

명중확률의 변화를 고려한 확률과정 전투 시뮬레이션* (Stochastic Combat Simulation with Variable Hit Probabilities)

홍 윤 기**

Abstract

The effect of variable hit probabilities in the stochastic duel are examined. The objective of this study is to evaluate the outcomes of combat under the situations which we assume either round dependent hit probabilities or time dependent hit probabilities. Due to the complexity of an analytic approach to large-sized battles, a simulation modeling technique has been introduced. Several specific examples are demonstrated fire allocation strategies. Output measures are compared among cases each with its own type of hit probability fashion such as constant, round to round, or time dependent manners. For these specific cases, the advantages of round to round improvement or increasing function of time for the hit probability are displayed.

* 본 연구는 한성대학교 교내 연구비 지원 과제임.

** 한성대학교 산업기계시스템공학부

1. 서론

현재까지 확률과정을 따르는 전투모형을 다룬 거의 모든 연구 또는 실험에서는 전투에 참여하는 전투원이나 장비가 상대하는 목표물에 대한 명중확률을 전투 시작에서 종료 시까지 매번 사격 또는 발사 때마다 일정한 상수로 가정하여 해결을 모색하여 왔다. 그러나 본 연구에서는 연속적으로 발사를 거듭하면서 사수나 장비의 명중확률이 상태에 따라 변화하는 경우를 여러 측면에서 검토하여 본다. 상태에 따라 명중확률이 변화하는 경우를 예를 들어서 살펴보면, 일단 사격을 하여 명중이 될 경우 새로운 목표물로 조준이 되지만 명중이 되지 않았을 경우에는 그 효과를 관찰하거나 감지하는 상황하에서 목표물에 대한 위치, 이동상황, 주변환경 등의 수시 정보를 즉시 획득하여 목표물 명중확률을 다소나마 증가시킬 수 있는 기회를 얻게 된다. 이는 다시 말해서 단조 증가함수를 따르는 명중확률의 경우에 해당한다. 따라서 이어지는 사격에서는 명중확률이 증가하게 되고 이는 곧 소속팀의 최종 승리확률에도 적지 않은 기여를 하게 된다.

확률과정을 따르는 전투모형은 과거 수십 년간 여러 연구자들에 의해 발전을 거듭하여 왔다. 2차 세계대전 이후 미국을 위시하여 러시아, 영국, 일본, 그리고 한국에서 이에 관한 연구에 많은 관심을 기울여 왔다. 특히 미국의 국방성 산하 연구소, 방위산업 관련 연구소, 그리고 민간 산업체가 공동으로 참여하여 관·군·기업들이 체계적으로 계획하고 유기적으로 연대하면서 연구결과를 활용하는 시스템을 갖추어왔다. 고전적 전투모형에서 시작하여 확률과정을 따르는 모형에 이르기까지 수많은 해법들이 소개되었고 여기에는 수학적 이론이 기본적으로 반영

된 해석적 방법에서부터 근사적 해법을 거치면서 이제는 수학적 배경에서 벗어나 컴퓨터를 활용한 근사적 방법을 적용하여 상황을 보다 더 현실적으로 묘사하여 최적해를 찾아보려는 시도를 하게 되었다. 이것이 곧 국방관련 시스템 연구의 일환으로 컴퓨터 시뮬레이션방법을 도입하게 된 동기가 되었다.

흔히 일컫는 1세대 모형인 Lanchester Type Deterministic Model(DL) 또는 2세대 모형인 Exponential Lanchester Model(EL) 등은 주로 해석적 방법을 적용하여 문제 해결을 모색하였다. 3세대 모형이라 할 수 있는 Stochastic Lanchester Model(SL)은 오직 작은 규모의 전투에서 해석 해를 찾아볼 수 있을 뿐이다. 전투의 규모가 커지게 되면 시뮬레이션방법의 적용이 불가피하게 된다. 때로는 작은 규모의 전투에서도 상황을 보다 더 상세하게 묘사하기 위해서는 해석적 방법보다는 시뮬레이션 적용이 현실성, 용이성, 그리고 보수 및 유지 또는 시간적으로 경제성을 지니고 있음이 이미 지적되어 왔다.

개선된 전투모형들이 속속 소개되면서 보다 더 현실성이 감안된 문제들로 접근이 시도되었다. 예를 들어서, 교전시간이 일정하게 정해진 경우나 변수로 정의된 경우, 탄환의 수량이 제한되어 있는 경우, 탄환의 비행시간이 고려된 경우, 지원군으로 교체 가능한 경우 등이다.[2,12] 또한 목표물을 분할 또는 할당하여 사격하는 정책이 고려된 경우, 분산된 소규모 전투들을 네트워크로 정의하여 통합관리할 수 있는 모형으로 해결을 모색한 연구들을 발견할 수 있다.

최근 컴퓨터 네트워크와 관련된 분야의 기술이 급속도로 발전하면서 국방 관련 시스템의 구조적 면에

서 획기적인 변화와 시스템 내부 내용에 이르기까지 다양한 개발과 응용이 뒤따르고 있다. 미국 국방성(Department of Defense : DoD)은 최근 새로운 개념의 분산 시뮬레이션 방법을 제안하고 있다. 이는 DIS(Distributed Interactive Simulation) 및 ADS(Advanced Distributed Simulation)의 뒤를 잇는 분산 시뮬레이션의 신 설계구조 개념으로 HLA(High Level Architecture)라 불린다. 이 방법은 분산되어 있는 시뮬레이션 모델간의 상호 운용성(interoperability), 재사용성, 그리고 확장성 등을 높이기 위함을 주요 목표로 하는 새로운 시스템 시뮬레이션 설계방법이다.[8,9,14] HLA는 DoD에서 ADS를 구현하기 위한 하나의 아키텍처로 시작되었다. HLA의 좀 더 세밀한 정의는 다음과 같다. “모든 DoD 시뮬레이션에 적합한 중요한 기능적 요소, 인터페이스 및 설계 규칙과 특정 시스템 구조에서 일반적인 기반구조를 제공하기 위해 정의된다.” 앞서도 언급되었지만, HLA는 과거 국방 시뮬레이션(SIMNET)에서, 지역적으로 떨어진 시뮬레이터들 사이에 상호작용의 취약점을 보완하기 위해 DIS가 등장하였으며, 이 DIS에 데이터 전송과 시간 동기화 등의 기능을 추가시켜 개선한 것이 ADS이다. 바로 이 ADS를 구현하는 아키텍처가 HLA이며 RTI(Run-Time Infrastructure)를 이용하여 구현하게 된다. DoD 산하의 DMSO(Defense Modeling and Simulation Office)를 비롯한 관련 학계에서는 HLA의 확장성 및 성능의 효과를 인지하였고, 이미 국방분야의 시뮬레이션에서 HLA는 필수적인 항목으로 고려되기 시작하였으며, 현재는 물류의 수송, 의료, 생산시스템 등의 일반 사회분야의 시뮬레이션에도 HLA를 적용하려는 노력을 쉽게 발견하기에

이르렀다.[14]

HLA를 근간으로 한 전투상황의 정보를 공유하거나, 화상정보를 이용한 목표물 수정, 장비의 열화 또는 주변환경 요인으로 야기될 수 있는 명중확률의 변화에 따른 전투결과를 사전에 모의 실험하는 것은 매우 중요한 일이다. 본 연구에서는 앞에서 언급한 SL모형을 기본 배경으로 하고 목표물 할당을 고려하면서 목표물 명중확률이 상태에 따라 변화하는 경우와 시간에 따라 변화하는 두 가지 경우를 모형에 첨가하여 그 결과를 기존 연구결과와 비교 및 분석하는 데에 초점을 맞추도록 하였다.

2. 시뮬레이션 모델 배경

우선 본 연구에서 기본적으로 고려하는 가정으로 전투에 참여하는 양측 진영(A팀과 B팀)은 Lanchester Square Law를 따르는 것으로 한다. Lanchester Square Law에 대한 설명은 여러 문헌에 소개되고 있으므로 여기서는 간단히 개요만 설명하고 자세한 내용은 생략하기로 한다.[13]

2.1 Lanchester square law 가정

가. 전투개시에 A팀에 a_0 그리고 B팀에 b_0 만큼의 전투원이 참여하며 전투는 A팀이 a_f 또는 B팀이 b_f 에 먼저 도달하면 종료한다.

나. A 또는 B팀의 각 구성원은 목표물에 대한 사격간격시간이 확률변수로 정의되고, 모든 목표물은 가시거리 및 사정거리 이내에 있으며, 매 사격 시에 명중확률은 각각 p_A 와 P_B 를 따른다.

다. 각 구성원은 자신이 상대에게 명중되어 전투

에서 제외되거나 또는 상대를 명중시켜서 또 다른 목표물을 향해 사격하는 과정을 거치면서 전투를 진행한다.

라. 탄환은 무한정 공급된다.

마. 모든 사격은 서로 독립적으로 이루어진다.

바. 전투는 사전에 설정한 종료조건(a_f 또는 b_f)에 이르면 종료한다.

본 연구에서는 위에서 언급한 가정 가운데 보다 현실성을 지닌 전투상황을 고려하여 몇 가지를 보완한 내용을 다루고자 한다. 목표물을 할당하는 경우를 우선적으로 고려할 수 있다. 이 연구결과는 이미 소개되어 있으며 다음과 같이 간단히 요약할 수 있다. 목표물을 선정하는 방법에 세 가지를 들고 있는 바, 이들이 바로 상대편의 생존자 가운데 목표물을 임의로 택하는 무작위 선택(RS, Random Selection), 전투개시에서 종료에 이르기까지 상대측의 생존자들을 몇 개의 소그룹으로 지속적으로 균일하게 나누어 화력을 분산하도록 시도하는 균등화력배분(EP, Evenly Distributed Power), 그리고 아군의 모든 화력을 일정한 목표물에 집중하고 명중시킨 후 또 다른 목표물에 집중적으로 이동하는 집중화력(EP, Concentrated Power)이다. 연구의 결과를 살펴보면, 화력배분정책에 따라 전투결과 추정치가 크게 다르게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 앞서 설명하고 있는 세 가지 화력 배분정책을 고려하면서 목표물 명중확률이 상태에 따라 변화하는 경우(Round Dependent Hit Probability)와 명중확률이 시간에 따라 변화하는 경우(Function of Time)로 나누어 시뮬레이션모형을 수립하고 그 결과를 분석,비교하는 데에 역점을 두고자 한다.

2.2 명중확률이 상태에 따라 변화하는 경우

(Round Dependent Hit Probability)

목표물의 명중 가능성은 전투의 상황에 따라 크게 달라질 수 있다. 우선 목표물에 대한 숙지정도가 크게 좌우된다고 본다. 목표물의 이동, 지형요소, 기타 주변 환경요인으로 인하여 매 사격마다 명중확률이 일정하다고 보기에는 현실성이 결여되어 있다. 일정 목표물에 사격을 지속적으로 한다고 가정할 때, 매번 명중확률은 P_K 로 일정하다고 보는 견해보다는 첫 번째는 P_1 , 두 번째는 P_2 , 세 번째는 P_3 , ..., n 번째는 P_n 등으로 변화한다고 가정하는 것이 상대적으로 현실적이라고 하겠다.

명중확률이 상태에 따라 변화하는 경우를 다룬 연구는 확률과정을 따르는 전투모형에서 1:1 상황을 고려하여 해석적으로 해결을 모색한 연구를 찾아볼 수 있을 뿐이다.[1] 이 경우 해법으로 오직 승리확률만을 유도하는 데에 만족해야 했다. 해석적인 방법으로 해결이 매우 어렵다는 사실을 이미 여러 연구에서도 뒷받침하고 있다.

이와 같은 명중확률의 추정치는 훈련을 통해서 얻거나 모의실험의 결과를 이용하여 근사적으로 사용할 수 있을 것이다. 이러한 자료들이 Database로 구축되어 향후 연구에 효과적으로 사용될 수 있도록 하는 노력도 아울러 요구되고 있다. 본 연구에서는 일정 목표물에서 얻는 숙지정도를 비율화하여 적용하도록 하고자 한다. 일단 사격하여 명중시키지 못했을 경우 $\alpha\%$ 만큼의 명중확률을 증가 또는 감소하는 것으로 간주한다. 다시 말해서, $(n+1)$ 번째 확률 P_{n+1} 은 n 번째 확률 P_n 보다 $\alpha\%$ 증가

또는 감소하여 $P_{n+1} = P_n(1 \pm \frac{a}{100})$ 이 된다. 물론 명중시킨 후 목표물이 새로이 선정되면 원래의 확률인 P_1 으로 환원되도록 조치한다.

2.3 명중확률이 시간에 따라 변화하는 경우 (Function of Time)

전투가 개시되어 시간이 경과함에 따라 상황의 변화와 아울러 사격을 담당하는 사수 개인이나 장비의 특성에 따라 목표물에 대한 명중확률은 시간의 흐름과 밀접한 관계가 있을 수 있다. 특히 고성능 첨단 장비를 도입한 경우 목표물의 위치나 이동정보, 그리고 주변 환경 등 기타정보의 양이 누적되어 시간과 더불어 명중확률은 증가추세를 나타내면서 임의의 관계로 표현될 수도 있다. 반면, 특정한 상황하에서는 시간이 경과하면서 주변환경의 영향 또는 노후 장비의 경우에는 성능의 열화가 진행되어 명중확률이 급속히 감소하는 성향을 보일 수도 있게 된다.

3. 시뮬레이션을 위한 입력 및 출력

시뮬레이션 수행에 필요한 입력변수들을 나열하면 다음과 같다.

$a_o(b_o)$: 초기 참여 구성원 수 A팀 (B팀),

$a_f(b_f)$: 전투 종료를 결정하는 생존 구성원 수 (breakpoint) A팀 (B팀) ,

$P_1^A(P_1^B)$: 첫 사격에 명중할 확률 A팀 (B팀),

$\mu_A(\mu_B)$: 평균 사격간격시간 A팀 (B팀),

$T_A(T_B)$: 사격간격시간 확률변수 A팀 (B팀),

RS, EP or CP : 화력배분정책

reselect options : 목표물 변경시 선택 옵션(ON or OFF),

초기 난수 선택,

시뮬레이션 반복수행 회수,

시뮬레이션 관측 시간 : 양 팀의 생존 구성원을 관찰하기 위한 최대 시간 부여 등을 포함하며,

시뮬레이션 수행 후 출력되는 추정치 들은

$a_o(b_o), a_f(b_f)$, 과 $T_A(T_B)$,

$P_1^A(P_1^B)$ 와 $\mu_A(\mu_B)$,

$r_A = \frac{P_1^A}{\mu_A}$ 와 $r_B = \frac{P_1^B}{\mu_B}$ (살상율),

양 팀의 초기 참여 구성원 수,

목표물 변경시 선택 옵션,

초기 및 최종 난수,

$E[A(t)], E[B(t)]$: t시점 평균생존자 추정치,

$S_A(t), S_B(t)$: t시점 생존자 표준편차의 추정치,

$E[T_D]$: 전투 종료시점의 추정치,

$F[A], F[B]$: 승리 확률,

시뮬레이션 반복수행 회수 (n_o),

$T_D, A(\infty), B(\infty)$ 의 왜도(skewness, γ_1) 및 첨도(kurtosis, γ_2).

이밖에도 선택할 수 있는 출력변수로서

$F[A(t) = a, B(t) = b]$: 결합확률분포,

$F[A(t) = a]$ and $F[B(t) = b]$: 주변확률분포,

$T_D, A(\infty), B(\infty)$. 변수들의 히스토그램,

반복수행 중 특정 전투에서 목표물 사격 시 명중 여부와 구성원의 목표물 조준상태를 나타내는 표 등을 출력할 수 있다.

4. 시뮬레이션 모델

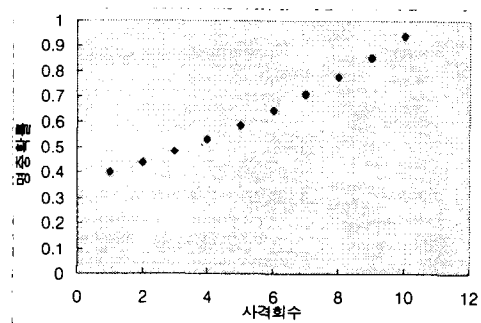
확률과정을 따르는 전투모형(SL model)을 연구함에 있어서 두 가지 시뮬레이션방법을 고려할 수 있다. 첫째는 매번 사격의 명중여부 결과와 관계없이 단순히 목표물을 명중할 때까지의 시간을 확률변수로 정의하여 명중되는 사건들을 연속으로 처리하여 시뮬레이션을 진행하는 경우(interkilling model, IK model)와 둘째는 매 사격간격을 확률변수로 정의하는 경우(interfiring model, IM model)를 말한다. 시뮬레이션을 수행함에 있어서는 전자의 경우가 시간을 절약하는 장점이 있지만, 명중시간간격을 산출 또는 얻어내는 해석적인 방법이나 도구의 어려움을 감안하여 사격시간간격을 이용하는 후자의 경우를 도입하는 경우를 주변에서 쉽게 찾아 볼 수 있다. 또한 IK모델에서 필요한 명중시간간격의 확률변수는 Laplace 역변환을 취하여 해석적으로 구할 수 있는 연구를 찾아볼 수 있지만, 실제로 적용하는데 한계를 갖는 취약점을 지니고 있음이 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 사격간격시간을 근거로 하는 IM 모델을 적용하였다.[13]

사격간격시간을 기준으로 하는 IM 모델에서는 목표물 변경시 고려하는 두 가지 모드가 있다. Reselect On 과 Reselect Off 로서 이는 하나 또는 둘 이상의 사수들의 목표물이 자신의 동료에 의해 명중된 경우, 본인 또는 함께 조준했던 동료들이 각각 새 목표물로 조준을 변경하면서 사격시간간격을 새롭게 취할 경우와 바로 전 명중된 목표물에 조준

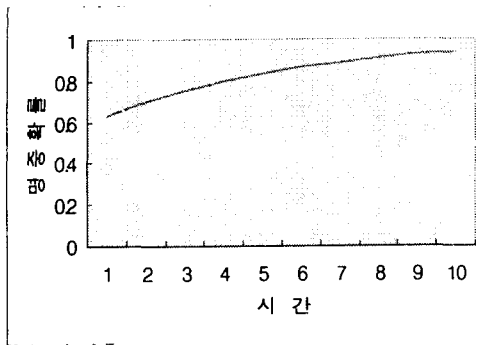
을 시작했던 해당 사수의 각자의 시점을 기준으로 다음 사격간격을 감안하는 경우로 나누어 생각할 수 있다. 전자의 경우가 Reselect On 으로, 후자의 경우를 Reselect Off로 정의한다.

시뮬레이션의 시작을 위한 초기조건과 수행과정에서 나타나는 일련의 절차는 이미 본 연구에 앞서 소개된 연구에 자세히 설명되어 있으므로 여기서는 생략하기로 한다. 또한 반복수행을 거쳐서 얻어진 출력변수들의 분석을 위한 통계적 방법 및 절차에 대한 연구도 함께 소개된 바 있다. 본 연구에서도 이와 같은 결과를 이용하여 전반적으로 연구결과로 얻어진 자료에 대한 출력분석을 행하였다.

앞에서 언급한 바와 같이, 본 연구를 위해 사용된 시뮬레이션모델은 IM모델이며 화력배분정책으로 RS, EP, 그리고 CP를 적용하였다. 한편, 본 연구의 관심요소인 명중확률은 두 가지 경우로 나누어 실시되었으며 사격단계별로 확률이 증가 또는 감소하는 경우와 확률이 시간의 함수로 정의되어 진행되는 경우로 구분되었다. [그림 1]은 사격단계별로 명중확률이 일정 비율로 증가하는 경우를 나타내고 있고, [그림 2]는 명중확률이 시간이 경과하면서 증가함수 또는 감소함수로 나타나는 경우를 보여주고 있다.



[그림 1] 사격회수에 따라 명중확률이 10% 증가



[그림 2] 명중확률이 시간에 따라 변화하는 경우,

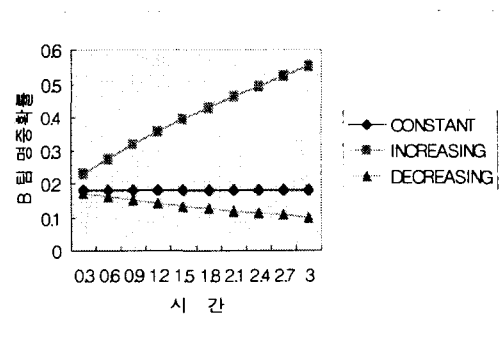
증가함수 : $PK(t) = 1 - e^{-.2(t+4)}$ 및
 감소함수 : $PK(t) = e^{-.3t}$.

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

확률과정을 따르는 전투모형인 SL모델에서 목표물 명중확률이 단계별 또는 시간의 함수로 변화하는 경우 기존의 연구에서 나타난 결과들과 어떠한 차이가 있는지의 여부를 관찰하는 것이 본 연구의 요지이다. 종전의 목표물 명중확률이 일정한 상수로 가정했던 것을 보다 실질적으로 감안하여 개선된 모델을 구축하려는 노력으로 보아야 할 것이다.

시뮬레이션은 화력배분정책을 고려하여 시행되었다. 다시 말해서, RS(Random Selection), EP(Evenly Distributed Power), 그리고 CP(Concentrated Power)에 대한 결과를 관찰하고자 하였다. [표 1]은 본 연구를 위하여 개발된 시뮬레이션모델에 특정 입력데이터를 근거로 하여 얻은 출력물 가운데 한가지를 나타낸 것이다. 이 밖에도 생존자수에 대한 상태확률, 각 출력데이터에 대한 히스토그램, 각 사수의 조준 목표물을 나타내는 AIMING MATRIX 등을 출력해 낼 수 있도록 설계되었다.

본 연구에는 RS 및 EP 두 경우를 선택하여 얻은 결과를 중심으로 분석하기로 한다. 첫 번째로 10-on-10 전투에서 interfering time 확률변수 T_A (T_B)를 Erlang-2 분포, reselect option을 OFF, 화력배분정책을 RS로 선택하였다. [그림 3]에서 보는 바와 같이 B팀의 명중확률이 .18인 상수로 고정된 경우와 지수적으로 증가 및 감소 경우로 구분하여 적용하였다. 시뮬레이션 결과를 도표로 나타낸 [그림 4]에서 명중확률이 시간에 따라 증가하는 INCREASING, STAGE (+.03), STAGE (+0.2) 인 경우 A팀의 생존자 수가 예측된 바와 같이 CONSTANT의 경우보다 작게 나타남을 알 수 있다. 반면, DECREASING의 경우 CONSTANT보다 다소 큰 결과를 얻을 수 있다.(CASE a)



[그림 3] 명중확률이 증가/감소하는 경우,

증가함수 : $PK(t) = 1 - e^{-.2(t+1)}$
 감소함수 : $PK(t) = .18e^{-.2t}$.

[표 1] 시뮬레이션 출력데이터. 명중확률이 두 팀 모두 증가함수를 나타내는 경우,

$$PKA(x) = 1 - e^{-(x+1.4)} \text{ 및 } PKB(x) = 1 - e^{-(x+2.3)}$$

STOCHASTIC LANCHER (SL) INTER-FIRING MODEL

(T_A, T_B) FOR BOTH ARE ERLANG-2

RESELECT OPTIONS FOR BOTH TEAM A & B ARE ON

NUMBER OF REPLICATIONS : 1000

	(a_o, b_o)	(μ_A, μ_B)	$(PK_A(x), PK_B(x))$	(r_A, r_B)	(a_f, b_f)
TEAM A:	12	1.0000	$1 - e^{-(t+1.4)}$.750	0
TEAM B:	12	2.0000	$1 - e^{-(t+2.3)}$.450	0

t	$E[A(t)]$	$S_A(t)$	$E[B(t)]$	$S_B(t)$
.300	11.605	.630	10.920	.965
.600	10.746	1.075	8.917	1.544
.900	9.914	1.359	6.729	1.990
1.200	9.131	1.585	4.593	2.189
1.500	8.486	1.807	2.852	2.172
1.800	8.040	2.052	1.602	1.913
2.100	7.757	2.284	.909	1.578
2.400	7.549	2.522	.552	1.314
2.700	7.447	2.677	.389	1.148
3.000	7.380	2.795	.302	1.047

MEAN BATTLE COMPLETION TIME $E[T_D] = 2.0174$ $S_{T_D}(\infty) = .6234$

$$\gamma_1 = 1.2868 \quad \gamma_2 = 2.0782$$

FRACTION OF BATTLES TEAM "A" WON $P[A] = .9420$

FRACTION OF BATTLES TEAM "B" WON $P[B] = .0580$

E[# OF SURVIVORS] FOR TEAM "A" $E[A(\infty)] = 7.2920$ $S_A(\infty) = 2.9661$

$$\gamma_1 = -.8780 \quad \gamma_2 = .2560$$

E[# OF SURVIVORS] FOR TEAM "B" $E[B(\infty)] = .2050$ $S_B(\infty) = .9465$

$$\gamma_1 = 5.1583 \quad \gamma_2 = 27.4752$$

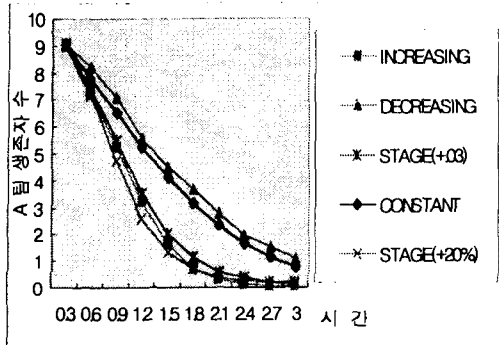
E[# OF SURVIVORS] GIVEN "A" WON = 7.7410 $S_A(\infty) = 2.4209$

E[# OF SURVIVORS] GIVEN "B" WON = 3.5345 $S_B(\infty) = 1.9305$

INITIAL & FINAL RANDOM SEEDS : 55555555 & 431882622

Fire Strategy of TEAM A & B are EP[EVENLY DISTRIBUTED POWER]

Of Subgroups for TEAM A = 3 # Of Combatants in Each Subgroup for TEAM A = 4
 # Of Subgroups for TEAM B = 3 # Of Combatants in Each Subgroup for TEAM B = 4



[그림 4] $E[A(\infty)]$, 단계별 증가는

$P_{n+1} = P_n + .03$ 와 $P_{n+1} = P_n(1 + .20)$ 두 경우를 의미,

Team A: Erlang-2 interfering, $P_A^1 = .14$,

$$\mu_A = 1.00, a_o = 10, a_f = 0,$$

reselect off, and RS.

Team B : Erlang-2 interfering, $P_B^1 = .18$,

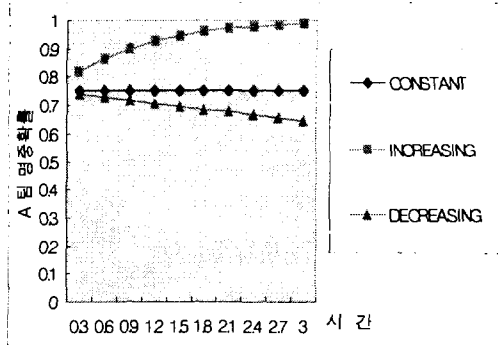
$$\mu_B = .40, b_o = 10, b_f = 0,$$

reselect off, and RS.

Interfering time 확률변수를 Erlang-2 분포, reselect option을 ON, 화력배분정책을 EP로 선택하여 ($a_o = 12, a_f = 0$) 및 ($b_o = 12, b_f = 0$)를 적용하고 각 팀을 4구성원이 한 조가 되어 3개의 조로 나누어 목표물을 할당하는 경우를 고려해 보자.(CASE b) 앞의 경우와 유사하게 A팀의 명중확률을 CONSTANT, INCREASING, 그리고 DECREASING의 세 가지로 나누어 시뮬레이션을 한 결과 중에서 B팀의 평균 생존자수가 시간에 따라 변화하는 과정을 [그림 5]와 [그림 6]에 나타냈다. [그림 5]와 [그림 6]에서 보는 바와 같이 명중확률의 차이에 그다지

민감하지 않은 반응을 보이고 있다. 이는 초기 명중확률 $P_A^1 = .75$ 와 $P_B^1 = .90$ 가 다소 높은 편이어서 첫 번째 또는 두 번째 사격에서 명중할 가능성이 높은 이유에서 비롯되었다고 볼 수 있다. 그러나 초기 명중확률이 앞의 예제와 같이 다소 낮은 경우에는 서로간 명백한 차이가 있을 것으로 예상할 수 있다.

명중확률이 위의 경우와 상대적으로 시간이 경과하면서 다소 크게 변화하는 경우를 시뮬레이션 한 결과가 [그림 7]과 [그림 8]에 나타나 있다.(CASE c) INCREASING 및 DECREASING을 적용하는 두 경우 CONSTANT보다 앞의 예제와 비교하여 상대적으로 차이가 있음을 알 수 있다.

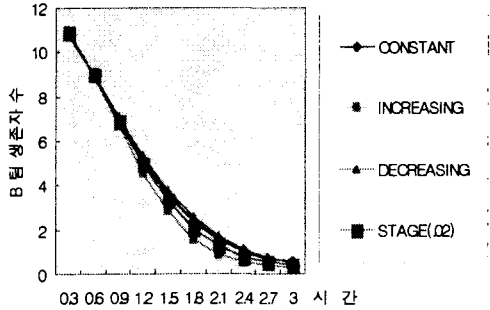


[그림 5] 명중확률이 증가/감소하는 경우,

$$\text{상수 } P_1 = .75$$

$$\text{증가함수 : } PK(t) = 1 - e^{-(t+1.4)}$$

$$\text{감수함수 : } PK(t) = .75e^{-.05t}$$



[그림 6] $E[B(\infty)]$, 단계별 증가는

$$P_{n+1} = P_n + .02,$$

Team A : Erlang-2 interfering, $P_A^1 = .75$,

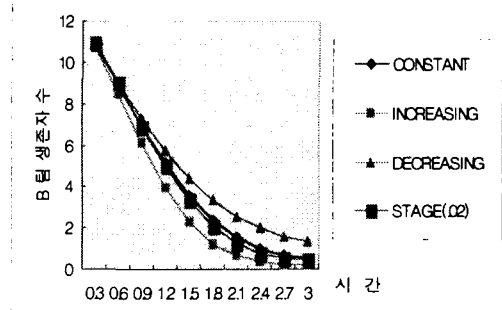
$$\mu_A = 1.00, a_o = 12, a_f = 0,$$

reselect on, and EP(4).

Team B : Erlang-2 interfering, $P_B^1 = .90$,

$$\mu_B = 2.00, b_o = 12, b_f = 0,$$

reselect on, and EP(4).



[그림 8] $E[B(\infty)]$, 단계별 증가는

$$P_{n+1} = P_n + .02,$$

Team A : Erlang-2 interfering, $P_A^1 = .75$,

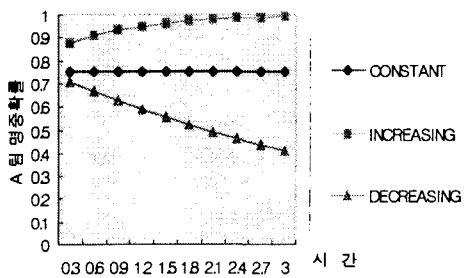
$$\mu_A = 1.00, a_o = 12, a_f = 0,$$

reselect on, and EP(4).

Team B : Erlang-2 interfering, $P_B^1 = .90$,

$$\mu_B = 2.00, b_o = 12, b_f = 0,$$

reselect on, and EP(4).



[그림 7] 명중확률이 증가/감소하는 경우,

상수 $P_1 = .75$

$$\text{증가함수 : } PK(t) = 1 - e^{-(t+1.8)}$$

$$\text{감수함수 : } PK(t) = .75e^{-.2t}$$

단계별 또는 시간에 따른 명중확률의 변화는 전투 상황전개에 직접적으로 영향을 미치게 되어 결과적으로 전투종료와 더불어 나타나는 여러 가지 측도에 적지 않은 차이를 가져다준다. 이 가운데 주목할 만한 출력변수들로 평균전투종료시간 $E[T_D]$, 승리확률 $P[A]$ or $P[B]$, 특정 시점에서 생존자수를 다루는 상태확률 $P(A(t), B(t))$, 그리고 이들 측도들에 대한 통계적 분포 등을 들 수 있다. 아래 [표 2]는 평균전투종료시간 $E[T_D]$ 을 나타낸 것으로 상황이 전개되면서 명중확률의 변화가 종료시점에 미치는 결과를 보여주고 있다. 예상된 바와 같이, CONSTANT의 경우와 비교하여 INCREASING의

경우는 짧게, DECREASING은 길게 나타났음을 확인할 수 있었다.

[표 2] 전투의 크기와 명중확률의 변화를 고려한 상황에서 비교한 평균 전투종료시간 추정치, $E[T_D]$

COMBAT SIZES & TYPES OF HIT PROBABILITY	10 VS 10 (CASE a)	12 VS 12 (CASE b)	12 VS 12 (CASE c)
CONSTANT	2.689	2.301	2.301
INCREASING	1,616	2.017	2.017
DECREASING	2.925	2.404	3.091
STAGE(+20%)	1.323	-	-
STAGE(+.03)	1.649	2.160	2.160

6. 결론 및 향후 과제

확률과정을 따르는 Lanchester 전투모형(SL Model)을 기본으로 하면서 주변에서 발견할 수 있는 지금까지의 연구결과를 참조하여 새로운 요소를 추가로 고려한 전투 시뮬레이션모형의 구축을 시도하였다. SL모형이 지닌 문제해결의 복잡성으로 인하여 해석해의 도출이 현실적으로 불가능하므로 대상 시스템을 시뮬레이션하여 기존의 방법으로 얻어지는 출력 측도의 추정치를 서로 비교,분석하는 것이 본 연구의 목적이다.

전투개시에서 종료까지 목표물에 대한 명중확률이 일정한 값으로 고정되어 있었던 지금까지의 SL모형과는 달리 전투 진행과정에서 이들 확률이 변화하는 상황을 고려해 보았다. 매번 사격의 결과에 따라 목표물에 대한 명중률이 단계별로 변화하는 경우도 있을 수 있고, 명중확률이 시간에 따라 증가 또는 감소하는 성향이 있는 경우도 연구에 포함하였다. 전

자는 단계별로 일정량 또는 일정비율로 확률이 증가 또는 감소할 수 있으며, 후자는 시간이 경과함에 따라 단조 증가 또는 단조 감소하는 함수의 형태로 정의하였다.

목표물을 할당할 수 있도록 화력배분정책을 모델 구축에 적용하였고, 물론 사격간격시간은 임의의 확률변수를 가정할 수 있도록 설계되었다. 연구를 위한 예제를 위하여 특정 입력변수들의 값으로 시뮬레이션한 결과 가운데 요약하여 몇 가지 지적할 만한 사항을 언급하면 다음과 같다. 우선 어느 팀을 막론하고 단계별 또는 시간에 따라 증가하는 명중확률을 적용할 경우 전투상황이 당연히 유리하게 전개된다는 예상을 입증할 수 있었다. 요지는 상대적으로 과연 얼마나 개선 효과를 기대할 수 있는가에 있다고 하겠다. 앞에서 살펴본 바와 같이 명중확률이 일정한 경우와 비교하여 현저하게 상대방의 생존자 수를 감소시킬 수 있는 기대효과를 확인할 수 있었다. 반면에 장비의 열화나 전장의 사정으로 인하여 불가피하게 명중확률이 감소하는 상황하에서는 상대방 생존자 수의 감소효과는 기대할 수 없음을 알 수 있었고, 이때도 마찬가지로 기존의 방법을 적용하여 얻은 결과와 현저한 차이를 엿볼 수 있었다.

전투에 참여하는 전투원에서부터 투입되는 제반 장비에 이르기까지 전투개시와 함께 주변 상황이 예측 불가능할 정도로 복잡 다양하게 전개되는 것이 일반적이다. 다수의 목표물에 대한 순간마다의 정보를 획득하고 이들을 아군진영에서 수시로 공유할 수 있는 정보시스템이 중요한 비중을 차지한다. 특히 전투시뮬레이션 문제를 다루는 데에 있어서 분산되어 있는 각 단위모들에서 이들 정보를 네트워크상에서 신속히 교환하고 모델변경 및 호환에 용이하게

대처할 수 있도록 하는 설계방법으로 HLA/RTI 기술이 이미 활용되고 있다. 명중확률의 변화를 대다수 참여 구성원이 이들 변화를 인지하고 적용하는 상황을 네트워크형 확률과정 전투모형에서 다루는 것은 의미와 가치를 함께 지닌 연구로 기대할 수 있겠다.

참고 문헌

- [1] Anker, C. J., Jr., "Stochastic Duels with Round Dependent Hit Probabilities," Tech. Report 74-3, University of Southern California.
- [2] Anker, C. J., Jr., "Stochastic Duels with Limited Ammunition Supply," Operations Research, Vol. 12, No.1, pp. 38-50, 1964.
- [3] Anker, C. J., Jr. and A. V. Gagarin, "The Validity of Assumptions Underlying Current Uses of Lanchester Attrition Rates," Naval Research Logistics, Vol. 34, pp. 505-533, 1987.
- [4] Anker, C. J. Jr., "A Proposed Foundation for a Theory of Combat ", Naval Research Logistics Quarterly, Vol.42, pp.311-336, 1995.
- [5] Anker, C. J., Jr. and A. V. Gagarin, "An Axiom Set(Law) for a Theory of Combat," Working Paper, University of Southern California, Los Angeles, California, 1992.
- [6] Bathe, M. R., "Modeling Combat as a Series of Mini Battles," US Army TRIADIC Analysis Activity, Document No. TRANSACT-AR-14-84, White Sands Missile Range, AM 88002, 1984.
- [7] DMSO, <http://hla.dmsomil>.
- [8] DMSO, High Level Architecture Interface Specification.
- [9] DMSO, High Level Architecture Run-Time Infrastructure.
- [10] Gafarian, A. V. and D. G. Harvey, Jr., Y. G. Hong, and M. D Kronauer, "Some Many-on-Many Homogeneous Stochastic Combat Simulation Models," Technical Report, University of Southern California, Los Angeles, California, 1988.
- [11] Hamilton, J. A. Jr, et al., (1997), Distributed Simulation, CRC Press
- [12] Hong, Y. G., "Stochastic Combats with Limited Battle Termination Time," Journal of the Military Operations Research Society of Korea, Vol. 19, No.2, pp 102-115, 1993.
- [13] Hong, Y. G., "Analysis of Fire Allocation Strategies in Stochastic Combat", Journal of the Military Operations Research Society of Korea, Vol 20, No.2, pp 39-61, 1994.
- [14] Lightner, M. and D. Judith, The High Level Architecture for Simulation, edited, SIMULATION, November 1999.
- [15] Misra, J., (1986), Distributed Discrete-Event Simulation, ACM Computing Surveys, 18(1), 39-65
- [16] Shockely, J.W., K. Parsons, and M. Morgenthaler, 1999, Developing an HLA Virtual Command Post, SIMULATION, 73(4)
- [17] Walters, C. E., "Use of Proto-federations to Evaluate High Level Architecture for Interoperable Simulations", PHALANX, Vol. 30, No. 2, pp. 27-31, June 1997