

한국적 무기체계의 워게임 모델 교정에 관한 연구

Calibration of a Korean Weapon Systems Wargame Model

정건호*

Kunho Jung

염봉진*

Bong-Jin Yum

Abstract

Some of the wargame simulators currently used in the Korean Army were developed by other countries, and do not adequately reflect the Korean Peninsula terrain and weapon systems. This implies that these war game simulators need to be calibrated with respect to the input parameters for properly assessing the effectiveness of the Korean weapon systems. In this paper, AWAM, a wargame simulator, is calibrated in terms of the time-based fighting power(FP). The FP data obtained from the Korea Combat Training Center(KCTC) are used as a reference, and the differences between the AWAM and KCTC FP data are calculated at certain points in time. Then, the Taguchi robust design method is adopted using the probabilities of hitting for the K-2 rifle as controllable input parameters. Two performance characteristics are used. One is the difference between the AWAM and KCTC FP data and the other is the score derived by grouping the difference data. For each case, optimal settings of the probabilities of hitting are determined such that the mean of each characteristic is close to 0 with its dispersion being as small as possible.

Keywords : Wargame Simulator(워게임 시뮬레이터), Calibration(교정), Taguchi Method(다구치 방법), Plackett-Burman Design(플래킷-버만 계획)

1. 서론

워게임은 전투를 모의하는 기법 중 하나이며, 실제 야전 경험이나 야전 훈련을 한 단계 단순화하여 군사 작전을 모의하는 전투모델이라 할 수 있다¹⁾. 특히, 최근에 워게임은 소요기획 단계의 분석 평가와 합동/전투 실험에서의 군 구조 및 편성, 그리고 무기, 장비

등 물자 소요 검증단계에서 자주 활용되고 있다. 전투 실험을 수행하는 방법에는 실 전투, 가상 시뮬레이터, 그리고 워게임 모델을 이용하는 방법이 있으나, 워게임 모델을 활용하는 전투실험이 비용 및 효용성 측면에서 매우 유리하므로 다수의 워게임 모델이 국내에서 활용되고 있다²⁾.

이러한 워게임 모델 중에서 한국국방연구원이 1991년 이후 지속적으로 운용하고 있는 JANUS 모델은 단위 무기체계 수준의 상세한 모의가 가능하고, 무기체계 획득 및 교리검증 시에 탁월한 효용성을 발휘하므로 다양한 전투실험과제에 활용되고 있다³⁾. 그러나,

† 2009년 1월 20일 접수~2009년 3월 20일 게재승인

* 한국과학기술원 산업 및 시스템 공학과(KAIST)

책임저자 : 정건호(jungkunho@gmail.com)

JANUS 모델을 포함한 많은 위게임 모델들은 미국을 비롯한 해외 군사 선진국에서 개발되었기 때문에 한반도 전장 환경 및 한국형 무기체계를 반영하는데 미흡한 실정이다. 그에 따라 한국국방연구원은 JANUS를 참조 모델로 삼아 한국적 전술환경에 부합하는 지상 무기 효과분석 모델(AWAM : Army Weapons Analysis Model)을 개발하였다. AWAM 모델은 한국적 전술환경에 부합되는 연대급 지상전투 통합 모의 분석 모델로서 3차원 전장에서 개별 무기 단위의 이동, 탐지, 교전, 피해평가 모의가 가능한 모델이다.

한편, 효과적인 위게임 모델을 확보하기 위해서는 위게임 시뮬레이션 결과와 실제 결과를 비교함으로써 모델의 파라미터 값들을 교정할 필요가 있다. 본 논문에서는 교정 대상 위게임 모델로서 AWAM 모델을 선정하였으며, 시나리오의 실제 데이터로는 육군 과학화 전투 훈련단(KCTC : Korea Combat Training Center)의 훈련 데이터를 사용하였다.

시뮬레이터 교정 방법은 여러 가지가 알려져 있으나 본 논문에서는 실험계획법에 의한 접근 방법을 고려했다. 한편, 기존의 실험계획법에 의한 접근 방법(예를 들어, [2], [4], [6] 등)은 대부분 시뮬레이터 출력의 평균적 행태에 초점을 맞추고 있으며, 산포에 대한 고려는 미흡한 실정이다. 예외적으로 Le Carval 등^[1]은 Technology Computer-Aided Design(TCAD) 시뮬레이터의 교정에 관한 연구에서, 시뮬레이터 출력의 평균뿐만 아니라 산포도 함께 고려하여 모델 파라미터를 최적화하였다. 실험계획법 외의 다른 접근 방법(예를 들어, 베이지안, Monte Carlo 방법 등)에 대해서는 Campbell^[11]을 참고하기 바란다.

본 논문에서는 AWAM 위게임 모델의 교정을 위해 무기체계 자료 중 관심의 대상이 되는 입력 변수(모델 파라미터)들을 제어인자로 선정하여 실험을 실시하고, 이를 통해 수집된 데이터와 실제 데이터를 비교하여 입력 변수들의 값을 교정하기 위한 방안을 마련하였다. AWAM 모델의 결과와 KCTC 훈련 결과는 시간에 따른 전투력(%)으로 선정하였다. 이 두 가지 결과의 차이가 평균적으로 0에 가깝고 동시에 산포가 작도록 AWAM 모델 파라미터의 최적값을 다구치 방법을 통해 결정하였다. 본 논문과 앞서 언급한 Le Carval 등^[1]의 접근 방법은 시뮬레이션과 실제 결과의 차이의 평균과 산포를 함께 고려한다는 점에서 유사하다. 차이 점은 후자의 경우에는 두 결과의 차이를 망소특성으로 다루고 있으나, 전자에서는 목표치가 0이며 음, 양

의 값을 가질 수 있는 제로망소특성으로 다루고 있다는 점이다. 차이를 제로망소특성으로 다룸으로써 제어인자를 산포 제어인자와 조정인자로 구분할 수 있고, 조정인자를 이용하여 차이의 평균을 목표치 0으로 조정할 수 있게 된다.

2. 교정 개요

가. 분석 대상 선정

AWAM 모델을 교정하기 위해 AWAM 모델의 무기체계 파라미터를 자료 성격에 따라 분류하였다^[9]. 즉, 차량크기, 속도 등과 같은 고정된 물리적 특성 자료, 표적 획득 우선 순위, 특정 화기에 대한 탄약 조합 자료 등과 같은 전술 및 의사결정이 필요한 자료, 명중 확률, 살상확률 등과 같이 전투결과를 결정하는 자료, 그리고 연막구름의 확산, 기상 등과 같이 변화하는 물리적 현상을 묘사하기 위한 수리적 모델에 필요한 자료로 구분할 수 있다.

위와 같이 파라미터를 분류한 후, 고정된 물리적 특성 파라미터, 전술 및 의사결정과 연관된 파라미터, 변화하는 물리적 특성 파라미터는 고려 대상에서 제외하였으며, 시뮬레이션 전투결과를 결정하는 파라미터를 분석 대상으로 선정하였다.

나. 시나리오 및 입출력 변수 선정

본 연구의 병력 모델은 전투의 기본 단위를 구성하는 병력의 수에 따라 소대, 중대, 대대 전투 등으로 구성할 수 있으며, 그 수에 따라 명확히 구분 지을 수 있는 것이 아니라 전투 상황에 따라 변동이 있을 수 있다.

이러한 병력 모델 중에서 1개 소대 규모(26명)의 아군 병력이 산악지대에서 1개 소대 규모(30명)의 적 병력(대항군)을 방어하는 상황(경계지역 전투)을 대상 시나리오로 선정하였다. 아군 병력의 무기체계는 우리나라 육군의 기본 개인화기인 K-2 소총으로 했으며, 실제 KCTC 시나리오에 맞게 적 병력의 무기체계도 K-2 소총으로 정하였다.

입력변수는 전투결과를 결정하는 가장 중요한 변수 중 하나인 K-2 소총의 명중확률로 정하였다. AWAM은 교전 시 특정 무기체계가 다른 무기체계를 공격했을 때 명중시킬 확률을 나타내는 명중확률 데이터와, 명중되었을 때 그 표적이 살상될 확률을 나타내는 살

상확률 데이터로 구성되어 있다. AWAM 운용 시 개인 병력의 피해율은 공격자와 피해자의 무기체계 종류나 상태에 해당하는 명중 및 살상확률을 기초로 산출된다. 또한 동일한 확률 데이터 집합 내에서도 공격하는 무기체계의 이동여부(정지 : S, 이동 : M), 공격을 당하는 무기체계의 이동여부(정지 : S, 이동 : M), 표적의 노출 상태(완전노출 : E, 부분차폐 : D), 표적 방향(측방 : F, 전면 : H)에 따라 각각 다른 확률 값이 적용된다. 그리고, 명중 및 살상확률 값은 무기체계의 사거리마다 다른 값을 갖는다. K-2 개인소총에 대해서는 0m부터 최대사거리인 460m까지 5단계로 나누어 표적과의 거리에 따라 다른 명중 및 살상 확률 값이 존재한다. 본 논문에서는 명중확률만을 분석대상으로 선정하였으며, 살상확률 값은 AWAM의 값으로 고정하였다.

출력변수는 식 (1)과 같이 교전 후 최초 전투체계수와 잔여 전투 체계수를 바탕으로 한 전투력(%)으로 정하였다.

$$\text{전투력(\%)} = \frac{\text{잔여전투체계수}}{\text{최초전투체계수}} \times 100 \quad (1)$$

단, 체계수란 부대별 K-2 소총의 개수를 의미한다.

3. 실험계획

가. Plackett-Burman(PB) Designs

PB Design은 1946년 Plackett과 Burman^[5]에 의해 제시되었으며 $N(=4$ 의 배수)회의 실행으로 $k=N-1$ 개의 인자를 분석할 수 있는 2수준계 일부실시법의 일종이다. 본 논문에서는 $N=64$ 인 PB Design을 사용하였다. $N=64$ 인 PB Design은 $N=32$ 인 PB Design으로부터 다음과 같이 구할 수 있다^[5].

$$\begin{bmatrix} A & A \\ A & -A \end{bmatrix}$$

단, A 는 $N=32$ 인 PB Design에 해당하는 행렬을 나타낸다.

나. 제어인자 수준 선정

본 논문에서는 제어인자(즉, 명중확률)들의 수준 폭

을 선정하기 위해 먼저 특정 전투상황에서 사거리에 따라 AWAM의 명중확률 값이 어떻게 변하는지 확인하였다. 예를 들어, SSDH 전투상황(즉, 공격 무기체계는 정지, 피공격 무기체계도 정지, 표적은 부분차폐 상태, 표적 방향은 전면인 전투상황)에서는 명중확률이 거리가 멀어질수록 감소하고, 거리와 명중확률 간에는 비선형적 관계가 존재한다는 것을 알 수 있었다. 다른 전투상황에서의 명중확률도 거리에 따라 명중확률이 감소하며 비선형적 관계에 있음을 확인할 수 있었다. 따라서, 거리에 따른 파라미터의 수준 폭을 동일하게 잡는 것은 바람직하지 않으며, 거리에 따라 다르도록 수준을 선정하면서 감소하는 경향을 유지하도록 할 필요가 있다.

또한 전투상황을 기준으로 명중확률 그룹 간에 어떤 관계가 있는지 확인하였다. 초기값을 보면, 다음 각 쌍에 속한 전투상황의 초기값은 같다는 것을 알 수 있었다. 즉, SSDF와 SSDH, SSEF와 SSEH, SMEF와 SMEH, MSDF와 MSDH, MSEF와 MSEH, MMEF와 MMEH는 같은 초기값을 가지고 있다. 또한 각 쌍의 명중확률의 대소관계를 비교해 보면, 공격을 하는 인원과 공격을 받는 인원이 모두 정지상태에 있을 때인 SSEF와 SSEH 전투상황이 가장 큰 초기값을 가지고 있다. 명중확률이 두 번째로 큰 쌍은 SSDH가 속한 쌍과 SMEF가 속한 쌍이다. Fig. 1은 각 쌍의 명중확률 간의 관계를 나타낸 것인데, 일반적인 대소관계가 성립하지 않음을 알 수 있다. 세 번째로 명중확률의 초기값이 큰 그룹은 MSEF와 MSEH 이다. 끝으로, MMEF와 MMEH 전투상황 그룹과 MSDF와 MSDH 전투상황 그룹 간에는

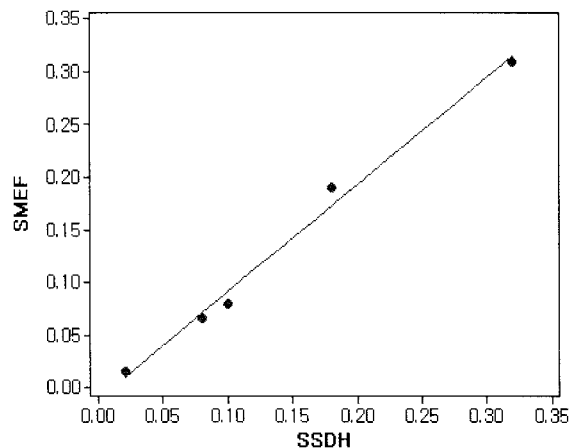


Fig. 1. SSDH와 SMEF 전투상황의 명중확률

Table 1. 제어인자 수준(초기값에 대한 비율)

| 제어인자 | | SSEF/SSEH | | | | |
|------|-------|-----------|------|-----|-----|-----|
| 수준 | 거리(m) | 0 | 92 | 230 | 368 | 460 |
| | 1 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0 |
| 초기값 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 2 | |
| 제어인자 | | SSDF/SSDH | | | | |
| 수준 | 거리(m) | 0 | 92 | 230 | 368 | 460 |
| | 1 | 0.75 | 0.75 | 0.9 | 0.9 | 0 |
| 초기값 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1.25 | 1.25 | 1.1 | 1.1 | 2 | |
| 제어인자 | | SMEF/SMEH | | | | |
| 수준 | 거리(m) | 0 | 92 | 230 | 368 | 460 |
| | 1 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0 |
| 초기값 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 2 | |
| 제어인자 | | MSEF/MSEH | | | | |
| 수준 | 거리(m) | 0 | 92 | 230 | 368 | 460 |
| | 1 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 0 |
| 초기값 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 2 | |
| 제어인자 | | MSDF/MSDH | | | | |
| 수준 | 거리(m) | 0 | 92 | 230 | 368 | 460 |
| | 1 | 0.75 | 0.75 | 0.9 | 0.9 | 0 |
| 초기값 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1.25 | 1.25 | 1.1 | 1.1 | 2 | |
| 제어인자 | | MMEF/MMEH | | | | |
| 수준 | 거리(m) | 0 | 92 | 230 | 368 | 460 |
| | 1 | 0.85 | 0.85 | 0.9 | 0.9 | 0 |
| 초기값 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1.15 | 1.15 | 1.1 | 1.1 | 2 | |

후자 그룹의 명중확률이 더 큰 경향이 있지만 사거리가 92m 일 때 그 경향이 성립하지 않으므로 대소관계를 명확히 파악할 수 없다. 이러한 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$SSEF/SSEH > SSDF/SSDH, SMEF/SMEH > MSEF/MSEH > MSDF/MSDH, MMEF/MMEH$$

따라서, 제어인자 수준을 설정할 때, 각 전투상황에서의 명중확률은 사 거리에 따라 그 수준을 각각 다르게 선정해야 하며, 각 전투상황 간의 관계도 고려해야 한다. 이러한 사항을 바탕으로 제어인자 수준을 Table 1과 같이 선정하였다.

4. 결과 분석 및 최적 조건 선정

가. 성능 측도

3절의 64회 PB Design에 따라 분석용 위게임 모델(AWAM)을 운용하여 실험 데이터를 수집하였다. 각 실험 조건에서의 시뮬레이션 시간은 3시간으로 제한하였으며, 반복 실행에 따른 실행 배속(시뮬레이션 실행 속도)은 300배속으로, 각 실험조건마다 반복 실행 횟수는 10회로 하였다. 본 논문의 목적은 실제 훈련 전투력 결과값과 시뮬레이션 전투력 결과값의 차이가 작아지도록 입력 파라미터(명중확률)값을 결정하는데 있다. 또한 결과값이 한 실험점에서 하나의 값으로 산출되는 것이 아니라 시간에 따른 데이터로 산출되기 때문에 이에 대한 고려도 필요하다. 따라서 특성치를 시점 별 훈련 전투력 결과값과 시뮬레이션 전투력 결과값의 차이로 정의하였다. 성능측도는 시뮬레이션 결과값과 훈련 전투력 결과값의 차이 자체를 분석하는 델타 방법, 차이를 지휘관의 입장에서 평가하여 점수를 부여한 그룹화 방법에 의해 산출하였다.

1) 델타 방법

델타 방법에서는 특성치를 다음과 같이 정의한다.

$$\hat{y}_t - y_t, t = \text{측정시점} \quad (2)$$

여기서 \hat{y}_t 는 t 시점에서의 시뮬레이션 결과값을 의미하며, y_t 는 t 시점에서의 y 의 '참값'(KCTC 훈련 결과값)을 의미한다. 따라서 식 (2)의 특성치는 양수, 음수 값을 모두 가질 수 있으며 목표로 하는 값이 '0'이

므로 제로망목특성에 해당된다.

2) 그룹화 방법

그룹화 방법은 식 (2)의 차이에 대해 지휘관 입장에서의 평가를 반영하고자 하는 방법이다. 본 논문에서는 기준 값을 Table 2와 같이 나누어 점수를 다르게 부여하였다. 목표 그룹 III의 점수를 '0'으로 하였으며, 시뮬레이션 결과가 실제 훈련 결과보다 큰 경우에는 양의 점수를, 실제 값보다 작은 경우에는 음의 점수를 부여함으로써 제로망목특성이 되도록 하였다. 또한 그룹 I과 II의 점수가 그에 대응하는 그룹 IV와 V의 점수보다 절대값이 크도록 한 이유는 보수적 입장에서 위게임 결과를 분석할 때 어떤 전술적 대안의 결과가 실제 결과값보다 양호했을 경우에는 그렇지 않은 경우보다 안이하게 대처할 경향이 강해지기 때문이다. 따라서, 그에 대한 벌점을 점수화 시켜 분석과정에 반영하였다.

Table 2. 그룹화 방법의 그룹 별 기준과 점수

| 그룹 | 기준 | 점수 |
|-----|---|-----|
| I | $0.1y_t < \hat{y}_t - y_t$ | 2.5 |
| II | $0.05y_t < \hat{y}_t - y_t \leq 0.1y_t$ | 1.5 |
| III | $-0.05y_t < \hat{y}_t - y_t \leq 0.05y_t$ | 0 |
| IV | $-0.1y_t < \hat{y}_t - y_t \leq -0.05y_t$ | -1 |
| V | $\hat{y}_t - y_t \leq -0.1y_t$ | -2 |

나. 유의인자 결정

본 연구에서 사용한 특성치 h_t 는 다음과 같다.

델타 방법 : $h_t = \hat{y}_t - y_t, t = 20, 21, 22$ (3)

그룹화 방법 : $h_t =$ 점수, $t = 20, 21, 22$ (4)

그리고, 각 실험조건에서 다음 성능측도를 계산하였다.

$$\ln S = \ln \sqrt{\frac{1}{29} \sum_{t=20}^{22} \sum_{i=1}^{10} (h_{ti} - \bar{h})^2}$$

$$\bar{h} = \frac{1}{30} \sum_{t=20}^{22} \sum_{i=1}^{10} h_{ti}$$
 (5)

식 (5)에서 h_{ti} 는 t 시점에서 i 번째 특성치를 의미한

다. $\ln S$ 와 \bar{h} 는 각각 제로망목특성에 대한 다구치의 SN비와 감도에 해당하는 성능측도이다. 그 다음, 위에서 설명한 두 가지 방법에 대해 $\ln S$ 와 \bar{h} 에 유의한 인자를 분산분석을 이용하여 선별하였다.

1) 델타 방법

$\ln S$ 에 대한 분산분석 결과에서 MS(Mean Square)값이 상대적으로 작은 10개 요인을 오차항에 풀링했을 때 유의수준 5%에서 유의한 제어인자는 19개였다(Table 3 참조). 유사하게 감도에 해당하는 평균(\bar{h})에 대한 분산분석 결과에서 MS 값을 기준으로 하위 10개 인자를 오차 항에 풀링했을 때 유의수준 5%에서 1개의 인자(SSDF_92)가 유의한 것으로 나타났으며, 유의수준 10%에서는 3개의 인자가 유의한 것으로 판정되었다(Table 3 참조).

Table 3. 델타 방법의 유의인자 선별 결과

| | $\ln S$ | 평균 |
|------|--|------------------------------|
| 유의인자 | SSEF_92*, SSDH_0, MSDH_460, MSDF_92, MMEH_0, MSDH_92, MMEH_460, MMEF_368, SMEH_460, MSDF_230, MMEF_92, SSDF_92, MSEH_0, SSEF_460, SMEH_230, SSDH_460, MMEF_460, SSEF_368 | SSDF_92 MMEF_0 MSDH_92 |

*제어인자 명칭 : 전투상황_사거리

2) 그룹화 방법

델타 방법과 유사하게 $\ln S$ 에 대한 분산분석 결과에서 MS(Mean Square)값이 상대적으로 작은 10개 요인을 오차항에 풀링했을 때 유의수준 5%에서 유의한 제어인자는 9개였다(Table 4 참조). 또한 평균(\bar{h})에 대한 분산분석 결과에서 MS 값을 기준으로 하위 10개 인자를 오차 항에 풀링했을 때 유의수준 5%에서 2개의 인자가 유의한 것으로 판정되었다(Table 4 참조).

Table 4. 그룹화 방법의 유의인자 선별 결과

| | $\ln S$ | 평균 |
|------|---|-------------------|
| 유의인자 | MMEF_92*, MMEF_460, SSEF_92, MMEH_0, MMEH_230, SMEH_0, SSEF_0, MSDH_0, MSDH_460 | SSDF_92 MMEF_0 |

*제어인자 명칭 : 전투상황_사거리

다. 최적조건 및 조정인자 선정

앞에서 설명한 두 가지 방법에 대해 lnS에 유의한 인자들의 최적수준은 lnS를 최소화하는 수준으로 선정하였다. 조정인자는 \bar{h} 에는 유의한 영향을 미치나, lnS에는 영향을 미치지 않는 인자이며, 그 역할은 특성치의 평균을 0에 가깝게 조정하는 것이다.

1) 델타 방법

Fig. 2로부터 lnS에 유의한 인자들의 최적수준을 Table 5와 같이 결정할 수 있다(실제 수준값은 Table 1 참조). 평균에 유의한 인자 중, SSDF 92, MSDH 92는 lnS에도 유의하기 때문에 조정인자로 선정하지 않았으며, 나머지 MMEF_0를 조정인자로 선정하였다(Table 3 참조).

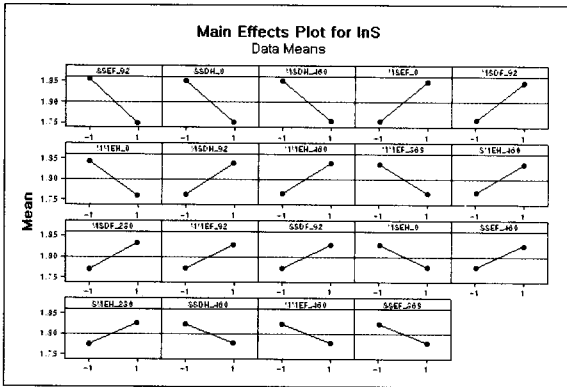


Fig. 2. 델타 방법의 lnS에 대한 주효과도

Table 5. 델타 방법의 최적수준

| 거리 \ 상황 | 0m | 92m | 230m | 368m | 460m |
|---------|----|-----|------|------|------|
| SSDF | | 1 | | | |
| SSDH | 2 | | | | 2 |
| SSEF | | 2 | | 2 | 1 |
| SSEH | | | | | |
| SMEF | | | | | |
| SMEH | | | 1 | | 1 |
| MSDF | | 1 | 1 | | |
| MSDH | | 1 | | | 2 |
| MSEF | 1 | | | | |
| MSEH | 2 | | | | |
| MMEF | | 1 | | 2 | 2 |
| MMEH | 2 | | | | 1 |

2) 그룹화 방법

Fig. 3으로부터 lnS에 유의한 인자들의 최적수준을 Table 6과 같이 결정할 수 있다. 평균에 유의한 SSDF_92, MMEF_0는 lnS에 유의하지 않기 때문에 모두 조정인자로 선정하였다(Table 4 참조).

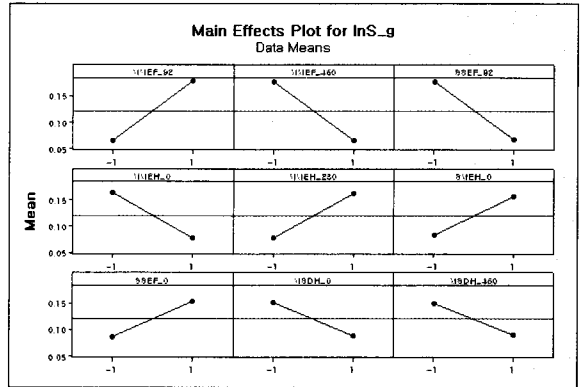


Fig. 3. 그룹화 방법의 lnS에 대한 주효과도

Table 6. 그룹화 방법의 최적수준

| 거리 \ 상황 | 0m | 92m | 230m | 368m | 460m |
|---------|----|-----|------|------|------|
| SSDF | | | | | |
| SSDH | | | | | |
| SSEF | 1 | 2 | | | |
| SSEH | | | | | |
| SMEF | | | | | |
| SMEH | 1 | | | | |
| MSDF | | | | | |
| MSDH | 2 | | | | 2 |
| MSEF | | | | | |
| MSEH | | | | | |
| MMEF | | 1 | | | 2 |
| MMEH | 2 | | 1 | | |

라. 확인실험

1) 델타 방법

조정인자로 선정된 MMEF_0는 1수준일 때 특성치의 평균이 -2.571이며 2수준일 때 특성치의 평균이 -1.259로 2수준일 때 목표치 0에 가깝다. 따라서 MMEF_0를

2수준으로 조정된 뒤 확인실험을 수행하였다.

Minitab을 이용하여 최적조건에서 lnS값을 추정하면 1.13259이다. 또한, 최적조건에서 확인실험 결과에 대한 lnS의 100(1-α)% 예측구간은 다음 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$\widehat{\ln S} \pm t_{\phi(e), 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\left(k + \frac{1}{r}\right) \cdot V(e)} \quad (6)$$

식 (6)의 예측구간을 계산하기 위해 필요한 양은 Table 7과 같다. 델타 방법에서 lnS에 대한 90% 예측구간은 (0.96266, 1.30252)이며 확인실험 결과값은 1.16379로서(Table 8 참조) 예측구간 내에 포함되는 것을 확인할 수 있다.

Table 7. 예측구간 계산에 필요한 값

| 기호 | 정의 | 델타 방법 | 그룹화 방법 |
|-----------------------------------|---|--|---------|
| $\phi(e)$ | 오차의 자유도 | 13 | |
| $t_{\phi(e), 1-\frac{\alpha}{2}}$ | 자유도 $\phi(e)$ 인 t분포의 100(1-α/2) quantile | $\alpha = 0.1$ $t_{13, 0.95} = 1.771$ | |
| $V(e)$ | 오차의 평균 제곱합 | 0.00715 | 0.01259 |
| k | $\widehat{\ln S}$ 에 관한 예측식에서 각 항의 자유도의 합 총 실험횟수 | 20/64 | 10/64 |
| r | 확인실험에서의 y의 반복 관측수 | 1 | |

2) 그룹화 방법

조정인자로 선정된 MMEF_0는 1수준일 때 특성치의 평균이 -0.23854이며 2수준일 때 특성치의 평균이 -0.1151로 2수준일 때 목표치 0에 가깝다. SSDF_92는 1수준일 때 특성치의 평균이 -0.11875이며 2수준일 때 특성치의 평균이 -0.2349로 산출되었다. 따라서 MMEF_0는 2수준으로 조정하고 SSDF_92는 1수준으로 조정하여 확인실험을 수행하였다.

Minitab을 이용하여 최적조건에서 lnS값을 추정하면 -0.26489이다. 또한 최적조건에서 확인실험 결과에 대한 lnS의 90% 예측구간은 (-0.47857, -0.05121)이며 확인실험 결과값은 -0.18212으로(Table 8 참조) 역시 예측구간 내에 포함되는 것을 확인할 수 있다.

Table 8. 확인실험 결과 데이터(성능측도 단위)

| 측정시간(t) | 델타 방법 | 그룹화 방법 |
|---------|----------|---------|
| 20시 | 0.9615 | 0 |
| | 0.9615 | 0 |
| | 0.9615 | 0 |
| | -2.8846 | 0 |
| | 0.9615 | 0 |
| | 4.8077 | 0 |
| | 0.9615 | 0 |
| | -6.7308 | 0 |
| | 0.9615 | 0 |
| 21시 | 2.7042 | 0 |
| | 2.7042 | 0 |
| | -1.1419 | 0 |
| | -1.1419 | 0 |
| | 2.7042 | 2.5 |
| | 6.5504 | 0 |
| | 2.7042 | 0 |
| | -1.1419 | 0 |
| | 2.7042 | 0 |
| 22시 | -1.1419 | 0 |
| | -3.6722 | 0 |
| | 0.1739 | -1 |
| | -7.5184 | 0 |
| | 0.1739 | 1.5 |
| | -7.5184 | -1 |
| | 0.1739 | 1.5 |
| | 0.1739 | 2.5 |
| | 0.1739 | -1 |
| 평균 | -0.13037 | 0.21667 |
| | lnS | 1.16379 |

5. 결론

본 논문에서는 한국형 위게임 모델(AWAM)의 교정을 위한 방법을 소개하였다. 교정을 위한 방법으로 다구치 방법을 적용하였으며, 시뮬레이션 결과값과 실제 결과값의 차이가 일관되게 최소화되도록 입력 파라미터(명중확률)값을 결정하였다. 기존의 실험계획법에 의한 교정 방법은 대부분 시뮬레이터 출력의 평균적 행태에 초점을 맞추고 있으나, 본 연구에서는 평균과 산포를 함께 고려하였다. 특히 시뮬레이션과 실제 결과값의 차이를 목표치가 0이며 음, 양의 값을 가질 수 있는 제로망목특성으로 다루어 제어인자를 산포 제어인자와 조정인자로 구분하였으며, 조정인자를 이용하여 차이의 평균을 목표치 0으로 조정할 수 있도록 함으로써 교정 작업을 보다 능률적으로 수행할 수 있도록 하였다. 또한 위게임 모델의 사용목적에 따른 특성치 산출 방법을 제안하였다. 델타방법은 소요 기획 단계에서 제안된 방안 또는 정책의 분석 평가를 위한 수단으로 채택하는 것이 바람직하며, 그룹화 방법은 지휘관의 전술적 방책 간의 우열을 판단하기 위해 AWAM 모델을 활용할 때 사용하는 것이 바람직하다. 즉, 위게임 모델을 교정할 때는 그 사용 목적에 부합하도록 특성치를 선택할 필요가 있다.

본 연구에서는 교정 대상 파라미터로 K-2 소총의 명중확률을 선정하였다. 그러나 현대 무기체계가 다양화될수록 교정 대상도 확대되어야 할 것이며, 본 논문에서 적용된 시나리오 이외에 시가지 전투 및 중/대대급 전투 등에도 적용할 필요가 있다.

Reference

- [1] Campbell, K., "Statistical Calibration of Computer Simulations", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 91, pp. 1358~1363, 2006.
- [2] Kaplan, S. and Karklin, L., "Calibration of Lithography Simulator by Using Sub-resolution Patterns", *SPIE Proceedings*, Vol. 1927, pp. 858~867, 1993.
- [3] Le Carval, G., Scheiblin, P., Poncet, D. and Rivallin, P., "Methodology for Predictive Calibration of TCAD Simulators", *Simulation of Semiconductor Processes and Devices*, pp. 177~180, 1997.
- [4] Lee, W. Y., Kim, M. H. and Yoo, C. K., "The Model Calibration Protocol for Parameter Estimation of Activated Sludge Model", *Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 2616~2621, 2008.
- [5] Plackett, R. L. and Burman, J. P., "The Design of Optimum Multifactorial Experiments", *Biometrika*, Vol. 33, pp. 305~325, 1946.
- [6] Senez, V., Hoffmann, T. and Tixier, A., "Calibration of a Two-Dimensional Numerical Model for the Optimization of LOCOS-Type Isolations by Response Surface Methodology", *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 13, pp. 416~426, 2000.
- [7] Yoo, S. K. and Moon, H. K., "Utilization of Defense Simulation Model in Warfighting Experimentations", *한국시뮬레이션학회 춘계학술대회 논문집*, 2005.
- [8] 김충영, 민계료, 하석태, 강성진, 최석철, 최상영, "군사 OR 이론과 응용", 두남, 2004.
- [9] 합동참모본부, 사용자 지침서-지상무기효과분석모델(AWAM), 2007.