

작전부대의 인원편성 최적화를 위한 워게임 전투실험 방법에 대한 연구

A Study on Warfighting Experimentation for Organizing Operational Troops

이 용 빈* 염 봉 진*
Yong Bin Lee Bong-Jin Yum

Abstract

Warfighting experimentation is an important process for identifying requirements against changing military environment and for verifying proposed measures for reforming military service. The wargame simulation experiment is regarded as one of the most effective means to warfighting experimentation, and its importance is increasing than ever. On the other hand, the results of wargame experiments could be unreliable due to the uncertainty involved in the experimental procedure. To improve the reliability of the experimental results, systematic experimental procedures and analysis methods must be employed, and the design and analysis of experiments technique can be used effectively for this purpose.

In this paper, AWAM, a wargame simulator, is used to optimize the organization of operational troops. The simulation model describes a warfighting situation in which the 'survival rate of our force' and the 'survival rate of the enemy force' are considered as responses, 'the numbers of weapons in the squad' as control factors, and 'the uncontrollable variables of the battlefield' as noise factors. In addition, for the purpose of effective experimentation, the product array approach in which the inner and outer orthogonal arrays are crossed is adopted. Then, the signal-to-noise-ratio for each response and the desirabilities for the means and standard deviations of responses are calculated and used to determine a compromise optimal solution. The experimental procedures and analysis methods developed in this paper can provide guidelines for designing and analyzing wargame simulation experiments for similar warfighting situations.

Keywords : Warfighting Experimentation, Wargame Simulation, AWAM, Design of Experiment

1. 서론

국방개혁을 효과적으로 추진하기 위해서는 미래 국

방환경의 변화에 따른 우리 군의 군사력 운용개념, 전술, 무기체계, 교리 등에 대한 새로운 수요를 파악하고 검증하는 체계가 필요하다. 전투실험은 이러한 필요성을 충족시켜주기 위한 하나의 체계로서 최근 군 내부에서도 그 중요성이 크게 부각되고 있다. 전투실험을 수행하기 위해서는 다양한 방법이 존재하나 그 중에서 워게임 실험을 통한 방법은 갈수록 복잡해지

† 2011년 3월 14일 접수~2011년 5월 13일 게재승인

* 한국과학기술원(KAIST) 산업 및 시스템 공학과

책임저자 : 이용빈(lyb14852@empal.com)

는 전장환경과 국가적 차원의 대규모 국방과제들을 과학적으로 검증하기 위한 효과적인 대안이며, 비용 및 효율성 측면에서 유리하기 때문에 그 활용도가 점차 높아지고 있다. 한편, 이와 같이 위게임 실험의 수요가 증가함에 따라 위게임 실험결과의 신뢰도 향상 문제가 중요한 과제로 떠오르고 있다.

위게임 실험결과의 신뢰도 향상을 위해서 크게 두 가지 접근방법을 고려할 수 있다. 첫 번째는 위게임 모델의 예측력을 향상시키는 것이다. 이를 위해서는 모델의 모의논리 개발 뿐만 아니라 모델링 방법론의 개발, 모델의 타당성 검증방법 개발 등이 함께 이루어져야 한다. 현재 우리 군에서도 모델의 정확도(Fidelity) 및 정밀도(Resolution), 그리고 모델 간의 연동성 및 호환성을 높이기 위한 연구, 개발이 지속적으로 진행되고 있다. 두 번째 접근방법은 체계적인 실험방법과 절차를 통해 결과의 신뢰도를 높이는 방법이다. 일반적으로 위게임 실험결과의 신뢰도를 높이기 위해 첫 번째의 접근방법만을 생각하기 쉽지만, 실제 현장에서 제기되는 신뢰도 문제는 위게임 모델 자체 뿐만 아니라 실험과정의 불확실성에 기인한 경우도 많다. 위게임 실험의 특성 상 실무자가 어떻게 실험을 계획하고, 시나리오를 구성하여 분석하는가에 따라 결과물이 달라질 수 있기 때문에 모든 위게임 실험 결과에는 구체적인 실험절차와 제한사항, 가정사항, 결과의 오차범위 등이 명시되어야 하며 최대한 객관적이고 과학적인 절차에 의해 실험이 수행되어야 한다. 그러나 현장에서는 실험예산의 부족, 시간의 부족, 인력의 부족 등 여러가지 제약이 존재하기 때문에 제한적인 여건 하에서도 체계적이고 효과적인 실험을 수행할 수 있도록 하기 위한 방법론의 개발은 필수적이다.

실험계획법(Design of Experiments)은 체계적이고 효과적인 실험 수행을 통해 실험목적 달성할 수 있도록 하는 방법론으로 전투실험 분야에도 적용이 가능하다. 이를 통해 가능한 최소한의 실험으로 최대의 정보를 얻을 수 있으며 합리적인 통계적 결과를 제시함으로써 실험결과의 신뢰도를 높일 수 있다.

본 논문에서는 미래의 일반 소총부대 인원편성을 결정하는 문제를 대상으로 실험계획 및 다특성 최적화 방법을 적용하여 최적 인원 조합에 대한 결과를 도출하였다. 위게임 모델로는 AWAM모델을 사용하였으며 실험은 전통적인 실험계획법의 바탕 위에 다구치가 제안한 직적배치(Product Array)를 채택하여 다양한 상황(잡음) 하에서도 산포가 작으면서 바람직한 특

성치를 유지하는 조건을 찾는 것을 목표로 하였다.

2. 위게임 실험의 특성과 실험절차

위게임 모델을 활용한 실험은 일반 시뮬레이션 실험과는 구별되는 몇 가지 특성 및 취약점을 가지고 있으며, 실험을 계획함에 있어서 이러한 사항들을 고려하여 전체적인 실험절차를 구상해야한다. 위게임 모델을 활용한 전투실험의 특성 및 취약점을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 최초 단계에서 명확하고 구체적인 목표수립이 매우 중요하다. 모든 위게임 모델은 목적지향적(Object Oriented) 특성을 갖는다. 즉, 모든 위게임 모델은 해결하고자 하는 문제의 목적에 따라 개발되고 활용되며 문제의 목적을 어떻게 설정하느냐에 따라 위게임 모델의 선정 및 관련변수의 선택기준, 실험설계 방법 등이 결정된다. 만약 초기단계에서 많은 의견 수렴과 토의를 통한 구체적인 목표수립이 이루어지지 않으면 실험진행과정에서 막대한 시간과 비용을 낭비할 수 있다¹⁾.

둘째, 다루는 변수(Factor) 및 수준(Level)의 종류와 수가 많고 복잡하다. 전장상황을 모의하는 대부분의 분석용 위게임 모델들은 적게는 수십 개에서 많게는 수천 개에 이르는 다양한 변수를 포함하며 입력 가능한 수준의 범위도 넓다. 그러나 모든 변수와 수준을 고려한다는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 변수 및 수준의 선정은 최초 설정한 실험문제의 목적에 따라서 주로 전문가 집단의 주관적 판단에 의존하게 된다. 이 과정에서 변수 및 수준이 적절하지 않게 선택되거나 중요한 변수가 누락될 수 있는 가능성이 있기 때문에 변수 및 수준의 선택과정은 가능한 많은 요소들이 고려될 수 있도록 신중하게 진행되어야 한다.

셋째, 상황 및 시나리오의 불확실성이다. 위게임 모델에서 다룰 수 있는 상황과 시나리오의 경우의 수는 매우 다양하다. 피아 규모 및 상태, 지형/기상, 적군의 기술변화, 이동경로, 대형, 교전수칙 등 실험자가 설정한 세부 시나리오에 따라 상이한 실험결과가 도출될 수 있다. 따라서 일반적인 시뮬레이션 실험과는 달리 위게임 실험에서는 상황 및 시나리오의 세부적인 내용을 설정하는 과정이 매우 중요하며 충분한 토의를 거쳐 현실적이면서도 가능한 다양한 상황과 시나리오가 실험에 포함될 수 있도록 해야 한다.

넷째, 입력데이터에 대한 불확실성이다. 모델에서 사용되는 무기체계의 제원, 장비의 성능, 화기의 명중확률 등의 입력데이터 값들은 일반적으로 실제의 실험결과가 아닌 전문가들의 경험과 교범 상의 정보를 바탕으로 획득한다. 따라서 입력 값의 불확실성이 존재하며 이를 해소하기 위한 대안으로 입력 데이터의 불확실성을 잡음변수로 실험에 포함시키는 방안을 고려할 수 있다.

다섯째, 모델자체의 모의논리가 가진 오류가능성의 문제이다. 위게임 모델은 실제현상과 완전히 같을 수 없다. 또한 군사문제의 특성 상 실제 전투상황의 결과값과 시뮬레이션 결과값의 비교를 통한 실증적 타당성 검증(Validation)은 제대로 이루어지기 어렵다. 따라서 위게임 모델의 오류가능성은 항상 존재하며, 전문가들에 의해 합당하다고 인정되는 모델을 사용하더라도 실험문제를 다룰 때마다 그 실험문제에 대한 위게임 모델의 모의논리의 타당성을 점검해야 한다.

Table 1. 위게임 실험의 실험계획 및 분석절차

단계	구분	주요내용
1	문제의 명확화	- 문제정의, 목적 구체화 - 세부과제, 요구되는 결과물 하달 - 개략적 상황/시나리오 하달
2	특성치 (측도)선정	- 목적에 부합하는 특성치 선정 - 측정도구(위게임 모델)선정
3	변수 및 수준선정	- 가능한 많은 변수 열거 - 제어변수/잡음변수 선정 - 각 변수의 수준 선정
4	상황/시나리오 선정	- 전장상황(초기조건) 구체화 - 시나리오 구체화
5	실험설계/ 예비실험	- 목적에 부합하는 최적실험 계획 (실험수, 가용시간/자원고려) - 예비실험 및 유효성 검토
6	실험실시	- 계획에 의한 통제된 실험 - 실험 간 주요정보 기록
7	결과분석/ 확인실험	- 통계적 데이터 분석 - 실험결과 적절성 검토 - 확인실험
8	소요제안	- 결과보고 및 야전소요 도출

위에서 제기한 불확실성 및 실험자 의존적인 특성 때문에 위게임 모델을 이용한 실험결과는 그 신뢰성이 의문시 되거나 제대로 활용되지 못하기도 한다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 일반 시뮬레이션 실험과는 달리 위게임 전투실험을 계획할 때는 실험문제의 명확화, 변수 및 수준의 선정, 그리고 상황 및 시나리오의 설정 과정에 많은 비중을 두고 활발한 협의를 통한 합리적인 결정이 이루어지도록 해야 한다. 또한 불확실성과 관련된 문제를 해소하기 위해서는 불확실성을 감소시키기 위한 노력 뿐만 아니라 이를 실험에 충실히 반영하고 이러한 불확실성의 정도를 분명히 명시하는 것도 좋은 대안이 될 수 있다. 즉, 다양한 상황과 불확실한 변수들을 실험에 적극적으로 반영하여 여러 가지 상황 하에서의 결과를 분석하기 위한 실험계획이 필요하다.

본 논문에서는 위에서 제시한 위게임 실험의 취약점을 고려하여 Table 1과 같은 절차를 제안한다.

Table 1의 실험계획 및 분석절차는 일반적으로 알려진 실험계획법의 절차⁴⁾를 바탕으로 위게임 실험의 특성을 고려하여 재구성한 것이며 세부적인 내용은 사례와 함께 3절과 4절에 서술하였다.

3. 실험준비 및 계획

가. 문제의 명확화

전투실험에서 문제를 명확화하는 작업은 의외로 쉽지 않으며, 이는 이후의 특성치, 변수선정 등 모든 실험 과정에 영향을 미치는 중요한 과정이다. 이 단계에서 명확하게 정의되어야 할 사항은 실험의 목적과 예상되는 결과물에 대한 구체적인 내용이다.

본 연구에서 다루고 있는 문제는 전투효과를 기준으로 소부대급 인원장비편성의 미래대안을 선정하기 위한 것으로 대안의 대상은 보병 소부대급의 인원/장비의 편성이다. 특성치는 전투와 직접적으로 관련이 있는 측도만을 중점적으로 선정하였다. 또한 최적조건을 결정함에 있어서는 발생 가능한 다양한 상황 하에서도 우수한 특성치를 유지할 수 있는 조건을 결정하는 것을 목표로 하였다. 아울러, 실험결과를 이용하여 변수와 특성치와의 관계를 정량적으로 모형화하여 활용할 수 있도록 하는 데에도 목표를 두었다.

나. 특성치 선정

특성치는 검증하고자 하는 어떤 시스템의 성능을 나타내는 측도라 할 수 있으며 최초로 설정한 실험목적과 측정방법 등을 고려하여 선정한다.

본 논문에서는 ‘아군의 생존율’과 ‘적군의 생존율’ 두 개의 특성치를 측도로 선정하였다.

$$1) \text{ 아군의 생존율} = \frac{\text{전투 후 아군의 남은인원수}}{\text{전투 전 아군의총인원수}}$$

$$2) \text{ 적군의 생존율} = \frac{\text{전투 후 적군의 남은인원수}}{\text{전투 전 적군의총인원수}}$$

다. 변수 및 수준의 설정

변수는 특성치에 영향을 미치는 인자이며 수준은 해당 변수가 갖는 값을 말한다. 실험조건은 변수들의 수준 조합으로 구성된다. 변수는 제어변수(Controllable Factor)와 잡음변수(Uncontrollable Factor)로 구분할 수 있는데 제어변수는 실험자가 통제할 수 있으며 실험을 통해 바람직한 값을 결정 하고자 하는 변수를 말하며, 잡음변수는 특성치에 영향을 미친다고 여겨지나, 통제 할 수 없는 변수를 말한다. 변수 선정에 앞서 특성치에 영향을 미친다고 예상되는 모든 주요변수들을 열거하는 작업이 선행되어야만 한다.

1) 제어변수 및 수준설정

본 연구의 목적이 미래 소부대급 소총부대의 인원/장비 조합을 결정하는 것이므로 제어변수는 미래 분대의 주요화기인 차기 단일형소총, 차기 경기관총, 차기 복합소총으로 정하였으며 전문가 의견을 반영하여 세부 제원 값을 정하였다. 또한 최소 단위인 분대급 인원조합을 설계 대상으로 하였다. 변수의 가능한 값의 범위 및 실험의 효율성을 고려하여 수준은 2개로 정하였으며 제어변수와 수준 값은 Table 2와 같이 나타낼 수 있다.

2) 잡음변수 및 수준설정

실제 전장에서는 통제할 수 없는 변수들이 제어변수보다 많이 존재한다. 이러한 요인들은 잡음변수로 반영하여 계획적인 변화를 가함으로써 좀 더 실제에 가까운 결과를 도출할 수 있다. 본 실험에서는 전문가 의견수렴 및 유효성 검토를 거쳐 최종적으로 6개의 잡음변수를 Table 3과 같이 도출하였다.

Table 2. 제어변수 및 수준

제어변수	내용	수준	
		1	2
차기 단일형소총	1개분대 편제된 차기 단일형 소총사수 인원	4명	5명
차기 경기관총	1개분대 편제된 차기 경기관총사수 인원	1명	2명
차기 복합소총	1개분대 편제된 차기 복합 소총사수 인원	1명	2명

Table 3. 잡음변수 및 수준

잡음변수	내용	수준	
		1	2
명중률변화	피아명중률 기본값변화	피아명중률 기본값	아명중률집합 +20% 적명중률집합 +20%
전투속련도	각개전투원의 사격기술 숙련도	아군 조준/재장전/ 거치시간 기본값(초)	아군 조준/재장전/ 거치시간 기본값+3(초)
기상조건	대기밝기 정도	맑고 청명	구름 많고 흐림
적규모변화	적군인원 : 아군인원	2:3	1:1
적진지여부	적군 진지 은/엄폐여부	적군 준비된 진지 사용안함	적군 준비된 진지 사용함
적전술변화	적군 대형	조별 밀집	개별 산개

라. 상황 및 시나리오 구체화

상황 및 시나리오는 일반실험과 달리 위게임 전투 실험이 가지고 있는 특징적인 요소이며 실현 가능한 상황과 전술적인 개념들이 반영되어야 하기 때문에 군사 전문가들에 의해 구체화 되어야 한다. 상황 및 시나리오를 구체화 할 때 주된 고려사항으로는 임무, 규모, 지형/기상, 현재 상태, 위치/대형, 교전규칙 등 위게임 시뮬레이션이 제대로 동작하기 위해서 세부적으로 지정해주어야 하는 모든 것들이 포함된다. 이러한 세부사항들의 통제되지 않은 변화로 인해서 정작

관심을 두고 있는 변수들의 효과가 영향을 받지 않도록 상황 및 시나리오의 세부내용을 구체적으로 명시하여 통제하는 것이 바람직하다.

본 실험의 기본 상황은 아군 지역에 침투한 적의 정보병 특작부대에 대하여 탐색격멸작전을 실시하는 상황으로 선정하였다.

부대의 규모는 기본적으로 적군과 아군 양쪽 진영 모두 1개 중대 급으로 규모를 정하였다. 실험목적이 아군 인원조합의 최적조건을 찾는 것이므로 대안에 따른 결과의 변화가 뚜렷하게 구별될 수 있도록 하는 것이 중요하며 예비실험을 통해 적절한 규모를 확정하였다.

전장지형은 낮은 산지와 평지, 수풀지대, 마을, 도로 등을 포함한 한국의 일반적인 지형을 선정하였으며 지형에 의한 효과는 실험변수가 아니기 때문에 이를 최대한 상쇄시키기 위하여 3개 소대 별로 각각 상이한 지형을 부여하였다.

또한 그 밖의 위게임 내에서 전투원들의 세부행동에 대한 동작명세는 야전교범 상의 전술적 개념과 실재훈련 경험 등을 참고로 하여 구체화하였다.

마. 실험계획 및 예비실험

본 논문에서는 직적배치방법을 사용하여 내측에 제어변수를, 외측에는 잡음변수를 배치하였다. 내측은 2수준 짜리 3개 변수에 대하여 2³ 완전요인배치로 구성하였고 잡음변수는 L₈(2⁷) 직교표를 사용하여 외측에 배치하였다

본 연구에서 직적배치를 사용한 이유는 잡음으로 인해 발생하는 산포에 대한 파악이 쉽고 잡음변수와 제어변수 간의 교호작용에 대한 분석결과를 얻을 수 있으며 결과를 해석하기 쉽기 때문이다^{3,7)}.

직교표는 전통적으로 잘 알려진 부분 요인 배치법(Fractional Factorial Design)의 일종이라 할 수 있으며 변수의 모든 수준조합이 아니라 직교배열로 결정된 특정조합에서만 실험을 수행하여 실험횟수를 단축시킬 수 있다. 본 연구에서는 2수준짜리 잡음변수 6개를 사용하므로 L₈(2⁷) 직교표를 사용하여 잡음변수에 대한 외측 배열을 Table 4와 같이 구성하였다.

Table 4에서 U~Z는 앞서 선정한 잡음변수이며 U는 명중률 변화, V는 전투속력도, W는 기상조건(대기압기), X는 적 규모 변화, Y는 적 진지 여부, 그리고 Z는 적 전술 변화를 의미한다. 최종적으로 다음 Fig. 1과 같은 실험을 계획하였다.

Table 4. L₈(2⁷) 직교표를 사용한 잡음변수의 배치

실험번호	U	V	W	X	Y	Z	e
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
기본표시	a	b	ab	c	ac	bc	abc

실험번호	A	B	C	잡음조건								mean	std
				1	2	3	4	5	6	7	8		
1	1	1	1	Y ₁₁	Y ₁₂	.	.	.	.	Y ₁₈		
2	1	1	2	Y ₂₁	Y ₂₂	.	.	.	.	Y ₂₈		
3	1	2	1	.	.	.	.	.	.	.
4	1	2	1	.	.	.	.	.	.	.
5	2	1	1	.	.	.	.	.	.	.
6	2	1	2	.	.	.	.	.	.	.
7	2	2	1	.	.	.	.	.	.	.
8	2	2	2	Y ₈₁	Y ₈₂	.	.	.	.	Y ₈₈		

<제어변수>	<잡음변수>	
A: 차기 단일형 소총	U: 피아 명중률변화	V: 전투속력도
B: 차기 경기관총	W: 기상	X: 적 규모변화
C: 차기 복합소총	Y: 적진지 여부	Z: 적 대형변화

Fig. 1. 직적배치에 의한 최종실험계획

위의 Fig. 1의 실험계획에 의해 본 실험을 하기에 앞서 예비실험을 실시하였으며 예비실험의 목적은 다음과 같다.

- 1) 반복횟수의 계산을 위해 필요한 추정표준오차의 획득
- 2) 실험자의 사전 숙달을 통한 본 실험에서의 오류 예방
- 3) 변수/수준, 시나리오, 위게임 모의논리 적절성 검토

일반적으로 전투실험을 실시함에 있어서 앞 단계에서 선정한 변수의 수준이나 시나리오 등이 적절하지 않거나 위게임 모의논리의 오류 등으로 전체 실험결과가 의도한 목적을 잘 보여주지 못하거나 상식 밖의 결과를 도출하게 될 가능성이 있다. 따라서 사전 유효성 검토를 통해 최초 선정한 계획 및 위게임 모의논리의 문제점을 분석하여 필요한 부분을 수정한 후 본 실험을 실시하는 것이 바람직하다.

4. 실험실시 및 결과분석

실험준비가 완료된 후 실험을 실시하게 되는데 모든 실험은 앞서 준비된 계획에 의해 진행되어야 한다.

실험은 각각의 조건 별로 12회의 반복을 실시하였으며 결과는 Table 5에 정리하였다. Table 5에 기록한 값들은 반복실험 결과들의 평균값이고 Total mean은 모든 결과값의 평균, Total std는 모든 결과값의 표준편차를 나타내며 괄호 안의 숫자는 순위를 나타낸다. 아생존율의 Total mean은 클수록 좋은 특성이므로 A₂B₂C₂조건이, Total std는 작을수록 좋은 특성이므로 A₂B₁C₁조건이 가장 우수한 결과를 나타냈다.

Table 5. 아 생존율의 평균과 표준편차 값

실험 조건	잡음조건								Total mean	Total std
	1	2	3	4	5	6	7	8		
A ₁ B ₁ C ₁	0.712	0.316	0.659	0.255	0.398	0.517	0.320	0.367	0.443(8)	0.174(6)
A ₁ B ₁ C ₂	0.738	0.338	0.711	0.308	0.537	0.611	0.441	0.480	0.521(5)	0.168(2)
A ₁ B ₂ C ₁	0.785	0.343	0.724	0.267	0.402	0.630	0.338	0.474	0.496(6)	0.196(8)
A ₁ B ₂ C ₂	0.810	0.397	0.790	0.355	0.583	0.638	0.480	0.584	0.580(2)	0.170(5)
A ₂ B ₁ C ₁	0.734	0.336	0.631	0.258	0.447	0.588	0.345	0.428	0.471(7)	0.167(1)
A ₂ B ₁ C ₂	0.794	0.399	0.768	0.356	0.531	0.659	0.456	0.507	0.559(3)	0.169(3)
A ₂ B ₂ C ₁	0.795	0.346	0.766	0.309	0.448	0.633	0.384	0.484	0.521(4)	0.190(7)
A ₂ B ₂ C ₂	0.827	0.420	0.795	0.389	0.579	0.703	0.489	0.638	0.605(1)	0.169(4)

Table 6의 적 생존율의 Total mean과 Total std는 모두 작을수록 좋은 특성으로 각각 A₂B₂C₂조건, A₁B₂C₂조건일 때 가장 좋은 결과를 보였다.

Table 6. 적 생존율의 평균과 표준편차의 값

실험 조건	잡음조건								Total mean	Total std
	1	2	3	4	5	6	7	8		
A ₁ B ₁ C ₁	0.027	0.370	0.043	0.450	0.192	0.116	0.305	0.160	0.208(8)	0.159(7)
A ₁ B ₁ C ₂	0.007	0.254	0.038	0.319	0.054	0.061	0.189	0.078	0.125(5)	0.126(5)
A ₁ B ₂ C ₁	0.012	0.335	0.027	0.418	0.197	0.047	0.265	0.064	0.171(6)	0.168(8)
A ₁ B ₂ C ₂	0.004	0.163	0.013	0.229	0.046	0.029	0.086	0.308	0.110(3)	0.089(1)
A ₂ B ₁ C ₁	0.018	0.309	0.066	0.411	0.165	0.082	0.285	0.110	0.181(7)	0.148(6)
A ₂ B ₁ C ₂	0.004	0.217	0.018	0.258	0.055	0.041	0.143	0.073	0.101(2)	0.105(3)
A ₂ B ₂ C ₁	0.003	0.276	0.012	0.258	0.143	0.052	0.185	0.067	0.125(4)	0.124(4)
A ₂ B ₂ C ₂	0.001	0.166	0.010	0.295	0.058	0.023	0.114	0.016	0.086(1)	0.095(2)

Table 5와 Table 6에서 평균과 산포에 대한 최적조건이 서로 다르기 때문에 이를 동시에 만족하는 하나의 최적조건을 선정하기 위해서는 다특성 최적화를 위한 방법이 필요하다. 본 연구에서는 평균과 산포를 동시에 만족시킬 수 있는 조건을 찾기 위해 SN비에 의한 방법과 호감도 함수(Desirability Function)에 의한 방법을 적용하여 최적조건을 선정하였다.

가. SN비에 의한 최적조건

다구치는 SN비라는 성능측도를 사용하여 특성치의 평균과 산포를 동시에 고려할 수 있는 방법을 제안하였으며 이는 시스템의 특성치가 목표치로부터 떨어진 정도를 손실로 표현하여 이를 최소화 시키고자 하는 접근 방법이다.

손실함수는 다음과 같은 세 가지의 특성치의 성격에 따라 각각 다른 형태로 표현된다.

- 1) 망목특성 : 특정 목표치에 가까울수록 좋은 특성 (예 : 자동차 도장막의 두께)
- 2) 망소특성 : 작을수록 좋은 특성 (예 : 단위면적당 결함수)
- 3) 망대특성 : 클수록 좋은 특성 (예 : 인장강도)

성능특성치가 특정한 y 값을 가질 때 시스템의 손실 값은 L(y)이며 y 값은 여러 요인들에 의해 변동하기 때문에 시스템의 손실값도 변동하게 된다. SN비는 어

면 시스템의 특성치가 목표값으로부터 산포함으로써 야기되는 손실값의 평균인 기대손실로부터 유도되는 성능측도이며 특성치의 평균과 분산을 동시에 고려한 값이다. 본 실험에서는 사용하는 망대특성(아생존율), 망소특성(적생존율)에 대한 SN비는 다음과 같은 값으로 추정할 수 있다^[9].

$$1) \text{ 망대특성의 SN비} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

$$2) \text{ 망소특성의 SN비} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

정의에 의해 SN비를 최대화 하는 실험조건이 곧 기대손실이 최소가 되는 최적 설계조건이 된다.

실험계획에서 최적조건을 선정하기 앞서 제약조건이 있는지의 여부를 고려해야 한다. 실험에 포함된 특정 실험조건은 기술적, 경제적 어려움 등으로 실제 사용자에게 고려 대상이 되지 않을 수 있다. 이러한 경우 제약조건을 사용하여 사용자의 요구범위 내에서 최적조건을 선정해야 한다.

부대의 인원수는 많을 수록 전투에 유리한 조건이 되는 반면, 평시에 유지 및 관리를 위한 비용이 많이 소요된다는 단점이 있다. 따라서 적절한 범위 내에서 최적조건이 결정되어야 한다. 본 실험에서는 분대 전체의 인원의 합을 8명 이내로 제약하였다. 따라서 전체의 합이 9명이 되는 8번 조건은 최적조건 선정 대상에서 제외하고, 나머지 조건(1번~7번) 내에서 SN비에 의한 최적 조건을 선정하였다(Table 7 참조).

Table 7. 아생존율과 적생존율에 대한 SN비 값

실험번호	실험조건	아생존율SN비	적생존율 SN비
1	A ₁ B ₁ C ₁	-8.96268(8)	11.64484(8)
2	A ₁ B ₁ C ₂	-7.17248(4)	15.01919(4)
3	A ₁ B ₂ C ₁	-8.18649(6)	12.4277(7)
4	A ₁ B ₂ C ₂	-6.0304(2)	18.66742(1)
5	A ₂ B ₁ C ₁	-8.27147(7)	12.6447(6)
6	A ₂ B ₁ C ₂	-6.37336(3)	16.73467(3)
7	A ₂ B ₂ C ₁	-7.35953(5)	14.95662(5)
8	A ₂ B ₂ C ₂	-5.60368(1)	18.37512(2)

Table 7에서 괄호 안의 숫자는 실험조건 내에서 SN비 값의 순위를 나타내며 제약조건에 의해 8번 조건(A₂B₂C₂)을 제외하면 아생존율과 적생존율 모두 4번 조건(A₁B₂C₂)에서 SN비가 가장 높게 나타남을 알 수 있다. 따라서 SN비에 의한 최적조건은 A₁B₂C₂로 채택할 수 있다.

나. 호감도 함수에 의한 최적조건

다특성 문제의 동시 최적화를 위한 효과적인 방법으로 Derringer와 Suich는 호감도 함수에 의한 접근 방법을 제안하였다^[2]. 호감도는 사용자가 정의하는 특성치의 바람직한 정도라고 할 수 있다. 호감도 함수를 이용한 방법의 원리는 실험결과 획득한 y_i 들이 목표치에 가까운 정도에 따라 특성치 별 호감도(Individual Desirability) d_i를 구하고 이를 종합한 종합호감도(Overall Desirability) D를 최대화시키는 것을 목표로 최적조건을 선정 하는 것이다. 호감도 함수를 이용한 접근방법의 장점은 호감도를 산출하는데 필요한 가중치를 사용자가 정의하기 때문에 실제 현장의 요구사항을 유연하게 충족시켜줄 수 있으며 개념적으로 단순하다는 것이다. 특히 의사결정권자의 판단과 전문적 개념이 중시되는 군사분야의 의사결정에서 유용하게 활용될 수 있다.

호감도 함수는 크게 망소, 망대, 망목특성에 따라 세가지 형태로 구분되며 본 실험에 사용하는 망대특성(아생존율), 망소특성(적생존율 및 각 생존율의 표준편차)에 대한 호감도 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

1) 망대특성의 호감도 함수

$$d = \begin{cases} 0, & y < L \\ \left(\frac{y-L}{T-L} \right)^r, & L \leq y \leq T \\ 1, & y > T \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)의 d는 개별 호감도를 의미하며 0에서 1사이의 값을 가진다. 또한 L은 y의 최소허용기준(Lower bound)이며 T는 y의 바람직한 값으로 L과 T는 사용자가 정의하는 값이다. 만약 특성치 y가 최소기준 L보다 작은 값이라면 호감도는 0이되고 목표치 T이상이라면 호감도는 1이되며 y가 최소기준과 목표치 사이

의 값일 때는 0에서 1사이의 호감도를 갖는다. 일반적으로 특성치의 값은 최소기준과 목표치 사이에 위치하는데 r 은 이 때의 호감도 그래프의 형태를 조정하는 값이 된다. r 은 사용자가 정의하는 값으로 $r=1$ 일 때의 그래프는 직선(Liner) 형태, $0 < r < 1$ 일 때의 그래프는 볼록한 형태(Concave), 그리고 $r > 1$ 일 때의 그래프는 오목한(Convex)형태가 된다.

2) 망소특성의 호감도 함수

망대특성과 비슷한 방법으로 망소특성의 호감도 함수는 다음 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$d = \begin{cases} 1, & y < T \\ \left(\frac{U-y}{U-T}\right)^r, & T \leq y \leq U \\ 0, & y > U \end{cases} \quad (2)$$

종합호감도 D 는 각각의 특성치에 대하여 개별 호감도 $\{d_i, i=1,2,\dots,m\}$ 를 구한 다음, 여기에 가중치를 부여하여 기하평균을 구하는 방법을 사용하며 식 (3)과 같이 정의한다.

$$D = (d_1^{I_1} \times d_2^{I_2} \times d_3^{I_3} \times \dots \times d_m^{I_m})^{\frac{1}{\sum_{i=1}^m I_i}} \quad (3)$$

식 (3)에서 d_i 는 개별호감도 이며 I_i 는 사용자가 부여하는 가중치이다. 기하평균을 사용하기 때문에 개별 호감도 값이 0이 되는 조건을 고려대상에서 제외시킬 수 있다.

본 실험에서는 아생존율 평균과 표준편차, 적생존율의 평균과 표준편차 총 4개 기준에 대한 개별호감도를 구한 후 이를 통합한 종합호감도를 최종측도로 사용한다. 또한 호감도의 획득을 위한 가중치 값은 전문가의 의견을 반영하여 Table 8과 같이 선정하였다.

Table 8. 호감도 산출을 위한 목표치, 한계, 가중치 값

구분	기호	종류	가중치값
아생존율평균	d_1	망대	$L=0.4, T=0.95, r=2$
아생존율표준편차	d_2	망소	$L=0.3, T=0.05, r=1$
적생존율평균	d_3	망소	$L=0.4, T=0.05, r=2$
적생존율표준편차	d_4	망소	$L=0.3, T=0.05, r=1$

Table 8의 가중치를 호감도 함수식에 대입하여 개별 호감도를 구한 결과는 Table 9와 같다.

Table 9. 각 기준별 개별 호감도

실험번호	실험조건	d_1	d_2	d_3	d_4
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.0062	0.5057	0.2998	0.5636
2	A ₁ B ₁ C ₂	0.0483	0.5296	0.6152	0.6956
3	A ₁ B ₂ C ₁	0.0303	0.4144	0.4276	0.5286
4	A ₁ B ₂ C ₂	0.1071	0.5198	0.6851	0.8432
5	A ₂ B ₁ C ₁	0.0168	0.5317	0.3912	0.6092
6	A ₂ B ₁ C ₂	0.0839	0.5255	0.7277	0.7799
7	A ₂ B ₂ C ₁	0.0485	0.4390	0.6178	0.7050
8	A ₂ B ₂ C ₂	0.1395	0.5239	0.8056	0.8207

개별 호감도를 통합하기위한 가중치는 전문가 의견을 반영하였고 종합호감도는 다음 식 (4)에 의해 산출하였다.

$$D = (d_1^4 \times d_2^2 \times d_3^3 \times d_4^1)^{\frac{1}{10}} \quad (4)$$

식 (4)에 의한 종합호감도 결과는 Table 10과 같다.

Table 10. 실험조건 별 종합호감도

실험번호	실험조건	종합호감도	순위
1	A ₁ B ₁ C ₁	0.0753	8
2	A ₁ B ₁ C ₂	0.2186	4
3	A ₁ B ₂ C ₁	0.1506	6
4	A ₁ B ₂ C ₂	0.3151	2
5	A ₂ B ₁ C ₁	0.1236	7
6	A ₂ B ₁ C ₂	0.2894	3
7	A ₂ B ₂ C ₁	0.2113	5
8	A ₂ B ₂ C ₂	0.3672	1

Table 10의 종합호감도 분석결과 8번 조건(A₂B₂C₂)의 종합호감도가 가장 높은 값을 나타내고 있으나, 8번 조건은 제약조건에 의해 제외되므로 4번 조건(A₁B₂C₂)을 최적조건으로 채택할 수 있으며 이는 SN비에 의한 방법으로 얻은 결과와 동일한 결과이다.

다. 회귀분석에 의한 메타모델 수립

실험결과에 대한 회귀분석(Regression Analysis)을 통해 실험에 사용된 입력변수(제어변수, 잡음변수)와 특성시간의 관계를 특정한 함수식으로 정리할 수 있다.

최소제곱추정법을 사용하여 회귀분석을 사용할 때 설계자는 1차 다항식부터 고차 다항식까지 다양한 형태를 고려할 수 있으나 본 연구에서는 제어변수 항 3개, 제어변수 간의 교호작용 항 3개, 잡음변수 항 6개 그리고 제어변수와 잡음변수 간의 교호작용 항 18개의 총 30개 항을 고려하였다. 30개항을 고려한 메타모델의 기본 구조식은 다음 식 (5)와 같다.

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_3x_3 + \beta_4x_1x_2 + \beta_5x_1x_3 + \beta_6x_2x_3 + \beta_7z_1 + \beta_8z_2 + \beta_9z_3 + \beta_{10}z_4 + \beta_{11}z_5 + \beta_{12}z_6 + \beta_{13}x_1z_1 + \beta_{14}x_1z_2 + \dots + \beta_{29}x_3z_5 + \beta_{30}x_3z_6 + \varepsilon \quad (5)$$

식 (5)에서 $\beta_0 \sim \beta_{30}$ 는 회귀계수, x_1, x_2, x_3 는 제어변수, $z_1 \sim z_6$ 는 잡음변수를 나타낸다. 식 (5)에 따라 y 에 대한 전체회귀모형을 구한 다음, backward elimination 절차를 이용하여 (유의수준 = 0.1) 다음 식 (6)과 같은 축소회귀모형을 구하였다^[5].

$$\hat{y} = 0.4905 + 0.0294x_1 + 0.0639x_2 + 0.0344x_3 - 0.1112z_1 - 0.1423z_2 + 0.0293z_3 - 0.1525z_4 - 0.2370z_5 + 0.0124z_6 + 0.0188x_2z_2 - 0.0432x_2z_5 + 0.0467x_3z_1 + 0.0253x_3z_2 + 0.0259x_3z_5 \quad (6)$$

식 (6)에서 \hat{y} 은 아생존율의 추정값이다. 위의 회귀식에 대한 R^2 값은 85.0%이며 AVOVA분석 결과 모델의 P값이 0.000으로 충분히 작고 잔차분석에서도 특이한 점을 발견할 수 없었으므로 시뮬레이션 결과를 비교적 잘 설명하고 있음을 알 수 있다. 따라서 식 (6)을 아생존율 y 에 대한 메타모델로 채택할 수 있으며 이는 신속한 모의결과 도출 및 결과의 타당성 검증 등의 목적으로 유용하게 활용될 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 위게임 실험의 특성을 고려한 전투 실험 절차를 제안하였으며, 이를 부대의 인원장비의 최적설계를 결정하는 전투실험 문제에 적용한 사례를

제시하였다.

위게임 실험의 신뢰도 향상을 위해서는 모델의 예측능력 향상과 더불어 실험계획 및 분석 방법의 발전이 함께 이루어져야 한다. 그리고 바람직한 실험계획 및 분석방법은 한가지로 정형화 될 수 있는 것이 아니며 실제 적용하고자 하는 문제의 특징을 깊이 이해한 후 그에 맞게 적절히 변형되어야 한다. 따라서 전투실험계획 및 분석 기법의 발전을 위해서는 다양한 실험문제(특히 대규모 문제)들에 대해 여러 가지 방법들을 적용한 사례들이 제시, 검토되어야 할 것이다. 이와 같은 연구를 수행하는데 있어 본 논문에서 제시한 개념과 기법, 즉 위게임 실험 절차, 잡음을 충실히 반영한 시뮬레이션, 그리고 다특성치에 대한 분석방법 등은 유용하게 활용될 수 있으리라고 판단된다.

References

- [1] Bernard, P. Z., Herbert, P. and Kim, T. G., Theory of Modeling and Simulation, Academic Press, London, 2000.
- [2] Derringer, G. and Suich, R., "Simulation Optimization of Several Response Variables", Journal of Quality Technology, 12(4), pp. 214~219, 1980.
- [3] Kunert, J., Auer, C., Erdbrugge, M., and Ewers, R., "An Experiment to Compare Taguchi's Product Array and the Combined Array", Journal of Quality Technology, 39(1), pp. 17~34, 2007.
- [4] Montgomery, D. C., Design and Analysis of Experiment 6th Ed, John Wiley, Hoboken, NJ, 2005.
- [5] Montgomery, D. C., Peck, E. A. and Vining, G. G., Introduction to Linear Regression Analysis 4th Ed, John Wiley, Hoboken, NJ, 2006.
- [6] Myers, R. H. and Montgomery, D. C., Response Surface Methodology 2th Ed, John Wiley, Hoboken, NJ, 2002.
- [7] Shoemaker, A. C., Tsui, K. L. and Wu, C. F. J., "Economic Experimentation Methods for Robust Design", Technometrics, 33(4), pp. 415~427, 1991.
- [8] 김충영, 민계료, 하석태, 강성진, 최석철, 최상영, 군사OR 이론과 응용, 두남, 2004.
- [9] 대구치, 품질설계를 위한 실험계획법, 품질공학강좌 4, 한국공업표준협회, 1989.