

## 연안 해역 소형 함정 소요 최적화 모델링 연구

### (An Optimization Modeling Study on Coastal Patrol Killer Medium(PKM) Requirement)

홍윤기(Hong, Yoon Gee)\*\*, † 김영인(Kim, Young In)\*\*\*, 김양래(Kim, Yang Rae)\*\*\*\*  
 이정우(Lee, Jung Woo)\*\*\*\*\*, 장동학(Jang, Dong Hak)\*\*\*\*\*

#### 초 록

본 연구는 한반도 연안 해역에서 발생할 수 있는 다양한 작전유형을 바탕으로 소형 고속 함정의 적정 소요를 산출하기 위한 방법론적 접근이다. 이 연구방법은 운용 해역을 단위 경비구역으로 구분하고 구역할당 모형과 군집화 모형 등을 활용하였다. 이는 지금까지 작전 운용 장비의 적정 소요 산정시 선형기법등을 여러 가지 다양한 방법을 통해 검증해온 방법과는 달리, 최적화 기법을 활용한 작전 함정의 소요를 모델링하는 방법을 채택하였다. 이러한 경비구역에서 임무수행이 가능한 소형 고속 함정의 적정 소요는 “소요 최적화 프로세스”를 거쳐 소위 “하이브리드 적정 소요 모형”에 의하여 적정성을 산출, 검증하는 모델링 방법으로 제시하고자 한다.

#### ABSTRACT

This paper deals with achieving the optimal quantity of required PKMs to cover the coastal areas divided into the proper size of sectors, and then using Set Cover Model, Clustered Model, etc. It is optimized via “Requirement Optimization Process” to allocate PKMs reasonably which is considered as conducting mission deployment sectors. This “Hybrid Proper Requirement Model” accommodating the optimization process is introduced and testified by examining a requirement problem.

**Keywords** : 단위경비구역, 구역할당모형, 군집화 모형, 최적화 프로세스, 적정 소요 모형

논문접수일 : 2010년 7월 9일 심사(수정)일 : 2010년 7월 9일 논문게재확정일 : 2010년 8월 20일

\* 이 연구는 2009년도 한성대학교 지원과제임

\*\* 한성대학교 산업경영공학과

\*\*\* 국방대학교 합동참모대학

\*\*\*\* 한성대학교 산업경영공학과

\*\*\*\*\* 국방기술 품질원

\*\*\*\*\* 한성대학교 산업경영공학과

† 교신저자

## 1. 서론

한반도 연안 해역에서 평시에는 주변국 간의 불법 어로행위나 밀입국 등의 침범행위는 물론, 다양한 해양 활동에 대한 대처와 NLL 부근에서 발생할 수 있는 어로 행위 보호활동이 요구된다. 전시에는 북한 고속정 등에 적절한 대응이 가능한 고속함정을 보유하여 준비태세를 갖추어야 한다.

연안 해역에서 운용될 소형고속함정을 어디에 어떤 수량을 배치 할 것인가에 대한 소요 산출은 함정의 능력, 예상되는 작전 임무, 경비 해역의 환경적 요소 등 다양한 영향요소가 고려되어야 할 것이다.

여기에서 소형 고속함정의 신규소요는 현용 함정과 대체되는 미래 소요로서 함정의 능력이 대폭 향상되므로 제한된 재원을 효율적으로 사용하기 위한 소요검증이 중요하게 된다. 지금까지의 소요산출 방식은 정성적 분석을 통하여 소요를 결정하고 이를 검증하기 위하여 수리적인 방식을 활용하여 소요를 최적화하는데 여러 한계점이 나타나고 있다.

이런 문제점을 개선하기 위한 노력으로 구역할당 모형[1, 2, 3] 및 군집화 모형[4, 5, 6]에 대하여 많은 연구가 이뤄지고 있다. 이러한 모형을 적용한 배치문제로는 ①서버(설비)와 기지(서비스 대상)의 관계가 비용 혹은 거리등의 결정적(deterministic) 요인인 경우에는 정수계획법[11], K평균 군집화방법[13], K대표 군집화방법[13] 등이 사용되고 있다. 구역할당 모형을 활용한 사례로는 레이더 배치문제[1], 패트리어트 미사일 배치문제[2], 중요시설 배치문제[3] 등이 있다. 또한 군집화 모형을 활용한 사례로는 데이터마이닝 문제(data mining), [4, 5, 6] 등이 있다. ② 서버와 기지의 관계가 확률적으로(stochastic) 지정될 경우에는 부분구역할당모델(Probabilistic Partial Set Cover)[7]이 있으며 유도무기 배치문제[8]에 적용된 사례가 있다.

본 연구에서는 이러한 사례연구를 기초로 먼저

소요 관련 모형을 소개하고 소형고속함정의 소요에 영향을 미치는 운용개념과 작전시나리오 등 다양한 변수들을 정의하였다.

둘째, 모형에 의한 소요를 산출하여 분석한 후, “소요 최적화 프로세스를 거쳐 소위 ”하이브리드 적정 소요 모형“에 의한 소요를 산출 검증하는 모델링 방법을 제시하고자 한다.

이러한 과학적인 모델링 기법을 사용하여 소형 고속함정의 소요를 산출 검증하는 것은 제한된 자원을 할당하여 소요를 최적화 하는 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다. 향후 소요에 영향을 미치는 변수를 확대 적용하고 모델링 후 결과에 대한 시뮬레이션을 통하여 검증하는 모델이 발전될 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 소요산출 관련 모형과 영향요소

### 2.1 구역할당모형(Set Covering Model)

구역할당 모형은 오래전부터 전산학이나 최적화 이론에서 사용해온 주제이다. 하나의 전체집합을 구성하는 여러 개의 집합들 중의 일부를 선택하여 원래의 전체집합에 포함되었던 모든 원소를 포함시키고자 한다. 이때, 원소들을 구역(덮개: cover)으로 구분하여 구역별 소요비용을 최소화하거나 구역간의 이동거리 혹은 상응하는 비용을 최소화할 수 있도록 구역을 할당하고자 하는 것이다.

이를 수리적으로 표현하면 어떤 전체집합  $X$ 와 그  $X$ 의 부분 집합으로 이루어진 집합족  $F$ 가 있다고 했을 때,  $F$ 의 부분집합족  $S(S \subset F)$ 라는 덮개들의 합집합이  $X$ 가 되게 하는 구역집합( $S$ )과 구역집합의 수( $k$ )를 찾는 문제이다.

구역할당 문제에서  $(X, S)$ 쌍과 정수  $k$ 가 입력될 때,  $k$ 개 이하인 구역집합이 있는지 묻는 문제이다. 최적화 문제일 경우에는 입력이  $(X, S)$ 쌍 뿐이고, 구역집합의 수가 가장 적은 구역을 찾는 문제가 된다.

## 2.2 군집화 모형

### 2.2.1 개요

군집화란 유사한 속성을 갖는 객체들을 묶어 몇 개의 군집(cluster)으로 분할하는 것을 의미한다. 즉,  $n$ 개의 객체가 있을 때 이들을 서로 배타적인  $k$  개의 군집으로 나누는 것이다. 이때 한 군집 내에 존재하는 객체들 간의 유사성은 가능한 크게 하며 서로 다른 군집간의 유사성은 비교적 작게 되도록 군집을 구성해야 한다. 여기에서 객체간의 유사성 정도를 정량적으로 표현하는 척도로서 거리를 보편적으로 사용한다. 이때 거리가 멀어질수록 유사성이 적어지게 되며 이를 비유사성 척도(dissimilarity measure)라고 부르기도 한다. 한 객체가  $p$ 개의 속성 혹은 변수(variable)를 갖는다고 할 때 객체  $i$ 의  $j$ 번째 변수를  $X_{ij}(i=1, \dots, n; j=1, \dots, p)$  라고 하면 객체  $i$ 의  $p$ 차원 공간에서의 좌표는 다음과 같은 열벡터로 표현된다.

$$X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip})^p, i=1, \dots, n$$

이 때 객체  $i$ 와  $j$ 의 거리는 다음과 같이 정의되며, 이는  $p$ -차원 벡터의 규준(norm)을 의미한다.  $p=1$  인 경우는 맨해탄 거리(Manhattan distance)라 하고  $p=2$ 인 경우는 유클리디안 거리(Euclidean distance)라고 부르며 다음과 같이 표시한다.

$$d(x_i, x_j) = \|x_i - x_j\|_p = (\sum_{i=1}^n |x_i - x_j|^p)^{1/p}$$

### 2.2.2 K-평균(mean) 군집화 모형

K-평균 군집화 모형은 군집별 무게중심(centroid)을 기준으로 군집을 개선하고 적정 군집수를 찾는 모형이다. 이는 근사화를 통하여 최적화를 추구하는 방법으로 위치결정 문제, 데이터마이닝(Data Mining), 생명과학 등의 다양한 분야에서 응용되고 있으며 여러 가지 방법이 알려져 있다.

이 모형의 경우 목적함수가 선형적이지 않을 수 있고 선형적이라 하더라도 초기 군집의 수와 이들의 초기 위치에 따라 국지적 최적값을 구하는 수준에 머물 가능성이 크다. 예를 들면 현실적으로 위치할 수 없는 장애물지역 등에 객체들이 할당될 수도 있는 것이다. 하지만 대상 객체들이 많을 경우 군집화는 유사성을 기준으로 범주에 따른 분류를 가능하게 하거나, 해석적 혹은 직관적인 윤곽을 제공하여 문제의 복잡성을 완화시키거나 간략화할 수 있다.

### 2.2.3 K-대표(medoid) 군집화 모형

K-대표 군집화 모형에서는 만약 객체들이 범주형 일 경우(예, 상중하, 색상 등)에 평균대신 최빈수(mode)를 사용하여 군집화할 수 있다. 또한 일부 국외자(outlier)들로 인하여 K-평균이 왜곡될 수 있는 경우에도 K-대표(K-medoid) 방법을 사용할 수 있다.

이러한 K-대표 방법은 K-평균모형에서 무게중심(centroid)을 찾는 것과는 달리 대표객체(medoid)를 반복적으로 찾아가는 방법이다. 이때, 비유사성 척도나 알고리즘 적용방법은 K-평균방법과 동일하며, 대표객체는 대상객체들 중의 하나가 된다.

## 2.3 소형고속합정 운용개념과 시나리오

소형고속합정은 연안감시 및 반합법 활동세력을 차단하거나, 연안에 접근하는 적 세력을 차단하기 위한 방어수단으로 운용한다. 평시 접적해역에서 연안침투방어와 NLL 대응, 어로보호와 민간 선박 호송을 하며, 후방해역에서의 연안방어와 반합법 활동 차단, 북한 상선 감시 및 경계, 도서방어와 대민지원을 하며, 탐색과 구조작전을 지원하는 임무를 수행한다.

이러한 임무를 수행하는 작전은 기지와 항만방어 작전, 선박통제와 보호 작전, 정찰과 초계작전,

후방지역작전, 국지 도발 대비 작전, 탐색과 구조 작전, 도서 방어 작전 등의 형태로 수행된다.

소형고속 함정의 평시 작전 시 경비 해역은 해안선 길이와 영해선 길이를 고려하여 동해 및 접적해역, 서해 및 접적해역, 남해 후방해역으로 구분하였다. 소형고속함정이 제한 시간 이내 대응이 가능하도록 경비구역을 설정하면 단위경비구역의 규모는 (10×20NM)로 가정 될 수 있다. 이때 소형 고속함정의 초동 작전속도는 최대속도를 고려할 때 평균 시속 00 NM 이상으로 설정하면 단위경비구역의 어느 지역에 위치하는 경우에도 대응이 가능해진다.

통상적인 편대구성 및 운용형태는 소형고속함정 0척이나 모델링 목적상 0척이 작전하는 것을 기준하였다. 실제로는 작전소요에 따라 중형, 대형 경비함정과 함께 구성되어 운영될 수 있음을 전제로 한다.

선박통제 및 보호 작전을 위한 시나리오를 고려해 보면 다음과 같다.

- ① 모항이나 모기지에서 대기하다가 출항하여 경비구역으로 이동한다.
- ② 해당구역 내 어선의 최상단 위치하여 선형 경비를 하며 NLL을 월선하는 어선을 차단하고 북한경비정이 남하 시 보호조치를 한다.
- ③ 북한경비정과 대치 시에는 인근 경비구역 소형고속함정이 즉각 현장으로 합류하여 지원태세 유지한다.
- ④ 이때 중형함정은 소형보다 후방 5~10 NM 위치하여 대응태세를 유지 한다.
- ⑤ 경비작전이 종료되면 모항이나 모기지로 복귀한다.

소형고속함정 소요량에 지대한 영향을 미치는 연간 작전 소요일 수는 작전, 대기 및 교육훈련, 정비의 비율에 의하여 결정된다. 평시 운용 중인 유사 소형고속함정의 운용실적 분석을 통하여,

작전시간 : 교육훈련 및 대기시간 : 정비/수리시간의 비율을 기준 하였다. 이때 소형경비함정의 가동률도 분석되어 신규 소요 검토의 기준으로 설정하였다.

### 3 소요 최적화 모델링

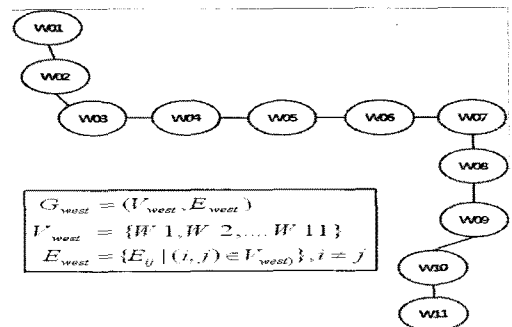
#### 3.1 가상 'A' 해역 경비구역 모델링

가상 'A' 해역의 소형함정 소요를 산출 하기 위하여 <그림1> 『가상 'A'해역 경비구역』에서 보는 바와 같이 해당 단위경비구역을 W1/W2/W3, W4/W5/W6, W7/W8/W9, W10/W11의 11개 경비구역으로 설정 하였다.

상황발생시 제한 시간 이내에 대응조치를 취할 수 있어야 함을 MOE<sup>1)</sup>기준으로 한다.(소형 함정은 상상상황 발생 예상구역으로부터 0시간 이동반경 이내에 모기지 혹은 전진기지를 미리 확보하고 있어야 한다.)

모델의 목적은 MOE 기준에 따라 해당 경비구역을 경비할 수 있는 후보기지를 탐색하며, 소형함정을 기준으로 배치하는 것을 원칙으로 한다.(중형의 경우는 소형과 편조 구성함을 전제로 하며 소형소요의 분석 시에만 대안으로 제시한다.)

모델 구성 시 고려사항해야 할 사항으로 해당



<그림1> 가상 'A'경비구역 그래프

1) MOE : Measure of Effectiveness, 유효성척도

경비구역들이 띠 모양으로 연결되어 있으며, 후보 기지들은 모기지 혹은 전진기지들에 해당되며 이들은 경비구역의 중심 혹은 인접한 경비구역에 위치한다고 가정한다.

경비구역을 그래프로 표기하면 다음의<그림1> 『가상 ‘A’해역 경비구역 그래프』와 같다.

소형함정의 활동범위는 기지의 위치와 수에 종속적이라고 할 수 있다. 경비작전 시나리오와 이동속도상의 제약 때문에 MOE 기준을 준수하려면 적어도 2개 내지 3개의 경비구역별로 하나의 기지가 필요하게 된다.

후보기지 선정을 최적화할 목적으로 구역할당 (Set Covering Problem)모형을 적용하기 위하여 아래와 같이 변수를 지정하고 후보기지와 인접경비구역간의 관계를 설정한다.(<표 1>참조)

- $X_i = 1$  : 경비구역 i에 후보기지가 위치하는 경우
- $0$  : 경비구역 i에 후보기지가 위치하지 않는 경우

그리고 구역할당 모형의 목적함수 및 제약조건을 지정하여 최소한의 후보기지 수를 탐색하는 모형을 공식화한다.

MIN  $Z(x) = X_1 + X_2 + \dots + X_{11}$ ; 목적함수

Subject to :  $X_1 + X_2 \geq 1$  ; 서쪽 끝단

$X_2 + X_3 + X_4 \geq 1$

$X_3 + X_4 + X_5 \geq 1$

$X_4 + X_5 + X_6 \geq 1$

$X_5 + X_6 + X_7 \geq 1$

$X_6 + X_7 + X_8 \geq 1$

<표 2> 후보기지와 경비구역간의 관계

후보 기지(i)	인접 경비구역(j)
$X_1$	1, 2
$X_2$	1, 2, 3
$X_3$	3, 4, 5
...	...
$X_{11}$	10, 11

<표 2> 구역할당 모형을 이용한 최적해

목적함수 (MIN)		단위경비구역											비고	
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11			
제약조건		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	CHECK	조건식
	1													>=
	2													>=
	3													>=
	4													>=
	5													>=
	6													>=
	7													>=
	8													>=
	9													>=
	10													>=
최적해	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1

$X_7 + X_8 + X_9 \geq 1$   
 $X_8 + X_9 + X_{10} \geq 1$   
 $X_9 + X_{10} + X_{11} \geq 1$   
 $X_{10} + X_{11} \geq 1$  ; 남단  
 $X_i = \{0, 1\}$  정수,  $i = 1, 2, \dots, 11$

구역할당 모델링의 결과로 정수계획법을 이용하여 산출된 결과는 기지가 {W1, W4, W7, W10}구역 혹은 {W2, W5, W8, W11}구역에 위치할 때, 즉 각 기지가 4개 구역 내에 위치할 때, 이들은 전체 단위경비구역들에서 작전할 수 있음을 보여주고 있다. 다음의 <표 2>에서 보는 바와 같이 인접한 3개의 경비구역에는 적어도 1개의 기지가 필요하다는 것을 재확인하게 한다.

3.2 가상 'A' 해역 소형함정 소요

3.1절의 배치 모델링에서 보았듯이 이 해역에서는 적어도 4 곳의 기지에 소형고속함정이 배치될 소요가 있다. 즉 기본 편조를 기준할 때 이 해역에서는 소형의 경우 4 척의 작전소요가 있음을 판단할 수 있게 된다. 중형과 대형은 작전소요에 따라 적절한 편조구성이 가능하고 임무에 적절히 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

특히 주요 작전구역인 W1/W2/W3 3개구역과 W4/W5/W6 3개구역은 평시편조로 운용하되 성어기엔 증강되어 운영되어야 한다. 즉, 성어기간

$$\begin{aligned} & \text{MIN } \sum_{i=1}^{21} c(S) \cdot X_i \\ & \text{Subject to :} \\ & \sum_{s:e \in S} c(S) \cdot X_s \geq 1, \text{ for all } e \in X; \\ & \quad (\text{전체집합 } X \text{의 모든 원소를 할당}) \\ & X_s \in \{0, 1\}, \text{ for all } s \in S; \\ & \quad (\text{구역집합으로의 포함여부 표시}) \end{aligned}$$

에는 추가 작전소요가 발생한다. 유사함정의 운용 제한을 적용할 때, 현재 작전소요가 4척의 수요가 발생하게 되면 교육훈련 및 대기용 그리고 정비용으로 각각의 수요가 발생하게 된다. 그리고 성어 기간에는 별도의 추가수요가 예상된다. 1년 기준으로 환산하면 된다.

### 3.3 가상 'B' 해역 경비구역 모델링 소요

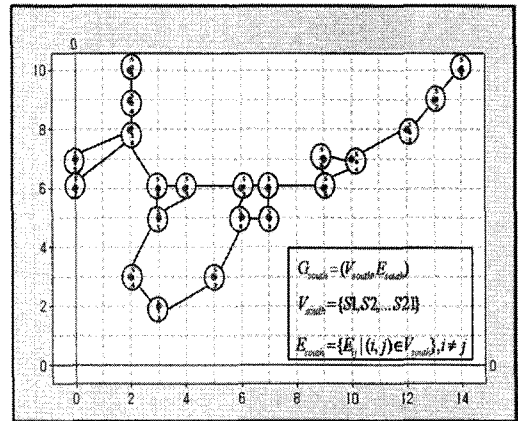
가상 'B' 해역을 대상으로 경비합정을 최적 배치하는 방법을 찾아보려고 한다.

편의상 해역은 (10\*20) NM<sup>2</sup> 규모로 분할하고, 합정의 초동작전 평균속도는 00 KTS로 가정한다. 그리고 합정은 출동 후 제한시간 안에 적정조치를 취할 수 있어야 한다고 할 때, 대상해역 경비를 위한 소요를 최소화할 수 있는 기지들의 수와 그 위치를 찾는다.

#### 3.3.1 구역할당 모형 적용

구역할당 모형을 적용하기 위하여 세분된 각각의 단위경비구역을 X<sub>i</sub>로 지정하고 그 단위구역별 운용비용은 동일한 것으로 가정하고, X<sub>i</sub>값은 X<sub>j</sub>가 덮개(구역)집합 S에 포함되면 1이 되고 그렇지 않으면 0으로 지정한다.

초동평균 속도가 00 KTS이므로 어떤 구역에 기지가 위치하게 되면 인접한 단위경비구역들을 모두 담당할 수 있게 된다. 그러므로 그래프로 표시할 때 구역(정점)간의 연결선(edge)은 제약조건을 정확히 표시할 수 있도록 하여야 한다. 즉, 중



<그림 2> 가상 'B' 경비해역(구역표시)그래프

간에 장애물이 존재하거나 제한 시간 이상의 소요 거리(00 NM 이상)일 경우 연결선이 이어져서는 안 된다. 예를 들면 구역 10은 구역 14나 15로 직접 연결될 수 없다. (<그림 2> 『가상 'B' 경비해역』 참조)

정수계획법에 의한 모형화 결과는 다음의 <표 3>에 표시된 바와 같으며, 이 경우 최적기지수는 7 이 되고 5 가지의 해를 얻을 수 있었다. 이들 위치는 최적값이 아닌 국지적 최적값일 수도 있다.

<표 3> 덮개집합 모형에 의한 결과(정수계획법 사용)

목적함수 (비용)	단위경비구역																					비고	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	CHEX	조건식
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	>=
최적해	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	7	

이 경우 경비구역의 규모를 (10\*20) NM<sup>2</sup>로 설정하고 위치 및 구역의 수를 미리 지정하였기 때문에 과도한 구역할당으로 인한 복잡성을 어느 정도 피할 수 있었지만, 경비구역을 더욱 세분화 시킨다면 이들 단위경비구역간의 배타성 확보가 쉽지 않음을 알 수 있다. 따라서 단위경비구역의 규모를 적절히 조정하거나 단위경비구역들을 군집화 시키는 것이 효과적일 수 있다.

### 3.3.2 군집화 모형 적용

#### 3.3.2.1 K-평균 군집화 모형 적용

이번에는 초기 군집수와 군집별 객체군을 미리 지정한 후 비유사성 척도를 나타내는 거리행렬을 계산하여 군집수를 늘리고 상응하는 객체군을 개선하면서 비유사성척도의 합이 최소화되는 최적 군집수와 해당하는 객체군을 찾도록 한다. 매번 각 군집의 무게중심을 계산하고 각 군집내의 객체쌍들의 거리합의 평균이 최소화되도록 객체들을 할당한다.

다음의 <표 4>는 K-평균 군집화 모형을 적용했을 때 군집수 변화에 따른 해당 객체들의 집합을 보여준다. 특이한 사항은 군집수를 5에서 6, 7로 늘렸을 때도 S11-16으로 구성된 군집 B는 더 이상 분화되지 않는 반면 S4-10으로 구성된 군집 A는 분화된다는 것이다(<그림 3 > 참조). 이는 무게중심 계산시 장애물의 존재와 상관없이 직선거리만을 적용하였기 때문이다. 이것들이 완전히 최

<표 4> K-평균 모형에 의한 군집화

군집수	군 집 (Cluster)
3	Q <sub>1</sub> = {S1-6}, Q <sub>2</sub> = {S7-16}, Q <sub>3</sub> = {S17-21}
4	Q <sub>1</sub> ={S1-6}, Q <sub>2</sub> ={S4-16}, Q <sub>3</sub> ={S18-21}, Q <sub>4</sub> ={S17-19}
5	Q <sub>1</sub> ={S1-3}, Q <sub>2</sub> ={S4-10}, Q <sub>3</sub> = {S11-16}, Q <sub>4</sub> = {S17-19}, Q <sub>5</sub> ={S18,20-21}
6	Q <sub>1</sub> ={S1}, Q <sub>2</sub> ={S2-3}, Q <sub>3</sub> ={S4-10}, Q <sub>4</sub> = {S11-16}, Q <sub>5</sub> = {S17,19}, Q <sub>5</sub> ={S18,20-21}
7	Q <sub>1</sub> ={S1}, Q <sub>2</sub> ={S2-3}, Q <sub>3</sub> ={S4-6}, Q <sub>4</sub> ={S7-10}, Q <sub>5</sub> ={S11-16}, Q <sub>6</sub> ={S17,19}, Q <sub>7</sub> ={S18,20-21}

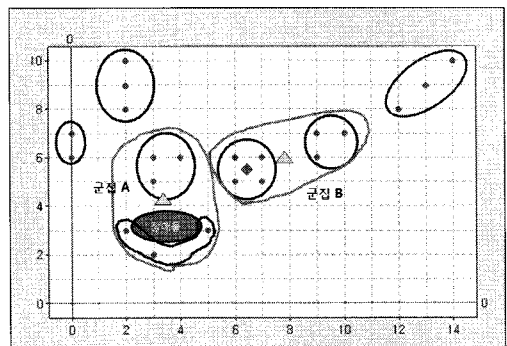
적화된 결과라고 할 수는 없더라도 군집화에 대한 어떤 윤곽을 제시한다고 할 수 있다.

그렇지만 군집의 무게중심은 경비구역을 나타내는 정점위에 위치하지 않을 가능성이 높다. 그러므로 군집의 무게중심 대신 군집별 대표객체 (medoid)를 사용하여 최적화시키는 방법을 고려해볼 필요가 있다.

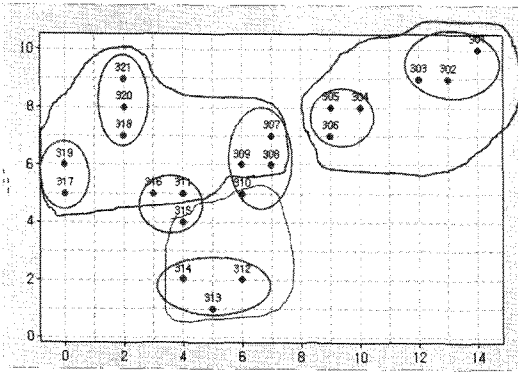
#### 3.3.2.2 K-대표 군집화 모형 적용

K-평균 군집화 모형에서는 각 군집별 무게중심 (centroid)을 기준으로 군집별 평균거리를 계산하여 객체를 할당하는 반면, K-대표 모형화 방법에서는 대표객체(Medoid)를 선정하여 이를 기준으

$$\begin{aligned} \text{MIN } P(W, Q) &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{21} w_{ij} d(X_i, Q_j) \\ \text{S.T :} \\ \sum_{i=1}^k w_{ij} &= 1, 1 \leq i \leq n \\ w_{ij} &\in \{0, 1\}, 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq k \\ W &: (n \times k) \text{ 분할 행렬 (군집화 대상 집합)} \\ Q &: \{Q_1, Q_2, \dots, Q_k\}, \\ & (Q_i \text{ 는 } i\text{번째 군집의 구성 원소들 집합}) \\ d(\cdot, \cdot) &: (\text{임의의 두 객체간의 거리}) \end{aligned}$$



<그림 3> K-평균 모형을 이용한 군집화



<그림 4> K-대표 모형을 이용한 군집화

로 - 각 군집 내의 객체 쌍들의 거리합의 평균을 최소화하도록 - 객체들을 개별군집에 할당하게 한다. 대표객체는 할당이 이루어진 후 매번 갱신하는 것이 원칙이지만, 필요에 따라 이를 고정한다면 정성적인 요구를 충족시킬 수 있을 것으로 판단된다. 이번에는 직선거리 대신 직각거리를 적용하고 대표객체의 수를 증가시키면서 기 설정한 기준을 충족시키는 배치계획을 찾으려고 한다.

대표객체의 위치를 정성적 요인을 감안하여 S2, S18, S13 순으로 지정·배치하게 되면 거리행렬에 의거하여 상기 <표 5>과 같이 군집화 되고

<표 5> K-대표 모형에 의한 군집화

군집수	군 집 (Cluster)	대표 객체
3	Q1={S1-6}, Q2={S12-15, S8,S10}, Q3={S7,S9,S16-21}	S2,S18, S13
4	Q1={S1-3}, Q2={S4-10}, Q3={S12-15 }, Q4={S11,S16-21}	+S4
5	Q1={S1-3}, Q2={S4-6}, Q3={S7-11, S15-16}, Q4={S12-14}, Q5={S17-21}	+S11
6	Q1={S1-3 }, Q2={S4-6}, Q3={S7-10}, Q4={S12-14}, Q5={S11,S15-16}, Q6={S17-21}	+S9
7	Q1 ={S1-3 }, Q2 ={S18,20-21 }, Q3 ={S12-14}, Q4={S4-6}, Q5={S11,15-16}, Q6={S7-10}, Q7 ={S17,19},	+S17

<그림 4>와 같이 표현될 수 있다.

상기 결과를 요약하면, 세분된 경비구역(군집) 들 간의 배타적 구분이 용이해지고, 유사성 정도가 큰 구역(객체)들의 수가 축소되며, 비유사성척도로 거리를 사용할 뿐만 아니라 장애요인을 감안하여 직각거리를 채택함으로써 정량적 검증에 대한 유연성을 확보하게 되며, 또한 대표객체를 지정 혹은 고정할 수 있게 되어 정성적인 제약사항도 수용할 수 있는 장점을 갖게 됨을 알 수 있다.

## 4. 적정 소요 산정 모델링 검토

### 4.1 소요 최적화 프로세스 설정

소요최적화 프로세스 설정을 위하여 구역할당 모형, K-평균 군집화 모형과 K-대표 군집화 모형에 의한 소요를 산출해 보았다.

객체들의 유사성/비유사성이 크고 정량화할 수 있다면 이들을 군집화시킴으로서 문제를 간략화시키고 문제의 복잡도를 완화시켜 최적해의 계산 및 탐색시간을 단축할 수 있게 된다. K-평균 군집화 모형은 군집의 무게중심(centroid)을 계산하고 군집간의 비유사성을 최대화하고 군집내의 객체간의 비유사성을 최소화하도록 객체를 군집에 할당하고 또한 군집수를 개선한다. 이 방법은 국외자에 의한 왜곡 현상이나 제한구역 내에 군집의 무게중심 배치 등의 문제점을 갖고 있으나 군집별 중심위치에 대한 참고 정보를 제공하는 장점을 갖고 있다.

군집의 무게중심 대신 객체들 중의 하나인 대표객체(medoid)를 지정하게 되면 제한구역내의 무게중심 배치현상을 배제할 수 있게 되며, 이는 K-대표 군집화 모형을 이용하여 구현 가능하다. 또한, 비유사성척도로 직선거리(Euclidean distance)보다 직각거리(Manhattan Distance)를 사용하면 접근로 제약에 따른 문제를 좀 더 완화시킬 수 있어, 정성적 요인들을 좀 유연하게 수용할



수 있게 될 것이다.

이상의 모형들의 특성들을 종합하게 되면, 소요의 결정을 최적화시키거나 제기된 소요를 적절히 검증할 수 있는 방법으로 <그림 5> 소요의 최적화 프로세스와 같은 3 단계를 적용할 수 있을 것이다.

**(1) 제 1 단계 : 입력 정보 수집 및 분석**

임무영향 정보(METT-TC)와 목표체계의 요구 성능 정보를 분석·계량화 한다. 체계의 효과기준(MOE)을 설정하고, 객체간의 유사성을 파악하여 군집화(clustering) 여부를 결정한다. 정성적 요인 수용을 위하여 가용한 정보를 유연성 있게 설정한다.

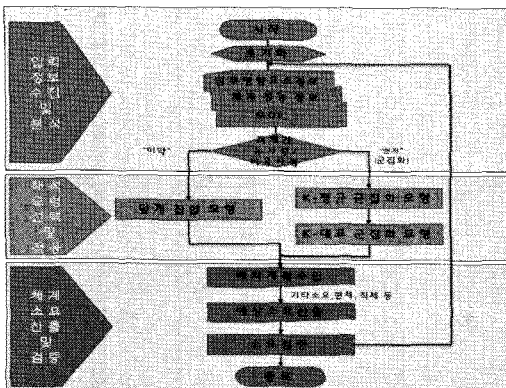
**(2) 제 2 단계 : 적정 모형 설정**

객체들 간의 배타성이 뚜렷하고 객체들의 수가 과다하지 않을 경우 구역할당 모형의 알고리즘을 적용한다.(정수계획법 적용) 객체들 간의 유사성/비유사성이 현저할 경우 유사성 혹은 비유사성 척도를 적용하여 군집화하고 K-평균 방법 혹은 K-대표 방법을 적용한다.

**(3) 제 3 단계 : 소요 산출/검증**

해석 모형의 산출물인 구역집합 혹은 군집의 수, 이들의 위치, 그리고 이들을 각각 구성하는 객체집합을 정량적 측면 및 정성적인 측면에서 분석하고 검증한다.

검증결과에 대한 타당성을 검증하되 종결조건



<그림 5> 소요의 최적화 프로세스

을 충족시키지 못할 경우 되돌림 과정에 의하여 제 1단계로 돌아가 다시 반복하여 시행한다.

이와 같은 정량적인 소요산출 과정에서 정성적 분석이 병행되며 다양한 모형을 활용 분석하는 모형을 하이브리드 모형으로 명명하였다.

**4.2 “하이브리드 적정 소요 모형”에 의한 소요 산출**

소요 최적화를 위한 제 1 단계 조치로서, 임무 영향요소, 체계요구 성능, 및 효과기준 등의 전반에 관하여 분석한 후 이들을 모형에 적용이 가능하도록 설정하였다. 특히, 경비구역을 (10 \* 20) NM<sup>2</sup> 로 구분하여 구역 할당집합 모형에 적용하였다. 만약 구역을 (10 \* 10) NM<sup>2</sup> 로 더욱 세분하게 되면 변수의 수는 최소 두 배로 증가하고 제약 조건들은 훨씬 복잡해지고 그 수 또한 두 배 이상으로 증가하게 된다. 그 계산 복잡도는 여전히 비정형 난해가 된다. 그러므로 이들 구역의 규모를 더 크게 조정하든지 혹은 군집화를 시켜서 근사화 알고리즘 적용을 고려하여야 한다.

제 2 단계 조치로서, 군집수를 늘려가면서 군집별 객체군을 관찰할 수 있었으며 만족스런 객체군을 형성할 수 있었다. 그 계산 반복수도 줄어들게 된다. 단, 군집의 중심이 기지 설정이 불가능한 구역에 위치할 수 있다는 점과 장애물에 의한 장애를 고려하기 힘든 직선거리를 적용한 점이 문제될 수 있음을 보여준다. 이런 문제점을 배제하기 위하여 군집정보를 토대로 각 군집별 대표객체를 대상해역의 외곽으로부터 하나씩 지정하면서 K-대표 군집화 모형을 적용하였다.

제 3 단계 조치, 즉 소요검증 차원에서 보면, 이 단계 조치의 결과를 살펴볼 때 K-대표 군집화 모형이 최적값을 보장한다고 할 수는 없지만 최적의 근사값을 제공함을 알 수 있다.

따라서 “소요 최적화 프로세스”에 다른 “하이브리드 적정 소요 모형”에 의한 연안경비 해역에

대한 소형고속함정 배치계획을 수립하는데 잘 적용될 수 있음을 보여준다고 하겠다. 서해 및 접적해역의 소형고속함정의 적정소요는 주요작전구역인 서해도서 구역에 중형이나 대형의 편대 지휘함과 함께 우선 배치되어야 하고, 성어기(년 7개월)에는 해당구역에 증강·운용하게 될 것이다. 교육훈련과 정비소요의 조정 여부, 중형이나 대형에 의한 일부 소요의 대체운용 등을 포함해야 한다. 성어기간에 대한 추가소요에 대한 대처 방안 등이 가상 'A' 해역에서의 적정소요를 판단하는 데 있어 중요한 변수들이 된다.

따라서 4개의 작전배치 기지를 고려했을 때 0척의 소요가 산출되며, 성어기에는 0척의 운용소요가 추가 발생된다.

가상 'B' 해역에서 소형 함정 소요는 <그림 4>에서와 같이 거점기지를 설정한다면, 기 설정된 정량적 제약조건으로 0시간이내로 하고 일부 정성적인 제약사항을 충족시킬 수 있게 되면 이 해역경비를 위하여 3개의 작전배치 기지를 고려하여 경비함정의 소요는 작전소요 3척 교육훈련과 정비소요 을 포함하면 추가 소요가 발생 된다.

## 4.3 하이브리드 모델링 결과 검증

### 4.3.1 개요

“소요 최적화 프로세스”를 거친 “하이브리드 적정소요 모델링” 결과를 검증하기 위해서는 소요산출 결과를 기초로 정성적인 변수를 주로 한 소요산출 결과와 비교하거나 최대의 작전소요를 충족할 수 있는지를 가상 작전배치 지역에서 시뮬레이션(해양환경 등이 묘사)결과가 산출 되어야 할 것이다.

본 연구에서는 적정소요를 제시하기 위하여 “하이브리드 적정 소요 모델링” 결과를 검증하는 것이 제한되므로 추가적인 변수들에 의하여 검토 변경될 수 있다는 것을 제시해 본다.

### 4.3.2 가상 'A'해역 적정소요

소형함정은 주요작전구역인 가상'A'도서 구역에 중형의 편대 지휘함과 함께 우선 배치되어야 하고, 성어기에는 해당구역에 증강·운용하게 될 것이다. 이 경우 소형의 소요가 증가되어 이 해역에서의 총(예상)소요는 최소 0척)에서 최대 00척에 이르게 된다. 즉 성어기의 추가소요를 연간 운용으로 해결하며 교육훈련과 대기의 개념을 작전에 투입하여 교대를 충족시키는 이른바 작전시간 최대화 대책을 강구 할 필요가 있다.

교육훈련과 정비소요의 조정 여부, 중형이나 대형에 의한 일부 소요의 대체운용 등을 포함하여 성어기간에 대한 추가소요에 대한 대처 방안 등이 서해 및 접적해역에서의 적정소요를 최적화 하는데 있어 중요한 변수들이 된다.

### 4.3.3 가상'B'해역 적정소요 검토

소형 함정은 주요작전구역인 도서 및 연안 해역에서 중형과 대형의 편대 지휘함과 함께 편조하여 작전반경을 0시간 거리(MOE 기준)로 할 때, 작전 소요가 0척, 교육훈련 및 대기용과 정비용의 추가 소요가 발생한다.

만약 기본 편조를 소형 0척으로 한다면 해당 소요는 크게 증가 될 것이다. 따라서 교육훈련과 정비소요의 조정 여부, 중형과 대형에 의한 일부 소요의 대체 가능성, 그리고 기본편조의 구성, 구형 고속함정의 성능개량/수명연장 활용 등이, 이 해역에서의 적정소요를 판단하는 데 있어 중요한 변수들이 된다.

## 5. 결론

적정 소요를 산출하여 검증을 필요로 하는 분야는 다양하다고 할 수 있다. 특히 대상이 고가이거나 복잡한 물품, 장비 혹은 체계일 경우에는, 그

소요를 제기하거나 검증할 때 적용할 수 있는 어떤 합리적이고 과학적이며 기 검증된 체계적인 프로세스가 절실하다. 이런 프로세스를 사용할 수 있다면, 최적의 소요량을 찾아내거나 혹은 제기된 소요를 체계적으로 검증할 때 범할 수 있는 오류를 최소화할 수 있으며 판단에 대한 신뢰성을 확보하는 데 큰 도움이 될 것이다.

본 연구에서는 연안 해역을 단위경비구역으로 구분하여 소형함정의 최소 배치기지에 근거하는 적정 소요를 찾는 방법론을 추구하고 있다. 이를 과학적으로 접근하기 위하여 임무환경요소, 요구성능 및 효과척도를 정의하고 설정하며 이들을 해석모형에 적절히 반영하여 최적의 소요를 산출하는 일련의 “소요 최적화 프로세스”를 수립하고 “하이브리드 적정 소요 모형”이라 명명하며 서해 및 접적 해역과 남해해역을 대상으로 적용하여 보았다.

단위경비구역의 배타적 구역구분 방법 및 구역의 적정규모 산정, 구역 수에 따른 계산복잡도, 장애물에 의한 영향 반영 방법, 적용모형별 최적화 수준, 군집화 방법 및 기준에 있어 여러 가지 제약 사항들이 있었음에도 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

기존 연구에서 주로 사용했던 구역할당, K-평균, K-대표 모형을 단일 적용하는 장점들을 갖고 있지만 태생적으로 비정형난해 문제들이어서 최적값을 보장하지 못하는 문제점을 갖고 있다.

제시된 프로세스는 최적화 수준 향상을 위한 “하이브리드 적정 소요 모형”으로 초기단계부터 객체들의 유사성을 분석하고 이들을 군집화 함으로서 K-평균, K-대표 모형 등의 근사화 가능한 알고리즘을 적용할 수 있어 최적화 수준의 향상 및 계산복잡도의 감소를 기대할 수 있게 한다. 그러므로 이모형에서는 어떤 공간상에 어떤 객체들을 배치하는 문제유형에 잘 적용될 수 있을 것으로 판단되며, 또한 소요의 제기 뿐만 아니라 소요의 검증 문제에도 잘 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

이모형을 더욱 발전시키려면, 현재 P1, P2로 이

원화되어 있는 K-평균 및 K-대표 알고리즘을 일원화시킬 수 있는 연구가 필요하며, 사용된 알고리즘들이 최적값을 보장하지 못하는 비정형난해 유형이므로 유전자알고리즘 등과 같은 최적탐색 알고리즘 등의 적용과 같은 후속 연구가 필요할 것이다. 특히 산출소요결과에 대한 시뮬레이션 모델의 연구도 병행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

### Set Covering Problem

- [1] 오제상, “신뢰도를 최대화하는 지역담당(Set Covering)모델”, 고려대학교 대학원, 1981
- [2] 오원민, “PATRIOT 미사일의 최적 배치에 관한 연구”, 고려대학교 대학원, 1993
- [3] Francis, R.L and White, J.A., Facilities Layout and Location, Prentic Hall Inc. New York, 1972

### K-Means Clustering and K-Medoids Clustering Problem

- [4] Huang, J.Z., Ng, M.K., and Rong, H., “Automated Variable Weighting in K-Means Clustering”, IEEE (vol. 27 No. 5), 2005
- [5] Hae-Sang Park and Chi-Hyuck Jun, A simple and fast algorithm for K-medoids clustering”, Postech, Expert Systems with applications, 2009
- [6] Zhexue Huang, “Extensions to the k-Means Algorithm for Clustering Large Data Sets with Categorical Values”, Data Mining and Knowledge Discovery, 1998

### Probabilistic Set Covering Problem

- [7] Sherali, H.D. and Kim, S.I., “Probabilistic Partial Set Covering Problems”, Naval Research Logistics, Vol. 38, 1991
- [8] 김승빈, “지역담당(Set Covering)모형을 이용한 차기유도무기의 최적배치모형에 관한 연구”, 국

방대학교 국방관리대학원, 2003

[9] 정하룡, 이재영, 탐지이론 적용을 통한 해상탐색 및 구조작전 의사결정 지원방안, 한국국방경영 분석학회지, 2008.12

[10] Naval Operations Analysis, 3rd Ed, 1999, Naval Institute Press

[11] Frederik Hiller, Introduction To Management Science (cd) 2ed, 2005

[12] US Coast Guard, National Search and Resuce Manual, 1991

[13] Pang-Ning et al, Tan, Introduction to Data Mining.

## || 저자 소개 ||

**홍 윤 기**(E-mail: yhong@hansung.ac.kr)

1980        고려대학교 산업공학과 졸업(학사)  
1985        USC OR(석사)  
1989        USC 산업시스템공학(박사)  
1989 ~ 1991    캘리포니아 주립대(노스리지)조교수  
1991 ~ 현재    한성대학교 산업경영공학과 교수  
관심분야    모델링&시뮬레이션, Combat Analysis

**김 영 인**(E-mail:sangmu1210@yhahoo.co.kr)

2009 ~        한성대학교 M&S학과 박사과정  
현재        국방대학교 합참대학 전문직 교수(육군대령)  
관심분야    LVC 연동체계, 합동전력소요검증

**김 양 래**(E-mail: yrkim0205@naver.com)

2004 ~ 현재    신흥대학교 겸임교수  
현재        한성대학교 산업시스템공학과 박사과정  
관심분야    모델링 및 시뮬레이션, 퍼지제어, 분산시뮬레이션

**이 정 우**(E-mail:25com@naver.com)

2009 ~        한성대학교 M&S학과 박사과정  
현재        국방기술품질원 연구원(육군 소령)  
관심분야    LVC 연동체계, 저장신뢰성(ASRP)

**장 동 학**(E-mail: donghake@hanmail.net)

2009 ~ 현재    한성대학교 산업경영공학 석사과정  
관심분야    모델링&시뮬레이션