

한국형 미래전투체계 효과도 분석을 위한 회전의 무장체계 시뮬레이션

A Simulation on the Weapon System of Rotorcraft for Improving the Effects of Korean Future Combat System(FCS)

홍정완*
Jungwan Hong

박상철*
Sang C. Park

권용진*
Yongjin Kwon

ABSTRACT

This research is to develop a simulation framework to gauge the mission effectiveness of the rotorcraft system that will be a part of Korean future combat system. The rotorcraft system comprises of many subsystems that are very time-consuming and tedious to model. Each subsystem and its characteristics have been modeled using component-based modeling techniques, which enhances its reusability. The entire system is then constructed from the individually modeled component, which significantly reduces the modelling time. The mission effectiveness of the rotorcraft system is simulated using the developed models, and the output indicates that the methodology proposed in this study is useful, which will be suitable for the modeling and simulation of Korean future combat system.

Keywords : FCS(Future Combat System), Modeling and Simulation, Rotorcraft, Component-based Modeling

1. 서론

한국형 미래전투체계(FCS : Future Combat System)에서는 고가의 항공기, 함정, 전차 등과 같은 전투체계들은 일반적인 무기체계와 달리 철저하게 정량화된 전투효과를 기반으로 하여 목표수준의 효과를 달성할 수 있는 의사결정 기법이 필요하다. 본 연구는 기 수행된 한국형 미래전투체계를 위한 컴포넌트 기반 회전의

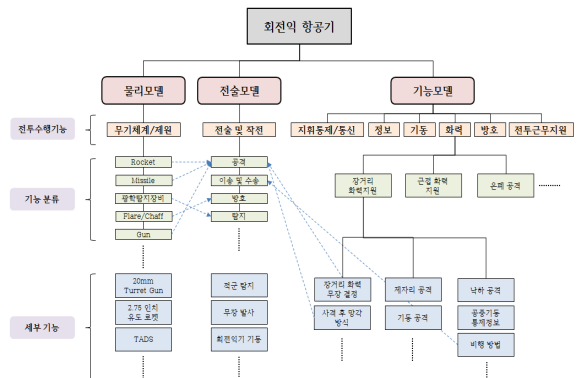


Fig. 1. Concept of component-based object modeling

† 2013년 4월 15일 접수~2013년 7월 5일 게재승인

* 아주대학교 산업공학과

책임저자 : 홍정완(dotoric@ajou.ac.kr)

항공기 모델링 연구를 기반으로, 각각의 에이전트로 컴포넌트화 된 회전익 무장체계의 시스템들을 신속하게 조합하여(Fig. 1) 기존 국방 M&S(Modeling and Simulation)의 한계점 극복과 미래 전장 환경에서 빠른 주기의 효과분석을 위한 시뮬레이션을 수행을 목표로 한다.

2. 회전익 무장체계 효과도 분석

회전익 항공기 무장체계 효과도 분석은 회전익기가 수행하는 임무에 따라 다양한 관점이 존재할 수 있지만, 전투 임무를 수행하는 전투회전익기 관점의 효과 분석은 기동성, 항전/임무 장비의 효율성 등의 다양한 요소를 고려하게 된다. 보편적으로는 크게 무장능력(Lethality), 생존성(Survivability), 가용성(Availability), 그리고 비용(Cost) 등의 4 가지 요소를 종합적으로 고려하여 판단한다^[1]. 무장능력이란 회전익기가 목표물을 파괴할 수 있는 능력이라고 볼 수 있다. 이는 탑재된 무장의 종류뿐만 아니라 다양한 요소들이 복합적으로 고려되어야 할 것이다. 반면 회전익기가 최첨단의 무장을 탑재하였다 하더라도, 목표물까지 도달되기 전에 격추된다면 임무는 실패하고 말 것이다. 즉, 회전익기의 생존성이 임무효과 분석에 있어서 매우 중요한 요소 중 하나가 되는 것이다. 만약 무장회전익기의 공격능력이 상대적으로 다소 떨어지더라도 생존성 높은 항공기가 임무에 투입된다면, 임무결과가 미흡하더라도 다시 임무를 수행할 수 있는 기회를 가질 수 있다. 이러한 생존성은 피탐성(Susceptibility)과 취약성(Vulnerability)으로 나뉠 수 있다. 피탐성은 적의 위협이 아군 회전익기를 사전에 발견하지 못하도록 하거나, 적이 발사한 미사일이 회전익기를 맞추지 못하도록 하는 능력이며 취약성은 적에게서 발사된 무장이 회전익기에 피격되었을 경우, 회전익기가 어느 정도 견딜 수 있는 가하는 능력이라고 할 수 있다. 가용성은 분석 목적에 따라 목표물 파괴 대수, 목표물 파괴당 소모한 출격률(Sortie Rate), 동일한 임무 효과를 나타내기 위해 필요한 회전익기 대수 등의 여러 가지 형태로 나타낼 수 있다^[1,2].

3. 회전익 무장체계 효과도 분석 시뮬레이션

가. 시뮬레이션을 위한 시나리오 및 절차

회전익기 무장체계 효과도 분석을 위해 임무급 시나리오를 생성한다. 이를 기반으로 효과도 분석 시뮬레이션 프레임워크를 설계하여 Java 언어 기반의 AnyLogic 소프트웨어를 사용하여 구현하였다^[3].

나. 무기체계 자료 분석 및 모델링

아군 회전익기는 최대 이륙중량 5톤급으로 모델링 하였다. 최대속도는 약 200km/h, 항속거리는 500km로 가정하였다. 적군 세력으로는 폭풍 전차(6대), BTR-60PB(8대), ZSU-23-4(3대), ZSU-57-2 (3대) 등으로 구성되며 사용되는 데이터의 수치는 문헌을 통해 근사치를 설정하였다. 다음의 Table 1은 아군과 적군의 모델을 정리하고 있다.

Table 1. Scope of friendly and hostile forces

세력	모델	대수	무기체계
Blue Force	최대 이륙 중량 5톤급 무장 헬기	2대/4대 선택	- Hellfire Missile(Radar Guided, fire and forget) - 20mm Turret Gun - 12.7mm Fixed machine gun - 유도 로켓 7발 - 비유도 로켓 7발 - TADS(Target Acquisition and Designation Sight)
Red Force	BTR-60PB	8	- SA-16 man portable anti-aircraft missile - 14.5mm Anti-aircraft machine gun
Red Force	ZSU-23-4	3	- 23mm Anti-aircraft cannon
Red Force	TANK	6	- 14.5mm Anti-aircraft machine gun
Red Force	ZSU-57-2	3	- 57mm Anti-aircraft cannon

다. 아군 회전익기 모델링

본 연구에서의 회전익기는 Hellfire 미사일 4발, 2.75인치 로켓 14발(유도 7발, 비유도 7발) 그리고 선택적

으로 12.7mm 고정형 기관총, 20mm 터렛형 기관포를 장착하도록 모델링 하였다. Hellfire 미사일은 사격 후 망각방식(L Model, 사거리 8km)을 사용하였으며 발사 되면 100% 확률로 적을 명중시키고, 명중된 적은 100% 파괴되도록 모델링 하였다.

Table 2. Probability data for hellfire missile

사거리	명중 확률	적 피해정도 (탱크)	적 피해정도 (탱크 이외 장갑차)
0.5km~0.8km	100%	1발 명중 시 적 100% 피해	1발 명중 시 적 100% 피해

2.75 인치 로켓(14발)은 유도방식과 비유도 방식으로 분류하였으며 아래 표는 2.75 인치 로켓 모델링을 위한 확률적 수치이다.

Table 3. Probability data for 2.75inch rocket

사거리	명중확률		적 피해정도 (탱크)	적 피해정도 (탱크 외 장갑차)
	유도	비유도		
0.5km~1.0km	95%	70%	1발 명중 시 적 10% 피해	1발 명중 시 적 25% 피해
1.0km~2.0km	90%	65%	1발 명중 시 적 10% 피해	1발 명중 시 적 25% 피해
2.0km~3.0km	75%	55%	1발 명중 시 적 10% 피해	1발 명중 시 적 25% 피해
3.0km~4.0km	75%	35%	1발 명중 시 적 10% 피해	1발 명중 시 적 25% 피해
4.0km~6.0km	65%	15%	1발 명중 시 적 10% 피해	1발 명중 시 적 25% 피해
6.0km~8.0km	35%	10%	1발 명중 시 적 10% 피해	1발 명중 시 적 25% 피해

12.7mm 고정형 기관총은 총 400발을 탑재하며, 한번 발사 당 20발 연속발사로 모델링 하였으며, 아래 표는 모델링을 위한 확률적 수치를 보여주고 있다.

Table 4. Probability data for 12.7mm gun

사거리	명중 확률	적 피해정도 (탱크)	적 피해정도 (탱크 외 장갑차)
0.0km~0.5km	25%	1발 명중 시 적 0.5% 피해	1발 명중 시 적 5% 피해
0.5km~1.0km	15%	1발 명중 시 적 0.5% 피해	1발 명중 시 적 5% 피해
1.0km~2.0km	10%	1발 명중 시 적 0.5% 피해	1발 명중 시 적 5% 피해

20mm 터렛형 기관총은 총 200발을 탑재하고, 한 번 발사 당 10발 연속발사로 모델링하였으며, 아래 표는 모델링을 위한 확률적 수치를 보여주고 있다.

Table 5. Probability data for 20mm gun

사거리	명중 확률	적 피해정도 (탱크)	적 피해정도 (탱크 외 장갑차)
0.0km~0.5km	30%	1발 명중 시 적 5% 피해	1발 명중 시 적 10% 피해
0.5km~1.0km	25%	1발 명중 시 적 5% 피해	1발 명중 시 적 10% 피해
1.0km~2.0km	15%	1발 명중 시 적 5% 피해	1발 명중 시 적 10% 피해

라. 적군 모델링

적군 무기체계는 러시아제 장비에 근거를 두고 있으며, 모델링에 사용된 수치는 베트남전을 비롯한 다수의 전장에서 파악된 자료들을 바탕으로 문헌에 공개된 데이터를 분석하여 도출하였다. 그러나 정확한 무기성능 제원, 특히 명중률 등은 문헌에서도 획득하기 어려우며 이는 다수의 참고문헌을 근거로 가정하여 사용하였다.

1) BTR-60PB

1대당 2발의 SA-16 지대공 미사일과 14.5mm 기관포를 탑재한다. BTR이 발사하는 지대공 미사일에 아군회전익기가 피격될 확률은 '40%'이며, 유효사정거리는 5.0km로 모델링 하였다. 또한 아군 무장회전익기가 지대공 미사일에 피격 당했을 경우에는 '50~

100%' 사이의 무작위 값으로 피해를 입도록 모델링 하였다.

2) 북한의 신형전차 폭풍호

폭풍호가 14.5mm 대공기관총으로 아군회전익기를 정확하게 피격할 확률은 '1%', 유효사정거리는 2.0km로 가정하였으며, 아군회전익기를 공격했을 경우 아군의 무장회전익기는 '1%'의 피해를 입도록 하고, 분당 800~100발 발사하도록 모델링 하였다.

3) ZSU-23-4

ZSU-23의 대공기관총 유효사정거리는 2.5km로 가정하였다. 추가로 대공기관총에는 거리에 따라서 공격에 대한 성공확률을 적용하였다. 본 연구에서는 총 2,000발의 탄환을 탑재하고 한번 발사 시 40발 발사하도록 모델링 하였다.

4) ZSU-57-2

ZSU-57-2가 가지고 있는 대공기관총의 유효사정거리는 4km이다. ZSU-57 또한 거리에 따라서 아래 표의 공격 성공확률을 포함하여 모델링 하였다. ZSU-57-2는 총 300발의 탄환을 탑재하며, 한번 발사 시 8발을 발사한다.

마. 기타 전투장비 모델링

본 논문에서의 아군 회전익기 방호체계 관련 에이전트는 Chaff & Flare, MWS(Missile Warning System), RWS(Radar Warning System)으로 총 4가지이다. 이는 시뮬레이션 시, 원하는 에이전트를 선택하여 사용이 가능하도록 모델링 하였으며, 여러 가지 방호체계 에이전트들을 조합하여 무장헬기를 구성할 수 있다. Chaff & Flare는 각각 30발씩 총 60발을 탑재하며, RWS 작동 시에는 무장헬기는 회피기동을 수행하고 Chaff를 5발씩 발사하며, 적 레이더를 30초동안 교란하도록 모델링 한다. Chaff가 모두 소진되었을 경우에는 아군 회전익기는 이동경로만 변경이 가능하다. 한편 MWS 작동 시, 아군 회전익기는 이동경로를 변경하여 회피기동을 실시하고 Flare를 5발씩 발사하여 적 미사일을 회피하며, 회피확률은 '80%'이다. RWS와 마찬가지로 Flare가 모두 소진되었을 경우 무장헬기는 회피기동만을 수행하게 된다. 아래 Table 5는 방호체계 모델링 기준 및 행동양식을 나타내며, Fig. 2은 유효사거리의 상대적 비교를 보여주고 있다.

Table 6. Description of defensive system

상황구분	행동강령	기능
RWS 작동	Chaff 5발 발사 및 회피기동	적 레이더 경고
MWS 작동	Flare 4발 발사 및 회피기동	적 미사일 경고
Chaff & Flare	회피기동	적 교란 및 회피

4. 영역별 컴포넌트 파괴 시뮬레이션

아군의 회전익기는 Fig. 2와 같이 전방부/중앙부/후방부 총 3개의 영역으로 구성된다. 각 영역에는 영역별 에이전트들이 포함되고 이러한 에이전트들은 적군에게 해당영역이 피격될 시, 일정한 룰에 의해 해당영역의 에이전트가 파괴(소멸)되며 그에 따라 헬기의 추락 또는 특정기능의 상실이 진행되도록 모델링한다.

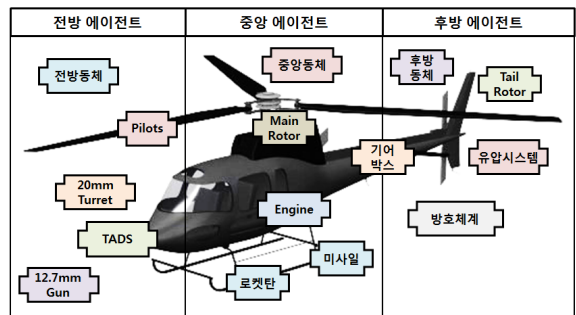


Fig. 2. Agent modeling of three areas

또한 에이전트가 파괴(소멸)될 일정한 룰에 대한 정의는 아래 Table 7에서 보여주고 있다.

앞서 언급한 영역별 에이전트 파괴 룰과 연계되어, 아군 회전익기를 공격하는 적군의 위치와 아군 회전익기의 위치 및 각도를 실시간으로 컴퓨팅 하여 아군이 적에 의해 피격당할 영역(전방/후방/중앙)을 판단한다. 이는 앞서 언급한 확률을 기반으로 해당영역의 에이전트가 파괴되도록 모델링 한다. 본 연구에서는 시뮬레이션이 종료되기 위한 조건으로, 1) 적군세력의 제약, 2) 아군 무장 회전익기 모두 추락, 3) 아군 세력의 무장(미사일, 탄 등)이 모두 소진되어 더 이상 공격이 불

가, 총 3가지로 정의하였다. 이러한 시뮬레이션을 통해 치사성 및 생존성을 산정할 수 있으며 이를 위한 수식은 다음과 같다. 치사성은 적 세력을 모두 파괴할 경우 100%로 계산하며 각각의 위협도 계수(a~d)를 설정한다. 각각의 적군 세력은 서로다른 치사성 및 위협도 계수를 가지게 된다. 아래는 치사성 산정을 위한 수식을 보여주고 있다(본 논문에서의 적 위협도는 (a) 0.5, (b) 0.25, © 0.3, (d) 0.45).

$$\begin{aligned} \text{치사성(Lethality)} = & \\ & (\text{BTR}_{60\text{PB}}(\text{파괴된 대수}) * \text{적의 위협도(a)} + \\ & \text{폭풍전차}(\text{파괴된 대수}) * \text{적의 위협도(b)} + \\ & \text{ZSU-23}(\text{파괴된 대수}) * \text{적의 위협도(c)} + \\ & \text{ZSU-57}(\text{파괴된 대수}) * \text{적의 위협도(d)}) \end{aligned} \quad (1)$$

생존성은 많은 요소들이 복합적으로 영향을 미치기 때문에 생존성을 계산하기 위한 여러 가지 기존 사례들이 존재하였으나 보편적으로 다음과 같은 생존성 계산 수식을 따른다(오브젝트 각각의 피탄확률, 피탄시 파괴될 확률 등은 Table 7에서 언급함).

$$\text{PS} = 1 - [\text{PH} * \text{PK|H} * (1 - \text{PR|K})] \quad (2)$$

PS = 생존성 확률
PH = 피탄확률
PK|H = 피탄 시 파괴될 확률
PR|K = 피탄 후 수리되어 전장에 다시 투입될 확률

Table 7. Damage rules for three areas

전방부
조종사 에이전트 <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성 14.5mm 피탄시 1발은 내탄능력 부여, 2발 이상 명중 시 1명 사망, 4발 이상 명중 시 2명 사망 및 헬기 추락 23mm 피탄시 1발 이상 명중 시, 1명 사망, 2발 이상 명중 시 2명 사망 및 헬기 추락 57mm 피탄 시, 1발 이상 명중 시 2명 사망
전방 로터 에이전트 <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성 14.5mm 피탄 시 4발은 내탄능력 부여, 5발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 23mm 이상 피탄 시 2발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락
전방 기체부분 에이전트 <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성

<ul style="list-style-type: none"> 14.5mm 피탄 시 5발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 23mm 피탄 시 3발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 57mm 피탄 시 1발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 전방부 각 에이전트 당 피격확률 33.3%
중양부
엔진 에이전트 <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성 14.5mm 피탄 시 1발은 내탄능력 부여, 2발 이상 명중 시 엔진 1개 파괴됨 23mm/57mm 피탄 시 1발 이상 명중 시 엔진 1개 파괴됨
기어박스 에이전트 <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성 14.5mm 피탄 시 1발은 내탄능력 부여(30분 비행가능), 2발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 23mm 이상 피탄 시 1발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락
유압시스템 <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성 14.5mm 피탄 시 1발은 내탄능력 부여, 2발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 23mm 이상 피탄 시 1발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락
중양 기체부분 에이전트 <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성 14.5mm 피탄 시 5발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 23mm 피탄 시 3발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 57mm 피탄 시 1발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 중양부 각 에이전트 당 피격확률 25%
후방부
후방 로터 에이전트 <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성 14.5mm 피탄 시 1발은 내탄능력 부여, 2발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 23mm 이상 피탄 시 1발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락
MWS <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성 피탄 시 파괴되어 미사일 경고기능 상실
RWS <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성 피탄 시 파괴되어 레이더 경고기능 상실
후방 기체부분 에이전트 <ul style="list-style-type: none"> 1개로 구성 14.5mm 피탄 시 5발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 23mm 피탄 시 3발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 57mm 피탄 시 1발 이상 명중 시 파괴되어 헬기 추락 후방부 각 에이전트 당 피격확률 25%

5. 시뮬레이션 결과 분석

각 시나리오별로 1,000회의 전투모의를 수행하여 결과를 도출하였고, 모의 결과는 전문가 패널에게 제시되었다. 모의 결과의 정확도는 준용된 무기체계의 SSP (Single Shot Probability)를 얼마나 정확히 입력할 수 있는지에 달려있으며, 현재 구성된 모의 기법은 이를 위한 사전조건을 충족한다고 볼 수 있다. 시뮬레이션 결과를 보면, 전반적으로 치사성과 생존성 모두 20mm Turret 형 Gun을 사용하였을 때 높게 나타났으며 여러 가지 방호체계 에이전트들을 조합하였을 경우 치사성과 생존성이 크게 높아짐을 알 수 있다. 이는 방호체계의 중요성을 나타내는 결과이다.

Table 8. Simulation result

4대 편대비행	대기갑전		시뮬레이션 총 1,000회	
방호 체계 조합	[헬파이어 : 4발, 로켓 : 14발 (유도/비유도 : 7/7)]			
	20mm Turret Gun		12.7mm Fixed Gun	
	Leathality (%)	Survivability (%)	Leathality (%)	Survivability (%)
None	81	25	76	13
RWS+MWS	95	40	85	29
RWS+MWS + Chaff+Flare	99	53	94	40

* RWS - Radar Warning System / MWS - Missile Warning System

6. 결론

본 연구에서의 시뮬레이션을 수행하면서 많은 제한 사항이 존재할 수밖에 없었다. 시뮬레이션의 신뢰성을 높이기 위해서는, 보다 현실에 가까운 전투객체의 행동양식, 전술방식, 그리고 여러 가지 확률적인 수치 등

이 요구되지만, 본 연구에서는 실제 데이터를 확보할 수 없어 근사치를 사용할 수밖에 없었다. 이에 여러 문헌과 사례조사를 통해 최대한으로 현실과 가깝게 모델링 및 시뮬레이션을 진행하였으나, 그 신뢰도에는 분명 한계가 존재한다고 판단된다. 또한 본 연구에서 산출해낸 생존성 및 치사성 계산에도 많은 애로사항이 존재하였다. 생존성, 치사성, 그리고 가용성을 정확하게 하나의 공식으로 정의내리기에는 많은 어려움이 있었다. 많은 문헌조사를 통해서 가장 현실성 있고 어느 정도 신뢰성 있는 생존성과 치사성을 산출하였으나, 기상이나 지형 등 환경 데이터는 모델링에 포함되지 않았으며 적군과 아군의 행동양식 또한 자율적으로 표현하는데 한계가 있었다. 본 연구의 가장 큰 특징은, 복잡한 회전익기 시스템을 에이전트 구조로 모델링하여, 실제 데이터 확보 시 신속하게 각 에이전트의 특성과 확률변수를 수정할 수 있는데 있다. 이는 보다 정확하고 신뢰성있는 시뮬레이션을 가능하게 해주며, 장차 FCS 환경에서 보다 확장/발전된 효과도 분석기법의 정립을 위한 중요한 기반이 될 것으로 기대한다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소 지원으로 수행됨. 본 연구는 2012학년도 아주대학교 일반연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] 임상민, 김별로, 이일우, “항공기 체계 효과도의 이해”, 청문각, 2010.
- [2] Par SC, Kwon Y, Sung G, Byun J, “A Simulation Framework for DEVS-based Small Engagement Model”, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, Texas, USA, 14-16, pp. 1701~1708, December 2009.
- [3] Software, XJ Technologies 사의 ANYLOGIC™.