

분석용 정밀 위게임모형의 통계적 진단 및 활용

김윤태¹⁾, 고 원²⁾, 박혜련³⁾

요 약

분석용 정밀 위게임 시뮬레이션 모형에서는 ‘모형운영 결과와 실제(또는 실험)결과를 비교’ 하는 통상적인 타당성 척도의 적용이 불가능함에 따라 위게임모형 운영환경에 적합한 새로운 개념의 타당성 척도로서 VEA(Validity for Exploratory Analysis), VSA(Validity subject to Assumption) 등의 개념을 도입하고 이를 탐색적으로 점검하는 방안을 제시한다. 분석용 위게임모형 활용에 있어 또 하나의 걸림돌은 ①시나리오 및 상황의 가변성, ②무기체계 및 장비 성능에 대한 불확실성, ③묘사범위 제한 및 논리의 부정확성으로 인한 오류 등으로 엄청난 불확실성(uncertainty)을 기본적으로 내포함에 따라 구체적 의사결정을 위한 종합적 결론 도출이 어렵다는 점이다. 본 연구에서는 이를 메타모델(Metamodel) 즉 위게임모형 입출력 자료의 관계를 묘사한 통계적 모형을 구축하고 이를 기반으로 다양한 불확실성하에서 관심변수간의 관계를 종합적으로 도출하고자 하는 ‘관련공간모의(Relevant Simulation)’ 방안을 제시한다. 이와 같은 방안들은 SVAP(Statistical Validation and Aggregation Procedure)라는 하나의 종합된 절차로서 제시된다.

주요용어 : 위게임모형, 타당성검토, 탐색적 자료분석, 표본반응모형, 메타모형

1. 서론

국방 분야에서 활용되는 시뮬레이션 모형은 크게 실제 야전훈련을 대체하기 위한 훈련모형과 다양한 국방분야의 의사결정을 지원하기 위한 분석모형으로 분류될 수 있다. 국방분야의 시뮬레이션 모형들은 대부분이 전투 또는 전장상황에 대한 묘사를 기본으로 하고 있기 때문에 통상 위게임모형으로도 불리워지고 있다. 주요 위게임모형과 그 특징은 다음과 같다.

- JICM (Joint Integrated Contingency Model) : 전구급 합동 분석용 모형, 미 RAND 개발
- FIT/HORUS: 사단/군단급 C4ISR효과분석모형, 독일 IABG연구소 개발
- 창조 21: 군단급 훈련모형, 육군 교육사 개발
- JTLS(Joint Theater Level Simulation): 전구급 훈련 모형, 미 합참에서 개발

예를 들어 전구급 훈련용 위게임 모형인 JTLS는 한반도에서 벌어질 수 있는 다양한 전장상황을 정밀하고 그리고 역동적으로 묘사함으로써 각 제대 지휘관들의 적절한 지휘/통제 절차 및 방법을 습득하고 평가하는데 활용될 수 있다. 또한 대표적인 전구급 분석용 모형인 JICM은 남북한 군사력 평가와 같은 국가수준의 군사력 평가업무에 사용될 수 있으며 미래 부대구조 대안 평가와 같은 군사기획업무에 활용될 수 있다. 예를 들어 사단의 병력을 대폭 감축하고 대신 기

1) 한국국방연구원 군사기획연구센터연구위원, 130-650 서울 청량리 우체국 사서함 250호
2) 한국국방연구원 국방모의연구센터 연구위원, 130-650 서울 청량리 우체국 사서함 250호
3) 덕성여자대학교 대학원 통계학과 석사과정, 132-714 서울 도봉구 쌍문동 419

동 및 화력 장비를 보장하는 미래 보병사단구조 개편 대안이 고려되고 있다고 가정하자. 신뢰성있는 분석용 위게임 모형은 예상되는 북한의 공격에 대해 ‘초전 10일간의 전선 남하거리 또는 양측의 장비 및 인명 손실율’ 등에 관한 모의결과를 산출함으로써 ‘수도권의 방어 충분성’ 나아가 ‘개편대안의 타당성’ 검토를 위한 결정적 근거를 제공하게 된다.

그러나 위게임모형 활용에 있어 가장 중요하고 기본적인 전제사항은 모형의 구조와 논리 그리고 사용자료를 포함하는 모형전체의 타당성(validation)이 검증되어야 한다는 점이다. 이러한 타당성의 보장은 특히 분석모형의 경우에 더욱 강조될 수 밖에 없는데 사용된 모형이 ‘실제하는 현실을 충분히 정확하게 반영’하고 있음에 대한 확실없이는 그 결과를 엄청난 자원의 배분이 수반되는 국가적 의사결정 문제에 사용할 수는 없는 것이다. 그러나 현실적으로 국내외를 막론하고 위게임모형의 사용에 있어 제시되고 있는 타당성은 ‘군사전문가들이 경험적으로 그 합리성을 인정하고 있음’ 등의 막연한 수준에 머물고 있고, 또한 이러한 상황임에도 불구하고 국내에서는 ‘군사선진국에서 널리 활용되고 있는 검증된 모형’이라는 사실이 타당성 근거의 대부분임이 현실이다.

일반적 시뮬레이션의 타당성 검증 문제는 오래전부터 인식되고 그 해결책이 제시되어 왔으며 여전히 활발히 연구되고 있는 주제분야로서 비단 위게임모형만의 문제는 아니다. 그러나 일반적 시뮬레이션 모형의 경우 시뮬레이션 모형의 운영결과와 동일한 조건의 실제(또는 실험)결과를 비교함으로써 모형의 타당성을 검토하는 것과는 달리 대부분의 위게임모형의 경우는 실제 결과를 획득할 수 없다는데 그 차별성이 있다. 즉 위게임모형의 타당성 검증을 위해 한반도에서 전쟁을 실험할 수는 없다는 점이다. 따라서 위게임모형의 타당성은 ‘모형운영 결과와 실제결과와의 비교를 통한 모형의 예측력을 측정’ 하는 통상적인 척도의 사용이 불가능하며 위게임모형 운영환경에 있어 적합한 타당성 척도의 개발이 불가피 한 것이다.

또한 분석용 위게임모형 활용에 있어 또 하나의 걸림돌은 모형의 불확실성(uncertainty)으로 인한 결론 도출의 어려움에 있다. 위게임모형의 불확실성의 원천은 대개 ①시나리오 및 상황의 가변성, ②무기체계 및 장비 성능에 대한 불확실성, ③모형의 묘사범위 제한 및 논리의 부정확성 등으로 인한 오류 등으로 대별할 수 있다. 최근 분석용 위게임모형은 컴퓨터 및 네트워크 등 기반환경의 발달과 다양하고 복잡한 상황에 대한 묘사논리의 발전으로 그 정밀성이 강화된, 즉 ③의 모형 오류가 감소된 정밀모형(high resolution model)로 발전하는 경향이 있다. 그러나 이러한 정밀성의 강화는 자연히 묘사범위확대에 따른 고려 변수의 대폭적인 증가를 수반하게 되며 이로 인한 ①, ② 유형의 입력자료의 가변성을 더욱 증가시켜 총체적인 모형의 불확실성은 더욱 증가될 수 있는 것이다.

전장이라는 복잡한 상황을 정밀하게 묘사하고자 하는 대부분의 분석용 모형은 적게는 수십개에서 많게는 수백개에 이르는 변수를 포함하게 되고⁴⁾ 시나리오 또한 최소 수십개에 이르는 엄청난 불확실성 (massive uncertainty, cursed uncertainty)⁵⁾을 내포하게 된다. 이러한 불확실한 모형 환경에서 어떤 위게임 결과를 어떻게 사용하느냐? 즉 모형이 지니고 있는 불확실성의 문제를 어떻게 처리할 것인가? 하는 문제는 위게임모형의 활용에 있어 선결되어야 할 과제인 것이다. 이러한 위게임모형의 불확실성 문제는 앞에서 지적한 모형의 타당성 검토에 있어 타당성에 관한 정의의 문제와 더불어 그 검토를 어렵게 하는 또 다른 요인으로도 작용하게 된다.

이에 본 연구에서는 분석용 정밀 위게임모형의 타당성검토의 진단방안과 불확실성하에서 총괄적(aggregate) 결과 도출을 통한 활용성 제고 방안을 제시하고자 한다. 우선 2절에서는 위게임모형 운영환경에서의 타당성 기준에 대해 논의하고 그 대안을 제시한다. 3절에서는 앞에서 논의된 위게임모형의 불확실성하에서 정의된 타당성의 검토 및 총괄적 결과의 도출을 위한 통

4) JICM모형의 무기체계 특성데이터를 제외한 입력파라미터는 약 600개임

5) cursed uncertainty는 P.Davis (2003) 참조

계적 절차로서 SVAP(Statistical Validation and Aggregation Procedure)을 제안하고자 한다. SVAP단계별 방법론과 내용은 '탐색적(EDA) 모형분석 기법'과 '메타모델(Metamodel)의 구축' 등의 기존에 제안된 통계적 방법과 '관련공간모의(relevant simulation)를 통한 총괄결과의 도출'과 같이 본 연구에서 새롭게 제시되는 방안들이 종합되어 있다.

한편 제안내용의 실증적 설명을 위한 예로서 PEM(Precision guided missile Effectiveness Multiplier)을 사용하고자 한다. PEM은 적 전차와 같은 이동하는 기갑행렬을 장거리 유도무기로 공격할 때의 효과를 보다 상세히 분석하고자 개발되었다. 특히 이 모델을 이용한 효과측정 시 검토하고자 하는 요인은 이동행렬의 형태와 지형의 영향이다. 이러한 효과측정을 위해서 다양한 분석에 사용할 수 있는 기능을 가진 모형을 이용할 수 있지만 분석자가 고려하고자 하는 요인들이 모형에 포함되어 있지 않으며 모형 운용이 매우 복잡하다. 따라서 이러한 실제적인 문제를 극복하고자 정밀 유도무기의 효과에 영향을 미칠 요소들을 선택하여 물리적인 특성과 이론에 기반하여 개발한 모형이 PEM이다. 복잡한 현상과 불확실한 부분을 모델링하기 위해 확률적(stochastic)인 방법을 사용하였으며, 분석자가 쉽게 접근하여 분석할 수 있도록 개인용 컴퓨터에 기반으로 개발되었다⁶⁾. 본 논문에서 제안한 방법론에 보다 적합하고 현실적인 사례는 한국군에서 사용하고 있는 JICM과 같은 전구급 모형을 설명하는 것이 적절하나 공개적 논의의 범위에서 PEM을 선택하였다.⁷⁾

2. 위게임모형에서의 타당성 정의

일반적 시뮬레이션 모형의 타당성은 '얼마나 실제하는 현실이 모형에 의해 정확하게 표현되고 있는가?'로 정의되고 이는 통상 '모형에 예측능력'과 관련된 척도로서 평가되고 있다. 이러한 모형 타당성 척도를 Bayarri(2003)은 다음과 같은 확률적 개념으로 표현한 바 있다.

$$\Pr[|\text{reality} - \text{prediction}| < \delta] > \alpha,$$

여기서 δ 는 용인될 수 있는 수준의 차이(tolerance difference)를 의미하고 α 가 타당성 수준을 의미하게 된다.

이러한 타당성의 정의는 검증된 이론과 자료가 사용되어 어느정도의 신뢰성있는 예측이 예상되는 모형의 경우에 적절한 척도일 것이다. 그러나 대부분의 분석용 정밀 위게임모형들은 잠정적인 이론과 가정들을 기반으로 대단히 불확실한 자료를 사용하고 있는 것이 현실이다. 또한 모형운영결과와 비교하기 위한 실제자료를 얻을 수 없음도 위와 같은 타당성의 개념을 적용할 수 없는 결정적 제한사항인 것이다.

그러나 이러한 제한사항에도 불구하고 위게임모형은 현실적으로 대단히 유용하게 (어떤면에서는 과신되어) 사용되고 있는 것이 현실이다. 이러한 현실에서 필요한 사항은 현재의 위게임 모형 운영환경에 적합한 새로운 개념의 타당성척도를 정립하고 이를 사용하여 모형의 실질적 타당성에 대한 인식을 공유하는 것이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 Bigelow(2003)⁸⁾의 제안을 기본으로 하는 다음과 같은 타당성 개념을 채택하고자 한다.

- VEA(Valid for Exploratory Analysis): 모형이 구조적으로 타당하고, 경험적 사실과 상식

6) 자세한 내용은 Davis(2000) 참조

7) JICM에 관한 적용결과에 대해서는 비밀취급인가자를 대상으로 하는 별도의 발표를 기획중

8) Bigelow(2003) pp15~19 참조

분석용 정밀 위게임모형의 통계적 진단 및 활용

적 공감사항에 적절히 부합됨이 입력자료의 불확실성이 충분히 반영된 모의환경공간(space)상에서 탐색적으로 검증될 수 있는 수준의 타당성.

• VSAEA(Valid Subject to Assumption for Exploratory Analysis): 모형이 주어진 가정하에서 구조적으로 타당하고, 경험적 사실과 상식적 공감사항에 적절히 부합됨이 입력자료의 불확실성이 충분히 반영된 모의환경공간(space)상에서 탐색적으로 검증될 수 있는 수준의 타당성.

• VSA(Valid Subject to Assumption) 모형이 주어진 가정에 부합함을 의미수준의 타당성. 여기서 충분히, 적절함 등의 용어는 모형운영환경에 따라 주관적으로 판단될 수 밖에 없음을 표현하고 있다. Bigelow(2003)는 모형운영환경에 따른 적절한 타당성 척도를 다음과 같이 제시하고 있다. 여기서 VAL은 앞에서 언급한 통상적인 최상의 타당성을 의미한다.

모형의 기반	비교자료의 가용성	입력자료의 확실성	타당성 척도	모형 예
검증된 이론	Yes or no	Good	VAL	특성이 잘 알려진 표적에 대한 포탄의 파괴력 산출 모형
검증된 이론	Yes or no	Uncertain	VEA	특성이 잘 알려지지 않은 표적에 대한 포탄의 파괴력 산출 모형
없음	Yes	Good	VAL	신규제품의 무게당 비용 산출모형
없음	No	Good	.	.
없음	Yes	Uncertain	VEA	신규제품의 무게당 비용 산출 모형, 단 무게는 두 종류 수준을 가짐
없음	No	Uncertain	.	.
가정 및 가설	Yes	Good	VAL	부대 표준이동시간의 교리 산출 모형
가정 및 가설	No	Good	VSA	선형성을 가정한 비용 산출 모형
가정 및 가설	Yes	Uncertain	VEA	부정확한 비용산정 자료에 의한 비용 산출 모형
가정 및 가설	No	Uncertain	VSAEA	부정확한 비용산정 자료에 의한 선형성을 가정한 비용 산출 모형

표 1. 모형운영환경에 따른 적절한 타당성 척도

3. SVAP 절차

위게임모형의 통상적인 불확실성하에서 2절에서 정의된 타당성의 검토 및 총괄적 결과의 도출을 위해 다음과 같은 SVAP(Statistical Validation and Aggregation Procedure)의 5단계 절차를 제안한다.⁹⁾

9) SVAP의 전체적인 아이디어와 특히 1, 2, 4의 절차는 Bayarri(2004)에서 제안된 일반적 시뮬레이션 모형에서의 타당성 검증절차를 참고하여 제시됨

<p>단계 1. 모형의 이해</p> <p> 단계 1-1. 입력모수특성표(I/U table) 작성</p> <p> 단계 1-2. 평가척도(measure)의 설정</p> <p>단계 2. 실험계획법적 모형운영(Experiments)을 통한 자료수집</p> <p>단계 3. 탐색적 분석(EDA)을 이용한 운영결과의 분석</p> <p>단계 4. 메타모형화(Metamodeling)을 통한 개략모형 구축</p> <p>단계 5. 관련공간모의(Relevant Simulation)을 통한 총괄결과의 도출</p>
--

표 2. SVAP의 절차

(※ PEM 모형을 대상으로 하는 구체적 적용방안 및 실제 결과는 민감사안으로 게재 생략)

4. 맺는말

최근 군 관련 기획업무와 관련된 다양한 의사결정에 분석용 위게임모형의 활용성과 영향력이 점증되고 있는 실정에서 본 연구는 위게임모형의 타당성 진단을 위한 표준적인 절차와 활용성 제고 방안을 제시하였다.

향후 분석용 위게임모형의 사용시에는 반드시 표준화된 타당성 진단절차를 거치도록 하는 규정화노력이 필요할 것이며 본 연구가 이러한 '분석용 위게임 모형의 표준적 진단절차 수립 및 규정화'를 위한 논의의 출발점이 될 수 있기를 기대한다.

한편 여기서 논의된 방안들은 위게임 모형이 갖는 특수성, 즉 모형의 복잡성 및 불확실성이 대단히 크고 그 결과를 비교할 수 있는 실제 또는 실험자료의 획득이 현실적으로 불가능한 경우의 다른 모든 시뮬레이션 모형에도 적용될 수 있을 것이다.

참고문헌

P. Davis et al (2004), *Motivated Metamodels*, Santa Monica, CA, RAND.

D. Fox (2004), "Using Exploratory Modeling," in Stuart E et al , *New Challenges, New Tools for Defense Decisionmaking*, Santa Monica, CA, RAND.

M. Bayarri et al (2003), *Assessing Uncertainties in Traffic Simulation: A key Component in model Calibration and Validation*, Research Triangle Park. NC, NISS.

J. Bigelow and P. Davis (2003), *Implications for Model Validation*, Santa Monica, CA,, RAND.

M. Bayarri et al (2002), *A Framework for Validation of Computer Model*, Research Triangle Park. NC, NISS.

M. Pitch et al (2001), *Guideline for Sandia ASCI Verification and Validation Plans - Contents and Format Version 2.0*, Sandia National Laboratory.

P. Davis(2000), *Effects of terrain, Maneuver Tactics, and CAISR on the Effectiveness of Long-Range Precision Fires*, Santa Monica, CA, RAND.

J. Sacks et al (2000), *Statistically-based Validation of Computer Simulation Models in Traffic Operation and Management*, Research Triangle Park. NC, NISS.