

포병부대 비계획 사격순서 결정 알고리즘

최용백* · 김경섭**†

*교육사령부 전투실험실 위게임실험처

**연세대학교 산업공학과

Algorithms for Fire Sequencing Problem in Unplanned Artillery Attack Operation

Yong-Baek Choi* · Kyung-Sup Kim**†

*Republic of Korea Army Training and Doctrine Command

**Department of Information and Industrial Engineering, Yonsei University

This paper focuses on scheduling problems arising in the military. In planned artillery attack operations, a large number of threatening enemy targets should be destroyed to minimize fatal loss to the friendly forces. We consider a situation in which the number of available weapons is smaller than the number of targets. Therefore it is required to develop a new sequencing algorithm for the unplanned artillery attack operation. The objective is to minimize the total loss to the friendly forces from the targets, which is expressed as a function of the fire power potential, after artillery attack operations are finished. We develop an algorithm considering the fire power potential and the time required to destroy the targets. The algorithms suggested in this paper can be used in real artillery attack operations if they are modified slightly to cope with the practical situations.

Keywords : Fire Sequencing, Unplanned Artillery Attack Operation, Fire Power Potential

1. 서 론

한반도에서의 전면전 양상은 북한군의 대량 화력전을 근간으로 한 전면 기습공격, 고속 기동 유격전, 정규전과 비정규전의 배합 등으로 전개 될 것이다. 특히, 화력전은 걸프전과 같은 최근의 전례에서 입증된 것처럼 지상 작전에서 적 중심과 주요기능체계를 파괴하고 아군의 기동부대를 지원하여 기동여건을 조성하는 등 전투의 승패를 결정짓는 핵심요소이다[6]. 이러한 화력전에서 화력의 우세 달성은 무기체계의 수가 많거나 기술의 우위로 달성이 가능하다. 그러나 2009년도 국방백서[1]에 의하면 남

한의 야포수는 약 5200여문, 북한의 야포수는 약 12700여문으로 남한이 북한에 비해 수적으로 열세한 실정이다. 따라서 수적인 열세를 극복하기 위해 무기체계의 기술적 우위확보를 위한 전술과 시스템의 개발이 필요하다.

전술과 시스템 개발에 관한 연구는 포병사격 관련 주제로 많은 연구들이 진행되었고, 특히 계획사격 표적 할당문제와 사격순서 결정 문제에 관한 연구들이 발표되었다. 실제 전쟁에서 사격작전은 포탄 사용 비율을 고려시 포탄의 30%가 계획사격작전간 소요되며, 약 70%가 비계획 사격작전에서 사용 될 만큼 사격작전에서 비계획 사격작전이 큰 비중을 차지하고 있다. 그러나 지금까지 비

계획 사격작전 관련 연구보다는 계획 사격작전 관련 연구들이 진행 되었다. 또한 비계획 사격은 할당된 표적을 지휘관과 사격지휘 장교에 의해 사격순서를 결정하고 타격하는 과정으로서 이러한 사격순서 결정은 지휘관과 사격지휘장교의 교리지식과 주관적인 판단에 의해 결정되고 있는 실정이다. 따라서 과학적이고 객관적인 비계획 사격순서 결정 모델 개발이 필요하다.

2. 기존연구 고찰

포병부대 사격순서 결정 문제와 관련하여 연구된 사례는 다음과 같다.

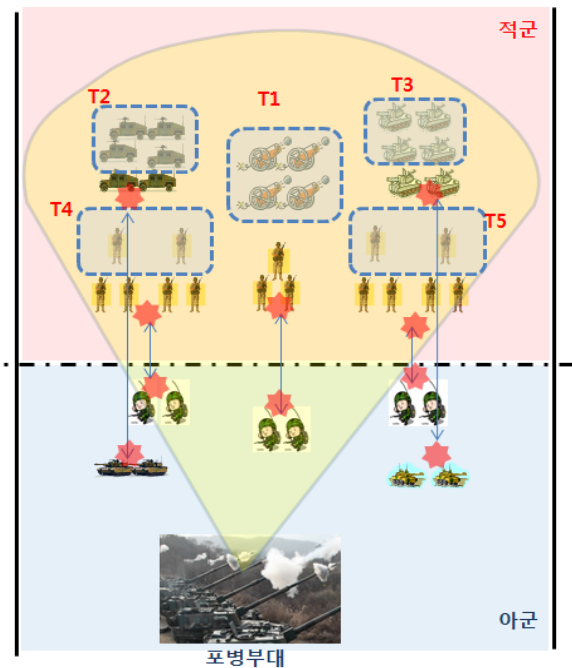
권오정[10]은 표적할당 및 사격순서 결정 문제에 대하여 연구하였으며, 이는 최초의 표적할당 및 사격순서에 관한 확정적 모형의 접근 방법이다. 먼저 1단계로 무기체계-표적할당 문제를 분지한계법과 라그랑지안화 기법을 사용하여 최적해를 구하고, 2단계로 사격순서 결정 문제를 greedy 알고리즘을 응용 최적해를 구하였다. 김태현[5]은 권오정[10]의 greedy 알고리즘을 보완하여 최종 사격 완료시간을 최소화 하는 pair 알고리즘 응용 방법을 제시하였으며, 김기호[2]는 개별생산 시스템 문제를 포병사격문제로 해석하여 포병부대 무기체계와 표적이 할당된 조건하에서 전술적, 운영적 제약사항을 만족하는 계획표적 사격순서 결정 문제를 혼합정수계획 모형으로 구성하여 전체 사격완료시간을 최소화하는 방법을 제시하였다. 황원식[7]은 사격제한, 우선순위 표적 등 실질적 전쟁 상황을 고려 사격 불가능한 유휴시간을 임의의 표적으로 간주하여 계획사격순서를 결정하는 문제를 혼합정수계획 모형으로 최적해를 구하였으며, 김동현[3]은 전체 사격 완료시간을 단축하기 위해 표적할당과 사격순서 동시 결정 문제를 위한 발견적 기법을 제시하였다. 이와 같이 기존연구는 표적할당 및 계획사격순서 결정에 관한 연구로 진행되었다. 그러나 본 연구는 전투가 쌍방의 타격과정임에도 불구하고 아군의 피해정도는 고려하지 않은 채 적 표적의 타격만을 고려한 기존연구의 한계점을 극복하고 기존연구에서 다루지 않은 비계획 사격작전에 관한 사격순서 결정 문제에 대한 해법을 제시한다.

3. 비계획 사격순서 결정 문제

3.1 문제 개요

포병부대의 임무는 원거리 표적을 간접사격하여 적을 파괴 및 제압하는 것이며, 전쟁초기에는 상급부대 통제

에 따라 계획사격을 실시하고, 계획사격 종료 후 비계획 사격을 실시한다. 계획사격은 상급부대 계획에 의거 다수의 포병부대가 계획된 시간과 장소에 계획된 탄약으로 사격하는 것을 말하며, 이러한 계획사격은 전쟁 개시와 함께 약 30분에서 1시간 가량 아군 포병부대에 위협이 되는 표적에 대해 동시 집중 사격하여 피해를 주기 위한 사격이다. 반면 비계획 사격은 계획사격 종료 후 포병부대 단독으로 기동부대를 지원하기 위해, 자체 선정 및 기동부대로부터 요청받은 표적들에 대해 사격순서를 결정하고 순서대로 사격을 실시하는 작전이다. 비계획 사격순서 결정 문제를 도식화하면 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 비계획 사격순서 결정 문제

<그림 1>에서 보는 바와 같이 아군은 적군에 비해 병력과 무기체계 면에서 2.5~3배 가량 수적으로 열세한 상황이다. 따라서 서로 교전하고 있는 병력과 무기체계 이외에도 적군은 다수의 병력과 무기체계로 아군에게 피해를 발생시키며, 이러한 표적에 대해 기동부대를 지원하기 위한 포병부대는 사격임무가 발생하게 된다. 즉, 포병부대는 적 표적 T1부터 T5까지 사격을 해야 하며 이러한 사격작전을 비계획 사격작전이라 한다.

비계획 사격시 표적 사격순서는 아군의 피해를 최소화하기 위해 지휘관 또는 사격지휘장교의 판단으로 결정이 되며, 현재 실무부대에서는 적의 위협이 가장 큰 표적부터 타격을 실시하고 있다. 그러나 본 논문에서는 적의 위협 정도와 표적 사격 소요시간 그리고 사격방향 전환 소요시간을 동시 고려하여 사격순서를 결정하는 방법을

제시하며, 기존방법과 비교하여 본 논문에서 제시한 방법의 우수성을 검증한다.

3.2 문제 모형

• 가정사항

- (1) 한 무기체계는 한 번에 하나의 적 표적에만 사격할 수 있다.
- (2) 아군의 무기체계의 수는 적 표적(적 무기체계의 수)의 수보다 작다.
- (3) 적 표적의 정보에 대해서는 이미 알고 있다(위치, 규모, 성질 등).
- (4) 아군 포병부대의 타격을 받는 적 무기체계의 잠재화력은 시간에 비례하여 감소한다.
- (5) 아군 포병부대의 타격을 받고 있지 않는 적 무기체계는 지속적으로 공격을 실시한다.
- (6) 적 표적들은 고정되어 있는 것을 일반적인 상황으로 가정하되, 이동을 하더라도 아군의 감시자산에 의해 위치를 확인할 수 있다.
- (7) 적 표적이 이동하여 위치가 불명확한 표적은 사격순서 결정을 위한 표적 집단에서 제외한다.
- (8) 최초 사격방향에서 사격이 불가능한 표적은 사격방향 전환 후 사격이 가능하다.
- (9) 모든 적 표적에 대한 최초 잠재화력 값은 전투실험을 통해 이미 알고 있다.
- (10) 작전 책임구역에 존재하는 적 표적을 다른 아군의 포병부대에서 사격할 수 없다.

• 기호정의

U : 표적의 집합

U_A : A사격 방향 표적의 집합

U_B : B사격 방향 표적의 집합

i : A사격 방향 표적, (1, 2, ..., n)

j : B사격 방향 표적, (1, 2, ..., m)

FPPA_i : 표적 i의 최초 잠재화력

FPPB_j : 표적 j의 최초 잠재화력

PTA_i : 표적 i의 파괴소요시간

PTB_j : 표적 j의 파괴소요시간

da_i : FPPA_i/PTA_i

db_j : FPPB_j/PTB_j

fa_i(t) : 표적 i의 잠재화력 함수

fb_j(t) : 표적 j의 잠재화력 함수

T : 사격작전 총 소요 시간

ST : 사격방향 전환 소요 시간

$$A_i = \int_0^T f_{a_i}(t) dt$$

$$B_j = \int_0^T f_{b_j}(t) dt \tag{12}$$

• 목적함수

$$Min(\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m B_j) \tag{13}$$

• 제약식

$$FPPA_i, FPPB_j > 0 \quad \forall i, j \tag{14}$$

$$PTA_i, PTB_j > 0 \quad \forall i, j \tag{15}$$

$$0 \leq f_{a_i}(t) \leq FPPA_i, 0 \leq t \leq T, \forall i \tag{16}$$

$$0 \leq f_{b_j}(t) \leq FPPB_j, 0 \leq t \leq T, \forall j \tag{17}$$

$$0 < \sum_{i=1}^n PTA_i + \sum_{j=1}^m PTB_j + 2\min(n, m) - 1 \times ST \leq T \tag{18}$$

$$0 < \sum_{i=1}^n A_i < \sum_{i=1}^n FPPA_i \times T \tag{19}$$

$$0 < \sum_{j=1}^m B_j < \sum_{j=1}^m FPPB_j \times T \tag{20}$$

기호 (1), 기호 (2)는 최초 잠재화력 값으로, 잠재화력 [8]이란 적 무기체계가 아군에게 주는 피해 값을 나타내는 것이며, 이는 적 무기체계에서 발사된 총탄, 포탄의 탄착점에서의 물리적 효과 즉, 피해정도를 대인, 대장갑, 대경장갑차 효과로 구분하여 평가한 지수이다. 본 논문에서는 최근 전쟁과 전투실험간 산출한 잠재화력 값을 활용하여 알고리즘에 적용한다. 전투실험 간 잠재화력 지수는 다음과 같이 산출한다.

$$FPP(\text{잠재화력 지수}) = APFPP(\text{대인화력지수}) + ALAFPP(\text{대장갑 화력지수}) + ATFPP(\text{대경장갑 화력지수})$$

여기서

$$APFPP = \sum_i \sum_r (EEA)_{ir} (\sum_k LA_{irk} \cdot P_k)$$

$$ALA(\text{or } AT)FPP = \sum_i \sum_r (EEA)_{ir} \times f \times \sum_k (SSPK)_{irk} \times P_k$$

i : 무기체계의 종류

r : 탄약(포탄)의 종류

(EEA)_{ir} : 단위시간당 i무기체계가 대인 사격할 r탄약의 수량

LA_{irk} : i무기체계가 사격한 r탄약의 k병사 방호상태에 대한 치사면적

k : 병사의 방호상태

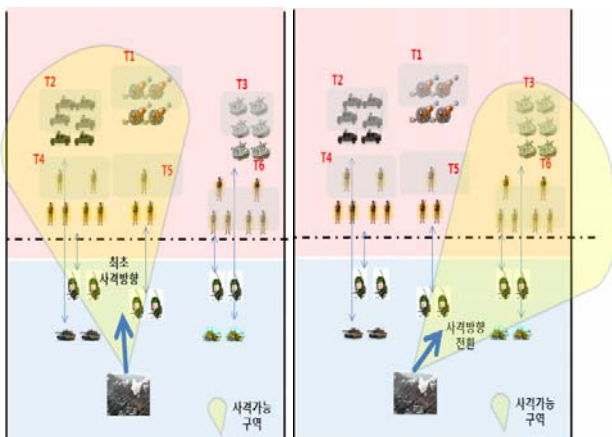
P_k = k방호상태에 있는 병사의 구성비율(%)

(SSPK)_{irk} : i무기체계가 사격한 r탄약의 k방호상태에

있는 경장갑차 및 전차에 대한 단발과파 확률

- k : 경장갑차 및 전차의 방호상태
- P_k : k방위상태의 경장갑차 및 전차의 구성비율(%)
- f : 상관계수(수정계수)

기호 (3), 기호 (4)는 적 표적 파괴소요시간이며, 간단한 예로 A사격방향에 있는 임의의 적 표적 i 를 파괴하기 위해 아군의 포병포탄이 10발 필요하며, 이때 아군 포병의 분당 발사속도가 2발/분이라고 한다면 임의의 적 표적 i 에 대한 파괴소요시간 PTA_i 은 5분이다. 식 (5), 식 (6)은 적 표적의 최초 잠재화력값을 파괴소요시간으로 나눈 값이며, 본 논문에서는 손실지수라 명한다. 기호 (7), 기호 (8)는 적 표적의 사격작전 시간 t 에서의 잠재화력 값이며, 아군의 포병부대로부터 타격을 받기 전까지는 최초 잠재화력값을 유지하다가 아군의 포병부대로부터 타격을 받기 시작하면 가정사항 (4)에 따라 시간에 비례하여 감소한다. 기호 (9)는 표적 집합 U 에 있는 모든 표적($n+m$ 개)을 사격 완료하는데 소요되는 시간이다. 기호 (10)은 사격방향 전환 소요시간이다. 포병 화포는 최초 설치된 사격방향에서 45도 범위내의 표적들은 추가적인 화포 재설치 없이 사격이 가능하나 <그림 2>에서 보는 바와 같이 작전반경이 넓은 경우는 화포를 재설치하여 사격방향을 전환 후 표적을 사격하여야 한다. 이때 사격방향을 전환하는 동안에는 포병부대의 사격이 불가능하며, 화포를 재설치하기 위해 일정한 사격방향 전환 소요시간이 소요된다. 사격방향 전환 소요시간은 기상조건과 부대훈련 수준에 따라 결정된다.



<그림 2> 사격방향 전환 예

식 (11)는 A사격방향에 존재하는 적 표적 i 가 전쟁개시부터 사격작전 종료 시까지 아군 작전지역에 있는 인원, 장비에 발생시키는 피해 값이며, 식 (12)는 B사격방

향에 존재하는 적 표적 j 가 아군 작전지역에 발생시키는 피해 값이다. 목적함수 식 (13)은 아군의 피해값 최소화를 추구한다. 제약식 (14), 제약식 (15)는 전쟁 상황에서 각 사격방향에 적 표적이 존재하는 것으로 양의 값을 가진다. 식 (16), 식 (17)은 적 표적이 전쟁이 시작될 때 최초의 잠재화력 값을 가지다가 아군의 포병 사격작전간 잠재화력 값이 감소함을 나타내며, 어떠한 적 무기체계도 전쟁 중 전력이 증가되는 경우가 없음을 나타낸다. 즉 모든 적 표적은 전쟁이 시작되면 최초의 전력보다 감소하게 된다. 식 (18)은 아군의 포병 사격작전 중 사격방향 전환이 발생 하며, 사격방향 전환 소요시간은 사격작전 총 소요 시간의 일부임을 나타낸다. 식 (19), 식 (20)은 아군의 피해를 최소화하기 위해 사격작전을 실시해야 함을 나타낸다.

3.3 비계획 사격순서 결정 알고리즘

비계획 사격순서 결정에서 가장 중요한 것은 작전목적 달성과 아군의 피해를 최소화 하는 것이다. 본 논문에서는 임무 부여된 모든 표적을 파괴하면서 아군의 피해를 최소화하기 위한 사격순서 결정방법을 제안한다.

전쟁은 쌍방의 타격과정으로 진행되기 때문에 적군과 아군의 피해는 전쟁 시작과 동시에 발생하게 된다. 즉, 산업현장의 제조공정 시스템에 적용하면 공정시작과 동시 최초부터 손실이 발생하는 특별한 상황과 같다고 할 수 있다.

McNAUGHTON은[9] 단일기계에서 처리되어야 하는 모든 작업의 납기기한이 0이면 즉, 모든 작업은 공정시작과 동시 손실이 발생하는 상황이면, 단위시간당 손실이 가장 크게 발생하는 작업부터 우선순위를 부여하여 작업 일정을 결정하는 것이 아니라 작업 소요시간 대비 단위시간당 발생하는 손실이 가장 큰 작업부터 우선순위를 부여하여 작업일정을 결정하는 것이 모든 작업을 완료할 때 발생하는 총 손실을 최소화하는 작업순서 결정 방법임을 증명하였다. 이는 단일방향의 사격순서 결정 상황과 유사하여 단일 방향에서의 비계획 사격순서 결정에서 적 표적의 잠재화력 값과 파괴소요시간으로 사격순서를 결정하는데 응용할 수 있으며, 본 논문에서는 이를 발전시켜 양방향에서의 사격순서 결정 알고리즘을 제안한다.

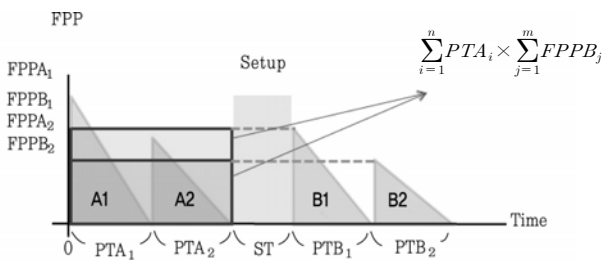
두 개의 사격방향이 존재하는 비계획 사격작전에서 아군의 총 손실 값을 최소화하기 위해 가장 중요한 요소 중 하나는 사격방향의 전환여부이다. 포병부대가 사격방향을 전환하는 동안에는 사격작전을 할 수 없으며 아군의 피해만 발생하는 시간이기 때문이다. 따라서 사격방향을 전환해서라도 아군의 총 피해 값을 최소화하기 위

해 우선적으로 사격해야 할 표적이 존재한다면 사격방향 전환시간 동안의 아군 피해를 감수하고 사격방향을 전환하지만 그렇지 않다면 사격방향을 전환하지 않고 계속해서 사격을 해야 할 것이다.

사격방향 전환여부는 다음과 같이 판단한다.

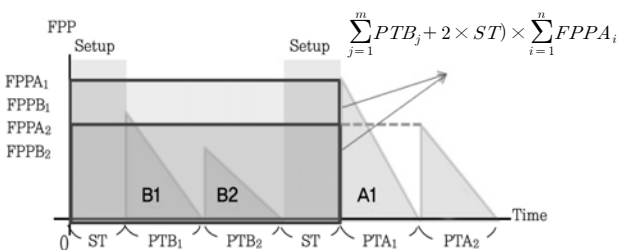
$$\sum_{i=1}^n PTA_i \times \sum_{j=1}^m FPPB_j \leq (\sum_{j=1}^m PTB_j + 2 \times ST) \times \sum_{i=1}^n FPPA_i$$

간단한 예로 위 식에서 최초 사격방향이 A구역, 사격방향 전환이 필요한 구역이 B구역이며 각 방향마다 사격해야 할 표적이 존재할 경우 좌변 $\sum_{i=1}^n PTA_i \times \sum_{j=1}^m FPPB_j$ 은 <그림 3>에서 보는 바와 같이 최초 사격방향에 존재하는 모든 표적을 먼저 사격한 후 B구역에 있는 모든 표적을 사격함으로써 발생하는 아군의 피해 값으로, A구역에 있는 모든 표적들의 사격소요시간 동안 B구역에 있는 모든 표적들의 잠재화력 값만큼 발생하는 피해 값이다.



<그림 3> 최초사격방향 내 표적 우선 사격시

위식에서 우변 $(\sum_{j=1}^m PTB_j + 2 \times ST) \times \sum_{i=1}^n FPPA_i$ 은 <그림 4>에서 보는 바와 같이 사격방향 전환 후 B구역에 있는 모든 표적을 먼저 사격하고 다시 사격방향을 전환하여 최초 사격방향인 A구역에 있는 모든 표적들을 사격함으로써 발생하는 아군의 피해 값으로, 두 번의 사격방향 전환 시간과 B구역에 있는 모든 표적들의 사격소요시간 동안 A구역에 있는 모든 표적들의 잠재화력 값만큼 발생하는 피해 값이다.



<그림 4> 사격방향 전환 후 표적 사격시

즉, 사격방향 전환시간과 사격방향 전환여부에 따라 동일한 표적들로부터 아군에게 발생하는 피해 값은 달라지며, 위 조건식으로 아군의 피해 값을 최소화 하도록 사격방향을 결정한다.

비계획 사격순서 결정 절차는 아군의 총 피해 값을 최소화 하도록 사격방향을 결정하고, 결정된 사격방향에서 손실지수 값이 가장 큰 표적을 선정하여 사격한다. 이후 다시 아군의 총 피해 값을 최소화하는 사격방향을 결정하여 표적을 선정하고 사격하는 절차를 반복하여 모든 표적의 사격순서를 결정한다.

<비계획 사격순서 결정 알고리즘>

- Step 1 : If $\sum_{i=1}^n PTA_i \times \sum_{j=1}^m FPPB_j \leq (\sum_{j=1}^m PTB_j + 2 \times ST) \times \sum_{i=1}^n FPPA_i$
참이면 Setp 2로 이동, 거짓이면 Step 5로 이동
- Step 2 : U_A에 표적이 있으면 d_i가 가장 큰 표적 i 선택하고 Step 3으로 이동
U_A에 표적이 없고 U_B에 표적이 있으면 Step 5로 이동
U_A에 표적이 없고 U_B에도 표적이 없으면 Step 8로 이동
- Step 3 : PT_i만큼 표적 i 타격
- Step 4 : U_A에서 표적 i 제거, U_A에 표적이 남아 있지 않으면 Step 5로 이동
U_A에 표적이 남아 있으면 Step 1로 이동
- Step 5 : U_B에 표적이 있으면 d_j가 가장 큰 표적 j 선택하고 Step 6으로 이동
U_B에 표적이 없고 U_A에 표적이 있으면 Step 2로 이동
U_B에 표적이 없고 U_A에도 표적이 없으면 Step 8로 이동
- Step 6 : PT_j만큼 표적 j 타격
- Step 7 : U_B에서 표적 j 제거, U_B에 표적이 남아 있지 않으면 Step 2로 이동
U_B에 표적이 남아 있으면
IF $\sum_{j=1}^m PTB_j \times \sum_{i=1}^n FPPA_i \leq (\sum_{i=1}^n PTA_i + 2 \times ST) \times \sum_{j=1}^m FPPB_j$
참이면 Step 5로 이동, 거짓이면 Step 2로 이동
- Step 8 : 사격임무 종료

3.4 예제

<표 2> 비계획 사격작전 예제

Target	U _A				U _B	
	A1	A2	A3	A4	B1	B2
FPP _i , FPP _j	6	8	4	12	10	5
PTA _i , PTB _j	2	3	1	5	3	1
da _i , db _j	3	2.67	4	2.4	3.3	5

주) 최초 설정한 사격방향 : A방향.

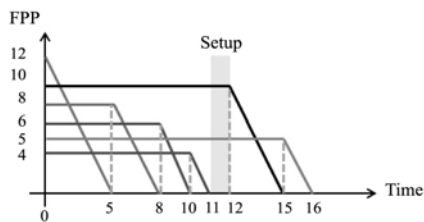
<표 2>와 같이 사격해야 할 표적이 존재할 경우 표적 사격순서 경우의 수는 (4+2)!개이며, 실제 전쟁에서는 (n+m)!개로 경우의 수가 매우 다양할 수 있다. 그러나 실무부대에서 사용하고 있거나 가능성 있는 사격순서 결정 방법은 다음과 같다.

먼저, 실무부대에서 가장 보편적으로 사격순서를 결정하는 방법으로 사격방향 전환을 최소화 하면서 적 표적의 위협이 가장 큰 표적부터 사격을 실시하는 방법이다. 본 논문에서는 “Largest FPP and Setup 횟수 최소” 방법이라 명하며, 이 방법으로 <표 2>에 있는 표적들의 사격순서를 결정하면 A4 → A2 → A1 → A3 → Setup(A → B) → B1 → B2 순으로 사격순서를 결정할 수 있다.

두 번째 방법은 손실지수가 가장 큰 표적부터 사격을 실시하는 방법이다. 본 논문에서는 “Largest d” 방법이라 명하며, 이 방법으로 <표 2>에 있는 표적들의 사격순서를 결정하면, Setup(A → B) → B2 → Setup(B → A) → A3 → Setup(A → B) → B1 → Setup(B → A) → A1 → A2 → A4 순으로 사격순서를 결정할 수 있다.

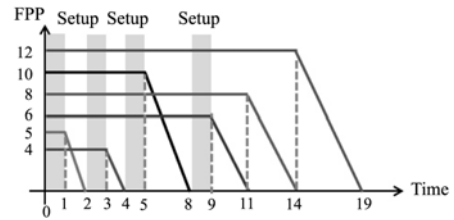
마지막 방법은 본 논문에서 제시한 비계획 사격순서 결정 절차에 의한 방법이다. 이 방법으로 사격순서를 결정하면, A3 → A1 → A2 → Setup(A → B) → B2 → B1 → Setup(B → A) → A4이다.

위 방법들에 의한 사격순서를 도식화 하고 아군의 총 피해 값을 산출하면 다음과 같다.



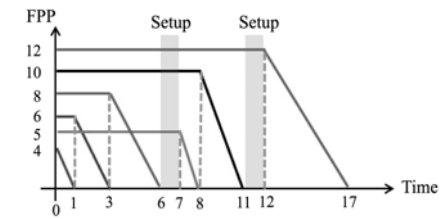
$$\begin{aligned}
 \text{Total Loss} &= \sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m B_j \\
 &= \int_0^T f\alpha_i(t)dt + \int_0^T fb_j(t)dt \\
 &= 390.5
 \end{aligned}$$

<그림 5> Largest FPP and Setup 횟수 최소 방법



$$\begin{aligned}
 \text{Total Loss} &= \sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m B_j \\
 &= \int_0^T f\alpha_i(t)dt + \int_0^T fb_j(t)dt \\
 &= 444.5
 \end{aligned}$$

<그림 6> Largest d 방법



$$\begin{aligned}
 \text{Total Loss} &= \sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m B_j \\
 &= \int_0^T f\alpha_i(t)dt + \int_0^T fb_j(t)dt \\
 &= 355.5
 \end{aligned}$$

<그림 7> 비계획 사격순서 결정 모델 방법

위의 예제를 세 가지 방법으로 비계획 사격작전을 실시한 결과 본 논문에서 제시한 비계획 사격순서 결정 알고리즘에 의한 방법이 다른 방법보다 아군의 총 피해 값이 최소화됨을 알 수 있다.

4. 실험 및 결과

4.1 문제 생성 및 가정 사항

제시한 비계획 사격순서 결정 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 실험으로 포병부대의 운용상황과 적 전술에 근거한 예제를 생성하였다. 사격부대는 1개의 견인포 포병대대이고 18문의 화포로 구성되어 있으며, 단위 시간당 사격 효과는 18문의 사격효과이다. 표적의 수는 10~40개로 결정하였으며, 표적의 잠재화력 값과 사격소요 시간은 불확실한 전쟁상황을 고려 무작위에 의한 방법에 의해 생성하여 적용하였다. 생성된 모든 표적들은 최초 설정된 사격방향에서 사격이 불가능한 표적이 존재하며, 이러한 표적은 사격방향을 전환한 후 사격이 가능하다. 실험에서는 사격방향전환 소요시간이 사격순서 결정방법에 미치는 영향을 판단하기 위해 아래 <표 3>과 같이 사격방향 전환 소요시간을 부대훈련 정도와 기상조건 등에 의해 가정하였다.

<표 3> 사격방향 전환 소요시간(분)

훈련 수준	기상 조건		
	양호	우천 시	혹한 및 강설 시
높음	2	3	4
보통	3	4	5
낮음	4	5	6

즉, 부대훈련 수준이 높고, 기상조건이 양호할수록 사격방향 전환소요 시간이 작으며, 훈련수준이 낮고 기상조건이 불리할수록 사격방향 전환소요 시간 크다.

4.2 실험 방법

실험의 목적은 본 연구에서 제안하는 사격순서 결정 알고리즘에 의한 사격순서 결정시 목적 값인 아군의 총 피해 값과 기존 사격순서 결정 방법으로 사격순서 결정시 아군의 총 피해 값을 비교하는 실험이다. 따라서 실험은 기존사격순서결정 방법 두 가지(Largest FPP and Setup 최소 방법, Largest d 방법)와 비계획 사격순서 결정 알고리즘을 Microsoft Visual C#으로 구현하여 PC(Core (TM) i5-2500 CPU 3.3GHz)상에서 실험하여 목적 값을 비교하였다.

실험은 표적 개수별(10~40개), 사격방향 전환 소요 시간별(2~6분)로 구분하여 실시하였으며, 제안하는 사격순

서 결정 알고리즘의 목적값과 기존 방법의 목적값과의 비교를 위해 기존 방법 중에 좋은 목적값과 제안 사격순서 결정방법의 목적값의 차이를 뜻하는 G-H Gap을 사용하였으며 그 식은 아래와 같다.

$$C-H\ Gap(\%) = \frac{|Z_C - Z_H|}{Z_C} \times 100$$

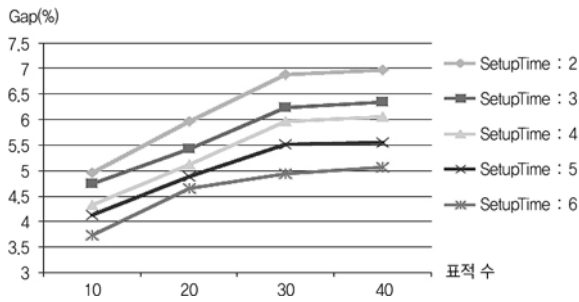
즉, C-H Gap은 아군 총 피해 값의 감소율이며, 여기서 ZC는 기존 사격순서 결정방법의 목적값, ZH는 본 연구에서 제안하는 비계획 사격순서 결정 알고리즘에 의한 목적값이다.

4.3 실험 결과

<표 4>는 기존 사격순서결정 방법과 비계획 사격순서 결정 알고리즘으로 사격작전을 실시했을 때 목적값과 총 사격소요 시간이다. <표 4>에서 보는 바와 같이 총 사격소요 시간은 논문에서 제안한 방법이 Largest FPP and Setup 최소 방법보다 소폭 증가하지만, 모든 실험 문제에 대하여 목적값 즉, 아군의 총 피해값이 최소화됨을 알 수 있다. 모든 실험에서 각 알고리즘의 계산 시간은 0.01초 미만이었으며, 이는 포병부대의 운용상황과 전장상황의 현실성을 고려한 문제크기 설정 결과로서 짧은 시간에 모든 문제의 해 산출이 가능하였다.

<표 4> 실험 결과

사격방향 전환소요 시간 (분)	문제의 크기 (A,B 방향 표적 수)		Largest FPP & Setup 최소 방법		Largest d		제안 방법		Gap (%)
	최초 사격 방향	차후사격 방향	총 피해 값	사격소요 시간	총 피해 값	사격소요 시간	총 피해 값	사격소요 시간	
2	5	5	2743.58	45.04	3148.16	55.52	2614.20	48.84	4.96
	10	10	10629.70	89.78	11648.02	104.70	10031.00	96.10	5.97
	15	15	23856.07	134.52	25436.08	151.36	22319.84	143.60	6.88
	20	20	42335.20	180.46	44589.35	198.26	39573.01	191.26	6.98
3	5	5	2791.69	44.84	3261.14	58.22	2665.10	50.12	4.75
	10	10	10808.45	90.14	12430.81	111.44	10251.61	98.06	5.43
	15	15	24047.40	134.00	26645.95	159.08	22637.11	144.32	6.23
	20	20	42599.86	180.00	46233.06	206.52	40059.16	193.44	6.34
4	5	5	2792.26	44.22	3581.58	62.86	2676.12	50.22	4.34
	10	10	11028.27	90.60	13605.81	121.24	10491.13	99.40	5.12
	15	15	24267.31	134.00	28088.12	166.72	22900.60	146.08	5.97
	20	20	43027.96	180.04	48309.30	215.40	40573.28	195.08	6.05
5	5	5	2958.44	45.16	3978.84	68.86	2841.18	52.16	4.13
	10	10	11139.55	90.60	14477.46	128.10	10621.24	100.30	4.88
	15	15	24718.86	135.74	30223.95	179.24	23425.21	149.14	5.52
	20	20	43283.56	180.74	50295.96	224.84	41003.76	197.64	5.56
6	5	5	2945.87	44.78	4179.67	73.46	2839.89	51.62	3.73
	10	10	11210.11	89.64	14948.24	132.96	10710.98	101.28	4.66
	15	15	24523.40	135.52	31238.81	185.08	23366.75	149.80	4.95
	20	20	42961.31	178.66	51992.59	231.94	40886.85	196.06	5.07



〈그림 6〉 사격방향 전환소요시간과 표적 수에 따른 목적 값 차이 분석

4.4 실험결과 분석

〈그림 6〉은 사격방향 전환소요 시간과 표적 수에 따른 기존방법과 제안방법의 목적 값의 차이이다. 〈그림 6〉에서 보는 바와 같이 동일한 문제 크기에서는 사격방향 전환소요시간이 증가할수록 아군의 피해 값 감소율이 감소함을 알 수 있다. 예로, 표적 수가 40개일 때, 사격방향 전환소요 시간이 2분인 경우에는 아군의 피해 값 감소율이 6.98%, 6분일 경우에는 5.07%로 사격방향 전환소요 시간이 증가할수록 아군의 피해 값 감소율이 감소한다. 반면, 사격방향 전환소요시간이 동일할 때, 표적 수가 증가할수록 아군의 피해 값 감소율이 증가한다. 예로 사격방향 전환소요시간이 2분일 경우 표적수가 10개일 때 아군의 피해 값 감소율은 4.96%, 40개일 때 6.98%로 표적 수가 증가할수록 아군의 피해 값 감소율은 증가한다.

즉, 부대훈련 수준이 우수하고, 기상 조건이 양호 할수록 제안 모델에 의한 사격순서 결정시 더 우수한 성능을 보이며, 훈련수준과 기상조건이 동일할 경우 표적의 수가 증가할수록 제안 모델에 의한 사격순서 결정시 기존 방법 보다 더 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

5. 결 론

포병부대 비계획 사격작전은 전면전에서 매우 비중 있는 작전이다. 상당한 시간이 비계획 사격작전으로 진행되며 포탄의 사용량도 가장 많은 사격작전이다. 또한 비계획 사격작전간 다수의 적 표적을 타격하기도 하지만 많은 아군의 피해도 발생하게 된다. 이처럼 비계획 사격작전이 매우 중요함에도 불구하고 지금까지 아군의 피해를 최소화하기 위한 비계획 사격순서 결정 문제에 대한 연구는 미흡하였다.

본 논문에서는 비계획 사격순서 결정문제에 대해 표적의 위협정도와 파괴소요시간 그리고 사격방향 전환 소요시간을 동시 고려한 사격순서 결정 절차를 제시하여 기존 방법보다 아군의 피해를 4~6% 이상 감소시키는 효과를 보였다. 이는 수백여 포병부대가 논문에서 제시한 알고리즘을 적용하여 비계획 사격작전을 실시할 경우 상당한 아군의

인원 및 장비의 피해를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

논문에서 제시한 알고리즘은 정성적인 요소를 제외한 객관적이고 과학적인 비계획 사격순서 결정을 위한 의사결정 수단이다. 따라서 야전 현장에서 비계획 사격순서 결정시 지휘관은 본 알고리즘의 결과와 작전임무와 상황 그리고 상급부대 의도 등 정성적인 요소를 동시 고려하여 최종적으로 사격순서를 판단해야 한다.

현재 포병부대에서는 대대급 전술사격통제기(Battalion Tactical Command System, BTCS)이 개발되어 운영 중이며, 이 시스템은 포병사격작전에 대한 계획, 실시, 평가 단계를 전산화 하여 작전임무를 수행하도록 하는 시스템이다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 아군의 피해를 최소화하기 위한 사격순서 결정 모델로서 대대급 전술사격통제기에 탑재할 경우 긴박한 전술상황 속에서 신속한 사격순서 결정을 위한 의사결정 수단으로 사용 될 것으로 예상된다.

향후 과제로서, 본 모델은 비계획 사격순서 결정 문제만을 고려하였으나, 계획 사격 표적 할당과 순서 결정 문제에도 아군의 피해를 최소화하기 위한 연구가 필요하며, 아군의 피해를 최소화 하는 동시 총 사격소요시간도 최소화 하는 모델 개발이 필요하다.

참고문헌

- [1] 국방부; 국방백서, 2009.
- [2] 김기호; “포병부대 계획표적 사격순서 결정에 관한 연구”, 석사학위논문, 고려대학교, 2002.
- [3] 김동현; “표적할당과 사격순서의 동시 결정 문제를 위한 발견적 기법”, 석사학위논문, 연세대학교, 2008.
- [4] 김충영; 군사 OR 이론과 응용, 두남, 309-330, 2010.
- [5] 김태현; “공유표적을 포함한 사격순서 결정에 관한 연구”, 석사학위논문, 연세대학교, 2002.
- [6] 육군본부; 화력운용실무, 2004.
- [7] 황원식; “스케줄링을 이용한 계획표적 사격순서 최적화에 관한 연구”, 석사학위논문, 국방대학교, 2006.
- [8] Baker, K. R., Lawler, E. L., Lenstra, J. K., and Rinnooy Kan, A. H. G.; “Preemptive Scheduling of a Single Machine to Minimize Maximum Cost Subject to Release Dates and Precedence Constraints,” *Operations Research*, 31(2) : 381-386, 1983.
- [9] Cha Y. H. and Kim Y. D.; “Fire scheduling for planned artillery attack operations under time-dependent destruction probabilities,” *OMEGA*, 38(5) : 384-392, 2010.
- [10] Kwon, O. J., Kang, D. H., Lee, K. S., and Park, S. S.; “Targeting and Scheduling Problem for Field Artillery,” *Computers and Industrial Engineering*, 33 : 693-696, 1997.
- [11] McNaughton, R.; “Scheduling with Deadlines and Loss Functions”, *Management Science*, 6 : 1-12, 1959.