-Score of Heuristic Case

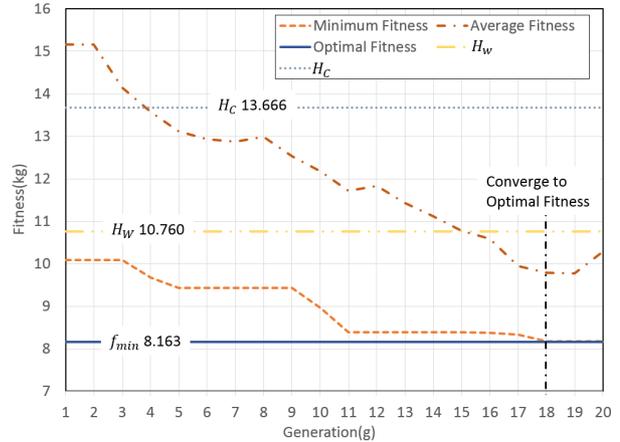


Fig. 14. Fitness Vs Generation

Table 11. Calculation Time Comparison

	Brute Force	G.A.
Case Number	362,880	4,000
Time(sec)	48,385	544
Optimal Fitness	8.163	8.163

세대별 평균 적합도를 살펴보면 전체적으로 세대 증가에 따라 개선이 이루어지고 있으나, 8, 12, 20세대에서는 평균 적합도가 다시 증가하였다. 평균 적합도가 증가한 다음 세대에서 큰 폭의 개선이 일어나는 것을 관찰할 수 있는데, 전 세대에서 인접한 장비간의 변이가 아닌 큰 적합도의 변동을 가져오는 위치에서 변이가 일어났으며, 다음 세대에서 교차를 통하여 해당 유전자의 형태가 널리 퍼졌을 것으로 판단된다.

Table 11은 계산에 소요된 시간을 비교한 표로 전역 계산 대비 유전알고리즘의 계산 시간이 98.9% 감소하였다.

유전알고리즘을 이용한 방법은 18 세대에서 전역 최적화 결과에 도달하여 알고리즘의 효과를 검증할 수 있었으며, 소요 시간은 전역 계산 대비 98.9% 감소시킬 수 있다. 최적 적합도는 8.163으로 H_w 방법의 10.760, H_c 방법의 13.666 대비 24.1%, 40.3% 개선되어 Heuristic 방법보다 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

VII. 결 론

본 연구에서는 배치 모델의 비교를 위한 기준을 분석하고, 전체 케이블 중량을 기준으로 배치 순서들을 비교하여, 최적의 순서를 찾는 방법을 제안하였다.

Heuristic 방법은 시스템 아키텍처의 연결 정보만 반영되는 H_c 보다 시스템 아키텍처와 실제 사용되는 케이블의 중량 정보까지 반영되는 H_w 가 더 우수한 것으로 나타났다.

두 가지 Heuristic 방법 모두 장비의 우선순위 결정방법에서 최적 배치와는 차이를 보이며, 추가적인 분석 기준이 필요한 것으로 나타났다.

유전알고리즘을 이용한 방법은 18 세대에서 전역 최적화 결과에 도달하여 알고리즘의 효과를 검증할 수 있었으며, Heuristic 방법과 비교하여 24.1%, 40.3% 개선된 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구는 유전알고리즘의 검증을 위하여 단순한 모델에 적용하여 효과를 확인하였으나, 향후 KBE, CSP 등의 방법을 추가하여 다양한 제약 조건에 대응할 수 있도록 개선하고, 실제 항공기 배치에 적용하여 결과를 확인할 예정이다.

References

- 1) Itier, J. B., "A380 Integrated Modular Avionics," *ARTIST2 meeting on Integrated Modular Avionics*, 2007, pp. 1~7.
- 2) Xiaojian, H., Xiangfang, D., Chun, X., "The research of particle swarm algorithm based on heuristic rules for the layout of airplane equipment cabin," *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 300-301, February, 2013, pp. 659~663.
- 3) Lee, K. Y., Han, S. N., and Roh, M. I., "Optimal Compartment Layout Design for a Naval Ship Using an Improved Genetic Algorithm," *Marine Technology*, Vol. 39, No. 3, July, 2002, pp. 159~169.
- 4) Moon, B. R., *Easily learned genetic algorithms : Evolutionary Approach*, Hanbit Academy, 2008.
- 5) David, E. G., "Alleles, loci and the traveling salesman problem," *Proceedings of The First International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, July, 1985, pp. 154~159.