

스케줄링을 이용한 계획표적 사격순서의 최적화 방안

(An Optimization of the Planned Target Sequencing Problem
Using Scheduling Method)

황 원 식(Won-Shik Hwang)*, 이 재 영(Jae-Yeong Lee)**

초 록

장차전은 첨단화된 무기체계와 최근의 전쟁양상을 고려해 볼 때 화력전의 성공여부가 전쟁의 결정적인 영향을 초래하게 될 것이다. 하지만 현재 한국군 포병전력은 수적으로 북한군에 비해 열세이며, 이를 극복하기 위한 방법으로 신속/정확한 사격으로 적에게 치명적인 피해를 줄 것이 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 다수 표적을 수리적 모델을 이용하여 사격순서를 정하여 사격종료시간을 최소화함으로써 작전 운영의 융통성을 부여해 줄 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 야전포병부대에서 화력계획 작성시 고려할 수 있는 지휘관의 의도, 일부 포병부대의 예상되는 사격제한(진지변환, 사거리 한계), 우선순위 표적(핵심, 고가치), 화력계획의 차후 변경 등 각종 실질적 상황을 고려하여 최대한 빠른 시간에 사격을 마칠 수 있도록 하였다. 이와 같은 사격순서 결정문제를 혼합정수 계획모형(MIP: Mixed Integer Programming)으로 구성하였고, 분석 수단으로 ILOG OPL을 이용하여 최적해를 구하였다.

본 연구에서 제시한 모형을 야전포병부대에서 활용한다면, 작전운영간 좀더 효과적이고 신속한 사격이 되어 전투력 향상에 기여할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

It is essential to give a fatal damage to the enemy force by using prompt and accurate fire in order to overcome the lack of artillery force. During the artillery fire operations, minimizing the firing time will secure the adapt ability in tactical operation. In this paper, we developed a mathematical model to schedule the artillery fire on the multiple targets to decrease total fire operation time. To design a program to describe a real firing situation, we consider many possible circumstances of changes such as commander's intention, firing constraints, target priority, and contingency plan to make a fire plan in an artillery unit. In order to work out the target sequencing problem, MIP is developed and the optimum solution is obtained by using ILOG OPL. If this analytical model is applied to a field artillery unit, it will improve the efficiency of the artillery fire force operations.

Keywords : 포병화력(Artillery fire force), 사격순서(Target sequencing), 혼합정수계획법(MIP)

* 육군 대위, 육군 22사단 278포병대대 3포대장

** 국방대학교 운영분석과 부교수

1. 서론

무기체계의 첨단화와 최근의 전쟁양상등을 고려할 때 화력전의 성공여부는 초전에 전투의 승패를 결정짓는 핵심요소로 작용하게 될 것이며, 우수한 화력의 성취는 수적우위와 기술적 우위에 의하여 달성될 수 있다. 그러나 현재 한국군의 포병전력은 수적으로 북한군에 비해 열세한 실정이다. 따라서 아군이 초전에 적 포병을 파괴하지 못하면 아 포병부대의 수적인 열세로 인한 조기 무력화가 우려되며, 아 기동부대는 제한된 포병지원으로 전투를 수행해야 하는 상황에 직면하게 될 것이다. 이러한 열세를 극복할 수 있는 방법은 대화력전의 중요성을 인식하고 첨단기술을 이용한 첩보획득, 치밀한 화력계획과 신속 정확한 타격으로 적에게 치명적인 피해를 줄 수 있어야 한다.

포병화력 운용시 여러 부대가 동시에 집중하여 사격하는 이유는 적에게 대응시간을 박탈하고, 업무를 할 수 있는 여유시간을 최소화함으로써 적에게 최대의 피해를 줄 수 있으며, 또한 사격종료시간을 최소화함으로써 작전 운용의 융통성을 확보할 수 있기 때문이다.

하지만 야전포병부대에서는 작전계획 의해 훈련시 여러가지 제한사항이 있다. 특히 긴급표적에 의한 사격우선순위 변경, 사거리제한, 진지변환, 지휘관 의도 등으로 실시간 최적의 사격순서를 정하는데 어려움이 있다

따라서 본 논문에서는 이러한 제한사항과 실제 훈련간 발생하는 여러 상황들을 고려하여 스케줄링을 이용한 계획표적 사격순서의 최적화 방안을 제시하고자 한다.

2. 기존연구 고찰

포병부대의 계획표적 사격순서 결정문제(Fire Sequencing Problem with planned target for field artillery)는 산업현장에서 일어나는 제조 공

정 시스템의 일정계획 문제(job sequencing problem)로 볼 수 있다.

제조공정의 기계들은 사격부대의 화포로, 일(jobs)은 표적(target)이라고 생각할 수 있다. 그러나 보통 생산현장에서 일어나는 일정계획은 하나의 기계가 하나의 작업을 할 때, 총 처리시간을 최소화하거나 평균흐름시간(Mean Flow Time)을 최소화하는 문제에 대하여 연구하였다.

포병부대 표적 사격순서 결정문제와 관련하여 군에서 연구된 사례는 2가지가 있다. 첫째, 권오정(1997)은 표적할당 및 사격순서 결정문제에 대하여 연구하였는데, 무기체계-표적할당문제를 야전에서 요구되는 통제보급물과 표적 요망 파괴수준 그리고 사격통제를 위한 제약식으로 구성되어 있는 비선형 정수계획 모형을 선형 정수 계획 모형으로 변환하여 분지한계법을 사용하여 최적해를 구하였다.

둘째, 김기호(2002)는 권오정 논문을 기초로 하여 개선된 모형을 제시하고 그 효과를 분석하였다. 특히 계획표적 사격임무에 가담하고 있는 포병부대는 그 임무가 끝나기 전까지는 다른 임무를 할 수 없기 때문에 최대한 빠른 시간에 사격임무를 마치는 것의 중요성을 고려하여

최종 표적의 사격종료시간을 최소화하는 것을 고려하였다.

김기호의 논문과 본연구에서 제시하는 모형의 차이점은 다음과 같다.

첫째 김기호의 논문은 개별생산 시스템 문제를 포병사격문제로 해석한 이론적인 틀을 마련했지만 본 논문은 우선순위에 의한 표적 변경, 사거리 제한, 진지변환, 지휘관 의도등을 고려하여 수시로 변하는 작전상황을 고려하며 문제를 해결하기 유용한 모델이다

둘째 본 연구는 유휴시간 활용방안에 대한 연구로 진지변환과 같은 예상가능한 사격 불가능 시간을 적절히 이용할 경우 앞선 모델보다 더욱 발전된 최적의 시간을 구할 수 있다. 즉 진지변환은 지

휘관이 전장상황을 고려하여 이동시간을 예측할 수 있고, 융통성을 발휘하여 일부 조정 가능하므로 유희시간을 최대한 활용한다면 좀더 사격종료시간을 단축하여 작전 운용면에서 최대한 능력을 발휘할 수 있기 때문이다

3. 모형의 수립

3.1 문제 정의

본 연구에서는 야전 포병부대에서 작성하고 있는 계획표적(예정표적)에 대한 사격순서를 결정하며, 각종 상황에 따라 실시간 변화하는 표적과 각종 작전운영면을 고려하여 사격계획표를 작성하는 문제이다

포병부대 계획표적 사격순서 결정문제는 각 표적에 대하여 사격 시작시간, 사격종료시간, 사격수행시간이 존재한다. 여기서 사격수행시간은 사격이 처리되는데 소요되는 시간으로 사격종료시간에서 사격시작시간을 뺀 값이 되고, 한 표적에서 다른 표적으로 옮겨 사격 할 때의 포대 사격준비시간은 무시한다.

계획 표적 사격순서 결정은 전장 상황에 따라 변화하기 때문에 우선적으로 고려해야 할 요소는 적에게 초대 피해효과를 주기 위해 2개 이상의 부대가 동시에 사격해야 한다는 것과 사격에 참가하는 포병부대 화포의 발사속도와 사격발수가 각각 다르므로 사격 수행시간의 각각 다르다. 또한 차후 고려해야 할 요소는 포병부대의 우선순위에 의한 표적 변경, 사거리제한, 진지변환, 지휘관 의도를 포함하여야 한다. 하지만 이러한 고려요소들은 사격계획표 작성 전 알 수 있고 수식화 할 수 있다.

3.1.1 우선적 고려요소

2개 이상의 부대가 동시사격은 표적에 대해 부대 할당시 사격지휘 장교에 부대 특성을 고려하여

〈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	

할당하고, 사격수행시간은 사격발수는 피해요망 효과를 고려하여 무기 효과도표(GMET)에 의해 결정을 한 후 <표 1>의 아군의 화기제원표에 기록된 곡사포의 지속 발사속도를 확인하여 이를 시간으로 변환하면 각각 표적에 대해 사격수행시간을 알 수 있다. 즉 각각의 표적에 대한 사격수행부대와 사격수행시간은 사전에 구할 수 있다.

3.1.2 차후 고려요소

각종상황에 따라 실시간 변화하는 표적과 각종 작전운영면을 고려한 수식이라 말할 수 있는데 이 또한 사전 내용을 알 수 있고 수식 표현이 가능하다.

기호의 정의는 다음과 같다.

f_{ij} : 포대 i 가 표적 j 의 사격을 종료시간
(Finish time)

t_{ija} : 포대 i 가 표적 j 를 사격하는 시작시간
(Start time),

a 는 사격 우선순위(1:핵심, 2:일반)

p_{ij} :포대 i 가 표적 j 의 사격수행시간
(Processing time)

y_{ij} :0, 1 값을 갖는 변수, 사격을 실시하면 1, 그렇지 않으면 0

\bar{t}_{ij} :포대 i 가 표적 j 를 사격하는 정해진 시작시간

a_{ij} : 포대 i 가 n 분동안 사격불가능 시간

수식은 다음과 같다.

$$f_{ij} = t_{ija} + y_{ij}p_{ij} \text{ for all } i, j \quad (1)$$

$$y_{ij} \in 0, 1 \text{ for all } i, j \quad (2)$$

$$f_{ij} = \overline{t_{ij}} + y_{ij}p_{ij} \text{ for all } i, j \quad (3)$$

$$f_{ij} = t_{ija} + a_{ij} \text{ for all } i, j \quad (4)$$

각각의 사항에 대해 알아보면 첫째, 우선순위의 한 표적변경은 핵심표적과, 일반표적을 구분하여 사격을 실시한다. 즉 핵심표적을 먼저 사격하고 일반표적은 차후에 사격한다. 이는 식 (1)로 표현되며, 적상황을 지휘관이 선정하므로 사전에 알 수 있다. 식 (1)에서 a는 우선순위에 의해 사격이 시작되도록 하는 것이다

둘째, 대대에 우발사항이 생기거나 표적에 사거리가 미달로 인해 정해진 임무에 대해 사격이 불가능한 경우이다. 이는 식 (2)로 표현되며, 사격지휘 장교가 확인하여 사전에 알 수 있다. y_{ij} 를 사격수행시간에 곱하여 부대가 해당표적에 사격을 못할 시 0으로 두어 사격수행시간이 0이 되도록 한다

셋째, 지휘관의 의도나 작전상황에 따라 임의의 표적을 정해진 시간에 사격을 해야 할 경우인데, 이는 식 (3)으로 표현되며, 지휘관과 작전장교가 적상황을 고려하여 선정하므로 사전에 값을 알 수 있다.

넷째, 진지 변환이나, 탄이 부족하여 임의의 시간동안 사격을 못할 경우이다. 이는 식 (4)로 표현되며, 지휘관과 작전장교가 적상황을 고려하여 상급부대 지휘관의 결심을 받아 사전에 알 수 있다. 특히 임의의 시간이라 하면 전장상황의 변화에 따라 조정이 가능하므로 사전에 값을 정할 수도 있고, 사격계획표를 확인하고 유휴시간을 고려하여

우선 주어진 정보

표적	a1			a2			a3		
사격부대	A	B	C	A	B	C	A	B	C
사격수행 시간(분)	3	3	2	5	0	3	3	3	3

차후 주어진 정보

- ① T3은 3분부터 TOT
- ② B1은 T1에 대해 사격불능(사거리 미달)
- ③ T2는 핵심표적
- ④ B는 1~3분 동안 사격 불가(진지변환)



계획표적 Time-Table

시간	0	2	4	6	8
A(대대)	T2 (핵)		T3		T1
B(대대)	사격불능			T3	
C(대대)	T2 (핵)		T3		T1

<그림 1> 포병부대 계획표적 사격순서 결정문제 예

조정할 수 있다.

본 연구에서 다루는 포병부대 계획표적 사격순서 결정문제를 개념적으로 설명하면 <그림 1>와 같다.

<그림 1>은 사격부대와 표적이 각각 3개씩 있는 경우에 우선 및 차후 고려요소를 통해 사전에 정보가 주어질 수 있다면 이를 통해 계획표적 사격순서를 결정할 수 있다. 하지만 표적의 수가 많지 않은 경우는 수작업으로 사격계획을 작성할 수 있으나, 표적의 수가 많으면 수작업으로는 풀 수 없는 복잡한 문제가 된다.

따라서 위의 문제에 대해 혼합 정수계획법(MIP: Mixed Integer Programming)을 이용한 수리적 모형을 제시하고, ILOG Optimization

Software에서 제공하는 Opl Studio 3.1를 이용하여 ILGO Cplex 7.0으로 문제를 해결하고자 한다.

3.2 수리적 모형

위 문제에 대한 가정 사항은 다음과 같다

- ① 표적과 포대에 관한 정보는 사전에 알고 있고, 표적에 대한 사격부대와 사격발수는 사전에 결정되었다.
- ② 사격할 표적은 사전 계획된 표적으로 예정표적을 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 중지 할 수 없다.
- ⑥ 사격한 표적에서 다른 표적으로 이동 시 사격 준비시간은 무시한다.
- ⑦ 무기체계 기본 단위는 포대(6문) 및 대대(18문) 이다.

기호의 정의와 다음과 같다.

W : 무기체계의 집합, 포대 $i \in W$

S : 표적들의 집합, 표적 $i, k \in S$

t_{ija} : 포대 i 가 표적 j 를 사격하는 시작시간 (Start time)

a 는 사격 우선순위(1:핵심, 2:일반)

\bar{t}_{ij} :포대 i 가 표적 j 를 사격하는 정해진 시작시간

f_{ij} :포대 i 가 표적 j 의 사격을 종료시간 (Finish time)

f_d :마지막 표적 d 의 사격종료시간

p_{ij} :포대 i 가 표적 j 의 사격수행시간 (Processing time)

$W(j)$: j 표적을 동시에 사격하는 부대의 집합

x_{jk} :0, 1 값을 갖는 변수, 즉 표적 j 가 표적 k 보다 먼저사격하면 1, 그렇지 않으면 0

y_{ij} :0, 1 값을 갖는 변수, 사격을 실시하면 1, 그렇지 않으면 0

a_{ij} :포대 i 가 n 분동안 사격불가능 시간

※의사결정 변수(Decision variable) : x_{jk}, y_{ij}

위 문제에 대해 사용된 수식은 다음과 같다.

$$\min f_d \quad (5)$$

subject to

$$f_d \geq f_{ija} \text{ for all } i, j \quad (6)$$

$$f_{ija} = t_{ij} + y_{ij}p_{ija} \text{ for all } i, j \quad (7)$$

$$t_{ika} \geq t_{ija} + y_{ij}p_{ija} - M(1 - x_{jk}) \text{ for all } i, j < k \quad (8)$$

$$t_{ija} \geq t_{ika} + y_{ij}p_{ika} - Mx_{jk} \text{ for all } i, j < k \quad (9)$$

$$t_{i_1, j} = t_{i_2, j} \text{ for } (i_1, i_2) \in W(j) \quad (10)$$

$$x_{jk} \in 0, 1 \text{ for all } j, k \in T, j < k \quad (11)$$

$$y_{ij} \in 0, 1 \text{ for all } i, j \quad (12)$$

$$f_{ija} = \bar{t}_{ij} + y_{ij}p_{ija} \text{ for all } i, j \quad (13)$$

$$f_{ij} = t_{ija} + a_{ij} \text{ for all } i, j \quad (14)$$

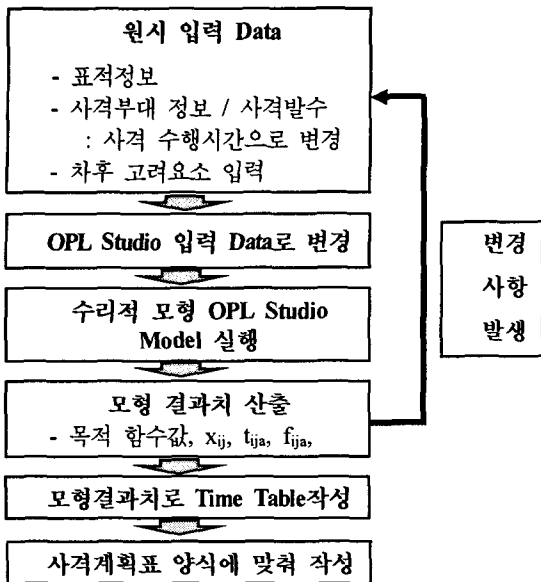
$$t_{ija}, f_{ija}, p_{ija}, a_i \geq 0 \quad (15)$$

※ M 은 무한히 큰 수

수식에 대한 설명으로 모형의 목적함수 (5)는 마지막 표적 d 에 대한 사격 종료 시간을 최소화 하는 것이다

(6)은 부대 i 가 표적 j 에 대해 사격종료시간 중에 가장 작은 값에 대한 선택을 나타낸다.

(7)은 부대 i 가 표적 j 를 사격할 때 마치는 시간은 부대 i 가 표적 j 를 사격한 시작시간(t_{ij})에 사격



〈그림 2〉 사격계획표 작성절차

수행시간(p_{ij})을 더한값을 나타낸다.

(8)와 (9)는 두 표적에 대한 사격 우선순위를 나타내는 제약식이다.

(10)은 j 표적에 대해 사격할 수 있는 포대의 집합에 대해 동시사격 시작시간을 나타낸다.

(11)과 (12)는 x_{jk}, y_{ij} 가 0. 1을 갖는 변수를 나타낸다.

(13)은 정해진 시간에 사격을 실시하는 것을 나타낸다.

(14)은 포대 i 가 n 분 동안 고장난 것을 나타내고

(15)는 $t_{ija}, f_{ija}, p_{ija}, a_{in}$ 가 음이 아닌 실수 값을 갖는 것을 나타낸다.

3.3 사격계획표 작성 절차

본 연구의 최종 목표는 계획표적의 사격종료시간을 최소화하는 사격계획표를 작성하는 것이다. 본 연구에서 제시한 모형을 이용한 사격계획표 작성 절차는 <그림 2>과 같다.

본 연구에서 제기한 수학적 모델에 필요한 값인 사격부대정보, 사격수행 시간등을 구한 후 이를

OPL Studio Data로 변경하고 실행시켜 x_{ij}, t_{ija}, f_{ija} 의 값을 구한다. 변경되는 요소 발생시 해당값만 반영하여 다시 결과를 구하고 이를 통해 Time-Table를 작성하고 사격계획표 양식에 맞추어 작성한다.

4. 모형 적용 사례

4.1 문제 구성 및 모형 실행

본 연구에서 제안한 수리적 모형을 적용하기 위하여 가상시나리오문제를 만들어 ILOG OPL Studio 3.1을 이용하여 ILOG Cplex 7.0으로 해를 도출하고, 이를 바탕으로 사격계획표를 작성하고자 한다.

포병여단에서 공격준비파괴사격에 대한 표적 사격순서를 결정하고 사격계획표를 작성하고자 한다.

- 사격에 참가하는 부대는 4개 포병대대이다. (155mm 견인:2개 대대, 155mm 자주:1개 대대, 8inch : 1개 대대)
- 계획된 표적수는 10개이다
- 표적에 사격부대 및 사격발수는 사전에 결정되었다.

4.1.1 원시 입력 데이터 구성

표적 공격방법(사격부대 및 사격발수)에 관한정보는 <표 2>와 같이 표현될 수 있다.

각 포병부대에서 표적에 대한 사격부대나 발사탄수 결정은 표적의 형태와 성질 그리고 표적 타격 요망효과에 따라 사격지휘장교가 도해식 무기효과도표(GMET)를 사용하여 결정하였다. 부분은 사격발수를 사격시간으로 환산한 것으로 본 모형의 입력변수(p_{ij})가 되며, 부분은 차후 고려요소가 된다.

시간 부대	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	목적 합수
A	T 1		T 2		T 5		T 7		T 3		T 6		T 9		f _d : 29분	
B	T 1		T 2		T 8		T 7		T 3		T 10		T 4			
C	T 1		T 2		T 8		T 3		T 6		T 9					
D	T 1		T 5		T 10		T 6		T 4							

〈그림 3〉 최종표적의 사격종료시간(fd)을 최소화한 모형의 Time-Table

〈표 2〉 표적 공격방법 에 관한 정보

표적 번호	요망 효과	탄종	사격참가부대		사격수행 시간(분)	비고
			대대	발수		
a1	파괴	고폭탄	A	4 (72발)	4	핵심 표적
			B	4 (72발)	2	
			C	4 (72발)	4	
			D	3 (36발)	6	
a2	파괴	고폭탄	A	3 (54발)	3	핵심 표적
			B	4 (72발)	2	
			C	4 (54발)	4	
a3	파괴	고폭탄	A	4 (54발)	4	H+14 분에 사격
			B	4 (54발)	2	
			C	4 (54발)	4	
a4	제압	고폭탄	B	4 (54발)	2	C대대 사격 불가
			C	3 (54발)	3	
			D	2 (24발)	4	
a5	파괴	고폭탄	A	4 (72발)	4	B대대 사격 불가
			B	4 (72발)	4	
			D	3 (36발)	6	
a6	제압	고폭탄	A	3 (54발)	3	
			C	3 (54발)	3	
			D	2 (24발)	4	
a7	무력화	고폭탄	A	3 (54발)	3	
			B	3 (54발)	3	
a8	제압	고폭탄	B	4 (72발)	2	
			C	3 (54발)	3	
a9	제압	고폭탄	A	4 (72발)	4	
			C	3 (54발)	3	
a10	무력화	고폭탄	B	4 (72발)	2	
			D	2 (24발)	4	

※ A대대 : H+20~25분 사격 불가

4.1.2 모형 결과를 Time Table 에 도식한 결과

〈그림 3〉은 최종표적의 사격종료시간(fd)을 최소화한 모형의 time table이고, 위 결과에서 목적 함수에 해당하는 최종표적의 사격종료시간은 29분이 되며, 표적 사격순서는 a1 - a2 - a5 - a8 - a7 - a3 - a10 - a6 - a4, a9 이 되며, 정해진 사격 불가능 시간은 H+20~H+25 이다

4.2 모형 분석

사격부대가 4개이고, 표적수가 10개인 경우에 대해 ILOG OPL(Optimization Programming Language) Studio 3.1를 이용하여 ILOG Cplex7.0 으로 최적해를 구하였다. 이때 최적해 값을 구하는데 걸린 시간은 5sec 미만이었다. (Pentium 4 1.7GHz 기준)

본 연구에서 제시한 모형에 대한 분석은 김기호 모형과 동일한 조건하에서 비교 분석하면 다음과 같다. 첫째, 사격이 마치는 시간을 비교했을 때, 각각의 fd 모형은 29분으로 결국 최종표적의 사격이 마치는 시간을 최소화하는 면에 있어서는 본 연구 모델이 제한요소를 추가 하였음에도 사격종료 시간이 같으므로 본 연구 모형이 더 문제가 없음을 알 수 있다. 하지만 본 연구 모델은 어떤 요소를 얼마만큼 변경하는가에 따라 사격종료시간에 차이가 있을 수 있다. 즉 진지변환등을 고려한

시간 포대	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	목적 함수
A	T 1		T 2		T 5			T 7		T 3		T 6		T 9		f _d : 28분
B	T 1		T 2		T 8		T 7			T 3		T 10		T 4		
C	T 1		T 2		T 8			T 3			T 6		T 9			
D	T 1			T 5			T 10			T 6		T 4				

<그림 4> 진지변환 사항을 제외한 사격계획표 Time-Table

고정된 일정 시간동안 사격이 불가능한 요소와, 지휘관 의도에 의해 정해진 시간에 사격을 해야 할 경우는 사격종료 시간을 증가시키는 요소이며, 사거리 제한 등으로 인해 부대가 표적에 대해 사격을 못하는 경우는 사격종료 시간을 단축시키는 요소이고 사격 우선순위에 의한 표적 변경은 큰 영향을 주지 않는다고 할 수 있다.

둘째, ILOG Cplex7.0로 최적해 값을 구하는데 걸린 시간을 비교하였다. 같은 조건하에서 김기호의 모형은 103sec이 소요된 반면 본 모형은 5sec가 소요되었다. 기본데이터가 같다고 하였을 때 본 연구 모형이 훨씬 효과적이라고 할 수 있다.

셋째, 각 사격부대의 사격업무간 사격에 가담하지 않은 시간(유휴시간)을 비교하면, 김기호의 모형은 25분이 소요된 반면 본 모형은 23분이 소요되어 본 연구 모형이 제약식을 추가하였음에도 불구하고 각각의 모형에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

위의 결과를 종합하여 분석해 볼 때 김기호의 논문은 단지 최초 표적에 대한 사격종료시간을 최소화 했지만, 본 연구 모형은 각종 변화 가능한 상황들을 고려수학적 모형을 발전시켜 최적의 사격 종료시간을 구하여 최종표적 사격시간 및 유휴시간에서 거의 차이가 없으며 ILOG Cplex7.0로 최적해를 구하는데 소요되는 시간이 20배 이하로 단축되었음을 알 수 있다.

따라서 사격계획 담당자가 사격계획표를 작성

하는데 있어 작전상황을 고려하여 지속적으로 변경되더라도 신속하게 정확한 값으로 사격계획표를 작성 할 수 있다.

4.3 유휴시간 활용방안

다음은 유휴시간을 최대한 활용하는 방안에 대해 연구 하였다. 본 모형을 ILOG Cplex7.0로 최적해 값을 구했을 때 사격 종료시간이 29분이 나왔고 모든 부대에 대해 유휴시간이 25분이 나왔다. 하지만 포병의 특성을 고려할 경우 포병부대는 진지변환을 실시할 경우 정해진 시간에 이동을 하지만, 작전상황을 고려하여 융통성 있게 이동시작시간을 일부 조정할 수 가 있다. 이러한 원리를 이용하여 고정된 시간에 이동을 실시하는 경우를 제외하고 최적해를 구한다음, 유휴시간을 판단한 후 적절한 시간에 이동을 하면 좀더 사격종료시간을 줄일 수 있다. <그림 4>는 고정된 시간에 일정 기간 동안 사격이 불가능한 상태를 제외하고 ILOG Cplex7.0를 이용하여 최적해를 구하였다. 그 결과 <그림 4>에서 사격종료시간은 28분으로 기존모형보다 1분이 줄었고 B대에 대해 유휴시간중 가장 긴 H + 18 ~ H + 24분 사이에 6분이 있으므로 진지변환에 의한 사격이 불가능한 시간을 18분부터 5분간이나, 19분부터 5분간 편성하면 최초 20분부터 5분간 사격불가능시간 보다는 1~2분 빠르지만 최종 사격완료 시간을 1분을 단

시간 포대	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	목적 함수
A	T 1		T 2		T 5		T 7		T 3		T 6		T 9		f _d : 28분	
B	T 1		T 2		T 8		T 7		T 3		T 10		T 4			
C	T 1		T 2		T 8		T 3		T 6		T 9					
D	T 1		T 5		T 10		T 6		T 4							

〈그림 5〉 사격불가능 시간을 임의의 표적이라 간주한 Time-Table

측할 수 있다.

또한 수학적인 모형을 이용해서는 사격 불가 시간을 임의의 표적이라 간주하면 사격 시작시간은 모르나 사격불가능 시간 5분이 사격수행시간 5분과 같고 표적을 10개에서 11로 간주하여 ILOG Cplex 7.0으로 최적해를 구하면 <그림 5>와 같은 결과를 얻을 수 있다.

그 결과 최초 사격불가능 시간이 20분에서 19분으로 1분 앞당겨 졌지만 최종 사격완료시간은 기존 모형보다는 1분을 단축할 수 있으므로 이러한 방법을 사용할 경우 유희시간을 최대한 활용할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에는 포병부대에서 실시하는 계획표적(예정표적)에 대한 사격계획표 작성을 효과적으로 하기 위해 여러 포병부대가 동시에 사격하는 것과 빠른 시간 내에 사격을 완료하는 것을 고려한 새로운 수리적 모형을 제시하였다.

즉, 포병 부대 무기체계와 표적이 할당된 조건 하에서 전술적 기습과 운영면에서 제약 사항을 만족하는 계획표적에 대한 사격순서 결정문제를 혼합정수계획 모형으로 구성하였고, 이에 대한 해법은 ILOG OPL Studio 3.1을 이용하여 ILOG Cplex 7.0으로 최적해를 구하였다.

4개 부대가 10개 표적에 대한 공격준비파괴사

격 계획을 적용한 결과 짧은 시간(5초 미만, Pentium 41.7Ghz 기준)에 최적해를 구하였고 모형을 적용하여 구한 결과치를 바탕으로 사격계획표 작성절차에 따라 최종적으로 구하고자 하는 계획표적 사격계획표를 작성하였다.

본 모형은 김기호 모형의 가정을 완화한 모형으로 포병부대의 작전상황에 맞춰 사격계획표에 영향을 주는 요소인 포병부대의 우선순위에 의한 표적 변경, 사거리제한, 진지변환, 지휘관 의도등을 고려하여 사격종료시간을 최소화 하였고, 진지변환과 같은 경우는 이동 시작시간 변경이 가능하다는 가정하에 유희시간을 최대로 줄임으로써 좀더 사격종료시간을 최소화 하는 효과를 얻을 수 있었다.

현재 수작업으로 작성하고 있는 계획표적 사격계획표와 본 연구에서 제시한 계획표적 사격계획표 작성을 비교한 결과 활용면에서 다음과 같은 의의를 찾을 수 있다.

첫째, 전술적인 기습 효과와 작전운영의 융통성을 고려한 사격계획이 될 수 있으므로 작전 수행에 큰 영향을 줄 수 있다. 왜냐하면, 화력의 집중 효과와 시간의 절약은 전쟁에서 가장 중요한 요소라고 볼 수 있기 때문이다.

둘째, 계획표적 사격계획표 작성을 본 연구에서 제시한 절차에 따라 작성하면 사격계획 작성 실무자에게 효과적인 보조 역할을 할 수 있다. 자신이 작성한 사격계획표를 이모형을 통해 검증할 수

도 있고, 이 모형을 적용하여 사격계획표도 작성할 수 있기 때문이다.

셋째, 본 연구에서는 계획표적중에서 공격중비 파괴사격을 대상으로 사격계획표를 작성하였으나, 더 나아가 다른 계획표적에 대해서도 확장하여 적용할 수 있다.

추후 연구 과제로는 시간의 변화에 따른 함수식과 관련된 요소들을 반영하는 것이다. 즉 전투력 요소와 같이 시간이 증가함에 따라 일정한 식으로 변화하는 요소에서 함수식을 찾아내고 이를 추가 반영한다면 좀더 현실성이 있는 사격계획표를 작성할 수 있을 것이다. 또한 이 문제는 표적의 수가 증가하면 문제를 해결하는데 많은 시간이 소요됨으로 새로운 해법이 개발되어야 한다. 즉, 많은 Data가 발생시 신속하게 최적해를 찾는 새로운 방법이 개발되어야 한다. 만약에 위와 같은 문제가 해결이 된다면 실무부대에서 이 모형을 이용함으로써 전투력 향상에 큰 영향을 줄 것이라고 생각한다.

참고문헌

[1] 김기호, “포병 부대 계획표적 사격 순서 결정에 관한 연구” 고려대학교 논문, 2002
 [2] 윤석진, “유연생산 시스템에서의 일정계획 및 작업순서의 최적화에 관한 연구” 연세대학교 논문, 1993
 [3] 육군본부, “포병운용”, 야전교범 2-2. 2002
 [4] 육군본부, “화력운용”, 야전교범 6-1. 2001
 [5] 육군본부, “화력운용 실무”, 실무참고
 [6] Garey, M., Johnson, D., and Sehtis, R.,

“The complexity of flow shop and job shop scheduling,” Mathematics of Operations Reserch, 1976

[7] Hariri, A.M.A. and Potts, C.N. “Heuristics for scheduling unrelated parallel machines”, Computers Ops. Res., Vol.8, No.3, 1991
 [8] Horowitz, E. and Sahni, S. “Exact and approximate algorithms for scheduling non-identical processors”, J. ACM, Vol. 23, No2, 1976
 [9] Ibarra, O.H. and Kim, C.E. “Heuristic algorithms for scheduling independent tasks on non-identical processors”, J. ACM, Vol. 24, 1997
 [10] Ignall, E. and Schrage, L., “Application of the barnch and bound technique to some flow shop scheduling problems,” Operation Reerarch, Vol. 13, 1965
 [11] Karp, R.M. “Reducibility among combinatorial problems”, Complexity of Computer Computations, pp. 85-103, Pleum Press, New York, 1972
 [12] Ojeong Kwon, Kyugsik Lee and Sungsoo Park, “Targering and Scheduling Problem for Field Artillery”, Computers ind. Engng Vol.33, Nos 3-4, pp.693- 696, 1997
 [13] Pascal Van Hentenryck, “ILOG OPL Studio 3.5 Language Manual”, Massachusetts Institute of Technology, 1999.

..... | 저자소개 |

황 원 식 (E-mail : hwangws1@naver.com)

1998 육군사관학교 전자공학과 졸업(공학사)
2004국방대학교 운영분석과 졸업(OR 석사)
현재육군 22사단 278포병대대 3포대장
관심분야일정계획, 시뮬레이션

이 재 영 (E-mail : leeis100@yahoo.co.kr)

1980육군사관학교 졸업(이학사)
1988미국 Naval Postgraduate School 졸업(OR 석사)
1995미국 North Carolina State University 졸업(OR 및 통계학 박사)
현재국방대학교 운영분석과 부교수
관심분야비용대 효과분석, C4I 체계효과 평가, 비용분석, 국방지식경영, 의사결정모델 개발, 최적화모델 개발, 시뮬레이션, 전투실험(Battle-lab), DM&S, MIS, ERP, CRM, SCM

〈주요저서 / 논문〉

- 「국내 방산업체의 운영효율성 분석평가」(정책분석평가학회보, 제16-3호, 2006)
- 「테크노 경영의 이론과 실제」(국방대학교, 2005)
- 「국방사업관리 분석평가」(국방대학교, 2004)
- 「국방정보화사업 효과의 계량적 분석평가」(정책분석평가학회보, 제14-2호, 2004)
- 「C4I체계의 전투효과 평가방법 연구」(국방부 정책연구, 2003)
- 「디지털 전장시대의 국방경영정보체계」(국방대학교, 2001)
- 「지식경영의 국방적용 사례연구」(교수논총, 제21집, 국방대학교, 2001)
- 「21세기 국방경영혁신을 위한 RMA 추진전략」(교수논총, 제20집, 2000)
- 「21세기 국방분석평가제도」(한국국방연구원 국방정책연구, 제5호, 1999)