

**스케줄링을 이용한 계획표적  
사격순서의 최적화에 관한 연구  
[야전포병부대를 중심으로]**

*이재영/황원식(국방대학교)*





스케줄링을 이용한

# 계획표적 사격순서 최적화에 관한 연구



## 순서

- 연구 배경 및 목적
- 포병 사격 체계
- 기존 연구 고찰
- 최적화 모형 구축
- 모형 적용 사례
- 결론 및 향후 연구과제



## 연구 배경 및 목적

3

- 장차전은 첨단화된 무기체계와 최근의 전쟁양상을 고려할 때 화력전의 성공 여부가 전쟁의 결정적인 영향 초래
- 화력전은 초전에 전투의 승패를 결정짓는 핵심요소
- 전투 이론을 보장하기 위한 우세한 화력의 성취는 수적우위와 기술적 우위에 의하여 달성될 수 있음
- 그러나 현재 한국군의 포병전력은 수적으로 북한군에 비해 열세한 실정
- 이러한 열세를 극복하기 위해서는 대화력전의 중요성을 인식하고 첨단기술을 이용한 신속/정확한 타격으로 적에게 치명적인 피해를 주어야 함

Operations Research 2005



## 포병사격 체계

4

- 화력운용시 여러부대가 동시에 집중하여 사격하는 것은
  - 적에게 대응시간을 박탈하고 여유시간을 최소화하고
  - 적에게 최대의 피해를 줄 수 있음
- 사격종료시간을 최소화 함으로써 작전운영의 융통성을 보장해 줄 수 있으므로
- 화력을 집중하고 신속하게 사격을 마치기 위해서는
  - 각각의 표적을 적절히 분배하여 최대한 빠른 시간에 사격을 완료하도록 사격계획표를 작성해야 하고
  - 또한 사격계획표 작성시 예상되는 상황과 우발상황을 고려하여 정확히 작성해야 함
- 따라서 본 연구에서는 여러 상황들을 고려하여 최대한 빠른 시간에 사격을 마칠 수 있는 사격순서를 결정하고
- 그 결과를 바탕으로 사격계획표를 작성하고자 함

Operations Research 2005



# 포병사격 체계 (계속)

## ■ 포병의 기능은

- 대포, 로켓 및 유도탄 등으로 아군의 기동을 지원하고, 적의 기동을 방해하기 위해 화력전투 수행
- 기동부대에 대한 근접화력지원, 대화력전 및 중심화력전투 수행
- 따라서 효과적인 화력전투를 위해 화력지원계획 작성

## ■ 화력지원계획은 통합화력을 운용하기 위해

- 임무를 분석하고, 가용화력지원수단을 통합하며,
- 예하부대에 화력자산을 할당하며, 화력을 협조하는 일련의 과정

## ■ 화력계획은 화력지원계획을 실행하기 위해

- 작전부대장이 요구하는 시간과 장소에 효과적인 화력지원을 위해
- 사전에 준비 및 계획하는 표적선정의 일련의 연속과정이고
- 도식부분, 서식부분, 표적일람표, 사격계획표로 구성됨
- 표적일람표는 계획표적의 재원을 기록한것



# 포병사격 체계 (계속)

## ■ 사격계획표는 지휘관 지침에 기초를 두고

- 요청받은 표적, 표적정보, 요망효과, 부대자체적 발전시킨 표적 작성

순위	부대	표적번호	발수	TOT	비고

- 사격부대 결정은 주어진 표적을 사격이 가능한 거리내의 부대로 결정
- 탄약의 종류와 양, 표적의 형태와 성질, 및 표적 타격 요망효과에 따라 사격지휘장교가 결정
- 타격요망효과는 제압, 무력화, 파괴의 3가지가 있으며
- 도해식 탄약 효과도표(GMET)를 이용하여 사격발수 결정

사격 방법	환경 (미터)	탄 종	중 격								항 격							
			포대일격사				대대일격사				포대일격사				대대일격사			
			30	20	.10	1발 일격사	30	20	.10	1발 일격사	30	20	.10	1발 일격사	30	20	.10	1발 일격사
80	PD	공	공	21	.01	공	7	3	.06	공	9	3	.01	공	공	3	.02	
		VT	17	11	6	.03	6	4	2	.09	29	12	2	.02	8	2	.04	
		ICM	4	3	초	.12	1	초	초	.30	5	1	초	.06	초	초	.15	
		PD	공	공	28	.01	공	8	3	.06	공	공	공	.01	공	공	4	.01



# 포병사격 체계 (계속)

- 화기지원표를 통해 화기별 사격준비 소요시간, 발수당 소요시간, 사거리등을 알 수 있음
- ※ GMET와 화기지원표를 통해 사격지속시간을 알 수 있음

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

모형구성에  
필요한 값

각 표적에 대한 사격 참가 부대  
각 표적에 대한 사격참가부대의 사격시간



# 포병사격 체계 (계속)

- 사격계획표 작성시 작전운용상 변경해야 할 요소들이 있음
  - 우선순위에 의한 표적 순서 변경
    - 부대의 작전성공을 위해 타격해야 할 핵심표적이 있음
    - 다수의 표적 중 우선순위가 되며, 사격계획표 작성시 우선순위
  - 사거리 제한
    - 각 화기별 사격할 수 있는 한계가 있음
    - 사격계획표 작성 후 A개 대대가 사격 불가시 제외하고 사격실시 및 사격계획표를 재작성 해야함
  - 진지변환
    - 포병부대는 생존성 보장을 위해 진지변환을 실시
    - 이때 부대는 일정 시간동안 사격이 불가능함
  - 지휘관 의도
    - 적 상황은 지속적으로 변화됨
    - 일부 표적은 정해진 시간에 사격을 실시해야함(TOT)

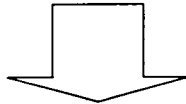
본 연구의 최종 목표는 실시간 변하는 상황을 고려 후  
모형작성을 통해 효과적인 사격계획표를 작성 하는 것임



## 포병사격 체계 (계속)

- 본 연구의 기본모형
  - 3개 대대와 3개 표적에 대한 사격순서

구분	시간 포대	0	2	4	6	8	10	목적함수
		사격순서 모형	A	T1		T2		
B	T1			T3				
C	T1		T2		T3			



※ 고려요소  
 ① T3은 3분부터 TOT  
 ② B1은 T1에 대해 사격불능(사거리 미달)  
 ③ T2는 핵심표적  
 ④ B는 1~3분동안 사격 불가(진지변환)

구분	시간 포대	0	2	4	6	8	10	목적함수
		본연구 모델	A	T2 (핵심)		T3		
B	임무불			T3				
C	T2 (핵심)		T3		T1			



## 기존연구 고찰

- 포병부대 계획표적 사격순서 결정문제
    - 생산현장에서 일어나는 제조공정 시스템의 일정순서 간주
    - 제조공정의 기계는 사격부대의 화포로, 일(job)은 표적이라 간주
    - 총 처리시간을 최소화 하거나 평균 flow time을 최소화 하는 문제
  - 본 연구는 개별 생산 시스템과 관련 문제임
    - 작업의 흐름이 일정하지 않기 때문에 복잡한 문제임
    - 분리(Disjunctive)그래프를 이용한 방법과 분단 탐색법 등의 방법으로 연구 (일반적으로 혼합정수 계획 모델을 이용)
    - 자원의 문제 남기일, 기계 고장시 스위칭 문제를 고려하지 못함
- ※ 본 연구는 포병의 특성상 위의 문제점이 고려되지 않아도 됨

ILOG OPL Studio 3.1을 이용하여 ILOG Cplex 로 문제를 풀고 사격계획표 작성 절차에 따라 사격계획표 작성



## 최적화 모형 구축

### ■ 수리적 모형

#### ● 가정 사항

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

*Operations Research 2005*



## 최적화 모형 구축 (계속)

#### ● 기호정의

- $W$  : 무기체계의 집합, 포대  $i \in W$
- $S$  : 표적들의 집합, 표적  $i, k \in S$
- $t_{ija}$  :  $i$  포대가  $j$  표적을 사격하는 시작시간(Start time)  
 $a$ 는 사격 우선순위(1:핵심, 2:일반)  
 ※  $t_{ija}$  :  $i$  포대가  $j$  표적을 사격하는 정해진 시작시간
- $f_{ija}$  :  $i$  포대가  $j$  표적을 사격을 종료하는 시간(Finish time)
- $f_d$  : 마지막 표적  $d$ 의 사격종료시간
- $p_{ija}$  :  $i$  포대가  $j$  표적을 사격하는 수행시간(Processing time)
- $W(j)$  :  $j$  표적을 동시에 사격하는 포대의 집합
- $x_{jk}$  : 0, 1 값을 갖는 변수, 즉  $j$  표적이  $k$  표적보다 먼저사격하면 1, 그렇지 않으면 0인 값을 갖는다.
- $y_{ij}$  : 0, 1 값을 갖는 변수, 사격을 실시하면 1, 그렇지 않으면 0
- $a_{in}$  :  $i$ 포대가  $n$ 분동안 사격을 못하는 시간
- 의사결정 변수(Decision variable) :  $t_{ij}, x_{jk}$

*Operations Research 2005*





## 최적화 모형 구축 (계속)

- 문제에 대해 사용된 수식

$$\min f_d \quad (1)$$

subject to

$$f_d \geq f_{ij} \text{ for all } i, j \quad (2)$$

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

$$f_{ij} = \bar{t}_{ij} + y_{ij} p_{ij} \text{ for all } i, j$$

$$t_{i2a} \geq t_{i1a} + y_{ij} p_{ij} - M(1 - x_{jk}) \text{ for all } i, j < k \quad (4)$$

$$t_{i1a} \geq t_{i2a} + y_{ij} p_{ia} - Mx_{jk} \text{ for all } i, j < k \quad (5)$$

$$t_{i_1, j} = t_{i_2, j} \text{ for } (i_1, i_2) \in \Pi(j) \quad (6)$$

$$x_{jk} \in 0, 1 \text{ for all } j, k \in I, j < k$$

$$y_{ij} \in 0, 1 \text{ for all } i, j \quad (7)$$

$$f_a = t_a + a_n \text{ for all } i \quad (8)$$

$$t_{ij}, f_{ij}, p_{ija}, a_i \geq 0 \quad (9)$$

Operations Research 2005



## 최적화 모형 구축 (계속)

- 수식에 대한 설명

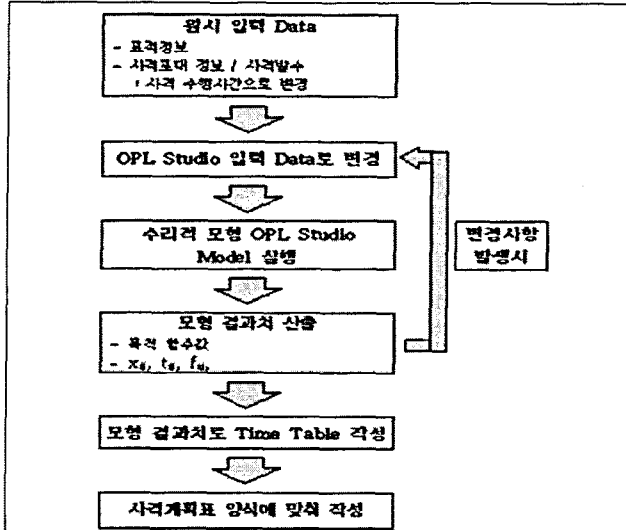
- (1) 은 마지막 표적 d에 대한 사격 종료 시간을 최소화
- (2) 는 i 포대가 j 표적 사격을 종료하는 시간 중에 가장 작은 값 선택
- (3) 은 i 포대가 j 표적을 사격할 때 마치는 시간은 i 포대가 j 표적을 사격한 시작시간( $t_{ija}$ )에 사격수행시간( $p_{ija}$ )을 더한 값
- (4) 와 (5)는 두 표적에 대한 사격 우선순위를 나타내는 제약식
- (6) 은 j 표적에 대해 사격할 수 있는 포대의 집합에 대해 동시사격 시작시간
- (7) 은  $x_{jk}, y_{ij}$  가 0, 1을 갖는 변수
- (8) 은 i 포대가 n분동안 고장난 시간
- (9) 는  $t_{ij}, f_{ij}, p_{ij}, a_n$  가 음이 아닌 실수 값을 갖는 것

Operations Research 2005



# 최적화 모형 구축 (계속)

## ■ 사격계획표 작성 절차



# 모형 적용 사례

## ■ 문제 구성

- ILOG OPL Studio 3.1을 이용하여 ILOG Cplex로 해 도출
- 가상 시나리오

<문제> 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.



# 모형 적용 사례 (계속)

Korea National Defense University

● 표적에 관한 정보

표적번호	표적종류	위치	중격수단	비고
a1	151사단 전방 지휘장사소	CT 410 255	포병	중격중비 파괴사격
a2	21연대 지휘장사소	CT 435 372	포병	중격중비 파괴사격
a3	151사포군에 편성된 152밀리 포병대대	CT 423 220	포병	중격중비 파괴사격
a4	151사포군에 편성된 122밀리 포병대대	CT 475 222	포병	중격중비 파괴사격
a5	151사포군에 편성된 130밀리 포병대대	CT 418 256	포병	중격중비 파괴사격
a6	22연포군에 편성된 120밀리 박격포대대	CT 456 248	포병	중격중비 파괴사격
a7	21연대 예하 1개 포병대대	CT 438 215	포병	중격중비 파괴사격
a8	22연포군에 편성된 152밀리 포병대대	CT 492 218	포병	중격중비 파괴사격
a9	고사포 대대	CT 423 285	포병	중격중비 파괴사격
a10	22연대 예하 1개 대대	CT 445 256	포병	중격중비 파괴사격

● 표적공격방법에 관한 정보

표적번호	요망효과	탄종	사격창기부대		사격수행 시간(분)	비고
			대대	방수		
a1	파괴	고폭탄	A	4(72발)	4	핵심표적
			B	4(72발)		
			C	4(72발)		
			D	3(36발)		
a2	파괴	고폭탄	A	3(54발)	3	핵심표적
			B	4(72발)		
			C	4(54발)		
a3	파괴	고폭탄	A	4(54발)	4	H·14분야 사격
			B	4(54발)		
			C	4(54발)		
a4	제압	고폭탄	B	4(54발)	2	C 대대 사격물가
			C	3(54발)		
			D	2(24발)		
			A	4(72발)		
a5	파괴	고폭탄	A	4(72발)	4	B 대대 사격물가
			B	4(72발)		
			D	3(36발)		
a6	제압	고폭탄	A	3(54발)	3	
			C	3(54발)		
			D	2(24발)		
a7	무력화	고폭탄	A	3(54발)	3	
			B	3(54발)		
a8	제압	고폭탄	B	4(72발)	2	
			C	3(54발)		
			C	3(54발)		
a9	제압	고폭탄	A	4(72발)	4	
			C	3(54발)		
			C	3(54발)		
a10	무력화	고폭탄	B	4(72발)	2	
			D	2(24발)		

※ A대대 : H·28~25중 사격 물가



# 모형 적용 사례 (계속)

Korea National Defense University

● 각 대대 사격시작시간 (t<sub>ij</sub>)과 종료시간 (f<sub>ij</sub>) 결과치

사격부대	사격시작시간	사격종료시간
A	start time A a1 = 0.0000	finish time A a1 = 4.0000
	start time A a2 = 4.0000	finish time A a2 = 7.0000
	start time A a3 = 14.0000	finish time A a3 = 16.0000
	start time A a4 = 29.0000	finish time A a4 = 29.0000
	start time A a5 = 7.0000	finish time A a5 = 11.0000
	start time A a6 = 20.0000	finish time A a6 = 23.0000
	start time A a7 = 11.0000	finish time A a7 = 14.0000
	start time A a8 = 11.0000	finish time A a8 = 11.0000
	start time A a9 = 25.0000	finish time A a9 = 29.0000
	start time A a10 = 18.0000	finish time A a10 = 18.0000
B	start time B a1 = 0.0000	finish time B a1 = 2.0000
	start time B a2 = 4.0000	finish time B a2 = 6.0000
	start time B a3 = 14.0000	finish time B a3 = 16.0000
	start time B a4 = 25.0000	finish time B a4 = 27.0000
	start time B a5 = 7.0000	finish time B a5 = 7.0000
	start time B a6 = 18.0000	finish time B a6 = 18.0000
	start time B a7 = 11.0000	finish time B a7 = 14.0000
	start time B a8 = 8.0000	finish time B a8 = 10.0000
	start time B a9 = 25.0000	finish time B a9 = 25.0000
	start time B a10 = 18.0000	finish time B a10 = 18.0000
C	start time C a1 = 0.0000	finish time C a1 = 4.0000
	start time C a2 = 4.0000	finish time C a2 = 8.0000
	start time C a3 = 14.0000	finish time C a3 = 18.0000
	start time C a4 = 20.0000	finish time C a4 = 23.0000
	start time C a5 = 8.0000	finish time C a5 = 11.0000
	start time C a6 = 7.0000	finish time C a6 = 11.0000
	start time C a7 = 20.0000	finish time C a7 = 23.0000
	start time C a8 = 11.0000	finish time C a8 = 11.0000
	start time C a9 = 25.0000	finish time C a9 = 28.0000
	start time C a10 = 18.0000	finish time C a10 = 18.0000
D	start time D a1 = 0.0000	finish time D a1 = 6.0000
	start time D a2 = 6.0000	finish time D a2 = 9.0000
	start time D a3 = 14.0000	finish time D a3 = 24.0000
	start time D a4 = 25.0000	finish time D a4 = 29.0000
	start time D a5 = 7.0000	finish time D a5 = 13.0000
	start time D a6 = 20.0000	finish time D a6 = 24.0000
	start time D a7 = 14.0000	finish time D a7 = 14.0000
	start time D a8 = 13.0000	finish time D a8 = 13.0000
	start time D a9 = 24.0000	finish time D a9 = 24.0000
	start time D a10 = 16.0000	finish time D a10 = 20.0000



## 모형 적용 사례 (계속)

### ■ 모형 결과를 Time-Table 에 도식한 결과

- 최초 고정된 값 입력

시간	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	목적 함수
포대																
A									T3							
B									T3			사격불가능				
C									T3							
D																

- 최종 사격 계획표 Time-Table

시간	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	목적 함수
포대																
A	T1	T2	T5	T7	T3						T6		T9			
B	T1	T2	T8	T7	T3	T6					사격불가능	T4				
C	T1	T2	T8				T3				T6		T9			
D	T1			T5					T8	T6			T4			

F<sub>0</sub>: 29분

-최종사격 완료시간은 29분 이 되며, 사격 불가능 시간 H+20~25  
 -사격순서 : a1-a2-a5-a8-a7-a3-a1-a6-a4, a9

Operations Research 2005



## 모형 적용 사례 (계속)

### ■ 사격계획표 작성 결과

순서	표적번호	부대	발수	TOT	비고
1	a1	A	4 (72발)	H ~ H + 4	4
		B	4 (72발)	H ~ H + 2	2
		C	4 (72발)	H ~ H + 4	4
		D	3 (36발)	H ~ H + 6	6
2	a2	A	3 (54발)	H + 4 ~ H + 7	3
		B	4 (72발)	H + 4 ~ H + 6	2
		C	4 (54발)	H + 4 ~ H + 8	4
3	a5	A	4 (72발)	H + 7 ~ H + 11	4
		D	3 (36발)	H + 7 ~ H + 13	6
4	a8	B	4 (72발)	H + 8 ~ H + 10	2
		C	3 (54발)	H + 8 ~ H + 11	3
5	a7	A	4 (54발)	H + 11 ~ H + 14	3
		B	3 (54발)	H + 11 ~ H + 14	3
6	a3	A	4 (54발)	H + 14 ~ H + 18	4
		B	4 (54발)	H + 14 ~ H + 16	2
		C	4 (54발)	H + 14 ~ H + 18	4
7	a10	B	4 (72발)	H + 16 ~ H + 18	2
		D	2 (24발)	H + 16 ~ H + 20	4
8	a6	A	3 (54발)	H + 20 ~ H + 23	3
		C	3 (54발)	H + 20 ~ H + 23	3
		D	2 (24발)	H + 20 ~ H + 24	4
9	a4	B	4 (54발)	H + 25 ~ H + 28	2
		D	2 (24발)	H + 25 ~ H + 29	4
10	a9	A	4 (72발)	H + 25 ~ H + 29	4
		C	3 (54발)	H + 25 ~ H + 28	3

Operations Research 2005



### 모형 적용 사례 (계속)

#### 모형 분석

- 작전상황을 고려하여 지속적으로 변경요소가 발생되더라도 신속 정확한 값으로 사격계획표 작성 가능
- ILOG Cplex로 최적해 값을 구하는데 걸리는 시간 5초 미만
- 어떤 요소를 얼마만큼 변경하는가에 따라 사격종료시간 차이가 남
  - 증가시키는 요소
    - 진지변환:고정된 일정 시간동안 사격불가능 시간 증가
    - 지휘관 의도:정해진 시간에 사격요소가 많을 경우
  - 감소시키는 요소 : 사거리 제한 등으로 사격 불가요소 증가시
    - ※ 사격 우선순위에 의한 표적 변경은 큰 영향을 주지 못함
- 포병의 특성을 고려하여 유휴시간을 적절히 이용할 경우 최종 사격종료시간을 좀더 단축할 수 있음
  - ※ 진지변환시 작전상황을 고려하여 이동시작시간을 융통성 있게 조정 가능함

Operations Research 2005



### 모형 적용 사례 (계속)

#### 유휴시간 활용방안

- 정해진 시간에 일정 시간동안 사격 불가능한 상태를 제외한 모델

시간 포대	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	목적 합수
A		T1	T2	T5	T7	T3					T6	T9				합 28분
B		T1	T2	T8	T7	T3	T8						T4			
C		T1	T2	T8			T3				T6	T9				
D		T1		T5				T8	T6	T4						

- 사격종료 시간은 28분임(1분 단축)
- B대대는 긴 유휴시간이 H+18~24분까지 6분간임
- 사격 불가능 시간을 18분 또는 19분 부터 5분간 편성한다면 최종 사격 종료 시간이 28분으로 됨(기존 29분)

Operations Research 2005



## 모형 적용 사례 (계속)

### ● 수학적 모형 활용시

- 사격 불가능을 임의의 표적이라 간주하고
- 사격 불가능 시간 5분을 사격 수행시간 5분으로 조정
- 총 10개 표적을 11개 표적이라 하고 ILOG Cplex로 최적해 구함

시간 포대	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	목표 합수
A		T1	T2		T5		T7	T3				T6		T9		f*: 28분
B		T1		T2		T8	T7	T3	T8		사격불가능			T4		
C		T1		T2		T8			T3			T6		T9		
D		T1				T5				T8		T6		T4		

- B대대는 사격 불가능 시간을 19분 부터 5분간 편성
- 사격종료 시간은 28분임(기존 29분에서 1분 단축)

Operations Research 2005



## 결론 및 향후 연구과제

- 작전 상황을 고려하여 사격 계획표 작성을 효과적으로 하기 위해 수리적 모형을 제시
- 모형에서 유휴 시간을 적절히 사용함으로써 사격완료시간을 최소화함
- 전술적인 기습 효과와 작전운영의 융통성을 고려한 사격 계획이 될 수 있으므로 작전수행에 큰 영향을 줌
- 계획표적 사격계획표 작성을 본 연구에서 제시한 절차에 따라 작성시 실무자에게 효과적인 보조 역할 수행
- 본 연구를 좀더 개발하여 BTCS에 접목시킨다면 실제 전투력 향상에 도움이 될것이라고 판단됨

Operations Research 2005