

유전자 알고리즘을 이용한 시간제약 포병 표적처리문제

(A Field Artillery Targeting Problem with Time
Window by Genetic Algorithm)

서 재 욱(Jae-Uk Seo)*, 김 기 태(Ki-Tae Kim)**, † 전 건 욱(Geonwook Jeon)***

초 록

네트워크 중심전(NCW) 및 효과중심작전(EBO)으로 대표되는 현대 및 미래전에서 포병의 신속하고 정확한 정밀타격능력은 전쟁 승패의 중요한 요인으로 작용될 것이다. 본 연구는 대화력전 및 화력지원간 실제 운용되는 환경 중 개도포병과 같이 타격제한시간이 있는 포병 표적처리에 관한 연구로 여러 가지 제한사항들을 모형화하여 표적할당 및 사격순서를 동시에 결정하는 문제이다. 본 연구에서는 시간제약이 있는 포병 표적처리문제에서 사격 제한시간을 만족하면서, 총 사격시간을 최소화하는 수리모형과 유전자 알고리즘을 제시하였다. 소형 문제를 이용한 축소실험으로 본 연구에서 제안하는 수리모형과 유전자 알고리즘의 타당성을 입증하였으며, 대형 문제를 이용한 확대실험에서 유전자 알고리즘으로 근사 최적해를 산출하였다.

ABSTRACT

Quick precision-strike capability of the artillery will be an important factor in modern and future war and it's represented by NCW and EBO. This study is based on artillery which has time limitation of firing, such as artillery which hides when not firing, and modeling various situations to decide firing order and who to shoot. The main purpose of this study is to suggest a mathematical programming model and a genetic algorithm which satisfies the limitation of firing time. The objective function is to minimize the total firing time to spend. The results of the suggested algorithm quickly gives a best solution for a large scale field artillery targeting problems

Keywords : Field Artillery Target allocation, Genetic Algorithm, Time Window

논문접수일 : 2010년 5월 24일 심사(수정)일 : 2010년 7월 7일 논문게재확정일 : 2010년 8월 20일

* 제 76보병사단

** 국방대학교 운영분석학과 박사과정

*** 국방대학교 운영분석학과 부교수

† 교신저자

1. 서론

과거의 전쟁수행 개념은 기동부대위주의 전투수행에 의해 진행되었으나 미래의 전장에서는 화력에 의해 전투수행이 진행될 것이다. 따라서 미래전의 승리를 위해 정보, 기동, 화력 및 첨단 과학기술의 상호 보완을 통해 지속적으로 발전하고 있으며, 이러한 과학기술의 혁신적인 발달로 최첨단 무기체계 및 장비를 사용한 걸프전 및 이라크 전쟁에서 연합군은 신속결정작전(RDO : Rapid Decisive Operation)과 효과중심작전(EBO : Effects-Based Operation)으로 단기간내 최소의 인명 피해로 군사적 목표를 달성하였고, ‘감시체계+정밀타격체계+디지털화된 네트워크’로 결합하여 실시간에 ‘표적획득 - 결심 - 타격’하는 새로운 전쟁 패러다임을 제시한 것으로 평가받고 있다. 이에 우리군도 다양한 무기체계 확보와 함께 다양한 화력의 통합능력의 효율성을 극대화하기 위한 과학적 운용방법과 능력이 요구되고 있다.

2008년도에 작성된 국방백서에 따르면, 북한은 평양-원산선 이남지역에 지상군 전력의 약 70%를 배치하고 있다. 특히 전방 지역에 배치하고 있는 170밀리 자주포 및 240밀리 방사포는 우리의 수도권을 사정권에 두고 있어 현 진지에서 수도권 지역에 대해 기습적인 대량집중사격이 가능하다. 따라서 군사분계선(MDL)일대까지 전진 배치되어 있는 다수의 북한의 개도포병 및 장사정포병은 개전 초 우리군의 수도권 방호에 매우 위협적인 요소로 작용할 것이며, 이러한 적 포병을 조기에 제압하지 못하였을 경우 아군의 전쟁수행 능력을 현저히 저하시킬 것이다. 하지만 우리군은 북한군 포병에 비해 수적으로 열세하다. 따라서 이를 극복할 수 있는 방법으로 첨단무기체계로 기술적 우위 확보, 융통성 있는 전술의 개발, 효과적인 포병 화력의 집중과 분산 등이 있으며, 추가로 화력분야의 효율적이고 과학적인 접근방법이 필요시 되고 있다.

이에 우리군은 효과중심작전(EBO)[1]을 기반으로 작전을 수행하고 있으며 지상군의 효과중심작전체계상에서 작전적, 전술적 수준의 요망효과 달성을 지향하는 효과위주의 작전을 수행하고 있고 포병에서도 효과위주작전[2]을 위한 다양한 과학적 방법론들이 제기되고 있다.

지상전 개념중 화력분야[3, 4]의 효과위주 정밀타격을 위해 준비해야 할 사항으로 실시간 표적획득 및 분석/전파, 통합화력운용, 장사정화, 정밀화, 치명성 증가로 효과위주의 타격이 필요하며 이를 위해 포병화력작전간 필요한 사항으로 첫째, 기습적이고 정확한 대량 집중사격이 필요하며, 둘째, 탄약 소모를 절감하여 지속적인 공격이 가능해야 하며, 셋째, 빠른 시간 내에 사격을 하고 추가로 획득되는 표적에 즉시 대응할 수 있어야 하며, 이를 충족시키기 위한 다양한 노력들이 진행되고 있다.

최근 화력전[5]은 레이더, UAV(Unmanned Aerial Vehicle), 적지중심작전팀에 의해 다양한 표적들이 식별되어 포병부대에 요청되고 있으며, 이러한 표적들은 표적획득수단에 따라 사격제한 시간이 있다. 따라서 사격시 우선순위에 의한 사격이 요구되며, 이를 위해 효과적인 표적할당(Target Allocation) 및 사격순서결정이 요구된다. 따라서 본 연구에서 제시하는 모형은 표적의 우선순위를 반영하고, 사격시간 및 포병 유희시간을 최소화하고 탄약을 절약할 수 있는 방법을 메타휴리스틱 기법중 하나인 유전자 알고리즘을 이용하여 효과적인 사격계획표를 작성하고자 한다.

2. 기존연구 검토

포병부대 표적 할당 및 사격순서 결정문제는 생산현장에서 일어나는 작업계획문제(Scheduling)[16, 18, 19]로 실제 산업현장에서는 작업 할당 방법 중 병렬기계(Parallel Machines)에서의 작업계획문제[13, 14, 21]로 대부분 발견적 작업계획 알고리즘(HSA : Heuristic Scheduling Algori-

thm)을 많이 사용하고 있다.

생산현장의 문제를 군 분야에 적용해보면 제조 공정의 기계들은 사격부대로 일(Jobs)은 표적(Target)이라고 생각할 수 있다. 하지만 사격계획문제는 1개의 일(Job)을 다수의 사격부대(Machine)가 동시에 처리할 수 있으므로 기존의 생산현장의 문제와는 차이점이 있다고 할 수 있다.

기존 연구된 병렬기계의 일정계획 수립문제는 기계의 작업능력이 동일하다는 가정 하에서 Karp[20]은 두 개의 동일한 기계에서 작업의 총 처리시간을 최소화하기 위한 일정계획문제가 NP-Hard임을 보였다. Hariri and Potts[15]에 의해 능력이 서로 다른 병렬기계의 문제에서 총 처리시간을 최소화시키는 일정계획으로 1단계에서 선형계획법으로 몇몇 작업을 기계에 할당하고, 2단계에서 나머지 작업을 할당하는 2단계(Two-Phase) 발견적 기법에 대해서 연구하였다.

이처럼 다양한 작업계획 문제는 군 분야중 포병표적할당 및 사격 순서에 관한 연구에 적용되고 있으며, 기존 연구로는 권오정[7, 17]이 최초 확정적 모형의 접근으로 표적을 사격하는 사격부대의 사격계획 스케줄링을 이용한 다중 처리 일정계획 문제의 하나로 작업이 여러 설비를 공유할 때 시작시간과 완료시간이 동일하다는 조건을 만족하는 경우로 국한되며, 1단계에서 Flood[16]가 표적 할당에 관한 문제로 적 위험 최소화 모형을 제시한 이래 라그랑지 완화법으로 적 위험과 비용최소화 모형의 하한값을 산출하여 표적 할당을 완료 후 2단계에서 할당된 표적으로 사격순서 결정문제에 대한 연구를 하였다. 그리고 김기호[8]는 권오정의 연구를 기초로 제시한 모형을 개별생산 시스템 수리모형을 이용하여 하나의 작업이 여러 설비를 공유할 때 해당 작업의 시작시간만 동일하다는 조건을 만족하는 경우로 사격 순서를 결정 문제를 개선하였으며 사격시간 최소화 문제를 사격 종료시간 최소화 문제로 적용하였을 경우 권오정이 제시한 마지막 표적 사격시작시간 최소화 문제

보다 더 효과적임을 증명하였다.

또한 김태현과 이영훈[10]은 사전 표적할당이 완료된 여러 표적 중 2개의 표적을 한 개의 조합으로 구성하여 사격 순서를 결정하여 전체 사격완료시간을 최소화하는 사격순서 결정문제로 발견적 기법(Heuristic)을 제시하였고 황원식과 이재영[12]은 김기호[8]의 개별 생산 시스템 문제를 포병사격문제로 이론적 틀을 마련하고 전장의 여러 전술적인 상황을 고려하여 개선된 사격 순서 결정 문제를 연구하였다. 이창완[11]은 사격순서 결정 문제를 이주 유전알고리즘으로 적용 가능성을 보였다. 김동현[9]은 전장의 여러 상황을 기초로 효율성과 유동성을 고려하여 사격이 요구되는 표적들을 최단시간 내 사격부대별로 표적을 할당함과 동시에 사격 순서를 함께 결정하는 문제로 할당된 표적의 사격 순서를 결정한 기존 문제와 차별화를 두었다.

본 연구는 김기호[8]의 사격순서 결정문제와 김동현의 표적할당과 사격순서 결정문제를 기초로 시간제약이 있는 갱도포병 표적처리문제에 적용하였다. 기존 연구들은 주어진 표적을 우선순위와 관계없이 표적할당 및 사격 순서를 결정하였으나, 본 연구는 표적획득수단별 사격제한시간을 기준으로 타격 우선순위를 결정하여 우선순위는 고정된 상태에서 사격 제한시간을 만족하면서 총 사격시간은 최소화하는 사격방법을 메타휴리스틱 기법중 유전자 알고리즘을 통해 연구하였다.

3. 문제정의 및 수리모형구축

본 연구의 범위는 실시간 발생하는 표적을 사격하는 포병체계에서 사격부대별 특성과 표적의 사격 수요를 고려하여 사격부대에 사격할 표적을 할당하고 할당된 표적을 표적 우선순위에 의해 사격 순서를 결정하여 전체 사격완료시간을 최소화하는 문제이다. 사전에 사격부대별 표적할당이 완료되어 계획된 표적의 사격 순서를 고려하거나 사

전 표적을 할당한 후 다음단계에서 사격 순서를 결정하는 문제와는 새로운 접근방법이며, 사격 순서와 표적할당의 동시결정문제 적용시 지휘관의 결심이나 표적획득수단에 의한 제한 시간내 타격 시간을 적용하여 표적 우선순위를 반영하였으며, 제약을 통해 탄약을 절약하면서 사격종료시간을 최소화하는 사격 순서를 결정하는 문제로 가정사항은 다음과 같다.

3.1 가정사항

- (1) 사격부대와 표적은 다수이다.
- (2) 사격부대별 능력(발사속도, 포탄효과)은 서로 다르다.
- (3) 사격부대의 능력에 따라 각각 사격할 수 있는 표적이 다르다.
- (4) 사격부대는 1개 표적을 사격한 후 다음 표적을 사격하기위한 준비시간이 필요하며 이때 사격부대별 준비시간은 다르다.
- (5) 사격부대는 한번 사격시 1개 표적만 사격 가능하다.
- (6) 1개 표적을 1개 이상 사격부대가 사격할 수 있다(여러 사격부대가 사격하는 것이 1개 사격부대가 사격하는 것보다 피해 효과면이나 탄약소모량, 시간사용량에서 효과적이다).
- (7) 1개 표적을 2개 이상 사격부대가 사격에 참가시 사격 시작시간은 같다(최초 동시 집중 사격을 위해 2개 이상의 사격부대의 사격시간은 같다).
- (8) 사격부대별 포탄 1발에 대한 사격의 효과와 소요시간은 각각 다르다.
- (9) 각 사격부대는 화포의 지속 발사속도로 사격을 한다.
- (10) 총 사격발수는 사격수요 이상 사격수요+1 발 이하로 사격이 가능하다.
(탄약 수요를 줄일 수 있다.)

- (11) 사격발수와 각종시간(초단위)은 정수이다.
- (12) 목적함수는 최종사격종료시간 최소화이다.

위의 가정사항은 실제 포병 사격체계를 반영하기 위한 것이며 가정사항을 적용하여 수리모형 및 유전자 알고리즘을 구성하였다.

3.2 수리모형

3.2.1. 용어정의

본 모형에서 사용되는 용어 정의는 다음과 같다.

용어정의

i : 표적, $i = \{1, 2, \dots, I\}$

j : 사격부대, $j = \{1, 2, \dots, J\}$

k : 1개의 사격부대가 표적 i 를 사격하는 순서,
 $k = \{1, 2, \dots, K\}$

W_j : 사격부대 j 가 사격하는 표적 i 의 집합

F_{ij} : 사격부대 j 가 표적 i 의 사격가능여부

D_i : 표적 i 의 사격 수요(Demand)

E_j : 사격부대 j 가 사격하는 포탄 1발(대대)의 효과(Efficiency)

PT_j : 사격부대 j 가 포탄 1발을 사격하는데 소요되는 시간(Processing Time)

SUT_j : 사격부대 j 가 1개 표적을 사격한 후 다음 표적을 사격하기 위해 필요한 준비시간 (Setup time)

결정변수

ST_{ij} : 사격부대 j 가 표적 i 를 사격한 시작시간

CT_{ij} : 사격부대 j 가 표적 i 를 사격한 완료시간

TCT : 최종 사격완료시간(Total Close Time)

R_{ij} : 사격부대 j 가 표적 i 를 사격한 포탄의 발수 (Round)

x_{ijk} : 사격부대 j 가 표적 i 를 k 번째로 사격여부 결정(0 or 1)

3.2.2. 수리모형

수리모형은 김기호[8]과 김동현[9]의 모형을 기초로 수정 보완하였으며, 사격종료시간을 최소화하는 목적식은 동일하며, 사격 우선순위에 의한 사격에 대한 제약과 탄발수 제약식을 추가하였으며, 이를 수리모형으로 표현하면 아래와 같다.

$$\text{Minimize } TCT \quad (1)$$

Subject to

$$TCT \geq CT_{ij} \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$ST_{ij} = ST_{iy} \quad \begin{matrix} \forall i, y, j, \\ j, y \in J, j \neq y \end{matrix} \quad (3)$$

$$ST_{1j} \leq ST_{2j} \leq \dots \leq ST_{ij} \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$CT_{ij} = ST_{ij} + PT_j R_{ij} \quad \forall i, j \quad (5)$$

$$CT_{ij} + SUT_j - M(1 - X_{ijk}) \leq ST_{hj} + M(1 - X_{hjk+1}) \quad \begin{matrix} \forall i, h, j, k, \\ i, h \in I, i \neq h \end{matrix} \quad (6)$$

$$M \times \sum_{k=1}^K X_{ijk} \geq R_{ij} \quad \forall i, j \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^J R_{ij} E_j \geq D_i \quad \forall i \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^J R_{ij} E_j \leq D_i + 1 \quad \forall i \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ijk+1} \leq \sum_{i=1}^I X_{ijk} \quad \begin{matrix} \forall j, k \\ (k = 1, 2, K-1) \end{matrix} \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ijk} \leq 1 \quad \forall j, k \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{ijk} \leq 1 \quad \forall i, j \quad (12)$$

$$R_{ij} \leq F_{ij} \quad \forall i, j \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{ijk} \leq F_{ij} \quad \forall i, j \quad (14)$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad (15)$$

$$ST_{ij}, CT_{ij}, TCT, R_{ij} \geq 0 \quad (16)$$

$$M: \text{ 큰 상수} \quad (17)$$

목적함수 식(1)은 주어진 표적을 모든 사격부대가 사격을 완료하는 최종 사격종료시간의 최소화를 의미한다.

제약식(2)는 사격부대 j 가 주어진 표적 i 의 사격을 완료한 시간은 최종 사격종료시간보다 작거나 같음을 의미한다. 이는 최종 사격종료시간은 마지막으로 사격이 종료된 사격부대 j 와는 사격종료시간이 동일하며, 그 외 사격부대보다는 최종 사격종료시간이 크다는 것을 의미한다.

제약식(3)은 1개의 표적에 2개 이상의 사격부대가 사격시 동일 표적에 대한 사격 시작시간은 동일해야함을 의미한다. 즉, 동시 집중사격으로 사격효과를 최대화 하기위한 것으로 동일표적에 대한 사격종료시간은 고려하지 않는다.

제약식(4)는 표적에 대한 우선순위를 부여한 것으로 최초 표적 우선순위를 부여한 순서대로 사격해야함을 의미한다.

제약식(5)는 1개 표적에 대한 사격종료시간을 의미하는 것으로 사격시작시간에 사격부대가 1발 사격시 소요되는 사격시간과 사격발수의 곱을 합한것을 의미하며 이는 사격준비시간이나 유희시간을 고려하지 않은 순수 표적만을 사격한 시간을 의미한다.

제약식(6)은 사격부대별 사격준비시간을 고려한 것으로 사격부대는 1개의 표적을 사격한 후 다음표적을 사격하기 위해서는 사격부대별 상이한 준비시간이 필요하다. 따라서 사격부대는 k 번째 표적을 사격한 이후 $k+1$ 번째 표적을 사격하기 위해서는 사격부대별 사격준비시간이 필요하다는 것을 의미한다. 즉, $X_{ijk} = 1, X_{ijk+1} = 0$ 인 경우, $ET_{ij} + SUT_j \leq M$ 이 되며 $X_{ijk} = 0, X_{ijk+1} = 1$ 인 경우에는 $-M \leq ST_{hj}$ 로 성립된다. 그리고 $X_{ijk} = 1, X_{ijk+1} = 1$ 인 경우에도 $ET_{ij} + SUT_j \leq ST_{hj}$ 가 되며, $X_{ijk} = 0, X_{ijk+1} = 0$ 인 경우 $-M \leq M$ 으로 성립된다.

제약식(7)은 사격부대가 사격을 참여시에만 해부대에 사격발수를 할당이 되는 것을 의미한다.

제약식(8)과 (9)는 사격부대별 포탄 1발의 사격효과와 사격발수를 고려하여 표적 할당시 사격수요를 만족해야하며 이때 사격수요+1이 초과되어서는 안된다는 의미로 탄약 소모를 감소시키면서

사격효과를 증대시키기 위한 것으로 1개 표적에 대해서 사격에 참가하는 각각의 사격부대가 사격하는 포탄 효과는 사격 수요보다는 크거나 같아야 하며 이때 상한선을 두었다.

제약식(10)은 1개의 사격부대는 사격우선순위에 의한 사격 순서대로 사격을 해야 하는 것을 의미하는 것으로 표적을 k 번째로 사격했을 때 $k+1$ 번째 사격도 가능하다는 의미로 1개의 사격부대가 1개의 표적을 k 번째로 사격하지 않고서는 $k+1$ 번째에 다른 표적을 사격할 수 없다는 것을 의미한다.

제약식(11)은 1개의 사격부대는 k 번째에 표적 1개에 대해서만 사격을 할 수 있음을 의미하고 이는 사격부대(대대)단위 사격을 의미한다.

제약식(12)에서는 1개의 사격부대는 1개의 표적에 대해 한번만 사격이 가능하다는 것을 의미하는 것으로 선·후행 관계를 나타낸다.

제약식(13)은 표적별 사격이 가능한 사격부대가 사전에 지정이 되어있어 사격을 해야만 사격발수가 할당되는 것을 의미한다. 즉, 사격부대별 사격부대가 표적을 사격할 수 있는 거리 한계(사거리) 이내에 위치하고 있는 표적만 사격할 수 있으며 사격부대별로 사격할 수 있는 표적의 개수에 차이가 있다.

제약식(14)는 사격부대가 표적의 사격 가능 여부에 따라 사격이 가능하면 M , 불가하면 0(Zero)이 된다.

제약식(15)~(17)은 (0, 1)정수제약 및 실수값을 의미한다. 결정변수 값의 범위를 위한 제약조건이다.

위 문제는 혼합 정수계획법(Mixed Integer Programming) 문제로서 최적해를 구하는데 많은 시간이 소요되며, 규모가 큰 문제에서는 해를 산출하는데 제한이 되는 문제점을 가지고 있다. ILOG CPLEX 11.1을 이용하여 산출결과 4개 사격부대 6개 표적에서 약 1시간 이상 소요되었다. 시간제한 표적할당 및 사격 순서 결정문제의 경우 사격 제한시간이 있어 실제 적용시 빠른 시간 내에 해

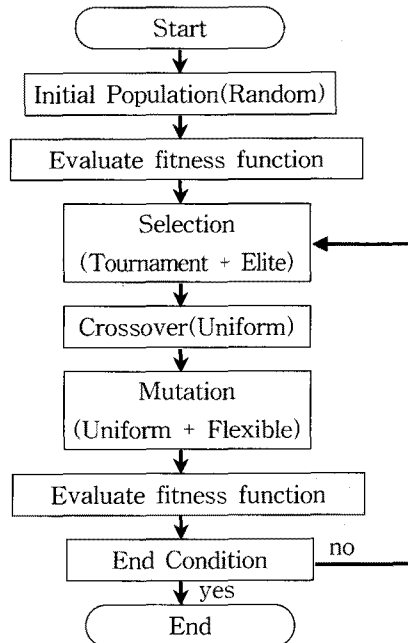
를 산출 가능한 기법이 필요하다. 따라서 메타휴리스틱 기법 중 목적함수나 제약식의 변화에 유연하게 대처가능하고, 조합 최적화 문제에 대처가능하며, 근사 최적해를 빠른 시간에 찾을 수 있는 유전자 알고리즘을 이용하여 문제를 해결하였다.

4. 유전자 알고리즘 모형 구축

본 연구에서는 전체 시스템의 목표 신뢰도를 만족하고, 비용을 최소화하도록 신뢰도를 할당하는 모형을 유전자 알고리즘[6]으로 구축하였으며, 수행절차는 다음 <그림 1>과 같다.

4.1 유전자 표현

유전자 표현(Gene Representation)은 잠재해의 유전자와 염색체 형질을 표현하는 것을 말하며, 진화과정과 유전연산을 고려하여 문제의 특성을 잘 반영할 수 있도록 표현되어야 한다. 유전자 알고리즘의 수행절차는 다음 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 유전자 알고리즘 수행절차

〈표 1〉 유전자 표현

| Target Troop | 1 | 5 | 3 | 2 | 4 |
|-----------------|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 4 |
| 2 | 0 | 5 | 1 | 0 | 2 |
| 3 | 2 | 4 | 0 | 3 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 |

유전자 알고리즘으로 일정계획 문제를 해결하기 위해서는 먼저 문제의 잠재해를 유전적 표현, 즉 염색체로 표현해야 한다. 이러한 유전자 표현은 유전자 알고리즘의 다른 절차(적합도 평가와 유전 연산자 적용 등)에 영향을 주므로 문제의 특성을 잘 반영할 수 있어야 한다.

본 연구에서의 유전자 표현은 다음 <표 1>과 같이 여러 개의 스트링으로 이루어진 다중 구조로 설정하였다. 세로축은 사격부대의 수만큼 생성되며, 그리고 가로축은 표적의 수만큼 생성하였다. 여기서 표적은 표적번호를 의미하며, 사격 순서는 왼쪽의 표적번호부터 오른쪽 순으로 사격한다. 즉 예를 들면, 아래 표에서 사격 순서는 1 → 5 → 3 → 2 → 4번 표적 순으로 사격을 하게 된다. 사격부대의 0~9까지의 수는 사격 참가여부와 발수를 결정하는 것으로 예를 들어, 1번 표적 사격시에는 사격부대 1과 3이 각각 3발과 2발을 사격하게 되고, 5번 표적에는 사격부대 2와 3이 각각 5발과 4발을 사격함을 의미한다. 이때, 사격 부대간 사격은 동시에 이루어져야 하므로 1번 표적 사격 완료 후 5번 표적사격이 가능하다.

이는 표적에 사격부대를 할당하며, 동시사격여건 보장과 동시에 사격 순서까지 결정 가능한 유전자표현 방법으로 유전자 알고리즘 과정을 통해 사격시간 최소화 모형을 달성하는 과정에서 최적 할당 및 사격 순서 결정이 가능하다.

4.2 초기 모집단

“최적해는 실행 불가능해 주변에 있다”라는 개

념에 의해 초기 모집단을 생성하는 방법이다. 다수의 초기 모집단(Initial Population)을 동시에 탐색을 하는 기법으로 좋은 초기 모집단은 해를 탐색하는 효율성을 증대시키므로 초기 모집단을 구성하는 알고리즘은 매우 중요하다. 초기 모집단을 구성하는 방법은 크게 발견적 기법(Heuristic)을 적용하는 것과 임의생성(Random Generate)으로 구분할 수 있다. 발견적 기법을 적용한 초기모집단은 일반적으로 좋은해를 구성하여 빠른 최적해 수렴을 유도할 수 있지만 다양한 해공간 탐색을 방해하고 국지 최적해(Local Optimum)에 수렴할 수 있다는 단점이 있다. 이에 비해 임의생성 방법은 다양한 해공간에 대한 탐색이 가능하지만 탐색 시간을 증대시켜 효율성을 감소시킨다. 따라서 본 연구에서는 초기 모집단을 구성하기 위해 발견적 기법과 임의생성 방법을 혼합하여 적용하였다. 이는 발견적 기법에 생성되는 모집단이 국소 최적해로 조기에 수렴하는 단점을 보완하면서 각 장점을 동시에 수용할 수 있도록 하였다.

4.3 선별 및 재생산

자연에서 환경은 더 적합한 생물들이 더 높은 생존기회를 갖도록 이들의 생존을 조절하는 기능을 가진다. 이런 환경을 통하여 생물들은 생존경쟁에서 이기면 살아남고 지면 도태하게 되는데, 선별 및 재생산은 적자생존(Survival of the fitness) 또는 자연도태(Natural Selection) 현상을 모방하려는 인위적인 메커니즘이다. 본 연구는 선별의 여러 가지 방법중 룰렛휠 방법을 채택하였으며, 이 선택에 기초한 방법은 크게 준비단계와 동작단계로 구분된다.

<준비단계>

단계 1 : 개체들의 적합도의 합을 계산한다.

$$fitness_{sum} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{TCT_i}$$

여기서, TCT_i 는 i 번째 개체(Popsize)의 총사격 종료시간으로 적합도인 $1/TCT_i$ 을 합으로 계산하였다.

단계 2 : 각 개체의 선택확률(Selection Probability)을 계산한다.

$$P_i(x) = \frac{fitness_{sum}}{TCT_i}$$

($1 \leq i \leq N$) 단, N 은 모집단의 수

단계 3 : 선택확률의 백분율에 따라 룰렛휠의 스톱면적을 할당한다.

<동작단계>

단계 1 : 룰렛휠을 수행하여 개체 하나를 선택한다.

단계 2 : 선택된 개체를 교배급원(저장장소)에 복제한다.

동작단계는 교배급원에 복제된 개체수가 집단 크기와 동일할 때까지 반복한다.

4.4 교차

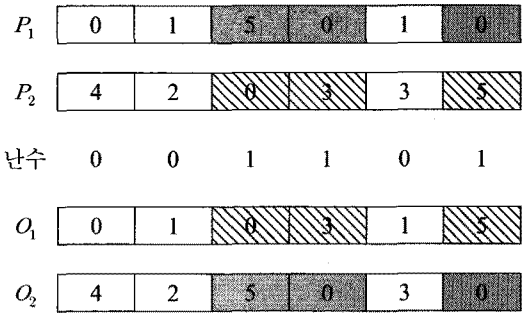
교차연산은 부모 세대의 개체를 조합하여 자손 세대를 형성하기 위한 과정으로 부모 세대보다 우수한 자손 세대를 만들어 낼 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 균등 교차(Uniform Crossover) 교차를 적용하였으며 세부 절차는 다음과 같다.

단계 1 : 각각의 개체들에게 난수를 발생시켜 교차율과 비교하여 교차 대상자를 선정한다.

단계 2 : 교차 대상자로 선정된 개체들에 대하여 짝을 지워준다.

단계 3 : 짝지어진 개체들에 대하여 비트 수 만큼 0과 1로 구성된 난수를 발생시킨다.

단계 4 : 난수가 1에 해당하는 두 부모 개체의 비트를 교차시켜 두 자손 개체를 생성한다.

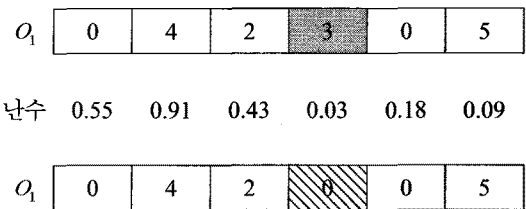


4.5 돌연변이

돌연변이는 의도적으로 부모 개체에 없는 형질을 갖게 하여 개체를 재생산하는 과정으로, 국부 최적해(Local Optimum)에 빠지거나 열등한 개체집단으로 수렴하는 것을 방지하는 유전 연산자이다. 본 연구에서는 균등 돌연변이(Uniform Mutation)를 적용하였으며 세부 절차는 다음과 같다.

단계 1 : 모든 개체의 비트마다 0~1사이의 난수를 발생시켜 돌연변이율과 비교하여 돌연변이 대상 비트를 선정한다.

단계 2 : 선정된 비트에 1에서 대안의 수와 같은 난수를 발생시켜 새로운 값으로 대체한다.



돌연변이율은 최초 0.05로 설정하였으며, 100세대가 진행되어도 해의 개선이 없으면 변동 돌연변이 1단계를 적용하여 돌연변이율을 0.05 증가시킨 0.1을 적용한다. 해의 개선이 이루어지면 다시 최초 돌연변이율로 조정되며, 변동 돌연변이를 적용한 후에 100세대가 진행되었는데 해의 개선

〈표 2〉 유전 파라미터

| 구분 | 모집단 (Pop-size) | 교차율 (P _c) | 돌연변이 율(P _m) | 종료 조건 |
|----|-------------------|--------------------------|----------------------------|----------|
| 값 | 100 | 0.8 | 0.05~0.3 | Pm=0.3 |

이 없으면 단계적으로 돌연변이율을 0.05씩 증가시켜 해의 개선을 유도한다. 이때 돌연변이율이 0.3에 도달하면 알고리즘을 종료한다.

4.6 적합도 평가

적합도 평가는 목적함수를 만족시키는 정도를 의미한다. 본 연구의 목적함수인 비용의 최소화를 위해 적합도 함수는 비용이 적을수록 높은 적합도 값을 얻을 수 있도록 다음 식(18)과 같이 총 사격 종료시간의 역수로 하였으며, 유전 연산자로 인해 생성된 실행 불가능 해는 적합도를 0으로 하여 선택되지 않도록 하였다.

$$fit(x) = \frac{1}{TCT} \quad (18)$$

4.7 유전 파라미터

유전자 알고리즘이 확률과 파라미터에 의하여 다양한 결과를 발생시키기 때문에 유전자 알고리즘의 성능을 좌우하는 몇 가지 요인들을 고려해야 한다. 이러한 요인들로는 모집단 크기(Pop-size), 교차 확률(P_c) 및 돌연변이 확률(P_m) 등을 들 수 있다. 여러 파라미터를 적용하여 반복 실험을 통해 알고리즘과 문제의 특성에 맞는 파라미터를 본 연구에 적용하였으며 적용된 파라미터 값은 다음 <표 2>와 같다.

5. 실험 및 결과분석

5.1 실험 설계

본 연구의 수리모형의 검증에 위하여 ILOG

CPLEX 11.1을 이용하여 최적의 화력계획표를 작성하였으며, 유전자 알고리즘은 Microsoft Visual C++ 6.0으로 구현하였으며, PC(Core2 Duo 2.13GHz, 2G RAM)로 실험하였다.

앞에서 제시한 수리모형은 혼합정수계획문제로 최적해를 구하는데 많은 시간이 소요되었으며, 규모가 큰 문제(사격부대의 수, 표적수)에서는 해를 산출하는데 제한이 되었다. 따라서 유전자 알고리즘 모형의 검증을 위해 사격부대 수 4개, 표적 6개인 경우를 예로 들어 결과를 산출하였다. 4개의 사격부대는 4개 종류의 사격부대를 각각 1개 선정하였으며, 6개의 표적은 표적 획득수단별 1개 표적과 실제 다수 획득되는 레이더 표적과 적지중심팀 표적을 추가로 1개씩 선정하였다. 위의 데이터를 적용하여 최적해 산출결과 약 1시간이 소요되었다. 소폭의 사격부대 또는 표적수의 증가에 최적해 계산시간 증가폭은 매우 컸으며, 일정 값 이상에서는 해를 찾을 수 없었다. 계산시간은 실제 야전부대 운용측면에서 매우 중요한 요소이며, 따라서 실제 야전부대에서의 적용이 가능한 큰 규모의 문제를 해결하기 위해 유전자 알고리즘을 이용하였다.

기존 연구들에서 표적이 할당된 후에 사격 순서만을 결정하는 문제에 대한 발견적 기법은 표적에 할당된 부대수를 기준으로 할당하는 방법으로 대화력전 등 포병화력 필요 상황을 기준으로 예제를 작성하였으며, 1개의 사격부대는 총 18문을 보유하고 있으며, 따라서 알고리즘에서 제시된 1발은 실제 18발의 효과를 나타내며, 사격부대는 3개~10개 대대로 포병단급부터 사단급까지 구성하였다. 표적수는 사격부대수의 2~5배 수준에서 결정하였다. 표적의 사격요구량 및 사격대대 등은 기존 데이터에 누적 확률값을 적용하였고, 임의의 값을 생성하여 이를 표현하였다.

<표 3>에 제시된 데이터는 실제 야전부대에서 보유하고 있는 화포의 비율 및 표적획득수단별 적정 표적수를 적용하였다.

<표 3> 유전자 알고리즘 적용 데이터

| 부대 수 | 표적 수 | 사격부대 | | | | 표적 획득수단 | | | |
|------|------|------|---|---|---|---------|----|----|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | A | B | C | D |
| 3 | 6 | | | | | 2 | 1 | 2 | 1 |
| | 9 | | | | | 3 | 2 | 2 | 2 |
| | 12 | - | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | 15 | | | | | 4 | 4 | 4 | 3 |
| 5 | 10 | | | | | 3 | 2 | 3 | 2 |
| | 15 | | | | | 4 | 4 | 4 | 3 |
| | 20 | 1 | 1 | 2 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 25 | | | | | 7 | 6 | 6 | 6 |
| 10 | 20 | | | | | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 30 | | | | | 9 | 7 | 7 | 7 |
| | 40 | 2 | 2 | 4 | 2 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | 50 | | | | | 13 | 12 | 13 | 12 |

수리모형 검증을 위해 ILOG CPLEX 11.1에 사용한 데이터를 유전자 알고리즘에 적용하여 최적해를 확인 후 사격부대수와 표적수의 증가에 따른 결과값을 산출하였다. 수리모형과 유전자 알고리즘을 통해 산출된 최종 사격종료시간 값을 기준으로 화력계획표를 작성하였다. 다음 <표 3>은 유전자 알고리즘에 적용된 자료를 의미한다.

5.2 실험 및 결과분석

5.2.1 수리모형 실험결과

ILOG CPLEX 11.1을 이용하여 실험설계에 의한 수리모형 검증은 4개의 사격부대, 6개의 표적을 기준으로 산출하였으며, 최적해 산출까지 3599.64초 소요되었으며, 최종 사격종료시간은 330초로 6개 표적에 대한 사격 제한시간을 모두

<표 3> 최적해 산출결과

| Target Troop | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 9 | 0 | 0 | 3 |
| 2 | 0 | 2 | 0 | 7 | 0 |
| 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 |

충족하였으며, 1개 부대의 사격만이 아닌 2개 이상의 사격부대가 표적을 동시에 사격하는 결과도 확인 가능하였다. 최적해 산출결과는 다음 <표 3>와 같다.

산출된 결과를 사격부대의 특성(1발당 사격시간, 사격후 준비시간)을 고려하여 작성된 화력계획표는 다음 <표 4>와 같다.

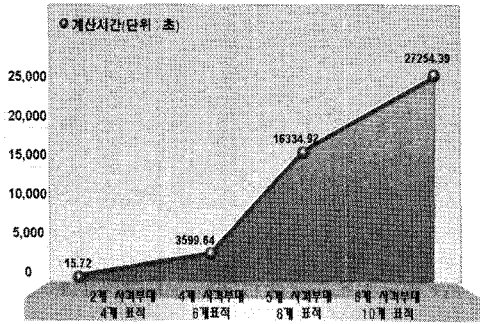
<표 4>의 화력계획표는 산출된 최적해를 화력계획표로 변환한 것으로 가로축은 사격시간(분)이고, 세로축은 사격부대이다.

<표 4>에서 산출된 결과로 사격부대의 유휴시간은 사격준비시간 제외시 없었으며, 최종 사격종료시간은 330초였다. 1개 표적을 사격하는데 최대 소요된 1번표적은 총 4분의 사격시간이 소요되었다. 초탄 기준으로 사격제한시간 만족 여부를 판단하므로 모든 표적은 사격 제한시간을 만족함을 확인하였다.

다음 <그림 2>는 4개 사격부대와 6개 표적 이하인 2개 사격부대 4개 표적부터 6개 사격부대 10개 표적까지 계산하였으며, 사격부대 및 표적의 최소 사격시간을 산출하는데 필요한 계산시간은 소규모 문제의 경우 약 15초~170초로 소요시간이 매우 작았으나 실제 적용해야 할 사단급(4개 이상의 사격부대) 이상의 문제 최적해 산출을 위

<표 4> 화력계획표 작성결과

| Time Troop | 1' | 2' | 3' | 4' | 5' | 6' |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|----|
| 1 | T2(9R) 10.9R=180sec | | | ready time 60sec | T5(3R) 20.3R=60sec | |
| 2 | T2(2R) 30.2R=60sec | ready time 60sec | T4(7R) 30×7R=210sec | | | |
| 3 | T1(4R) 60.4R=240sec | | | | | |
| 4 | T2(3R) 30.3R=90sec | ready time 30sec | T3(1R) 30.1R=90sec | ready time 30sec | T5(3R) 30.3R=90sec | |



〈그림 2〉 ILOG 최적해 산출시간

〈표 5〉 결과값 비교

(단위 : 초)

| | 부대수 | 표적수 | 사격 종료시간 | 연산 시간 |
|-------|-----|-----|------------|----------|
| CPLEX | 4 | 6 | 330 | 3599.64 |
| GA | | | | 22.72 |

해서는 실행불가능해가 나오거나 3시간 이상의 많은 시간이 소요됨을 알 수 있었다. 이는 실제 유용하게 사용하기 위해서는 유전자 알고리즘과 같은 다양한 기법이 필요함을 의미한다.

다음 <표 5>는 최적해(CPLEX)와 유전자 알고리즘(Microsoft Visual C++ 6.0)의 결과 값을 비교한 것이다. 두 결과 값을 비교한 결과 동일한 사격시간이 산출된 것으로 볼 때 본 연구의 수리모형은 타당함을 알 수 있다.

앞의 수리모형 검증단계에서 ILOG CPLEX를 사용할 때 사격부대수가 4개 이하, 표적수가 6개 이하일 때 비교적 빠른 시간 안에 결과를 도출할 수 있었다. 하지만 사격부대 또는 표적수가 증가할 경우 유전자 알고리즘에 비해 더 많은 연산시간이 필요함을 알 수 있었다.

다음 <표 6>은 ILOG와 유전자 알고리즘의 연산시간을 비교한 것으로 표적이 사격부대수의 2배 이상일 경우 연산시간 과다 소요로 2배미만의 경우로 비교 하였다.

다음 <표 7> 및 <표 8>은 CPLEX와 유전자 알고리즘 산출결과로 2개부대 4개표적의 경우 최종

〈표 6〉 CPLEX와 GA 연산시간 비교

단위 : 초(sec)

| 부대수 | 표적수 | CPLEX | GA |
|-----|-----|----------|-------|
| 2 | 4 | 15.72 | 15.13 |
| 4 | 6 | 3599.64 | 22.72 |
| 5 | 8 | 16334.92 | 34.84 |

〈표 7〉 2개 사격부대 4개 표적

| Target \ Troop | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 7 | 0 | 8 |
| 2 | 4 | 0 | 5 | 0 |

사격 완료시간은 360초, 5개부대 8개 표적의 경우 450초가 소요되었다. 위의 결과를 분석결과, 연산시간은 상이하였으나 결과값은 동일함을 알 수 있었다. 결과에서 알 수 있듯이 ILOG CPLEX의 연산시간 증가량은 사격부대 수와 표적수에 따라 유전자 알고리즘에 비교하여 높은 수치를 나타내었으며, 분(分)을 다투는 화력계획문제에서 유전자 알고리즘은 연산시간은 줄이면서 최적해 또는 근사 최적해를 빠른 시간 내에 찾을 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 화력계획을 작성하는데 유전자 알고리즘은 효율적인 방법임을 연산결과를 통해 알 수 있었다.

5.2.2 유전자 알고리즘 실험결과

유전자 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 대 화력전시 포병부대의 운용상황을 기초로 작성된

〈표 8〉 5개 사격부대 8개 표적

| Target \ Troop | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 7 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 |
| 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 |

〈표 9〉 유전자 알고리즘 실행결과

단위 : 초(sec)

| 사격 부대 | 표적 수 | 사격종료시간 | | 연산 시간 |
|----------|---------|--------|------|----------|
| | | Opt. | Best | |
| 3 | 6 | 420 | 420 | 18.25 |
| | 9 | 670 | 670 | 24.95 |
| | 12 | 800 | 820 | 31.72 |
| | 15 | 1040 | 1090 | 41.55 |
| 5 | 10 | 480 | 490 | 37.64 |
| | 15 | - | 670 | 43.36 |
| | 20 | - | 810 | 52.16 |
| | 25 | - | 970 | 69.74 |
| 10 | 20 | - | 460 | 54.72 |
| | 30 | - | 710 | 72.76 |
| | 40 | - | 840 | 86.54 |
| | 50 | - | 1040 | 112.15 |

데이터를 적용하였으며, 표적사격 우선순위, 탄약 제약 등 다양한 요소들을 임의의 값을 생성하여 실제 화력계획 작성시 운용가능토록 알고리즘을 설계하였다. 이는 데이터 보유시 본 연구의 알고리즘에 실제 적용하여 산출 가능함을 의미한다.

다음 <표 9>는 유전자 알고리즘을 이용한 근사해(Best Solution) 산출한 결과이다.

위의 기준에 유전자 알고리즘을 적용하여 산출된 대화력전 표적처리결과와 연산시간은 사격부대수와 표적수의 증가에 따라 다소 증가하였으나 18.25초에서 112.15초로 사격 임무시 연산시간을 고려해도 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

<표 9>의 결과와 같이 소규모 문제를 유전자 알고리즘으로 산출시 사격부대 대비 표적수가 적은 경우에는 최적해를 산출하였으며, 그 이상의 표적에서도 최적값과 유전자 알고리즘의 결과값의 차이가 3%내로 유전자 알고리즘의 우수성을 확인할 수 있었다.

또한 위의 결과로 표적을 처리할 경우, 표적 획득수단에 의한 사격 제한 시간내 사격이 가능하였다. 연산시간의 경우 사단급 전투단 규모의 포병부대 운용시 120초 이내에 연산이 가능하여 표적

획득에서 타격까지의 시간 고려시 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서 시간제약 포병 표적 획득시 표적 우선순위, 탄약 제약, 표적할당, 사격순서결정 등 여러 가지 요소들을 포함하여 화력계획을 작성하는 알고리즘을 제시하였다.

본 연구에서 제시한 유전자 알고리즘은 최단시간에 사격을 완료할 수 있고, 빠른 시간 내에 근사해를 산출 가능하였으며, 최적해 대비 근사한 값을 빠른 연산시간으로 찾아낼 수 있었다. 이는 현재의 인력에 의한 수동적인 사격방법을 개선하여 포병 자동화 사격체계 구축에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

또한 본 연구에서 사용된 유전자 알고리즘은 상위 수준의 발전적 기법으로 다양한 최적화 문제에 적용할 수 있는 장점이 있어 유사한 다양한 조합 최적화 문제에도 적용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 포병 화력운용에 있어서 제한 요소 중 일부만을 적용하여 문제해결에 적용하였다. 본 연구에서는 고폭탄을 기준으로 사격계획표를 작성하였으나 특수탄을 포함한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 현재까지의 연구는 1개 표적을 사격시 동시 사격시작시간을 고려하였으나 비과시간을 통한 TOT(Time on Target)의 개념을 적용하여 표적에 동시에 사격이 될 수 있는 표적 중심의 화력계획이 작성될 경우 포병 자동화 사격 체계에 더욱 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 육군본부, 「지상전 개념서(네트워크 기반 동시·통합전)」, 2007.
- [2] 육군본부, 「포병운용」, FM 2-2, 2002.
- [3] 육군본부, 「화력운용」, FM 3-10, 2008.

- [4] 육군본부, 「화력운용실무」, RM 32-0-47, 2004.
- [5] 육군본부, 「초전 대화력전 수행」, TC 02-3-7, 2002.
- [6] 김여근, 윤복식, 이상복, 메타휴리스틱, 영지문화사, 1997
- [7] 권오정, “무기체계 - 표적 할당과 사격순서 결정에 관한 연구”, 한국과학기술원 박사학위 논문, 1997.
- [8] 김기호, “포병부대 계획표적 사격순서 결정에 관한 연구”, 고려대학교 석사학위 논문, 2002.
- [9] 김동현, “표적 할당과 사격순서의 동시결정문제를 위한 발견적 기법”, 연세대학교 석사학위 논문, 2008.
- [10] 김태현, 이영훈, “공유표적을 포함한 사격순서 결정에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위 논문, 2002.
- [11] 이창완, “포병 사격 순서 결정문제의 이주 유전 알고리즘 접근”, 서울대학교 석사학위 논문, 2008.
- [12] 황원식, 이재영, “스케줄링을 이용한 계획표적 사격순서의 최적화에 관한 연구”, 한국 국방경 영분석학회지 제33권 제1호, pp.105-115, 2007.
- [13] Ash, M., “Flood's Assignment Model for Small Kill Level”, Operations Research, Vol.7(1959)
- [14] Fowler, J.W., “Scheduling of unrelated parallel machines an application to PWB manufacturing”, IIE Transactions, Vol.34, 2002
- [15] Hariri, A.M.A. and Potts, C.N. “Heuristics for scheduling unrelated parallel machines”, Computers Ops. Res., Vol.8, No.3, pp.323-331, 1991.
- [16] J. Käschel, T. Teich, G. Köbernik and B. Meier, “Algorithms for the Job Shop Scheduling Problem - a comparison of different methods.”
- [17] Kwon, O.J., Kang, D.H., Lee, K.S., and Park, S.S, “Targeting and scheduling Problem for Field Artillery”, Computers and Industrial Engineering, Vol. 33, 1997
- [18] Martello, S., Soumis, F. and Toth, P., “Exact and approximation algorithms for makespan minimization on unrelated parallel machine”, Discrete Applied Mathematics, Vol.75, 1977
- [19] Sundararaghavan, P. and Ahmed, M., “Single machine scheduling with start time dependent processing times”, European Journal of Operational Research, Vol.78, No.3, 1994
- [20] Karp, R.M. “Reducibility among combinatorial problems”, Complexity of Computer Computations, pp. 85-103, Plenum Press, NewYork,1972.
- [21] K. Mesghouni, S. Hammadi and P. Borne, “Evolutionary Algorithms for job-shop scheduling.” Math. Comput. Sci., Vol.14, 2004

|| 저자소개 ||

서 재 욱(E-mail: jaeuk81@gmail.com)

- 2004 목포대학교 졸업(학사)
- 2009 국방대학교 운영분석학과 졸업(석사)
- 현재 76보병사단 근무
- 관심분야 최적화 기법, 신뢰도 최적화, 의사결정

김 기 태(E-mail: navystar@hanmail.net)

- 1998 해군사관학교 졸업(학사)
- 2007 국방대학교 운영분석학과 졸업(석사)
- 현재 국방대학교 운영분석학과 박사과정
- 관심분야 최적화 기법, 차량경로문제, 신뢰도 최적화, 의사결정

전 건 욱(E-mail: g0jeon01@yahoo.co.kr)

- 1984 공군사관학교 전자공학과 졸업(학사)
- 1993 고려대학교 산업공학과 졸업(석사)
- 1999 미국 Univ. of Louisville 산업공학과 졸업(박사)
- 2009 미국 Rutgers University 교환교수
- 현재 국방대학교 운영분석학과 교수
- 관심분야 최적화기법 응용, 신뢰도 분석, 공중시험평가, 사전 및 비용분석