

## 최적화와 분할 방법을 이용한 항공기 표적 할당 연구\*

이 혁 · 이영훈<sup>†</sup> · 김선훈  
연세대학교 정보산업공학과

### A Study on Aircraft-Target Assignment Problem in Consideration of Deconfliction

Hyuk Lee · Young Hoon Lee<sup>†</sup> · Sun Hoon Kim  
Department of Information and Industrial Engineering, Yonsei University

#### ■ Abstract ■

This paper investigates an aircraft-target assignment problem in consideration of deconfliction. The aircraft-target assignment problem is the problem to assign available aircrafts and weapons to targets that should be attacked, where the objective function is to minimize the total expected damage of aircrafts. Deconfliction is the way of dividing airspaces for aircraft flight to ensure the safety while performing the mission. In this paper, mixed integer programming model is suggested, where it considers deconfliction between aircrafts. However, the suggested MIP model is non-linear and limited to get solution for large size problem. The 2-phase decomposition model is suggested for efficiency and computation, where in the first phase target area is divided into sectors for deconfliction and in the second phase aircrafts and weapons are assigned to given targets for minimizing expected damage of aircraft. The proposed decomposition model shows outperforms the model developed for comparison in the computational experiment.

Keywords : Weapon Target Allocation Problem, Optimization, Decomposition

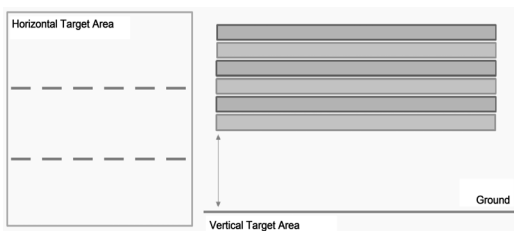
논문접수일 : 2014년 12월 05일    논문게재확정일 : 2015년 01월 21일

\* 본 연구는 국방과학연구소의 위탁 연구지원 지원으로 수행되었음(UD140067CD).

† 교신저자, [youngh@yonsei.ac.kr](mailto:youngh@yonsei.ac.kr)

## 1. 서론

본 연구는 Deconfliction을 고려한 항공기-표적 할당 문제를 다룬다. 항공기-표적 할당 문제는 가용한 항공기 수의 제한 내에서 장착 가능한 무장을 이용하여 주어진 표적을 모두 공격하도록 할당하는 문제이다. 이때 투입되는 항공기의 전체 피격 확률을 최소화시키는 것이 목적이 되고 각 항공기는 탑재 가능한 무장 수 이내에서 다수의 표적에 대해 공격이 가능하다. 또한, 각 표적을 파괴하기 위한 요구 무장 수를 만족하게 해야 하는 제약이 있다. 항공기-표적 할당 문제에 있어 Deconfliction은 반드시 고려해야 하는 요소인데, 이는 우군 간의 공역 사용과 기동에 관한 협조로 적의 무기 체계에 대한 대응 공간을 확보하고 우군 간의 안전을 확보하는 수단이다. 적의 핵심 시설을 파괴하고 공중 우세를 확보하기 위해 항공 전력은 대규모로 투입되어 짧은 시간 동안 동일 표적 지역에서 임무를 수행하게 되기 때문에 Deconfliction이 매우 중요하다. 만약 이에 대한 고려가 없을 시, 투입되는 항공기의 수가 제한되거나 혹은 아군 간 충돌 등 항공기 안전에 위협을 줄 수 있다. <그림 1>은 Deconfliction의 한 예시를 나타낸다.



<그림 1> Deconfliction의 예시

<그림 1>의 좌측은 표적 지역의 수평적 공간을 나타내고 우측은 수직적 공간을 나타낸다. 수평적 공간에서의 점선은 Deconfliction을 위해 주어진 표적 지역을 3개의 구역으로 구분하는 선이고 수직적 공간에서 음영의 직사각형은 한 항공기 편대가 사용하는 고도 영역을 표시한 것이다. 지상에서

일정 높이까지는 우군의 지대지 무장 사용과 적 지대공 위협을 회피하기 위한 공간으로 이 영역보다 높은 고도에서부터 항공기의 기동이 가능한 고도까지 항공기가 사용한다. 주어진 예시에서 수평적 공간을 구분하지 않고 사용한다면 수직적으로 6개의 영역만이 사용할 수 있기 때문에 6개를 초과하는 항공기 편대가 투입될 경우, 동일 고도 영역을 사용하는 항공기 편대가 발생한다. 따라서 각 항공기 편대의 기동이 제한되고 같은 고도 영역을 사용하는 항공기의 안전에 위협을 주게 된다. 따라서 수직적 분리와 함께 수평적 공간에서 점선으로 표시되는 것처럼 분리하여 사용하면 우군 항공기 간의 안전을 확보하고 더 많은 수의 항공기 편대의 투입이 가능하다.

무장 표적 할당 문제(Weapon Target Allocation Problem, WTA Problem)는 자원 할당 문제의 일종으로 1950년대 후반부터 연구되어 온 분야이다. 이러한 모형은 초기 대공 방어 무기 체계에 적용되어 단일 표적 할당 모형을 위주로 발전하였다. Castro [5]는 항공기 표적 할당 시 단일 표적 할당 모형을 제시하고 전술적 상황이 변하여 표적 할당의 재수행이 필요할 때 지속성(Persistence)을 도입하여 처음의 계획에서 편차가 적은 계획을 빠르게 수립할 수 있는 모형을 제시하였다. Lee et al.[9]은 대공 무기 체계에서 단일 표적을 할당할 때 우생 유전자를 선택하는 유전자 알고리즘을 제안하고 다른 휴리스틱 방법들과의 비교를 통해 알고리즘의 우수성을 보여 주었다. Ahuja et al.[4]은 표적의 생존 확률을 최소화시키기 위한 최적화 단일 표적 할당 모형을 제시하고 모형의 비선형성을 하한 경계 설정과 분지 한계법을 통해 해결하였다. 또한 VLSN(Very Large-Scale Neighborhood) 휴리스틱 알고리즘을 제시하고 크기가 큰 문제에서 빠른 속도로 문제를 해결할 수 있음을 보여 주었다. Kwon et al.[8]은 항공기의 단일 표적 할당 모형에서 표적 공격에 사용된 전체 무장의 비용을 최소화시키기 위해 Branch and Price 방법을 제안하였고 Johansson et al.[7]은 유전자 알고리즘을 사용하여 문제의 크기가 큰 단일 표적 할

당 문제에서 실시간으로 해를 도출하는 있는 방법을 제안하였다. 김태현[2]은 공유 표적을 동시에 공격하는 상황에서 사격순서를 결정하는 발견적 기법을 연구하였으며, 김동현[1]은 포병 부대에 대하여 표적 할당 및 사격 순서를 동시에 결정하는 발견적 기법을 제안하였다. 이러한 연구는 단일 표적 할당 문제를 다루었으나 무기 체계의 성능이 발전함에 따라서 한 무기 체계가 다수의 표적 공격이 가능해짐에 따라 다중 표적 할당 연구에 대한 필요성이 제기되었다. Rosenberger et al.[10]은 항공 무장의 할당 연구에서 ‘할당’ (Assignment) 개념을 도입하여 다수 표적의 할당이 가능한 수리 모형을 제시하였고 알고리즘의 수행 속도에서 그 효과를 제시하였다. 이대력[3]은 Rosenberger et al.[10]이 제시한 ‘할당’의 구성단위를 항공기에서 항공기 종류로 변경하여 계산 복잡도를 감소시키고 다양한 Package 구성에 대하여 손실 비용을 비교하는 다수 표적 할당 모형을 제시하였다.

항공기의 다중 표적 무장 할당 문제에 대한 기존의 연구는 풀이 속도와 문제의 복잡도 개선 측면에서 발전하였으나 Deconfliction에 대한 제약은 고려하지 않았다. Deconfliction은 항공 작전을 수행하는데 우군의 작전 성공과 안전의 보장과 직결된 중요한 요소이다. 따라서 이를 항공기-표적 할당에 반영하는 모형을 제시하고자 한다. 해당 모형은 비선형성을 포함하고 있기 때문에 효율적 해결을 위하여 분리 방법을 이용한 알고리즘을 제안하

고자 한다. 해당 분리 방법은 임무에 투입되는 전체 항공기의 피격 확률을 최소화하고 분리된 각 구역에 항공기를 균등히 투입하는데 우수한 성능을 보인다.

## 2. 문제정의

항공기-표적 할당 문제는 WTA 문제의 한 범주이다. 탑재장비와 무장 투사 능력, 자체 보호 능력의 차이가 있는 다양한 항공기에 탑재 가능한 무장을 장착하여 공격해야 하는 표적을 할당하는 문제이다. 목적함수는 투입된 항공기의 파괴확률의 합을 최소화하는 것이다. <그림 1>은 항공기-표적 할당 문제의 예시를 나타낸다.

<그림 2>는 3개 종류의 항공기, 3개 종류의 무장으로 30개의 표적에 할당한 예이다. 30개의 표적으로 이루어진 표적 지역은 3개 구역으로 구분되고 표적 1번부터 8번까지는 구역 1, 표적 9번부터 20번까지는 구역 2, 표적 21번부터 30번까지는 구역 3으로 나누어진다. 특정 구역으로 투입된 항공기는 다른 구역에 있는 표적을 공격할 수 없다. <그림 1>의 항공기 표적 할당 예시에서 항공기 1은 종류 1의 항공기이고 종류 2의 무장을 장착하여 표적 2를 공격한다는 것을 나타낸다. 종류 3인 14번 항공기는 종류 2의 무장을 장착하여 표적 11과 18, 19를 공격한다는 것을 나타낸다. 표적 공격 시 항공기는 단일 무장만을 장착하여 할당된 표적을

Aircraft	Bomb			Target																													
	Type 1	Type 2	Type 3	Sector 1								Sector 2												Sector 3									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Type 1	1		○																														
	2		○								○																						
	3	○											○																				
Type 2	4		○																														
	5		○																														
	6			○																													
	7				○																												
	8					○																											
	9						○																										
Type 3	10	○																															
	11			○																													
	12				○																												
	13					○																											
	14						○																										

<그림 2> 항공기 표적 할당 예시

요구되는 무장 수 이상으로 공격해야 한다.

본 연구에서 대상으로 하는 영역은 공군의 항공 차단 작전이고 이의 수행을 위해 Deconfliction을 고려하여 표적 지역을 구역으로 구분하고 표적 집합을 사용하여 항공기-표적 할당을 한다. 항공 차단 작전은 적의 군사 시설과 지휘 체계에 항공 전력을 이용하여 이를 파괴하고 무력화시켜 적을 고립시키는 작전으로 우군의 성공적인 작전 환경을 조성한다. 항공 차단 작전에서는 대규모의 항공기 편대가 표적 지역에 투입되어 짧은 임무 시간 내에 할당된 표적에 대한 공격을 시행하고 우군 지역으로 복귀한다. 제한된 시간 내에 동일한 표적 지역에 다량의 항공기가 투입되어 임무수행을 하므로 우군 항공기 간의 협조된 공중 공간 관리를 위하여 Deconfliction을 고려하여 임무를 계획한다. 항공기 간의 Deconfliction을 위해서 항공기 간의 임무 시간, 임무 경로, 임무 고도를 분리하여 안전을 확보하고 각 임무 항공기의 전투를 위한 기동공간을 확보한다. 항공 임무가 이루어지는 지역은 수평과 수직 공간을 같이 사용하는 3차원 공간이다. 각 임무 항공기의 임무 경로를 조절하여 수평적으로 분리하고 각 항공기의 임무 고도를 명시하여 수직적 분리를 한다. 수평과 수직적으로 각 임무 항공기의 사용 공간을 정하고 임무 시간의 차이를 두어 대량 항적 임무 시에 Deconfliction을 확보하게 되는 것이다. 따라서 대량의 표적에 대해 대규모의 항공기 편대를 투입해 표적을 공격하는 항공 차단 작전에서는 표적 지역을 구역으로 분리하여 각 구역에 투입되는 항공기를 정한다. 구역 구분을 통해 수평적으로 작전 지역을 구분하고 각 구역 내에 투입된 항공기들의 수직적 공간을 확보하는 것이다. 구역으로 작전 지역을 구분하지 않는다면 각 임무 항공기들의 Deconfliction을 위해 쓸 수 있는 수단은 임무 고도와 임무 시간으로 한정된다. 그러면, 투입되어야만 하는 항공기의 수에 비해 수직공간이 부족하게 되고 공격이 이루어져야 하는 표적들에 대해 모두 임무를 완수하지 못하게 될 수 있다. 따라서, 대규모 항공기가 임무를 수행하는 항공 차단

작전에서는 Deconfliction을 위한 구역을 구분하고 임무를 할당해야 한다.

#### 가정사항

- 모든 표적에 대하여 자원의 할당이 이루어져야 한다.
- 각 표적에 투하되는 무장의 수는 표적 파괴를 위해 요구되는 무장 수 이상으로 할당되어야 한다.
- 항공기는 다수의 표적에 대하여 공격할 수 있다.
- 항공기의 탑재 가능 무장은 다수이지만 임무 시 단일 무장만을 탑재하여 표적을 공격한다.
- 항공기 기종에 따라 무장 장착 능력의 차이가 존재한다.
- 항공기의 피격확률은 적 지역에서의 이동 거리가 길어질수록 증가한다.
- 항공기 기종에 따라 기동성능, 탑재장비, 공대공 무장장착 능력을 고려한 생존확률의 차이가 존재한다.
- 우군 항공기 간의 Deconfliction을 고려하여 임무 지역을 구분한다.

현대의 항공기는 탑재 전자 장비, 자체 보호 능력, 무장 장착 및 투사 능력의 발전과 무장의 유도 성능 향상을 통해 다수의 표적에 대해서 한 항공기로 공격할 수 있다. 따라서 단일 표적을 항공기에 할당하는 모형은 현재의 작전 환경에 적용하기 어렵고 다수의 표적을 한 항공기에 할당하기 위한 모형이 필요하다. Rosenberger et al.[10]과 이대력[3]은 다수의 표적을 항공기에 할당하는 방법으로 ‘할당’을 사용하였다. Rosenberger et al.[10]은 ‘표적-무장 조합’(Target drop)을 만들고 ‘표적-무장 조합’의 집합인 ‘무장-표적 조합 집합’(Target drop set)을 구성한 뒤, 이를 제약 조건을 고려하여 항공기와 결합한 ‘할당’을 제시하였다. ‘표적-무장 조합’은 표적과 무장을 결합한 것이다. 표적 1이 종류 1의 무장 2발과 결합한다면 하나의 ‘표적-무장 조합’으로 구성된다. 표적 1이 종류 2의 무장 2발과

결합하면 첫 번째 무장과 결합한 ‘표적-무장 조합’과 구별되는 다른 ‘표적-무장 조합’으로 표시된다. ‘무장-표적 조합 집합’은 ‘표적-무장 조합’들을 결합한 것이다. 단, 같은 표적이 포함되는 ‘표적-무장 조합’들을 결합하여 ‘무장-표적 조합 집합’으로 구성할 수 없고 서로 다른 표적을 가지는 ‘표적-무장 조합’들로만 하나의 ‘무장-표적 조합 집합’으로 구성한다. 표적 1과 종류 1의 무장 2발이 결합한 ‘표적-무장 조합’이 표적 3과 종류 3의 무장 1발이 결합한 ‘표적-무장 조합’과 함께 묶이면 하나의 ‘무장-표적 조합 집합’이 된다. 이때, 표적 1과 종류 1의 무장 2발이 결합한 ‘표적-무장 조합’이 표적 3과 종류 2의 무장 1발과 결합한 ‘표적-무장 조합’과 묶이면 다른 ‘무장-표적 조합 집합’으로 구성한다. ‘할당’은 ‘무장-표적 조합 집합’과 항공기의 조합이다. 구성된 ‘무장-표적 조합 집합’을 각 항공기의 무장 장착 제약을 고려하여 가능한 조합만을 구성한 것이 ‘할당’이 된다. 표적 1과 종류 1의 무장 2발로 구성된 ‘표적-무장 조합’, 표적 3과 종류 3의 무장 1발로 구성된 ‘표적-무장 조합’을 합하여 ‘무장-표적 조합 집합’을 만들었을 때, 종류 1의 무장 2발과 종류 3의 무장 2발을 함께 모두 장착할 수 있는 항공기를 결합해 ‘할당’을 만든다. 이대력[3]은 Rosenberger et al.[10]이 제시한 ‘할당’을 사용하였으나 ‘무장-표적 조합 집합’과 개별 항공기를 결합하여 ‘할당’을 구성하는 방식 대신에 ‘무장-표적 조합 집합’을 항공기 종류와 결합하여 ‘할당’ 수를 줄이고 계산량을 감소시켰다. 본 연구에서는 Rosenberger et al.[10]과 이대력[3]이 사용한 ‘할당’과는 다른 표적 집합을 사용하여 다수의 표적 할당이 가능한 모형을 제시하였다. 표적 집합은 표적들만의 결합이다. 예를 들면, 표적 1과 표적 2가 결합하면 하나의 표적 집합이 되고 표적 1과 표적 2, 표적 3이 결합되면 또 다른 표적 집합이 된다. 한 개의 표적, 즉 표적 1로만 구성된 단일 표적도 표적 집합이 될 수도 있다. 이 표적 집합을 개별 항공기가 아닌 항공기 종류에 할당하고, 표적이 할당되면 장착 가능한 무장 중 하나가 할당이 되도록 제약을 두면

다수의 표적 할당이 가능하고 Rosenberger et al. [10]과 이대력, 양재환[3]이 사용한 ‘할당’에 비해 계산량이 줄어들어 크기가 더 큰 문제에도 모형 적용이 가능하다.

## 2.1 혼합 정수 계획 모형

인덱스

- $t$  : 표적
- $i$  : 항공기 종류
- $j$  : 표적 집합
- $w$  : 무장 종류
- $s$  : 구역

결정변수

- $x_{ij}$  : 항공기  $i$ 의 표적집합  $j$ 에 대한 할당을 결정하는 이진변수
- $y_{wj}$  : 무장  $w$ 의 표적집합  $j$ 에 대한 할당을 결정하는 이진변수
- $z_{st}$  : 표적  $t$ 의 구역  $s$ 에 대한 할당을 결정하는 이진변수
- $G_s$  : 구역  $s$ 의 기준  $y$ 좌표
- $\alpha_s$  : 구역  $s$ 에서 평균 구역 항공기 투입수를 초과하는 항공기수
- $\beta_s$  : 구역  $s$ 에서 평균 구역 항공기 투입수에 부족한 항공기수

데이터

- $S$  : 구역의 수
- $V_i$  : 항공기의 가치
- $p_{ij}$  : 항공기  $i$ 가 표적집합  $j$ 에 할당되었을 경우의 피격확률
- $C_w$  :  $w$  무장의 보유 수량
- $P_t$  : 표적  $t$ 가 포함된 표적집합
- $M_j$  : 표적집합  $j$ 의 표적의 수
- $B_{wj}$  : 표적집합  $j$ 의 표적을 파괴하기 위해 요구되는 무장의 수
- $A_{iw}$  : 항공기  $i$ 가 무장  $w$ 를 장착하였을 때 장착

가능한 무장의 수

$L_t$  : 표적  $t$ 의  $y$ 좌표

$ml$  : 구역의 최소 간격

$M$  : BigM

$AN_i$  :  $i$ 종류 항공기의 수

$H_{jt}$  : 표적  $t$ 의 표적집합  $j$ 에 대한 할당을 표시하는 이진수

$SL$  : 한 구역에 투입되는 항공기수의 제한

목적함수

$$\text{minimize } \sum_i \sum_j V_i P_i x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{minimize } \sum_s \alpha_s + \beta_s \forall s \quad (2)$$

제약조건

$$\sum_t \sum_i \sum_j \frac{1}{M_j} \cdot x_{ij} \cdot z_{st} - \frac{1}{S} \sum_i \sum_j x_{ij} = \alpha_s - \beta_s \forall s \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ij} = 1 \forall t \quad (4)$$

$$\sum_j x_{ij} \leq AN_i \forall i \quad (5)$$

$$\sum_w y_{wj} = \sum_i x_{ij} \forall j \quad (6)$$

$$\sum_i A_{iw} \cdot x_{ij} \geq B_{wj} \cdot y_{wj} \forall j, w \quad (7)$$

$$\sum_j B_{wj} \cdot y_{wj} \leq C_w \forall w \quad (8)$$

$$G_{s-1} \leq G_s - ml \forall s \quad (9)$$

$$\sum_s z_{st} = 1 \forall t \quad (10)$$

$$L_t \cdot z_{st} \leq G_s \forall s, t \quad (11)$$

$$M(1 - z_{st}) + L_t \cdot z_{st} \geq G_{s-1} \forall s, t \quad (12)$$

$$M_j \cdot \sum_i x_{ij} \leq \sum_t H_{jt} \cdot z_{st} \forall s, j \quad (13)$$

$$\sum_t \sum_i \sum_j \frac{1}{M_j} \cdot x_{ij} \cdot z_{st} \leq SL \forall s \quad (14)$$

$$z_{st} \in \{1, 0\} \text{ 표적 } t \text{가 구역 } s \text{에 할당되면 } 1, \text{ 그렇지 않으면 } 0 \quad (15)$$

$$x_{ij} \in \{1, 0\} \text{ 표적집합 } j \text{가 항공기 종류 } i \text{에 할당되면 } 1, \text{ 그렇지 않으면 } 0 \quad (16)$$

$$y_{wj} \in \{1, 0\} \text{ 표적집합 } j \text{에 무장 } w \text{가 할당되면 } 1, \text{ 그렇지 않으면 } 0 \quad (17)$$

목적함수 식 (1)은 투입되는 항공기의 피격확률의 합을 최소화하는 것이다. 식 (2)와 식 (3)은 두 번째 목적함수를 위한 식으로 각 구역에 투입되는 항공기 수의 편차를 최소화한다. 각 구역에 항공기의 투입을 균등히 하여 항공기 간의 기동공간을 확보하고 Deconfliction을 고려하기 위한 식이다. 식 (4)는 표적  $t$ 를 포함하는 표적 집합  $P_t$  중 한 표적 집합은 한 종류의 항공기에는 반드시 할당되고 각 표적은 한 번만 할당될 수 있다는 것을 의미한다. 식 (5)는 각 항공기 종류의 가용 수 이내에서 할당되어야 함을 의미하고 식 (6)은 항공기 종류에 할당이 이루어지면 해당 종류의 항공기가 장착 가능한 무장 중 하나는 할당되어야 함을 나타낸다. 식 (7)은 표적 집합이 선택되면 해당 종류의 항공기는 표적 집합을 파괴하기 위해 요구되는 무장 수 이상으로 무장 장착이 가능해야 함을 제약한다. 식 (8)은 표적집합에 할당된 무장의 합이 가용한 무장 수 이내에서 할당되어야 함을 의미한다. 식 (9)에서 (14)번은 표적 지역의 구역 구분과 관련한 식이다. 식 (9)는 구역을 구분하는 기준 좌표의 관계를 결정하는 식으로 구역 2를 구분하는  $y$ 축 좌표가 구역 1을 구분하는  $y$ 축 좌표보다 커야 하고 구역 3을 구분하는 좌표는 구역 2를 구분하는  $y$ 축 좌표보다 커야 함을 제약한다. 단, 구역을 구분할 때 최소 간격 이상으로 구분해야 한다. 식 (10)은 각 표적은 어느 한 구역에 속해야 하는 것을 의미한다. 식 (11)과 식 (12)는 표적  $t$ 가 어느 한 구역 속하게 되면 표적의  $y$ 축 좌표가 이전 구역을 구분하는  $y$ 축 좌표보다는 커야 하고 해당 구역을 구분하는  $y$ 축 좌표보다는 작아야 함을 표시한다. 예를 들면, 표적 1이 2구역에 속한다면 표적 1을 구분하는  $y$ 축 좌표보다는 표적 1의  $y$ 축 좌표의 값이 커야 하고 표적 2를 구분하는  $y$ 축 아래에 표적이 위치해야 함을 뜻한다. 식 (13)은 표적 집합이 할당되면 해당 표적 집합에 속하는 모든 표적은 같은 구역에 속해야 함을 나타내는 식이다. 표적 집합  $j$ 가 어느 한 종류의 항공기에 할당이 되면  $\sum_t H_{jt} \cdot z_{st}$ 가 표적 집합의 표적 개수인  $M_j$ 보다 크거나 같아야 하므로

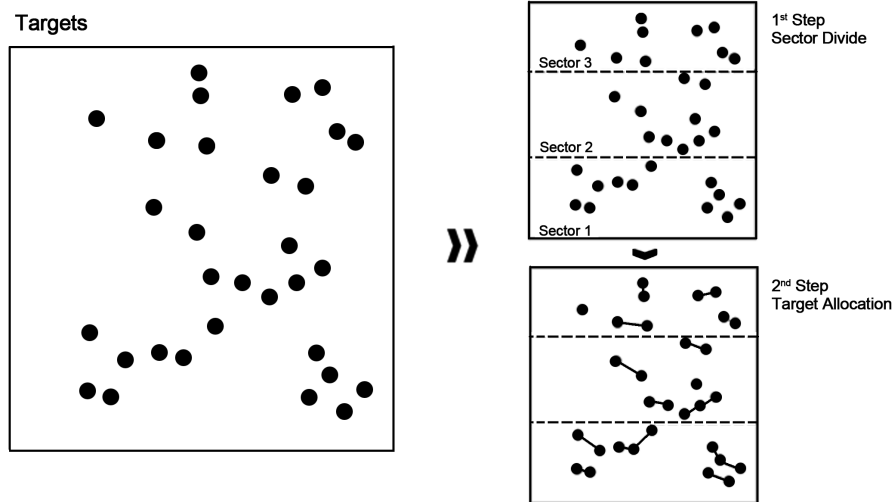
같은 구역에 속한 표적으로 구성된 표적 집합만이 항공기에 할당된다. 식 (14)는 각 구역에 할당된 항공기의 수는 한 구역에 투입 가능한 항공기 수 이하여야 한다는 것을 나타내고 비선형 식이다. 식 (15) 부터 식 (17)은 각 결정변수가 이진 변수임을 의미한다.

### 3. 분할 방법 모형

본 연구에서 제시한 혼합 정수 모형은 비선형 수식을 포함하고 있으며 표적 수와 투입 항공기 수에 따라 문제의 크기가 급격히 증가하여 실제 작전에 적용하기 어려운 측면이 있다. 따라서 최적화 모형의 비선형성을 해결하고 크기가 큰 문제에서 빠른 시간에 우수한 해를 도출하기 위해 분할 방법을 적용한 풀이 모형을 개발하였다. 해당 모형은

표적이 분포하는 지역을 구역으로 우선 구분하고 구역 내에 속한 표적들로 표적 집합을 만들어 항공기와 무장을 할당하는 2개 과정의 분할 방법을 사용하였다. <그림 3>은 31개의 표적이 주어졌을 때 표적을 3개의 구역으로 구분하고 표적 집합에 항공기와 무장을 할당한 예시이다. 상단의 그림은 분할 방법의 과정을 단계적으로 보여 주는 그림이고 하단의 표는 분할 방법의 결과 예시를 나타낸다.

분할 방법 모형의 첫 과정은 구역 구분 모형을 통해서 표적들을 구역으로 우선 구분하는 것이다. 표적의 y축 좌표를 기준으로 구역을 구분하는 y축  $G_s$ 를 결정하면 <그림 2>의 구역 결정 모형과 같은 결과를 얻게 된다. 예를 들어 <그림 2>의 하단의 구역 결정 모형에서 보면 표적 1, 2는 구역 1에 속하고 표적 3은 구역 3으로 표적 10은 구역 2로 분류된다. 이때, 구역 1과 구역 2를 구분하는 y축



Sector Divide Model																															
Target( <i>t</i> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Sector( <i>s</i> )	1	1	3	1	1	2	3	1	1	3	3	3	1	2	2	2	2	3	3	1	1	1	2	2	2	3	3	2	1	1	1
Divide y-axis Coordinates : $G_1 : 20.8, G_2 : 45.5, G_3 : 80.2$																															
Target Allocation Model																															
Sector( <i>s</i> )	1									2									3												
Target sets	1	2	4	5	8	9	13	21	22	29	30	31	6	14	15	16	17	18	23	24	25	28	3	7	10	11	12	19	20	26	27
Aircraft Type( <i>i</i> )	1	2	3	3	3	2	1	2	3	2	2	1	1	2	2	3	2	2	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Weapon Type( <i>w</i> )	1	2	3	3	3	3	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

<그림 3> 항공기-표적 할당 분할 방법 모형 예시

좌표는 20.8이 되고 구역 2와 구역 3을 구분하는 y 축 좌표는 45.5가 된다.

분할 방법 모형의 두 번째 과정은 구분된 구역에 속하는 표적들로 표적 집합을 만들어 항공기와 무장을 할당하는 것이다. <그림 2>에서 분할 방법 단계 2의 표적 할당 모형을 보면, 단계 1에서 구역 1로 분류된 표적들로 이루어진 표적 집합 중 {표적 1, 표적 2}, {표적 4, 표적 5}, {표적 8, 표적 9, 표적 13}, {표적 21, 표적 22, 표적 29}, {표적 30, 표적 31}의 표적 집합에 항공기와 무장이 할당되었고 {표적 1, 표적 2}의 표적 집합에는 항공기 종류 1과 무장 종류 1이 할당되었음을 보여준다.

<그림 4>는 본 연구에서 제시한 분할 방법을 순서도로 보여준다. 분할 방법은 크게 5단계로 진행하며 1단계에서는 모형 적용에 필요한 데이터를 설정하고 2단계에서는 표적 난이도의 요인 가중치를 설정한다. 표적 난이도에 관해서는 제 4.2절에서 자세히 설명한다. 3단계는 각 구역에 속하는 표적들의 난이도 합이 균등하게 되도록 구역을 구분하고 4단계에서는 각 구

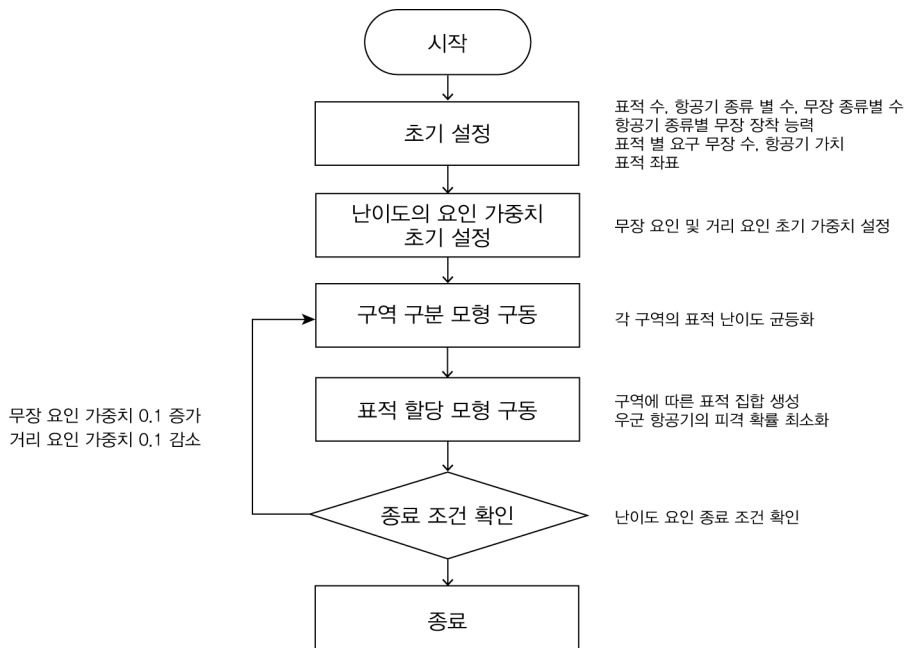
역에 속하는 표적으로 표적 집합을 구성하여 항공기와 무장을 할당한다. 5단계에서는 종료 조건을 확인하고 종료 조건이 될 때까지 표적 난이도의 각 요인을 조정하여 3단계와 4단계를 반복 수행한다.

### 3.1 초기 설정

분할 방법 모형에서 데이터로 사용하는 표적의 수, 항공기 종류와 각 항공기의 수, 무장의 종류와 각 무장의 수, 항공기의 무장에 따른 장착 능력, 표적 파괴를 위한 요구 무장 수, 항공기 종류에 따른 가치, 표적 좌표를 설정한다.

### 3.2 표적 난이도의 요인 가중치 초기 설정

분할 방법 1단계에서 구역에 투입되는 항공기 수가 한 구역에 투입 가능한 항공기 제한을 초과하지 않고 각 구역에 항공기가 균등히 투입되도록 구역을 구분하는 것이 필요하다. 특정 구역에 항공기 투입이 집중되면 해당 구역 내에서 각 항공기가 사용할



<그림 4> 분할 방법 모형 순서도



수 있는 고도의 폭이 좁아지고 기동과 Deconfliction에 제한을 받기 때문이다. 구역에 투입되는 항공기 수는 표적의 수만 아니라 표적을 파괴하기 위한 요구 무장 수와 항공기의 생존확률에 영향을 받는다. 따라서 할당되는 항공기 수를 결정할 수 있는 요인들을 구역 구분에 반영하기 위하여 본 연구에서는 표적의 난이도를 도입하였다. 표적의 난이도는 무장 요인과 거리 요인으로 구성되며 무장 요인은 표적 파괴를 위해 요구되는 무장 수를 반영하고 거리 요인은 항공기의 생존확률에 영향을 미치는 표적의 거리를 반영한다.

<표 1> 표적의 요구 무장 및 표적 좌표 예시

Required number of weapons for target destruction( $WT_{tw}$ )				Coordinates	
Target ( $t$ )	Weapon type( $w$ )			$x(x_t)$	$y(y_t)$
	1	2	3		
1	4	2	2	45.57	5.88
2	-	4	2	36.94	12.08
3	4	2	2	77.22	15.84
4	4	4	4	74.34	21.60
5	-	-	3	48.66	27.57
6	1	1	1	79.65	34.43
7	2	2	2	70.58	52.36
8	-	3	3	25.43	61.44
9	-	-	5	53.31	62.54
10	2	2	2	59.73	71.84

<표 2> 항공기 종류에 따른 무장 장착 능력 예시

Capability of aircraft based on weapons( $A_{tw}$ )			
Aircraft type( $i$ )	Weapon Type( $w$ )		
	1	2	3
1	4	4	-
2	4	4	4
3	4	4	8

<표 1>은 표적의 요구 무장 및 표적 좌표의 예시이다. 표적 1은 표적 파괴를 위해서 종류 1의 무장 4발 또는 종류 2의 무장 2발 또는 종류 3의 무장 2발이 필요하다는 것을 의미하고 표적 5는 종류 3의 무장만 공격할 수 있고 3발이 필요하다는 것을 나타낸다. <표 2>는 항공기 종류에 따른 무장 장착 능력의 예

시로 항공기 종류 1은 무장 1 장착 시 4발 장착할 수 있고 종류 2 무장 장착 시는 4발, 종류 3 무장은 장착할 수 없다는 것을 의미한다. 무장 요인 산출 시에는 표적의 요구 무장 수, 항공기의 무장에 따른 장착 능력을 사용하고 거리 요인 산출 시에는 항공기의 표적 공격 방향인  $x$ 축 좌표를 이용한다.

데이터

$WT_{tw}$  : 표적  $t$ 를 무장  $w$ 를 사용하여 파괴하기 위해 요구되는 무장수

$FW_t$  : 표적  $t$ 의 예상 요구 항공기 수(실수)

$RW_t$  : 표적  $t$ 의 무장 요인

$RD_t$  : 표적  $t$ 의 거리 요인

$RS_t$  : 표적  $t$ 의 난이도

$T$  : 표적의 수

$U_t$  : 표적  $t$ 를 파괴 가능한 무장 종류의 수

$WA_{tw}$  : 표적  $t$ 를 무장 종류  $w$ 로 공격할 때 가능한 항공기 종류의 수

$WF$  : 무장 요인의 가중치

$DF$  : 거리 요인의 가중치

수식

$$FW_t = \frac{\sum_w \sum_i \frac{WT_{tw}/A_{tw}}{WA_{tw}}}{U_t}, \forall t, A_{tw} > 0 \quad (16)$$

$$RW_t = \frac{FW_t}{(\sum_t FW_t)/T} \quad (17)$$

$$RD_t = \frac{x_t}{(\sum_t x_t)/T} \quad (18)$$

$$RS_t = RW_t \cdot WF + RD_t \cdot DF \quad (19)$$

식 (16)의 분자의  $\sum_w \sum_i \frac{WT_{tw}/A_{tw}}{WA_{tw}}$ 는 각 무장을 사용했을 때 예상되는 항공기 수를 의미하고 분자는 해당 표적을 공격 가능한 무장의 수이다. 이는 각 표적을 공격하기 위한 예상 요구 항공기 수를 의미하고 값은 실수를 가진다. 식 (17)은 표적의 무장 요인을 산출하는 식으로 해당 표적의 예상 항공기 수와 전체 평균을 이용하여 비를 구한다. 식

(18)은 표적의 거리 요인 도출을 위해 해당 표적의  $x$  좌표와 전체 표적의  $x$  좌표 평균을 사용하여 비를 구한다. 식 (19)는 무장 요인과 거리 요인에 가중치를 적용하여 표적의 난이도를 결정하는 것을 보여준다. 표적의 분포는 다양한 형태를 보일 수 있기 때문에 각 상황에 맞게 가중치가 적용되어야 한다. 무장의 요구도가 높은 표적이 인접한 지역에 편중되어 분포하거나 표적이 특정 위치에 집중된 경우에는 각 형태에 맞게 무장 요인과 거리 요인에 적용되는 가중치가 다르게 적용되어야 한다. 따라서 구역 구분 모형에 적용되는 표적 난이도의 가중치는 무장 요인이 0, 거리 요인이 1로 초기 설정되고 종료 조건에 도달할 때까지 각 요인의 가중치를 조정하여 분할 방법을 반복 구동한다.

### 3.3 구역 구분 모형

구역 구분 모형은 표적의 무장 요구 수와 거리를 반영한 표적의 난이도를 사용하여 구역을 구분한다. 목표가 되는 표적 난이도를 정하고 각 구역에 속하는 표적들의 난이도를 합한 값이 이 목표 값과 최소의 차이를 갖도록 목적함수를 설정하였다. 구역 구분 모형을 적용하면 표적 지역의 각 구역에 속하는 표적 난이도의 합이 균등하게 되고 각 구역에 속하는 표적들만 표적 집합을 구성하여 2번째 단계인 표적 할당 모형을 적용한다.

인덱스

$t$  : 표적

$s$  : 구역

결정변수

$z_{st}$  : 표적  $t$ 의 구역  $s$ 에 대한 할당을 결정하는 이진 변수

$G_s$  : 구역  $s$ 의 기준  $y$ 좌표

$AD_s$  : 구역  $s$ 에서  $DT$ 를 초과한 표적 난이도

$BD_s$  : 구역  $s$ 에서  $DT$ 에 부족한 표적 난이도

$D_s$  : 구역  $s$ 에 포함된 표적 난이도의 합

데이터

$L_t$  : 표적  $t$ 의  $y$ 좌표

$ml$  : 구역의 최소 간격

$RS_t$  : 표적 난이도

$DT$  : 한 구역 내의 목표 난이도

$M$  : Big M

목적함수

$$\text{minimize } \sum_s AD_s + BD_s \quad (20)$$

제약조건

$$AD_s - BD_s = D_s - DT \quad (21)$$

$$G_{s-1} \leq G_s - ml \forall s \quad (22)$$

$$\sum_s z_{st} = 1 \forall t \quad (23)$$

$$L_t \cdot z_{st} \leq G_s \forall s, t \quad (24)$$

$$M(1 - z_{st}) + L_t \cdot z_{st} \geq G_{s-1} \forall s, t \quad (25)$$

$$\sum_t RS_t \cdot z_{st} = D_s \forall s \quad (26)$$

$z_{st} \in \{1, 0\}$  표적  $t$ 가 구역  $s$ 에 할당되면 1, 그렇지 않으면 0

구역 결정 모형의 목적 함수 식 (20)과 식 (21)은 각 구역에 속하는 표적의 난이도 합과 목표 난이도와의 차이를 최소화하게 한다. 식 (22)~식 (25), 식 (27)은 혼합 정수 모형의 식 (7)~식 (10), 식 (13)과 의미가 같다. 식 (26)은 구역에 속하는 표적의 난이도의 합을 나타내는 식이다.

구역 결정 모형을 적용한 후에 구역을 구분하는  $y$ 축 좌표, 각 구역에 속하는 표적이 결정되면 구역에 속한 표적들로 표적 집합을 구성하게 된다. 구성된 표적 집합을 통해 해당 표적 집합을 파괴하기 위한 요구 무장 수, 표적 집합이 각 항공기 종류에 할당되었을 때의 피격확률을 산출하여 표적 할당 모형에 사용한다.

### 3.4 표적 할당 모형

구역 결정 모형을 적용하고 표적 집합이 구성되면 표적 집합에 할당될 항공기 종류와 무장 종류를 결

정한다. 표적 집합에 항공기를 할당할 때의 목적함수는 투입되는 전체 항공기의 피격확률을 최소화하는 것이고 어떤 항공기 종류에 어떤 무장을 장착하고 어떤 표적들을 할당받는지 해로 주어진다.

목적함수  
식 (1)

제약조건  
식 (2)~식 (6), 식 (13)~식 (14)

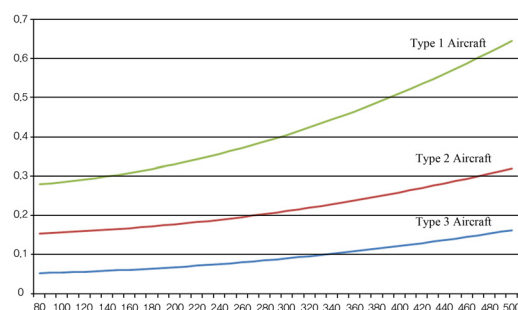
### 3.5 종료 조건 확인

표적 지역의 표적 분포는 다양하고 정형화하기 어려우므로 표적의 형태를 고려하여 구역 할당을 최적화하기 위해 난이도의 각 요인에 적용되는 가중치를 조정하면서 구역 구분 모형과 표적 할당모형을 반복 수행한다. 표적 할당 모형을 수행한 후 무장 요인 가중치를 0.1 증가시키고 거리 요인은 0.1 감소시킨 뒤 분할 방법을 다시 수행하고 무장 가중치가 1, 거리 요인의 가중치가 0이 되면 종료 되도록 한다. 모형의 반복 수행은 다양한 표적 분포 형태에도 구역 구분 시 이를 반영해서 항공기와 무장의 할당이 되게 한다.

## 4. 실험 결과

본 연구는 제안한 분할 방법 모형의 우수성과 실용적 활용 가능성을 확인하기 위해, 비교 실험 연구를 수행하였다. 모형의 우수성과 실용 가능성을 평가하기 위해서 본 연구는 다음과 같은 기준으로 모형을 평가하였다: (1) 항공기 수의 균등 할당, (2) 항공기 피격확률의 최소화, (3) 최대 항공기 수 제약 만족 여부. 평가 기준 (1)과 (2)는 해당 모형의 우수성을 평가하기 위한 기준으로, 항공기의 균등할당은 성공적이고 안전한 항공 임무 수행에 있어 중요한 요소이다. 또한, 피격확률 최소화는 아군의 작전 지속 능력을 보장하는 아주 중요한 요인

이다. 평가 기준 (3)은 모형의 실용 가능성을 평가하기 위한 기준으로, 해당 조건을 만족하지 못하는 해당은 항공 임무에 실질적으로 활용되기 어렵다. 군사 보안의 이유로 실제의 데이터를 사용할 수 없으므로 표적, 항공기, 항공기 탑재 무장은 가상으로 설정하였다. 한 구역에 투입 가능한 항공기의 최대 수는 10으로 제한하였고, 40개 표적과 3개 종류의 항공기, 3개 종류의 무장에 대하여 실험을 하였다. <그림 5>는 실험에서 사용한 3개 종류 항공기의 피격 확률을 보여주는 그래프이다. 그래프의 x축은 항공기의 이동 거리를 의미하며 우군 지역을 출발하여 표적을 공격하고 우군 지역으로 다시 복귀할 때까지의 거리를 사용하였다. y축은 항공기의 피격 확률을 의미하고 이동 거리가 증가할수록 항공기의 피격 확률은 높아지게 된다. 종류 3의 항공기는 탑재 장비 성능과 자체 방어 무장 능력이 높은 항공기로 피격 확률이 가장 낮게 설정하였고 종류 1의 항공기는 장기 운용 항공기로 가정하여 피격 확률을 높게 설정하였다.



<그림 5> 항공기의 피격 확률 설정

표적 분포를 4개의 시나리오 군으로 분류하고 각 시나리오 군별로 4가지 사례를 사용하여 총 16번의 실험을 시행하였다. 실험에 사용된 4개의 시나리오 군은 표적의 밀도가 특정 위치에서 높은 경우, 무장의 요구도가 어느 한 위치에 집중된 경우, 표적의 밀도와 무장의 요구도가 함께 높은 경우, 표적의 위치와 무장의 요구도가 임의로 설정된 경우이다. 또한, 본 연구에서 제안한 분할 방법과 비교 평가를 위해 동일 표적

수 구역 모형을 사용하였다. 동일 표적 수 구역 모형은 표적 지역을 구역으로 구분할 때 분할 방법에서 사용한 난이도 대신 구분되는 각 구역에 같은 수의 표적을 할당하는 모형이다. Deconfliction을 반영한 기존의 연구가 제한되고 실제 구역 구분 시에는 전문가의 경험에 의존한 의사결정이 이루어지기 때문에 가장 일반적인 방법인 동일 표적 수 구역 모형을 선택하였다. 두 모형은 구역 구분 이후에는 분할 방법 모형의 두 번째 단계인 표적 할당 모형을 동일하게 사용

하여 항공기-표적 할당을 하였다. 알고리즘 수행 시 분할 방법 모형은 평균 13.7초, 비교 모형은 1.3초 이내의 풀이 시간을 가졌다. 분할 방법 모형은 난이도의 가중치를 조절하며 반복 구동하기 때문에 더 긴 풀이 시간을 보이거나 두 모형 모두 짧은 시간 안에 해의 도출이 가능하였다.

<표 3>은 각 모형의 구동 시 구역에 할당되는 항공기와 표적 수를 나타내는 실험 결과이다. 음영으로 표시된 부분은 구역에 투입 가능한 최대 항공기 수

<표 3> 실험 결과 데이터(구역에 할당된 항공기 수 및 표적 수)

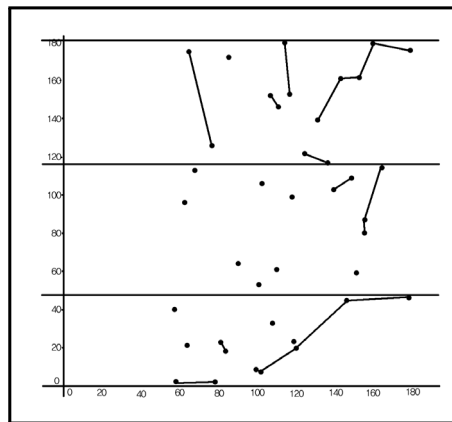
Scenario				Used Aircraft & Divided Target					
				Decomposition Model (Target Difficulty)			Comparison Model (Target Number)		
				Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Concentrated	Target	Case 1	Aircraft	7	7	7	7	7	7
			Target	13	14	13	13	14	13
		Case 2	Aircraft	8	6	8	7	6	10*
			Target	16	12	12	12	14	14
		Case 3	Aircraft	7	7	7	6	7	8
			Target	14	14	12	13	13	14
		Case 4	Aircraft	7	6	8	8	7	7
			Target	12	13	15	13	13	14
	Weapon	Case 1	Aircraft	8	9	8	Infeasible		
			Target	11	14	15	Infeasible		
		Case 2	Aircraft	9	8	6	7	10*	6
			Target	15	11	14	13	13	14
		Case 3	Aircraft	7	7	7	6	6	9
			Target	16	14	10	13	14	13
		Case 4	Aircraft	6	8	8	5	9	8
			Target	16	11	13	13	14	13
	Target + Weapon	Case 1	Aircraft	9	8	8	Infeasible		
			Target	14	15	11	Infeasible		
		Case 2	Aircraft	9	7	9	9	7	11*
			Target	14	15	11	13	14	13
		Case 3	Aircraft	7	9	9	7	10*	8
			Target	14	12	14	14	13	13
		Case 4	Aircraft	9	7	7	10*	6	6
			Target	11	14	15	13	13	14
Random	Case 1	Aircraft	8	7	7	7	7	8	
		Target	15	13	12	13	13	40	
	Case 2	Aircraft	7	8	7	7	8	8	
		Target	15	13	12	14	13	13	
	Case 3	Aircraft	8	6	7	9	6	7	
		Target	13	14	13	14	13	13	
	Case 4	Aircraft	6	6	8	6	6	8	
		Target	13	13	14	13	13	14	

10을 초과하거나 해를 얻을 수 없는 경우를 표시하였고 음영 부분의 숫자 뒤 \*표시는 해당 구역에서 항공기 제한을 초과하였음을 의미한다. 모든 사례에서 분할 방법 모형은 구역 최대 항공기 수 제한을 초과하지 않고 해를 얻을 수 있었으나 비교 모형에서는 해를 구하지 못한 경우가 2번, 구역의 최대 항공기 제한을 초과한 경우가 5번이 있었다. 특히, 표적의 밀도와 무장의 요구도가 모두 높은 경우에는 전 사례에서 실현 가능한 해를 얻지 못하였다.

<그림 6>과 <그림 7>은 무장 집중 사례 2에서 비교 모형과 분할 방법 모형의 항공기-표적 할당 결과를 보여준다. 각 그림의 좌측은 할당되는 항공기 중

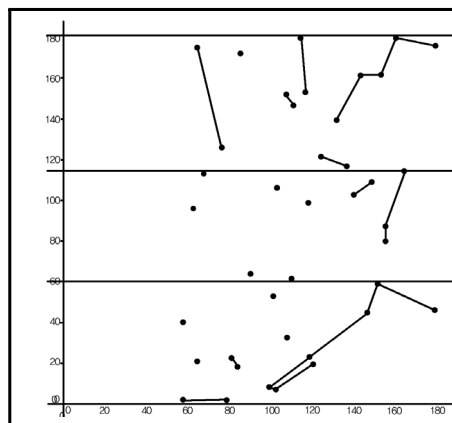
류, 표적 집합, 무장의 종류, 표적 집합에 속하는 표적을 표로 보여주고 우측은 항공기-표적 할당 결과를 시각화하여 그림으로 보여준다. 표적 할당 결과를 시각화한 그림에서 점은 표적을 나타내고 점과 점을 연결한 선은 다수 표적이 할당을 의미한다. 그림의 사례는 요구 무장 수가 높은 표적이 구역 2에 집중된 경우이고 비교 모형에서는 구역 2에서 구역 할당 항공기 제한을 위반하였다. 동일한 사례를 표적 난이도를 사용한 분할 방법 모형에 적용하였을 때는 가장 하단의 구역 1의 표적 수를 증가시키고 구역 2의 표적 수를 감소시켜 구역 2에서 구역 할당 항공기 제한을 준수하고 각 구역에 투입되는 항공기의 편차를 줄이는 결

Target Allocation (Comparison Model)							
i	j	w	0	1	target(t)		
1	3	1	0	1			
0	63	0	6				
1	136	2	7	4			
1	219	1	8				
1	382	2	9				
0	638	0	10				
2	2184	2	3	2	5	11	12
1	2381	2	13				
1	2382	1	14				
1	2384	2	15				
1	2388	1	16				
0	2422	1	19				
1	2444	2	20				
1	2510	1	22				
2	2593	2	21	23			
1	2612	2	24				
2	2700	2	18	17	25		
1	2761	1	27	26			
1	2806	2	31	30			
1	3140	2	35				
1	3400	2	36	28			
2	5032	2	29	33	34	38	37
1	5195	1	39	32			



<그림 6> 비교 모형의 항공기-표적 할당 결과(무장 집중 사례 2)

Target Allocation (Decomposition Model)							
i	j	w	0	1	target(t)		
1	3	1	0	1			
1	36	2	2	5			
0	63	1	6				
1	136	2	7	4			
1	219	1	8				
1	382	2	9				
0	638	0	10				
1	2380	2	13				
2	4506	2	3	11	14	12	
1	4945	2	15				
1	4946	1	16				
0	4959	1	19				
1	4970	2	20				
1	5008	0	22				
2	5059	2	21	23			
1	5074	2	24				
2	5130	2	18	17	25		
1	5179	0	27	26			
1	5224	2	31	30			
1	5558	2	35				
1	5818	2	36	28			
2	7450	2	29	33	34	38	37
1	7613	1	39	32			



<그림 7> 분할 방법 모형의 항공기-표적 할당 결과(무장 집중 사례 2)

〈표 4〉 실험 결과 데이터(목적 함수 결과 값)

			Objective Value								
Destruction Probability			The Total Number and The Maximum Number of Aircraft in Sectors								
Decomposition Model	Comparison Model	Differences	Decomposition Model			Comparison Model			Differences		
			Avg	Max	STD	Avg	Max	STD	Avg	Max	STD
28112.9	28112.9	0	7.0	7	0.0	7.0	7	0.0	0.0	0	0.0
30624.2	32097.9	1473.7	7.3	8	0.9	7.7	10	1.6	0.3	2	0.7
29736.9	30334.7	597.8	7.0	7	0.0	7.0	8	0.7	0.0	1	0.7
27716.1	29137.1	1421	7.0	8	0.7	7.3	8	0.4	0.3	0	-0.2
33204.9	Infeasible	·	8.3	9	0.4	·	·	·	·	·	·
32887.0	33026.0	139.0	7.7	9	1.1	7.7	10	1.6	0.0	1	0.4
26887.6	26998.7	111.1	7.0	7	0.0	7.0	9	1.3	0.0	2	1.3
28943.6	28938.1	-5.5	7.3	8	0.9	7.3	9	1.6	0.0	1	0.7
33616.2	Infeasible	·	8.3	9	0.4	·	·	·	·	·	·
34275.3	37225.9	2950.6	8.3	9	0.9	9.0	11	1.3	0.7	2	0.4
39601.8	39551.6	-50.2*	8.3	9	0.9	8.3	10	1.1	0.0	1	0.2
29682.9	28407.9	-1275*	7.7	9	0.9	7.3	10	1.8	-0.3*	1	0.9
28865.9	28967.0	101.1	7.3	8	0.4	7.3	8	0.4	0.0	0	0.0
28317.6	29800.0	1482.4	7.3	8	0.4	7.7	8	0.4	0.3	0	0.0
28163.8	29632.3	1468.5	7.0	8	0.7	7.3	9	1.1	0.3	1	0.4
26822.3	26822.3	0	6.7	8	0.9	6.7	8	0.9	0.0	0	0.0

과를 보였다.

〈표 4〉는 각 모형의 구동 시 목적 함수 값을 보여 주는 실험 결과로 피격 확률, 평균 항공기 수, 구역의 최대 항공기 수, 구역 투입 항공기 표준 편차를 비교 하였다. 음영으로 표시된 부분은 비교 모형이 분할 방법 모형보다 성능이 높게 나온 부분을 의미하고 음영 부분 중 \*표시는 구역 항공기 수 제한 초과를 나타낸다. 전체 중 3개의 사례를 제외하고는 분할 방법 모형이 피격 확률값의 우위를 보였다. 또한, 비교 모형이 우위를 보인 3개의 사례 중 2개의 경우는 구역 항공기 수 제약을 위반한 경우이다. 항공기 평균 투입 수, 최대 투입 항공기 수, 항공기 투입 표준 편차에서도 분할 방법 모형이 우위를 나타내었다. 평균 투입 항공기 수에서 비교 모형이 좋은 값을 보인 1개 사례는 구역 최대 항공기 제한을 위반한 경우이고, 표준 편차에서 비교 모형이 우위를 보인 1개 사례는 전체 항공기 투입 수와 평균 항공기 투입 수에서는 분할 방법 모형이 우위를 보였다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 항공 작전에서의 Deconfliction을 고려하고 투입되는 전체 항공기의 피격 확률을 최소화시키기 위한 분리 방법 알고리즘을 제안하였다. 분리 방법의 첫 단계에서는 표적의 분포에 따라 표적의 거리와 무장 요구를 고려하여 난이도를 설정하고 구역을 구분하는 모형을 제안하였다. 두 번째 단계에서는 구분된 구역 내에서 표적의 무장 요구를 만족하며 피격확률을 최소화하는 최적화 할당 모형을 제시하였다. 가상의 데이터를 통한 실험결과는 제안한 모형이 균등한 항공기 투입과 구역 최대 항공기 수 제한 준수 측면에서 실용적임을 보여주었다. 또한, 제안된 알고리즘은 동일 표적 수로 구역을 구분하는 모형보다 피격확률, 전체 항공기 투입 수, 구역 최대 항공기 수, 구역 투입 항공기 수 표준 편차 등의 성능 지표에서 우수함을 보였다. 본 논문에서는 군사 보안의 이유로 표적 데이터와 항공기 생존 확률에

대한 실제 자료를 사용하지 못한 한계점이 존재한다. 나아가 본 연구 결과의 실용적 활용 가능성을 보다 개선하기 위하여 표적 집합 생성 알고리즘을 개선하는 연구를 수행할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김동현, 이영훈, “표적 할당과 사격 순서의 동시 결정 문제를 위한 발견적 기법”, 『한국경영과학회지』, 제35권, 제1호(2010), pp.47-65.
- [2] 김태현, 이영훈, “공유표적을 포함한 사격순서 결정에 관한 연구”, 『한국경영과학회지』, 제28권, 제3호(2003), pp.123-134.
- [3] 이대력, 양재환, “혼합정수계획법을 이용한 항공기-목표물 최적할당에 관한 연구”, 『경영과학』, 제25권, 제1호(2008), pp.55-74.
- [4] Ahuja, R.K., A. Kumar, K.C. Jha, and J.B. Orlin, “Exact and heuristic algorithms for the weapon-target assignment problem,” *Operations Research*, Vol.55, No.6(2007), pp.1136-1146.
- [5] Castro, D.R. D.S., *Optimization models for allocation of air strike assets with persistence* (Doctoral dissertation, Monterey, California. Naval Postgraduate School), 2002.
- [6] Dolan, M.H., *Air Tasking Order (ATO) Optimization Model* (Doctoral dissertation, Monterey, California. Naval Postgraduate School), 1993.
- [7] Johansson, F. and G. Falkman, “An empirical investigation of the static weapon-target allocation problem,” *In Proceedings of the 3rd Skövde Workshop on Information Fusion Topics (SWIFT 2009)*, University of Skövde, 2009.
- [8] Kwon, O., K. Lee, D. Kang, and S. Park, “A branch and price algorithm for a targeting problem,” *Naval Research Logistics* (NRL), Vol.54, No.7(2007), pp.732-741.
- [9] Lee, Z.J., S.F. Su, and C.Y. Lee, “Efficiently solving general weapon-target assignment problem by genetic algorithms with greedy eugenics,” *Systems, Man, and Cybernetics, Part B : Cybernetics, IEEE Transactions on*, Vol.33, No.1(2002), pp.113-121.
- [10] Rosenberger, J.M., H.S. Hwang, R.P. Pallerla, A. Yucel, R.L. Wilson, and E.G. Brungardt, *The generalized weapon target assignment problem*, TEXAS UNIV AT ARLINGTON, 2005.