

## 포병부대 계획표적 사격시간 단축을 위한 표적할당에 관한 연구

(A Study on the Preplanned Target Allocation Problem for  
Minimizing Fire Time of Field Artillery)

황 원 식(Hwang Won-Shik)\*, 천 윤 환(Chun Youn-Hwan)\*\*,  
박 현 수(Phak Hyon-Su)\*\*\*, 윤 상 흠(Youn Sang-Heom)\*\*\*\*

### 초 록

현대전에 있어서 대량의 화력, 신속한 기동력은 전승의 핵심요소이기 때문에 전쟁에서 승리하기 위해서는 이에 대한 과학적인 운용이 요구된다. 따라서 첨단기술을 이용한 치밀한 화력계획과 신속 정확한 타격으로 적에게 치명적인 피해를 줄 수 있어야 한다. 특히 사격이 작전개시 전에 미리 계획하여 수행하게 되는 경우는 표적별 사격 필요량에 의해 사격부대의 사격량을 할당함과 동시에 사격순서를 결정한 후 전체사격시간을 최소화함으로써 사격의 효과를 높일 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 사격완료시간을 최소화하기 위하여 동시에 표적을 타격하는 경우와 현재 야전부대에서 운용하고 있는 개별적으로 사격하는 문제 그리고 사격부대를 혼합하여 사격하는 경우의 최적의 사격완료시간을 비교하고, 사격시간 최소화를 위해 각 표적을 어떻게 할당할 것인지 수리모형을 이용하여 방안을 제시함으로써 작전계획에 맞는 사격계획표를 작성하는 것이다.

### ABSTRACT

Fire sequencing problem is to find a sequence of firing on the targets. The latest, because the Korea artillery force is inferior in number as compared with North Korea force. It is an important question to give a fatal damage to the enemy force by using prompt and accurate fire in order to overcome the lack of artillery force. Minimizing the fire finishing time will secure the adapt ability in tactical operation. In this paper, we developed a mathematical model to do allocation the fire on the targets to decrease to total fire operation time. In order to work out the fire sequencing problem, MIP is developed and the optimum solution is obtained by using ILOG OPL. If this analytical model is applied to the field artillery unit, it will improve the artillery fire force enhancement.

**Keywords :** allocation, planned target problem, sequencing, mixed integer program

논문접수일 : 2010년 2월 18일      논문게재확정일 : 2010년 4월 13일

\* 육군3사관학교 운영분석학과 전임강사, 영남대학교 생산운영관리 박사과정

\*\* 육군3사관학교 운영분석학과 부교수

\*\*\* 육군3사관학교 운영분석학과 전임강사, 아주대학교 NCW학과 박사과정

\*\*\*\* 영남대학교 생산운영관리 부교수

# 1. 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

장차전에서 화력은 전장의 핵심전력으로 대화력전과 중심작전지역에 대한 중심표적 타격 및 기동부대에 대한 화력지원 등의 임무를 수행 할 것이다. 이러한 임무를 효과적으로 수행하기 위해서는 어떠한 상황에서도 실시간 정밀타격이 가능한 화력지원 체계를 발전시키는 것이 관건이라고 할 수 있다. 미래전에서는 무엇보다 인간중심의 전투가 중시되면서 인명손실의 최소화를 추구할 뿐만 아니라 최소한의 노력으로 적 부대나 주요 기간시설들을 전부 타격하지 않고 시간민감 표적(Time Sensitive Target)을 선별하여 타격하는 이른바 「효과중심의 화력운용」이 될 것이다. 이를 위해 제반 전투력의 동시통합과 정밀타격 능력의 비중이 급증할 것이며, 타격 결심 절차(탐지-결심-타격)체계의 자동화로 상황에 대한 즉각적인 대응능력이 크게 향상될 것이다.

현재 한국군의 포병은 북한군의 포병자산에 비해 수적으로 열세에 있다. 한국군은 이러한 열세를 만회하기 위해 질적으로 우세한 첨단화된 장비를 도입운영하고 있으며, 점진적으로 적에 대한 타격을 위해 대화력전 자산을 증대 시키고 있는 추세이다. 또한 첨단기술을 이용한 첩보획득, 치밀한 화력계획과 정확한 타격으로 적에게 치명적인 피해를 주어야 할 것이다. 포병화력 운용시 여러 부대가 동시에 집중하여 사격하는 이유는 적에게 대응시간을 박탈하고, 압박을 할 수 있는 여유시간을 최소화함으로써 적에게 최대의 피해를 줄 수 있으며, 사격종료시간을 최소화함으로써 작전 운용의 융통성을 확보할 수 있다. 하지만 야전포병부대에서는 작전계획에 의해 동시에 타격할 경우 여러 문제점이 발생할 수 있다. 통합화력의 경우 동시에 표적을 타격하지만 지휘관의 의도 및 작전상황에 따라 동시에 다수의 표적을 타격 하고

자 할 때는 1개 부대가 1개 표적에 대해 사격하는 경우도 있다. 또한 최근 무기체계의 발달로 1개 부대의 사격효과도 높으므로 상황에 따라 융통성 있는 사격이 가능하다. 하지만 작전의 융통성을 보장하기 위해 사격종료시간을 최소화해야 한다는 작전상황에서 접근해 보면 여러 부대가 동시에 표적을 사격하는 방법과 1개부대가 1개 표적에 대해 사격하는 것을 적절히 혼합하여 사격을 한다면 좀 더 실질적이고 효과적이며, 작전의 융통성을 보장 받을 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 사격완료시간을 최소화하기 위하여 기존연구인 동시에 표적을 사격하는 문제, 1개 부대가 1개 표적을 사격하는 문제와 본 연구에서 제시한 부대를 혼합하여 사격하는 문제의 최적 사격완료시간을 비교하여 각종 상황에 따른 표적 사격순서의 최적화 방안을 제시함으로써 작전상황에 맞는 사격계획표를 작성하는 것을 제시하고자 한다.

## 1.2 연구방법 및 구성

본 연구는 포병부대의 작전상황을 고려하여 포병부대 계획표적 사격시간 단축을 위한 표적할당에 관한 연구로 일정계획 이론의 수리모형을 응용하여 다수의 표적을 동시에 표적을 사격하는 문제, 1개 부대가 1개 표적을 사격하는 문제와 사격 부대를 혼합하여 사격 및 부대를 할당하는 문제의 최적 사격완료시간을 비교하여 각종 상황에 따른 표적 사격순서의 최적화 방안을 제시함으로써 작전상황에 맞는 사격계획표를 작성하는 것에 그 목적이 있다.

이를 위해 작전상황을 고려하여 문제를 정의하고, 모형수립을 위해 필요한 가정사항을 정리하였으며, 제시된 수리적 모형을 ILOG OPL studio 6.1을 이용하여 ILOG Cplex 11.2로 문제를 풀고 사격계획표를 작성하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 이어지는 2장에

서는 기존 사격순서 결정문제의 기존연구사격 순서 결정문제에 관련된 연구들을 정리하였고 차이점을 정리하였다. 3장에서는 포병사격체계의 사격을 위한 요소와 사격유형별 예를 들어 설명하였다. 4장에서는 유형별 사격순서 결정문제의 가정상황과 이에 따른 수리적 모형을 정리하였고, 5장에서는 야전부대에서 발생 가능한 상황을 바탕으로 예를 들어 ILOG Cplex 11.2로 문제를 해결하여 본 연구에서 다루고자 하는 동시사격문제 모형, 개별사격문제 모형, 혼합사격문제 모형을 비교 후 최적의 사격모형 방안을 제안하였다. 그리고 6장에서는 결론을 내리고 제한점 및 제언을 제시하였다.

## 2. 기존연구 고찰

본 연구는 작전상황을 고려하여 사격완료시간을 최소화하기 각종 상황에 따른 표적의 사격순서 최적화 방안을 제시하는 것이다. 이는 제한된 자원을 가지고 시간 단축을 위한 목표를 달성하기 위해 각종 작업(jobs)을 계획하는데 있어 다양한 표적과 사격부대의 특성에 따른 작업의 총체적인 효율성을 높여야 하는 특성이 있는 병렬기계(parallel machines)의 스케줄링 문제유형을 갖고 있다. 이러한 병렬기계 유형의 포병사격 문제에 관한 기존 연구로는 다음과 같다.

권오정 et al.(1997)[23]은 최초 확정적 모형의 접근으로 표적을 사격하는 사격부대의 사격계획 스케줄링을 이용한 다중처리(multi-purpose) 일정계획 문제로 하나의 작업이 여러 설비를 공유할 때 시작시간과 완료시간이 동일하다는 조건을 만족하는 경우로 국한하여 사격순서 결정문제에 대한 연구를 하였다. 김기호(2002)[2]는 권오정 등(1997)의 연구를 기초로 개별생산 시스템의 수리 모형 이용하여 하나의 작업이 여러 설비를 공유할 때 해당 작업의 시작시간만 동일하다는 조건을 만족하는 경우로 사격순서 결정 문제를 개선하였다.

또한 김태현과 이영훈(2003)[4]은 사전 표적 할당이 완료된 여러 표적 중 2개의 표적을 1개의 조합(Pair)으로 구성하여 사격순서를 결정하여 전체 사격완료시간을 최소화하는 사격순서결정문제로 발견적 기법을 제시하였고, 황원식과 이재영(2005)[14]은 김기호(2002)의 연구를 바탕으로 전장의 여러 전술적인 상황을 고려하여 개선된 사격순서 결정 문제를 연구하였다. 김동현(2008)[3]은 최적화 수리모델로 해결되지 않는 큰 사이즈의 문제와 해를 구하는데 장시간 소요되는 산출시간에 대해 포병사격순서에 관한 기존연구의 가정사항을 일부 변경하여 할당 및 순서 동시 결정(SAS : Simultaneous Allocation and Sequencing)의 발견적 해법을 제시하여 표적의 혼합과 사격순서의 동시해결문제의 이론적인 틀을 마련했다. 또한 황원식[15]은 포병부대 사격간 작전상황의 융통성 증대를 위해 실제 야전부대에서 적용하고 있는 1개 부대가 1개 표적에 대해 사격하는 문제를 수리모형을 이용하여 최적해를 구하였다.

특히, 김동현의 연구는 포탄 1발에 대한 효과를 사전에 알고 있다는 가정하에 부대별 사격발수를 사격간 융통성있게 조정하며 근사해를 찾았지만 본 연구에서는 전장의 현실을 고려하여 포탄 1발에 대한 효과를 알 수 없으므로 사전에 사격가능한 모든 부대를 미리 분류하여 목적에 맞는 사격참가 부대를 할당함과 동시에 사격순서를 결정하므로 차이가 있다고 하겠다.

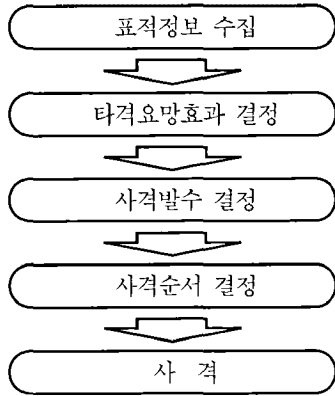
## 3. 포병사격체계

### 3.1 사격을 위한 요소

포병사격체계는 <그림 1>과 같은 순서로 이루어진다.

포병사격체계의 표적정보 수집은 정보획득 수단에 의해 사전에 실시간 주어진다.

표적타격 요망효과는 타격수단과 사격량을 결



〈그림〉 1 포병사격체계

정하는 중요한 요소가 된다. 따라서 표적타격 요망 효과 결정시 타격수단 및 탄약의 가용성, 표적의 종류 등을 고려하여 결정한다. 표적타격요망효과는 적 표적에 가한 피해의 결과로 얻어지는 효과로 제압, 무력화, 파괴로 구분하며, 물리적 피해정도를 고려하여 전투력 피해정도가 10%는 제압, 20%는 무력화, 30% 등의 수치로 표현 할 수도 있다.

사격발수는 피해요망효과를 고려하여 JMEM (Joint Munition Effectiveness Manual : 합동탄약 효과교범)에 의해 사격발수를 결정한다. 본 연구에서는 JMEM이 비밀문서이므로 공개가 불가하여 임의의 사격발수를 정하였다.

사격발수 결정은 <표 1>의 아군 화기제원표를 기록된 곡사포의 지속 발사속도를 확인하여 이를 시간으로 변환하고 각각 표적에 대해 사격수행시간을 알 수 있다. 즉 각각의 표적에 대한 사격수행시간은 사전에 구할 수 있다.

예를 들어 a1 표적에 대해 A부대(155미리, 견인)가 6발을 사격한다면, 지속발사속도는 분당 2발이므로 3분간 사격을 실시한다.

추가적으로 본 연구에서는 야전포병부대에서 사격간 사격부대를 할당하고, 사격완료시간을 최소화 하는데 중점을 두고 있으므로, 아군의 화기제원표를 이용하여 사격시간을 구하면 이를 바탕으로 사격방법을 사거리가 가능한 모든 부대에 대해 사격하기 위해서는 <표 2>의 동시사격간 화기

〈표 1〉 아군의 화기제원표

화기명	사격준비 소요시간	최대 사거리	발사속도(분당)		
			최대	지속	
105M	4	11km	10	3	
155M	견인	5	30km	4	2
	자주	2	23.5km	4	1
8인치	2	16.8km	1	0.5	

별 표적피해효과를 이용한다.

예를 들어 a1 표적(포병부대)에 대해 A부대 (155미리, 견인)가 10발을 사격한다면, 5분간 사격을 실시하지만, 155미리 2개부대가 동시에 사격을 한다면 <표 2> 동시사격간 화기별 표적피해 효과에 의해 2개 부대 사격시 피해효과가 1.37이므로 10발을 1.37로 나누면 약 7.29가 되므로 8발을 사격하면 되고 부대별 4발씩 사격을 하면 된다. 이를 아군의 화기제원표에 의해 사격시간으로 환산하면 부대별 2분간 사격을 실시하면 된다.

결국 아군의 화기제원표와 동시사격간 화기별 표적피해 효과를 이용하여 각 표적에 대해 부대별로 사격시간을 구하여 최적의 사격순서를 구할 수 있다.

사격순서 결정 및 사격은 본 연구에서 제시한 방법에 의해 최적의 사격순서를 결정하고 사격을 실시한다.

### 3.2 유형별 사격문제의 예

다음 예를 통해 사격을 위한 요소를 이용하여

〈표 2〉 동시사격간 화기별 표적피해 효과

구 분	105미리/155미리 피해효과		
	평균	보병부대	포병부대
1개부대	1 / 1	1 / 1	1 / 1
2개부대	1.33 / 1.29	1.36 / 1.20	1.31 / 1.37
3개부대	1.67 / 1.57	1.71 / 1.40	1.62 / 1.74
4개부대	2.00 / 1.86	2.07 / 1.60	1.93 / 2.11

최적의 사격시간을 구할 수 있다. 본 연구의 예에서는 <표 3>의 사전 주어진 정보의 예를 들도록 하겠다.

<표 3> 사전 주어진 정보의 예

표 적	a1			a2		
	A	B	C	A	B	C
사격부대						
사격발수	18	16	10	18	·	9
사격수행 시간(분)	8	11	10	10	·	9

<표 3>의 사전 주어진 정보의 예에는 2개의 표적에 대해 3개의 부대가 사격을 실시하는 문제로 JMEM을 통해 각 표적에 대해 사격발수를 정할 수 있다. 또한 정해진 사격발수는 <표 1>의 아군의 화기제원표를 이용하여 사격수행 시간을 구할 수 있다.

<표 3>에 대한 설명으로 표적 a1에 대해서는 A부대는 18발을 사격하면 임무를 완수할 수 있고, B부대와 C부대는 각각 16발과 10발을 사격하면 임무가 완성된다. 또한 표적 a2는 A부대와, C부대만이 사격 가능하며, 각각 18발과 9발을 사격하면 임무가 완성된다. 이처럼 표적에 대해 부대별로 사격발수가 정해지면 아군의 화기제원표를 이용하여 사전 주어진 정보의 예에서와 같이 표적별 사격수행 시간을 구할 수 있다. 또한 동시사격간 화기별 표적피해 효과를 이용하여 <표 4> 표적에 대한 부대별 사격 수행시간을 구할 수 있다.

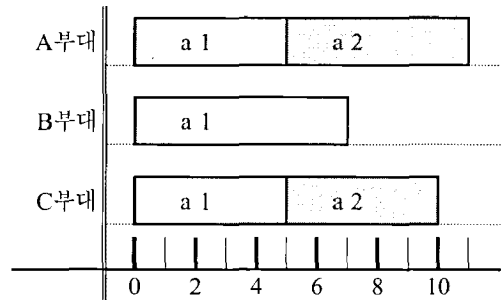
<표 4>에 대한 설명으로 표적 a1에 대해 단일 부대가 개별적으로 사격할 경우 A부대만 사격을 하면 8분이 소요되고 B부대와 C부대는 각각 11분과 10분이 소요되며, 2개 부대가 사격을 할 경우 A, B부대가 동시에 사격을 하면 6분, 8분이 소요되고 A, C부대는 6분, 7분이 소요되고 B, C 부대는 8분, 7분이 소요된다. 또한 A, B, C 부대가 동시에 사격할 경우 5분, 7분, 5분이 소요된다. 표적 a2에 대해서는 B부대가 사격이 불가하므로 개별사격은 A부대, C부대만 가능하며 사격소요시

<표 4> 표적에 대한 부대별 사격 수행시간

사격부대	a1			a2		
	A	B	C	A	B	C
A	8	0	0	10	0	0
B	0	11	0	0	0	0
C	0	0	10	0	0	9
A, B	6	8	0	0	0	0
A, C	6	0	7	6	0	5
B, C	0	8	7	0	0	0
A, B, C	5	7	5	0	0	0

간은 각각 10분과 9분이며, 동시사격은 A, C부대가 실시하며 6분, 5분이 소요된다.

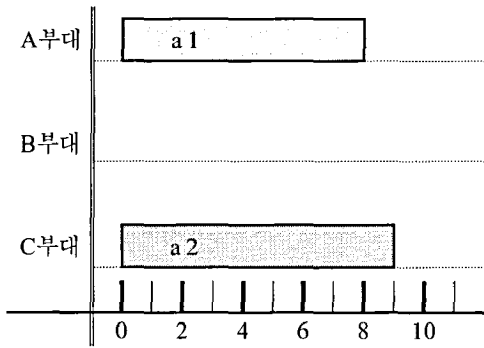
이처럼 사전 주어진 정보를 통해 사격완료시간을 최소화하기 위해 동시에 표적을 사격하는 문제와 1개 부대가 1개 표적을 사격하는 개별사격문제, 가용부대를 할당하여 사격하는 혼합사격문제의 3가지 문제에 대해 최적해를 구해보면, 첫 번째 동시사격문제는 <그림 2>의 동시사격문제 예의 결과와 같이 나타난다.



<그림 2> 동시사격문제 예의 결과

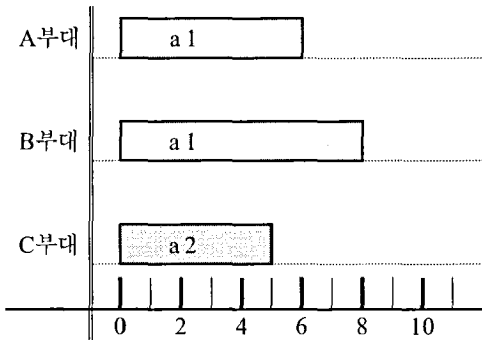
표적 a1은 A부대, B부대, C부대가 동시에 사격을 실시하며, 표적 a2는 A부대, C부대가 동시에 사격을 실시한다. 또한 사격순서는 a1-a2가 되며 사격완료시간은 11분이 된다.

두 번째 개별사격문제는 <그림 3>의 개별사격문제 예의 결과와 같이 나타난다. 결과를 분석해보면 표적 a1은 A부대에서 사격을 실시하며, 표적 a2는 C부대에서 사격을 실시하는 것이고, 사격완료시간은 9분이 된다.



〈그림 3〉 개별사격문제 예의 결과

세 번째 혼합동시사격문제는 <그림 4>의 혼합사격문제 예의 결과와 같이 나타난다.



〈그림 4〉 혼합사격문제 예의 결과

표적 a1은 A부대, B부대에서 동시에 사격을 실시하며, 표적 a2는 C부대에서 사격을 실시하는 것이며, 사격완료시간은 5분이 된다.

## 4. 유형별 사격모형

### 4.1 동시사격 기존모형

#### 4.1.1 문제의 정의 및 가정사항

동시사격문제는 사격부대별 특성과 표적의 사격수요를 고려하여 사격부대에 사격할 표적을 사전에 할당하고, 할당된 표적의 전체 사격완료시간을 최소화 하는 문제라 할 수 있다. 동시사격 문제

는 김기호[2]의 연구에서 혼합정수계획법을 이용하여 최적의 사격순서 결정에 관한 해를 구하였고, 이 문제에 대해 이경식[23]의 연구에서는 동시사격문제를 포함한 사격순서문제가 NP-hard임을 증명하였다.

가정사항은 다음과 같다.

- ① 표적과 포대에 관한 정보는 사전에 알고 있고, 표적에 대한 사격부대와 사격발수는 사전에 결정되었다.
- ② 사격할 표적은 사전 계획된 표적으로 예정 표적을 의미한다.
- ③ 각 표적은 2개 이상의 포대에서 동시에 사격을 실시한다.
- ④ 각 포대는 지속발사 속도로 사격을 한다.
- ⑤ 각 표적 사격이 일단 시작되면 사격이 끝날 때까지 중지할 수 없다.
- ⑥ 사격한 표적에서 다른 표적으로 이동 시 사격 준비시간은 무시한다.
- ⑦ 무기체계 기본 단위는 포대(6분) 및 대대(18분)이다.

#### 4.1.2 수리적 모형

동시사격문제의 기호정의는 다음과 같다.

$W$  : 무기체계의 집합, 포대  $i \in W$

$W(j)$  : 표적  $j$ 를 동시에 사격하는 포대의 집합

$T$  : 표적들의 집합, 표적  $j, k \in T$

$t_{ij}$  : 포대  $i$ 가 표적  $j$ 를 사격하는 시작시간

$f_{ij}$  : 포대  $i$ 가 표적  $j$ 를 사격을 종료하는 시간

$f_d$  : 마지막 표적  $d$ 의 사격종료시간

$p_{ij}$  : 포대  $i$ 가 표적  $j$ 를 사격하는 수행시간

$W(j)$  : 표적  $j$ 를 동시에 사격하는 포대의 집합

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{표적 } j \text{가 표적 } k \text{보다 먼저 타격되면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

동시사격문제의 수식은 다음과 같다.

$$\text{Min } f_d \quad (1)$$

Subject to

$$f_d \geq f_{ij} \quad (2)$$

$$f_{ij} \geq t_{ij} + p_{ij} \quad (3)$$

$$t_{ik} \geq t_{ij} + p_{ij} - M(1 - x_{ik}) \quad \forall i, j < k \quad (4)$$

$$t_{ij} \geq t_{ik} + p_{ik} - Mx_{jk} \quad \text{for } \forall i, j < k \quad (5)$$

$$t_{i,j} = t_{i,j} \quad \text{for } (i1, i2) \in W(j) \quad (6)$$

$$x_{jk} \in (0, 1) \quad \forall j, k \in T, j < k \quad (7)$$

$$t_{ij}, f_{ij} \geq 0, t_{ij}, f_{ij} = \text{정수} \quad (8)$$

※ M 은 무한히 큰 수

위 수식에 대한 설명은 다음과 같다. 모형의 목적함수 제약식 (1)은 마지막 표적에 대한 사격 종료 시간을 최소화 하는 것이다. 제약식 (2)는 부대 i가 표적 j에 대해 사격종료시간 중에 가장 작은 값을 선택하는 것을 나타낸다. 제약식 (3)은 부대 i가 표적 j를 사격할 때 마치는 시간은 부대 i가 표적 j를 사격한 시작시간( $t_{ij}$ )에 사격수행시간( $p_{ij}$ )을 더한 값을 나타낸다. 제약식 (4)와 (5)는 두 표적에 대한 사격 우선순위를 나타내는 제약식이다. 제약식 (6)은 표적 j에 대해 사격할 수 있는 포대의 집합에 대해 동시사격 시작시간을 나타내는 것이다. 제약식 (7)은  $x_{jk}$ 가 0 또는 1을 갖는 이항변수를 나타내고, 제약식 (8)은  $t_{ij}, f_{ij}$ 은 양의 아닌 정수를 나타낸다.

## 4.2 개별사격 기존모형

### 4.2.1 문제의 정의 및 가정사항

개별사격문제는 1개 포병대대가 1개 표적에 대해 사격할 수 있도록 표적을 할당하고, 할당된 표적의 사격하는 순서를 결정하여 전체 사격완료시간을 최소화 하는 문제라 할 수 있다. 개별사격 문

제에 대한 수리모형은 황원식[15]의 연구에서 증명이 되었고, 이러한 문제는 병렬기계(Parallel machines)문제와 유사하다고 할 수 있는데, 병렬 기계는 다수의 동일한 기계들이 사용 가능하고 작업들은 이 기계들 중 임의의 1대의 기계에서 처리될 수 있다는 점에서 공통점을 찾을 수 있다.

개별사격문제의 가정사항은 동시사격문제 가정사항 ③을 1개 표적을 1개 사격부대가 사격 할 수 있다(1개 표적을 1개 사격부대가 사격함으로써 사격의 융통성을 증대할 수 있다.)로 수정하고, 기타 가정사항은 동일하다.

### 4.2.2 수리적 모형

개별사격문제의 기호정의는 다음과 같다.

$p_{ij}$  : 포대 i가 표적 j를 사격하는 수행시간

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{포대 } i \text{가 표적 } j \text{를 타격하면} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

n : 표적의 개수

m : 표적에 대한 사격 부대수

수식은 다음과 같다.

$$\text{Min } f_d \quad (9)$$

Subject to

$$f_d \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} p_{ij} \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad (11)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ 또는 } 1 \quad (12)$$

수식에 대한 설명으로 모형의 목적함수 제약식 (9)은 마지막 표적에 대한 사격 종료 시간을 최소화 하는 것이다. 제약식 (10)은 부대 i가 표적 j에 대해 사격종료시간 중에 가장 작은 값을 선택하는 것을 나타낸다. 제약식 (11)은 부대 i가 표적 j를 사격할 때 1개부대만 사격하는 것을 나타내고 제약식 (12)는 결정변수가 0 또는 1의 값을 갖는 것

을 나타낸다.

$$y_{ia} = \begin{cases} 1, & \text{포대 } i \text{가 사격포대조합 } a \text{에 포함시} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{포대 } i \text{가 } j \text{를 타격후 } k \text{타격시} \\ 0, & \text{그렇지 않으면} \end{cases}$$

### 4.3 혼합사격 모형

#### 4.3.1 문제의 정의 및 가정사항

본 연구에서 제시하고자 하는 혼합사격문제는 동시사격간 화기별 표적피해 효과를 적용하여 사격가능 부대의 조합별로 사격 가능시간을 구하고, 그 중에서 1개 표적에 대해 1개의 부대 조합을 선택하는 방식으로 표적별로 선택된 부대 조합을 동시사격문제에 적용하여 사격부대 할당과 최적의 사격완료 시간을 동시에 구하는 것이다.

본 연구는 김기호[2]의 연구를 기초로 하여 할당과 사격순서를 동시에 해결하는 문제로 이경식[23]의 연구에서 사격순서문제가 NP-hard로 증명 되었으므로 혼합사격 문제도 NP-hard 문제라 할 수 있다.

혼합사격문제의 가정사항은 동시사격문제 가정 사항 ③을 1개 표적을 1개 이상 사격부대가 사격할 수 있다(1개 표적을 효과에 따라 사격가능 부대가 사격함으로써 효과를 증대할 수 있다.)로 수정하고, 기타 가정사항은 동일하다고 할 수 있다.

#### 4.3.2 수리적 모형

본 모형에 대해 사용된 기호의 정의는 다음과 같다.

- $W$  : 무기체계의 집합, 포대  $i \in W$
- $W(j)$  : 표적  $j$ 를 동시에 사격하는 포대의 집합
- $T$  : 표적들의 집합, 표적  $i, k \in T$
- $A$  : 사격포대조합 집합  $a \in A$
- $t_{ij}$  : 포대  $i$ 가 표적  $j$ 를 사격하는 시작시간
- $f_{ij}$  : 포대  $i$ 가 표적  $j$ 를 사격을 종료하는 시간
- $f_d$  : 마지막 표적  $d$ 의 사격종료시간
- $p_{ij}$  : 포대  $i$ 가  $j$ 를 사격하는 수행시간

혼합사격문제의 수식은 다음과 같다

$$\text{Min } f_d \quad (13)$$

Subject to

$$f_d \geq f_{ij} \quad \forall i \in W, i \in T \quad (14)$$

$$f_{ik} \geq f_{ij} + p_{ik} + M(x_{ijk} - 1) \\ \forall i \in W, \forall j, k \in T, j \neq k \quad (15)$$

$$f_{ij} \geq t_{ij} + p_{ij}x_{ijk} \\ \forall i \in W, \forall j, k \in T, j \neq k \quad (16)$$

$$f_{ij} \geq t_{ij} + p_{ij}x_{ikj} \\ \forall i \in W, \forall j, k \in T, j \neq k \quad (17)$$

$$\sum_{a \in A}^m y_{ia} = 1 \quad \forall i \in W \quad (18)$$

$$y_{ia} - x_{ijk} \geq 0 \\ \forall a \in A, \forall i \in W, \forall j, k \in T, j \neq k \quad (19)$$

$$t_{lj} = t_{mj} \quad \forall l, m \in W, l \neq m, \forall j \in T \quad (20)$$

$$t_{ij}, f_{ij} \geq 0, \quad t_{ij}, f_{ij} = \text{정수} \\ \forall i \in W, j \in T \quad (21)$$

※  $M$  은 무한히 큰 수

본 수리모형에서 최종 사격완료시간을 최소화 하기 위한 사격순서 동시결정 문제에 대한 변수의 정의는 다음과 같다. 모형의 목적함수 제약식 (13)은 마지막 표적에 대한 사격 종료 시간을 최소화 하는 것이다. (14)는 부대  $i$ 가 표적  $j$ 에 대해 사격 종료시간 중에 가장 작은 값을 선택하는 것을 나타낸다. (15)은 두 표적에 대한 사격 우선순위를 나타내는 제약식이다. (16)과 (17)은 부대  $i$ 가 표적  $j$ 를 사격할 때 마치는 시간은 부대  $i$ 가 표적  $j$ 를 사격한 시작시간( $t_{ij}$ )에 사격수행시간( $p_{ij}$ )을 더한 값을 나타낸다. (18)은 부대 집합  $a$ 에서 1개 집단이 사격하는 것을 나타낸 것이다. (19)는 포대  $i$ 가 조



합  $a$ 에 포함되어야 표적을 타격 가능하다는 것을 나타낸다. (20)은 표적  $j$ 에 대해 사격할 수 있는 포대의 집합에 대해 동시사격 시작시간을 나타내는 것이다. (21)는  $t_{ij}, f_{ij}$ 는 양의 상수 값을 나타낸다.

## 5. 유형별 사격모형

### 5.1 사격을 위한 요소

본 연구에서 제안한 수리적 모형을 적용하기 위하여 가상시나리오 문제를 만들어 ILOG OPL Studio 6.1을 이용하여 ILOG Cplex 11.2로 해를 도출하고, 이를 바탕으로 사격계획표를 작성하고자 한다. 사격을 위한 시나리오는 포병여단에서 계획표적에 대한 표적 사격순서를 결정하고 사격 계획표를 작성하고자 하는 것이고 사격에 참가하는 부대는 3개 포병대대이다.(105mm 견인 : 1개 대대, 155mm 견인 : 1개 대대, k-9 : 1개 대대) 계획된 표적 수는 7개이고, 표적에 사격부대 및 사격발수는 사전에 결정되었다.

각 포병부대에서 표적에 대한 사격부대나 발사탄수 결정은 표적의 형태와 성질 그리고 표적 타격 요망효과에 따라 사격지휘장교가 JMEM을 사

<표 5> 사전주어진 정보

구 분	사격발수			요망 효과
	A부대	B부대	C부대	
표적 1	⑩	⑤	③	10%
표적 2		⑩	⑥	10%
표적 3	⑩	⑥	③	30%
표적 4	⑧	④		20%
표적 5	⑧	④	②	20%
표적 6	⑧		②	20%
표적 7		⑩	⑥	30%

용하여 결정하였다. <표 5>의 사전 주어진 정보에서의 사격수행시간은 사격발수를 사격시간으로 환산한 것이다.

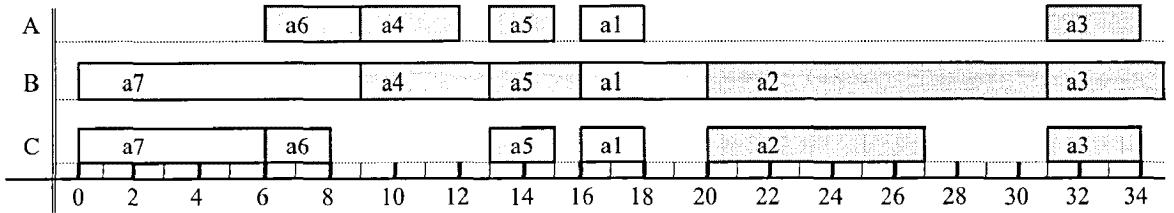
표적 공격방법(사격부대 및 사격발수)에 관한 정보는 <표 6> 혼합사격을 위한 사전 주어진 정보의 변환과 같이 표현될 수 있다.

### 5.2 사격결과 비교

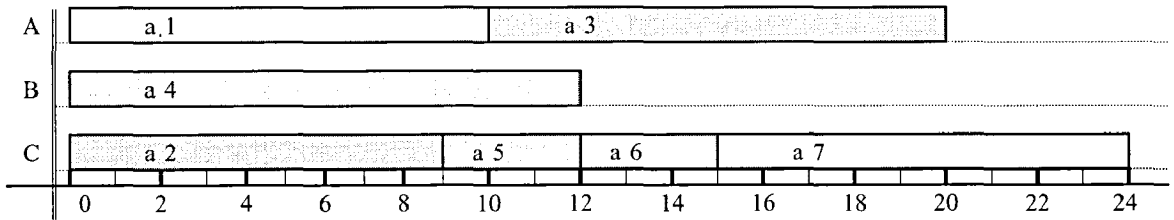
사전 주어진 정보를 통해 동시사격문제와 개별 사격문제, 혼합사격문제의 3가지 문제에 대해 최적해를 구했고 각 문제에 대한 결과는 <그림 5>, <그림 6>, <그림 7>과 같다.

<표 6> 혼합사격을 위한 사전 주어진 정보의 변환

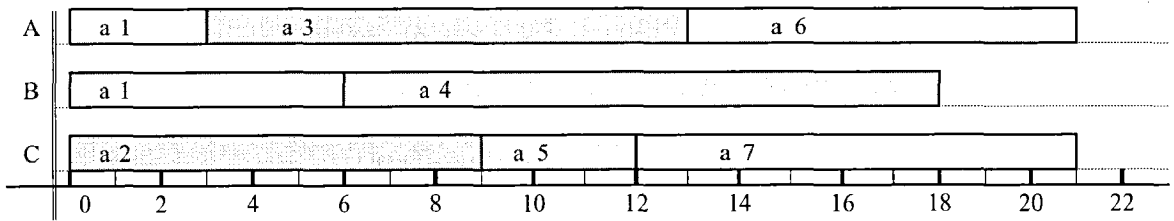
사격 부대	a1			a2			a3			a4			a5			a6			a7		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
A	10	0	0	0	0	0	10	0	0	8	0	0	8	0	0	8	0	0	0	0	0
B	0	15	0	0	30	0	0	18	0	0	12	0	0	12	0	0	0	0	0	30	0
C	0	0	5	0	0	9	0	0	5	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	9	0
A,B	3	6	0	0	0	0	4	6	0	3	4	0	3	4	0	0	0	0	0	0	0
A,C	3	0	4	0	0	0	4	0	3	0	0	0	3	0	2	3	0	2	0	0	0
B,C	0	6	4	0	11	7	0	6	3	0	0	0	4	2	0	0	0	0	9	6	0
A, B, C	2	4	2	0	0	0	3	4	2	0	0	0	2	3	2	0	0	0	0	0	0



〈그림 5〉 동시사격문제의 사격계획표



〈그림 6〉 개별사격문제의 사격계획표



〈그림 7〉 혼합사격문제의 사격계획표

개별사격문제의 결과를 분석해 보면 표적 a1, a3은 A부대에 사격을 실시하고, 표적 a4는 B부대에서 사격을 하며, 표적 a2, a5, a6, a7은 C부대에서 사격을 실시한다.

개별사격문제는 각 부대에 할당된 표적에 대해 사격순서가 자유로운 특징이 있고, 사격완료시간이 24분이므로 A부대는 a1-a3, a3-a1의 순서대로 사격이 가능하고 사격완료시간이 24분이라는 특징을 이용하여 a1-a3의 순서에 의한 사격시 a1표적의 사격시작시간을 4분에 실시하거나, a1표적의 사격시작시간을 0에서부터 시작할 경우 a3의 사격시작시간을 14분에서 시작하여도 사격완료시간이 24분이므로 사격의 융통성을 보장할 수 있다.

또한 B부대는 표적 a4에 대해서만 사격을 실시하므로 0분에서부터 12분 사이에 사격을 실시하여도 사격완료시간에는 영향을 미치지 않으므로

사격의 융통성을 발휘할 수 있다. 하지만, C부대는 사격시작시간을 변경할 경우 사격완료시간에 영향을 미치므로 시간변경에 대한 융통성을 발휘할 수 없으나, 사격순서는 자유롭기 때문에 사격순서를 a2-a5-a6-a7를 포함하여 24가지 순서로 하여도 사격시간에는 영향을 미치지 않는 특징이 있다.

혼합사격문제 결과를 분석해 보면 사격완료시간은 21분으로 표적 a1은 A부대, B부대에서 동시에 사격을 실시하고 기타 표적에 대해서는 개별사격 문제와 동일하게 표적 a3, a6은 A부대에서 사격을 실시하고, 표적 a4는 B부대에서 사격을 하며, 표적 a2, a5, a7은 C부대에서 사격을 실시한다. 사격완료시간이 21분으로 A부대는 a1-a3-a6, a1-a6-a3의 순서대로 사격이 가능하고, C부대는 a2-a5-a7, a2-a7-a5, a5-a2-a7, a5-a7-a2, a7-a2-a5, a7-a5-a2의 순서대로 사격을 실시해도 사격완

료시간에는 영향을 미치지 않는다. 하지만 B부대는 사격이 18분에 종료되기 때문에 표적 a1은 사격이 동시에 시작되어도 사격시작시간을 변경할 수 없지만, 표적 a4는 사격시작시간을 6분에서 9분 사이에 실시해도 사격완료시간에는 영향을 미치지 않는다. 또한 본 연구는 사격가능한 표적의 집합들 중에서 필요한 표적을 선택함과 동시에 사격순서를 최적화 하는 데 큰 의의를 찾을 수 있다.

### 5.3 사격실험결과

혼합사격문제의 성능을 평가하기 위해 각 문제에 대한 실험결과를 비교하였다. 사격참가부대는 기존의 예와 동일하게 하며, 각 부대의 사격가능여부와 사격 발수는 야전부대와 유사한 상황에서 난수를 발생시켜 사전 주어진 정보로 생성하였다. 또한 표적의 크기에 따른 비교를 위해 표적의 수를 5개, 10개로 구분하여 각각 10회 실험을 하여 평균값을 구했으며, 기타 실험은 기존의 예와 동일한 방법으로 하였다. 하지만 계획표적은 사격계획을 준비할 충분한 시간이 있으므로 계산시간은 고려하지 않았다. 사격결과는 <표 7>과 같이 나타났다.

<표 7> 사격실험결과 비교

구분	동시사격	개별사격	혼합사격
표적 5개	46.9분	43.3분	36.6분
표적 10개	79.3분	74.3분	68.3분

결과를 비교해 보면 혼합사격의 결과는 표적이 5개, 10개 일 때 각각 36.6분, 68.3분으로 나타났다. 동시사격문제, 개별사격문제와 비교할 경우 더욱 우수한 결과를 갖는 것으로 나타났다.

## 6. 결론

본 연구에는 포병부대에서 실시하는 계획표적

에 대한 사격계획표를 효과적으로 작성하고, 작전상황의 융통성을 보장하기 위해 기존 연구인 동시사격문제 모형, 개별사격문제 모형을 제시하고, 1개 표적에 대해 사격 가능한 부대들 중 효과를 고려한 후에 필요한 부대만 사격함과 동시에 최단시간에 사격을 완료하는 혼합사격문제 모형에 대한 새로운 모형을 제시하여 비교하였다. 즉, 포병부대 무기체계와 표적 할당문제를 이용하여 전술적 기습과 운영면에서 제약 사항을 만족하는 계획표적에 대한 사격순서 결정문제를 혼합정수계획 모형으로 구성하였고, 이에 대한 해법은 ILOG OPL Studio 6.1을 이용하여 ILOG Cplex 11.2로 최적해를 구하였다.

본 연구는 혼합사격모형의 효율성과 우수성을 제시하고 있으나, 혼합사격모형은 제약식이 증가됨에 따라 계산해야 할 내용이 많으므로, 계획표적이 아닌 실시간 표적을 계산시에는 제한이 된다. 따라서 추후 연구 과제로는 휴리스틱 모형을 이용하여 혼합사격문제를 개선된 모형을 작성하는 것이다. 즉 휴리스틱을 이용하여 동시에 표적을 할당하여 최적의 시간을 찾아낸다면, 군단급 이상의 부대에서 다수의 부대와, 표적에 대해 더욱 현실성 있는 사격계획표를 작성할 수 있을 것이다. 또한 많은 Data가 발생하면 신속하게 최적해를 찾는 새로운 방법이 개발되어야 한다.

두 번째는 야전부대의 특성을 고려할 경우 사격시 수 많은 부대가 운용될 것이므로 표적에 대한 A, B, C부대를 조합하여 동시사격시 부분에 집중하여 연구한다면, 좀 더 실질적인 야전부대의 현실을 반영할 수 있을 것이다.

만약에 위와 같은 문제가 해결이 된다면 실무부대에서 본 연구의 모형을 이용함으로써 전투력 향상에 큰 영향을 줄 것이라고 생각한다.

## 참고문헌

[1] 국방부, 국방백서(2008)

- [2] 김기호, “포병 부대 계획표적 사격순서 결정에 관한 연구” 고려대학교 논문, 2002
- [3] 김동현, “표적 할당과 사격순서의 동시 결정문제를 위한 발견적 기법”, 연세대학교 논문, 2008
- [4] 김태현, 이영훈, “공유표적을 포함한 사격순서 결정에 관한 연구”, 「한국 경영과학회지」, 제 28권, 제3호(2003), pp.123-134.
- [5] 문기주, 일정계획이론, 시그마프레스
- [6] 안상형 외 2명, 현대 경영과학개론, 박영사, 2005
- [7] 이광보 외 2명, 알기쉬운 무기체계, 진영사, 2008
- [8] 이창완, “포병 사격순서 결정문제의 이주 유전 알고리즘 접근”, 서울대학교 논문, 2009
- [9] 정금연 외 1명, “화력계획 교리개선”, 육군교육사령부 교리개선, 2008
- [10] 조연식 외 1명, “미래 포병부대구조 / 무기체계 발전방안”, 육군교육사령부 교리개선, 2007
- [11] 최기석, “상용 최적화 소프트웨어 소개”, 「대한산업공학회지」 제 13권 제1호, 2006
- [12] 하광희, “야전포병의 대화력전 수행 능력 발전을 위한 제언”, 주간국방논단, 제1034호, 2005
- [13] 하귀룡, 윤상흠, “고객 주문치리를 위한 생산 일정계획에 관한 연구” 영남대학교 논문, 2007
- [14] 황원식, 이재영, “스케줄링을 이용한 계획표적 사격순서의 최적화에 관한 연구”, 「한국 국방경영분석학회지」, 제33권, 제1호(2007), pp. 105-115.
- [15] 황원식, “포병사격 특성을 고려한 계획표적 사격체계 최적화 방안”, 3사논문집, 2009.
- [16] 육군본부, 「포병운용」, FM 2-2, 2002.
- [17] 육군본부, 「화력운용」, FM 3-10, 2008.
- [18] 육군본부, “화력운용 실무”, 실무참고
- [19] 인터넷 자료, <http://www.jcs.mil.kr>
- [20] Hariri, A.M.A. and Potts, C.N. “Heuristics for scheduling unrelated parallel machines”, Computers Ops. Res., Vol.8, No.3, 1991
- [21] Karp, R.M. “Reducibility among combinatorial problems”, Complexity of Computer Computations, pp. 85-103, Pleum Press, New York, 1972
- [22] Ojeong Kwon, Kyugsik Lee and Sungsoo Park, “Targering and Scheduling Problem for Field Artillery”, Computers ind. Engng Vol.33, No 3-4, pp.693-696, 1997
- [23] kyun Lee, Ojeong and sung soo Park, “Complexity of the Fire sequencing problem international Journal of Managemant science Vol.5, No.5. November. 1999.

## ■ 저자소개 ■

### 황 원 식(E-mail: hwangws1@naver.com)

1998 육군사관학교 전자공학과 졸업(학사)  
2006국방대학교 운영분석학과 졸업(석사)  
2010영남대학교 대학원 경영학과 박사수료  
현재육군3사관학교 운영분석학과 전임강사,  
관심분야최적화, 스케줄링, 의사결정시스템

### 천 윤 환(E-mail: yhcrypt@yahoo.co.kr)

현재육군3사관학교 운영분석학과 부교수  
관심분야암호학, 정보보호 정책

### 박 현 수(E-mail: kmacademy@naver.com)

현재육군3사관학교 운영분석학과 전임강사,  
아주대학교 대학원 NCW학과 박사과정  
관심분야SCM, 메타휴리스틱, NCW

### 윤 상 흠(E-mail: shyoon@ynu.ac.kr)

현재영남대학교 대학원 경영학과 부교수  
관심분야스케줄링, 품질경영, SCM