

# KCTC 신규 도입 무기체계의 살상확률 추정값 산출 방법론 연구

김현준\*, 정자훈\*, 이대호\*\*, 백승원\*, 조성식\*

\*육군사관학교 기계·시스템공학과

\*\*육군사관학교 물리·화학과

e-mail:hyunjoon0605@kma.ac.kr

## A Study on Pk Estimation Methodology for New Weapon Systems Integrated into KCTC

Hyeonjun Kim\*, Jahoon Jeong\*, Daeho Lee\*\*, Seungwon Baik\*, Seongsik Jo\*

\*Dept. of Weapon System Engineering, Korea Military Academy

\*\*Dept. of Physics, Korea Military Academy

### 요약

여단급 과학화전투훈련체계(KCTC)에는 신규 무기체계가 지속적으로 도입되고 있으나, 신규 체계에 대한 살상확률( $P_k$ ) 테이블이 훈련 시뮬레이터에 반영되지 않거나 이기종 시뮬레이터 간 데이터 불일치가 존재하는 경우가 있다. 본 연구에서는 KCTC 전투모의 시뮬레이터와 AWAM(Army Weapon effectiveness Analysis Model) 시뮬레이터의  $P_k$  데이터 구조를 비교·분석하고, 두 시뮬레이터 간의  $P_k$  테이블을 합리적으로 정합하여 신규 무기체계의 살상확률을 도출하는 방법론을 제시한다. 제안된 방법론은 유사 무기체계 직접 적용, AWAM 살상확률 비율( $RP_k$ ) 기반 변환 적용, 전문기관 검증(추후 예정)의 3단계로 구성된다. 실제  $P_k$  데이터는 보안을 고려하여 일부 변형하여 제시하였으며, 소화기류, 기관포류, 곡사화기류 등 다양한 화기 계열에 대한 적용 사례를 통해 방법론의 범용성과 타당성을 검토하였다.

## 1. 서론

과학화전투훈련체계(KCTC, Korea Combat Training Center)는 실기동 훈련과 전투모의를 결합하여 부대 전투력을 실질적으로 평가하는 체계로, 전투원 및 장비에 마일즈(MILES) 장비를 부착하여 교전 결과를 자동 판정한다 [1]. 이 과정의 핵심은 살상확률( $P_k$ , Probability of Kill) 테이블로, 화기 종류·탄종·명중부위에 따른 피해를 확률론적으로 결정한다.

최근 군의 전력화 속도가 빨라지면서 다수의 신규 무기체계가 도입되고 있다. 그러나 이들 체계는 기존 KCTC 시뮬레이터의  $P_k$  테이블에 반영되어 있지 않거나, AWAM 등 타 시뮬레이터와 데이터 불일치 문제가 존재한다 [2]. 이기종 시뮬레이터 간의  $P_k$  데이터 불일치는 훈련 결과의 신뢰성을 저해하고, 신규 무기체계의 전투 효과를 과대 또는 과소평가하는 위험이 있다 [6]. KCTC와 AWAM은  $P_k$ 를 정의하는 기본 축이 근본적으로 다르기 때문에(그림 1 참조), 단순 수치 대응이 아닌 구조 변환 기반의 정합 방법론이 반드시 요구된다.

본 논문은 KCTC 및 AWAM의  $P_k$  테이블 구조를 비교하고, AWAM의 사거리별 데이터를 중간 참조 도구로 활용하여 신규 무기체계의 KCTC 부위별  $P_k$  테이블을 도출하는 3단계 방법론을 제안하며, 적용 사례와 방법론의 한계를 함께 제시한다.

## 2. 선행연구 검토

### 2.1 전투모의 모델 간 데이터 정합

이기종 전투모의 모델 간 데이터 정합 문제는 국내에서도 꾸준히 연구되어 왔다. 이용복 등 [6]은 창조21과 비전21의 부대 DB 구조를 비교하여 메타데이터 기반 변환 절차 및 매핑 알고리즘을 제안하였으며, 이기종 모델 간 데이터는 구조적 변환을 거쳐야 함을 보였다. 문호석 등 [7]은 전투21과 다목적탱크시뮬레이터(TMPS)의 다중해상도 연동을 분석하여, 데이터 구조 차이가 모의 결과의 타당성에 직접 영향을 미침을 보였다.

### 2.2 살상확률( $P_k$ ) 산출 방법론

살상확률 산출에 관한 연구는 JMEM(Joint Munitions Effectiveness Manual) 데이터를 기반으로 발전해 왔다. 최연호 등 [3]은 직사화기  $P_k$ 를 시뮬레이션 기반으로 산출하는 절차를 제시하였으며, 장영천 등 [4]은 인공신경망으로 JMEM Av 데이터를 예측하여  $P_k$ 를 산출하는 방법론을 개발하였다. 이예림 등 [5]은 메타모델링 기법으로 무기효과지수 계산 비용을 절감하는 방법을 제안하였다.

이들 연구는 대부분 단일 시뮬레이터 내  $P_k$  산출에 집중하며, 이기종 시뮬레이터 간 구조적 차이를 극복하는 정합 방법론은 다루지 않는다. 본 연구는 이 공백을 채우는 데 기여한다.

### 3. Pk 테이블 구조 비교

#### 3.1 KCTC 시뮬레이터

KCTC 전투모의 시뮬레이터는 직접사격 화기의 경우 명중부위별 사망·중상·경상 확률을 정의하는 구조를 채택한다. 대인 Pk 테이블은 머리(전/후), 팔(좌/우), 복부(전), 둔부·배낭 등의 명중 부위로 구성되며, 각 부위별 피해유형 확률의 합은 1.0이다.

[표 1] KCTC 소화기 대인 Pk 테이블 구조 예시

피해 유형	명중 부위						
	머리 (전)	머리 (후)	팔 (우)	팔 (좌)	복부 (전)	둔부 (후)	배낭
사망	0.8	0.8	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1
중상	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3
경상	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6

※ 상기 데이터는 보안을 고려하여 일부 변형함.

KCTC Pk는 사거리와 무관하게 명중 부위에 따라 피해유형이 결정되며, 방탄 효과가 확률에 내포되어 있다. 차량·장갑차 등 장비에 대해서는 완파(CatK), 화력파괴(FK), 기동파괴(MK), 통신파괴(CK), 지연기동파괴(DMK)의 5개 피해 유형으로 Pk 테이블이 구성되어 있다. 곡사화기의 경우 MAE(Mean Area of Effectiveness)와 지형조건에 따른 피해 계수가 별도로 정의된다.

#### 3.2 AWAM 시뮬레이터

AWAM은 사 거리에 따른 살상확률을 정의하는 구조를 채택한다. 살상 유형은 M(기동불능), F(화력불능), MF(기동·화력 불능), K(완파/사망), ND(무피해)으로 구분되며, 표적 상태와 결합하여 사거리 구간별 확률표를 형성한다.

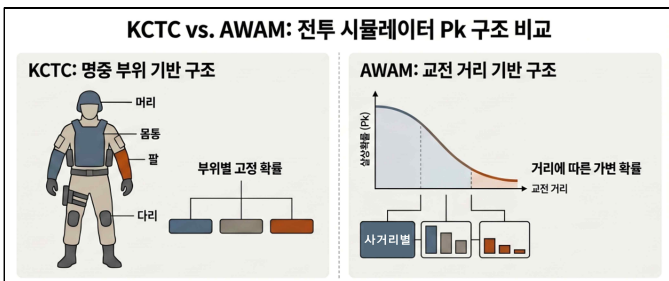
[표 2] AWAM 사거리별 대인 Pk 테이블 구조 예시

사거리	M	F	MF	K	ND
0m	0.1	0.1	0	0.8	0
800m	0.08	0.08	0	0.64	0.2
1600m	0.016	0.016	0	0.128	0.84
3600m	0.008	0.008	0	0.064	0.92
3960m	0	0	0	0	1

※ 상기 데이터는 보안을 고려하여 일부 변형함.

AWAM Pk는 명중 부위와 무관하게 사 거리에 따라 결정되며, 구경·탄종별 세분화와 거리감쇠 특성이 반영된다.

#### 3.3 이기종 시뮬레이터 구조 비교



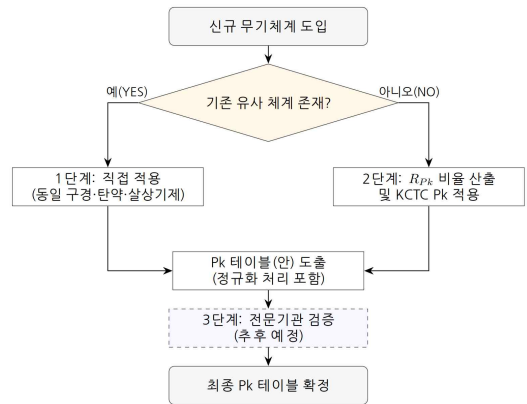
[그림 1] 이기종 전투모의 시뮬레이터의 Pk 테이블 구조 비교

그림 1은 두 시뮬레이터의 Pk 구조를 직관적으로 비교한 것이다. 핵심적 차이는 Pk를 결정하는 독립변수에 있다: KCTC는 명중부위(hit location)를, AWAM은 사거리(engagement range)를 독립변수로 삼기에, 두 시뮬레이터의 Pk 값을 직접 대응시키는 것은 구조적으로 불가능하며, 정합 방법론이 필수적이다.

### 4. Pk 테이블 정합 방법론

#### 4.1 개요 및 흐름도

본 방법론의 핵심은 AWAM의 상대적 살상효과 비교 기능을 중간 도구로 활용하여 신규 무기체계의 KCTC 형식 Pk 테이블을 추정하는 것이다. AWAM 자체가 최종 산출물의 운용 체계가 아니라,  $R_{Pk}$  산출을 위한 참조 데이터로 기능하며, 최종 결과물은 어디까지나 KCTC 부위별 Pk 테이블이다. 이러한 전제 하, 본 방법론은 신규 무기체계와 기존 체계의 유사성 판단에 따라 두 갈래로 분기되는 3단계 구조로 구성된다. 그림 2는 전체 흐름을 도식화한 것이다.



[그림 2] Pk 테이블 정합 방법론 흐름도

3단계 방법론의 구성은 다음과 같다. 1단계는 유사 무기체계 식별로, 구경·탄약·살상기제·유효사거리를 비교하여 가장 유사한 기존 체계를 선정한다. 2단계는  $R_{Pk}$  도출 및 적용으로, AWAM 데이터를 활용하여 기존 체계 대비 신규체계의 살상 확률 비율을 산출한 후 KCTC Pk 값에 적용한다. 3단계는 전문기관 검증(추후 예정)으로, 도출된 Pk 테이블(안)을 전투모의 전문기관을 통해 검증 및 확정한다.

#### 4.2 1단계: 유사 무기체계 직접 적용

신규 무기체계가 기존 체계와 구경·탄약·살상기제가 동일하거나 매우 유사한 경우, 기존 체계의 Pk 테이블을 직접 적용한다. 직접 적용의 판단 기준은 다음과 같다. 동일 구경 및 동일 탄약 계열을 사용하고, 유효사거리 및 최대사거리가 유사하며, 살상기제(폭발·관통·파편 등)가 동일하고, AWAM사거리별 Pk 분포 형태가 기존 체계와 유사한 경우에 해당한다.

### 4.3 2단계: AWAM $R_{Pk}$ 적용

기존 체계와 성능 차이가 있거나 새로운 살상기체를 가진 경우, AWAM의 사거리별 살상확률(K 유형)을 다구간 1차함수로 보고, 두 체계의 공통 유효사거리 구간에서 면적을 적분하여  $R_{Pk}$  를 산출한 후 KCTC Pk 값에 반영한다.  $S_{기준}$ ,  $S_{신규}$  는 각 체계의 AWAM K 유형 Pk 그래프 아래 면적(적분값)이다.  $r_{기준}^{max}$ ,  $r_{신규}^{max}$  는 각 체계의 살상확률이 0이 되는 시점이며,  $r_{min}$  은 두 값 중 더 작은 값이다.  $Pk_i^{AWAM}$  는  $i$ 번째 사거리 기준점에서 AWAM K 유형 살상확률,  $l$ 은 명중부위 인덱스,  $j$ 는 피해유형 인덱스(사망:K, 중상:WS, 경상:WL)이다.

$$R_{Pk} = \frac{S_{신규}}{S_{기준}} \quad (1)$$

$$S = \int_0^{r_{min}} Pk^{AWAM}(r) dr \quad (2)$$

$$\approx \sum_i \frac{Pk_i^{AWAM} + Pk_{i+1}^{AWAM}}{2} (r_{i+1} - r_i)$$

단,  $r_{min} = \min(r_{기준}^{max}, r_{신규}^{max})$

$$Pk_{K,l,신규}^{KCTC} = Pk_{K,l,기준}^{KCTC} \times R_{Pk} \quad (3)$$

$$Pk_{j,l,신규}^{KCTC} = Pk_{j,l,기준}^{KCTC} \times \frac{1 - Pk_{K,l,신규}^{KCTC}}{1 - Pk_{K,l,기준}^{KCTC}}, \quad j \in \{WS, WL\} \quad (4)$$

식 (1)의  $R_{Pk}$ 는 두 체계의 AWAM K 유형 Pk 곡선 아래 면적의 비율이며, 식 (2)은 사다리꼴 공식을 적용하여 면적을 계산한다. 적분 상한은  $r_{min}$ 으로 설정하여, 두 체계가 모두 교전 가능한 공통 구간만을 비교 기준으로 삼는다. 신규 체계의 유효사거리가 기존 체계보다 긴 경우, 해당 연장 구간의 살상 우위는 반영되지 않으며, 이는 5절의 방법론적 한계로 명시적으로 다룬다. 식 (3)에 따라  $R_{Pk}$ 는 KCTC의 사망(K) 확률에만 직접 적용하며, 식 (4)에 따라 남은 확률은 기존 체계의 WS, WL 비율대로 재배분하여 각 명중부위별 확률 합이 1.0을 유지하도록 보장한다.

표 3은 기관포 A(기준)와 기관포 B(신규)의 AWAM K 유형 Pk에 대해 사다리꼴 적분을 적용한 산출 예시이다.

[표 3] 기관포A(기준)·기관포B(신규) AWAM K유형 Pk 적분 비교

구 간(m)	$\Delta r$ (m)	기관포A		기관포B	
		$\overline{Pk}$	적분값	$\overline{Pk}$	적분값
0 ~ 1800	1800	0.826	1,487.5	0.810	1458.0
1800 ~ 2200	400	0.736	294.5	0.656	262.4
2200 ~ 2600	400	0.432	172.8	0.528	211.2
2600 ~ 3000	400	0.108	43.2	0.400	160.0
3000 ~ 3300	300	0.036	10.8	0.288	86.4
합 계		2,008.8		2,178.0	
$R_{Pk}$		$\approx 1.08$			

-  $\overline{Pk}$  : 구간 양 끝점의 살상확률 평균  
 ※ 상기 데이터는 보안을 고려하여 일부 변형함.

### 4.4 3단계: 전문기관 검증

도출된 Pk 테이블(안)은 전투모의 전문기관을 통한 공식 검증 및 확정이 필요하다. 검증 과정에서는 수학적 일관성(확률 합계·단조성), 야전 사격시험 결과와의 비교 타당성, KCTC 전문 인력의 전문적 타당성 검토등을 종합적으로 고려하여야 한다. 본 연구에서 도출된 Pk 테이블(안)은 추후 해당 전문기관의 검증 및 야전 의견수렴을 거쳐 최종 확정될 예정이다.

## 5. 적용 사례

### 5.1 소화기류

구경·탄종·살상기체가 기존 체계와 동일한 신규 소화기에 대해서는 기존 Pk 테이블을 직접 적용한다. 이 경우, AWAM 데이터를 통해 양 체계의 Pk 분포 유사성 사전 확인이 전제된다.

기존 체계 대비 구경 또는 탄종이 상이한 신규 소화기의 경우, 4.3절의 절차를 통해 신규 Pk를 도출한다. 구체적인 산출 절차 및 결과 예시는 5.2.2절에서 상세히 제시하며, 소화기류에도 동일한 절차가 적용된다.

### 5.2 기관포류

동일 계열 탄약을 사용하는 경우, 5.1 절과 동일하게 직접 적용 방식을 따르며, 기존 체계 대비 구경 또는 탄종이 상이한 신규 기관포의 경우 4.3절의 절차를 적용한다.

기관포 A(기준)과 기관포 B(신규)를 대상으로 비율 적용 방법론을 적용하였다. 현재 KCTC에는 기관포 A의 Pk 테이블만 등록되어 있으며(표 4), 기관포 B에 대한 KCTC Pk는 미산정 상태이다. 이에 AWAM의 기관포 B 사거리별 Pk 데이터를 활용하여  $R_{Pk}$ 를 산출하고, 이를 기관포 A의 KCTC 데이터에 적용함으로써 기관포 B의 KCTC Pk를 도출하였다.

[표 4] 기관포 A(기준체계) KCTC 대인 Pk 테이블

피해 유형	명중 부위						배낭
	머리 (전)	머리 (후)	팔 (우)	팔 (좌)	복부 (전)	둔부 (후)	
사망	0.900	0.900	0.500	0.500	0.400	0.400	0.200
중상	0.100	0.100	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
경상	0.000	0.000	0.100	0.100	0.200	0.200	0.400
※ 상기 데이터는 보안을 고려하여 일부 변형함.							

표 3의 적분 산출 결과  $R_{Pk} = 1.08$ 이며, 도출한 기관포 B의 KCTC 대인 Pk 테이블은 표 5와 같다.

[표 5] 기관포 B(신규체계) 도출 KCTC 대인 Pk 테이블

피해 유형	명중 부위						배낭
	머리 (전)	머리 (후)	팔 (우)	팔 (좌)	복부 (전)	둔부 (후)	
사망	0.972	0.972	0.540	0.540	0.432	0.432	0.216
중상	0.028	0.028	0.368	0.368	0.379	0.379	0.392
경상	0.000	0.000	0.092	0.092	0.189	0.189	0.392
※ 상기 데이터는 보안을 고려하여 일부 변형함.							

### 5.3 곡사화기류

곡사화기류는 직사화기와 달리 MAE(Mean Area of Effectiveness)와 지형 계수가 KCTC 피해 판정의 핵심 매개변수이다. 탄종 및 살상반경이 기존 체계와 동일한 신규 곡사화기에 대해서는 직접 적용 방식을 따른다.

기존 체계와 탄종 구성이 유사하나 최대사거리·포구속도 등이 상이한 체계의 경우, 탄종별 살상반경이 동일하면 기존 Pk를 직접 적용한다. 살상반경이 상이한 경우에는 MAE신규/MAE기준 비율을  $R_{Pk}$ 에 준하는 방식으로 KCTC Pk에 적용하며, 동일한 정규화 절차를 거친다. AWAM의 치사반경 알고리즘과 KCTC의 MAE 기반 피해 계산 간 세부 변환 로직은 추후 전문기관 검증 과정에서 조정될 예정이다.

### 6. 방법론의 한계

첫째, 사거리-부위 교환가능성 가정의 비엄밀성이다. 본 방법론은 AWAM의 사거리별 Pk 변화가 KCTC 명중 부위별 Pk 구조에 동일한 비율로 반영된다고 가정하나, 사거리 증가에 따른 발사체 속도 감소는 부위별 관통 특성에 차등적으로 영향을 미치므로 단순 비율로는 포착되지 않는다.

둘째, 유효사거리 연장 구간의 Pk 도출 불가이다. 본 방법론은 두 체계의 공통 유효사거리  $r_{min}$ 까지만 적분하여  $R_{Pk}$ 를 산출한다. 따라서 신규 체계의 유효사거리가 기존 체계보다 긴 경우,  $r_{min}$  초과 구간에 대해서는 비교 기준이 되는 기존 체계의 데이터가 존재하지 않으므로  $R_{Pk}$  산출 자체가 불가능하다. 기관포 A/B 사례에서 기관포 A의 유효사거리는 3,300m이며, 3,300m 초과 구간에서 기관포 B가 갖는 살상 우위는 별도의 실험 데이터 없이는 본 방법론으로 반영할 수

없다.

셋째, 단일 스칼라 적용의 부위 독립성 가정이다.  $R_{Pk}$ 를 단일 스칼라로 산출하기 때문에, 모든 명중 부위의 사망(K) 확률에 동일한 비율이 적용된다. 그러나 실제로는 사거리가 달라지면 발사체 속도와 관통력이 변화하여 부위별 피해 특성이 달리 나타날 수 있으며, 이 효과는 단일 스칼라로 포착되지 않는다.

넷째, 유도 무기 등 살상기계가 근본적으로 다른 무기에는 적용이 불가하며, 독립적인 Pk 데이터 구축이 필요하다.

다섯째, 도출된 Pk(안)은 전문기관 검증 및 야전 사격시험이 완료되지 않은 미검증 상태로, 3단계 검증이 필수적이다.

### 7. 결론

본 연구는 KCTC와 AWAM의 이기종 시뮬레이터 간 Pk 테이블의 구조적 차이를 분석하고, 이를 합리적으로 정합하는 3단계 방법론을 제안하였다. 두 체계의 근본적 차이는 Pk 결정 독립변수에 있으며, KCTC는 명중 부위, AWAM은 사거리를 기준으로 한다. 이 차이는 필연적으로 구조 변환 기반 방법론을 요구한다.

제안된 방법론은 AWAM 사다리꼴 적분 기반의  $R_{Pk}$  산출 수식 체계를 갖추었으며, 기관포류(기관포 A/B)를 포함한 소화기류, 기관포류, 곡사화기류에 대한 적용 사례를 통해 범용성을 확인하였다. 또한 방법론의 구조적 한계를 명시적으로 제시하였다.

향후에는 전투모의 전문기관의 공식 검증과 야전부대 의견수렴을 통해 최종 데이터를 확정하고, 본 방법론을 신규 무기체계 추가 도입 시 표준 절차로 발전시킬 계획이다.

### 감사의 글

본 연구는 여단급 과학화전투훈련체계 경미한 성능개량(2025.9. ~ 2026.8.)의 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] 육군본부, 「과학화전투훈련체계(KCTC) 운용교범」, 육군본부, 2020.
- [2] 국방부, 「AWAM 모의논리서 및 Pk 데이터」, 전력분석시험평가단, 2023.
- [3] 최연호, 이기택, 변재정, 장영천, “시뮬레이션 기반 직사화기 무기체계의 살상확률 산정 방법에 관한 연구,” 한국시뮬레이션학회논문지, 제26권 제3호, pp. 115-123, 2017.
- [4] 장영천, 한현진, 이기택, 송미진, 이회영, 김중현, “인공신경망을 적용한 직사화기 무기체계의 살상확률(Pk) 산출방법론 연구,” 한국시뮬레이션학회논문지, 제28권 제1호, pp. 99-

107, 2019.

- [5] 이예림, 이상진, 오현식, “직사화기 무기체계의 무기효과지수 계산을 위한 메타모델 생성방법 연구,” 한국시뮬레이션학회 논문지, 제30권 제2호, pp. 23-31, 2021.
- [6] 이용복, 박민형, 김익현, “훈련용 위게임 모델의 부대 DB를 분석용 위게임 모델에 재사용하기 위한 변환방법 연구: 창조 21모델과 비전21모델을 중심으로,” 한국시뮬레이션학회논문지, 제28권 제2호, pp. 159-167, 2019.
- [7] 문호석, 김수환, “훈련용 위게임 모델의 다중해상도모델링 운영소요 및 전투21모델과 TMPS의 다중해상도 연동간 주요 이슈 해결 방안 연구,” 한국군사과학기술학회지, 제21권제 6호, pp. 865-876, 2018.
- [8] 이민호, 문호석, 한정욱, 박진영, “여단급 KCTC 훈련결과 빅데이터를 활용한 전투승리요인 분석 방법론 연구: 보병대대 공격작전 분석을 중심으로,” 국방연구, 제64권 제4호, pp. 273-294, 2021.
- [9] J. Bracken, M. Kress, and R. Rosenthal, Warfare Modeling, Wiley-Interscience, 1995.