

유도무기의 비행 시나리오 설계 및 유도조종 성능분석을 위한 모듈화 기반 시뮬레이션 환경 개발

김혜성[†] · 안유영 · 이창선 · 나형진

Development of Modular Simulation Environment to Design the Flight Scenario and Analyze the Guidance and Control Performance of Guided Weapon

Hyesung Kim[†] · YuYoung An · ChangSun Lee · HyoungJin Na

ABSTRACT

This paper describes the development of a modular simulation environment to analyze the performance of guided weapons. For the reusability of the simulation environment, components of the guided weapon simulation are modularized based on MATLAB Simulink. And the module management system is implemented based on Excel and MATLAB GUI for simulation interface and module management. In addition, a method of integration for modules with different interface and a method to set up the guidance and control phase for designing a guided flight scenario are suggested. Finally, to verify the performance of the implemented simulation environment, it was compared with the existing simulation results.

Key words : Guided Weapon, Modular, Simulation

요약

본 논문에서는 유도무기 성능분석을 위한 모듈화 기반 시뮬레이션 환경 개발에 관한 내용을 기술한다. 시뮬레이션 환경의 재사용성을 위하여 유도무기의 시뮬레이션 구성 요소들을 MATLAB Simulink를 기반으로 모듈화하였다. 그리고 시뮬레이션 인터페이스 및 모듈 관리를 위하여 Excel 및 MATLAB GUI 기반의 모듈 관리체계를 구현하였다. 또한 동일하지 않은 인터페이스로 설계된 모듈들을 통합하는 방안과 유도비행 시나리오 설계를 위해 유도/조종 단계를 구성하는 방안을 제시하였다. 최종적으로, 구현한 시뮬레이션 환경의 성능검증을 위하여 기존 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

주요어 : 유도무기, 모듈화, 시뮬레이션

1. 서론

유도무기의 비행 시나리오 설계 및 유도조종 성능분석을 위해서는 개발 단계에 맞는 시뮬레이션 환경이 필요하다. 시뮬레이션 환경 구축 시 각 개발 단계에서 획득/설계한 데이터 및 시뮬레이션 구성 모듈을 반영한다. 그러나,

개발 초기부터 재사용성 및 호환성을 고려하지 않고 특정 유도무기체계에 국한된 시뮬레이션 환경을 구축할 경우, 다른 무기체계에 활용함에 있어 제한적인 수밖에 없다. 즉, 새로운 유도무기 개발 시 시뮬레이션 환경을 재구축해야하며 많은 시간과 노력이 필요하다는 문제점이 있다.

이러한 문제점에 대한 해결방안으로 모듈화 기반 시뮬레이션 환경을 제안하고자 한다. 모듈화는 독립적인 기능별로 모듈을 나눠서 개발/관리하는 것을 의미하며, 각 모듈은 재사용성, 호환성 및 확장성을 고려하여 구성한다. 유도무기 시뮬레이션을 구성하는 요소들을 모듈화하여 개발하면, 대상 체계의 특성 및 개발 단계에 따라 필요한

Received: 3 September 2022, **Revised:** 15 October 2022,
Accepted: 17 October 2022

† Corresponding Author: Hyesung Kim
E-mail: scntl@hanwha.com
Hanwha R&D Institute

모듈을 적용하여 다양한 유도무기 성능분석을 수행할 수 있다. 또한 기 개발한 무기체계의 시뮬레이션 환경에서 사용된 모듈을 재활용할 경우 신뢰도를 보장할 수 있고 기술 축적/관리 용이성 향상도 기대할 수 있다.

이러한 장점으로 인해 국방/항공우주 분야에서도 모듈화 기반 시뮬레이션 환경 구축에 대한 연구를 진행해왔다. 국방과학연구소에서는 컴포넌트기반 체계모의환경(AddSIM)에 대한 연구를 수행하여 무기체계의 공학급 교전 시뮬레이션을 위해 각 무기체계의 아키텍처를 통일하고 부체계를 모듈화 하였다(Park et al., 2017; An et al., 2018; Moon et al., 2019). 해당 논문에서 다루고 있는 유도무기체계의 경우 각 부체계를 해상도에 따라 구분하여 모듈화하고 부체계 간 인터페이스를 통일하였으며, 다양한 해상도의 시뮬레이션을 통해 재사용성 및 성능을 검증하였다. 인하대학교에서는 MATLAB Simulink로 유도무기(Yoo et al., 2015) 및 고정익 항공기의 부체계를 모듈화하고 입출력 인터페이스 관리체계를 Excel로 구축하는 연구를 수행하였다(Park et al., 2018).

위의 연구들은 대상 체계의 재사용성을 위해 동일한 인터페이스로 모듈을 설계하도록 제한하였다. 하지만 인터페이스를 제한함에 따라 상대적으로 해상도가 낮은 모듈은 인터페이스를 지키기 위해 불필요한 임의의 출력 포트를 생성해야 한다. 그러므로 인터페이스를 통일하지 않아도 조립성을 보장하는 방법이 필요하다.

또한 유도조종모듈의 경우 시뮬레이션 초기, 중기, 종말 단계의 설계 목적에 따라 다른 유도조종기법을 적용해야 할 필요가 있다. 따라서 유도단계를 구분하고 각 단계에 적절한 유도조종기법을 적용하여 분석할 수 있도록 시뮬레이션 환경을 구성해야 한다.

본 논문의 2장에서는 모듈 통합 프로그램의 동작 개념도를 통해 전체적인 시뮬레이션 환경 구성과 Excel 및 MATLAB GUI 기반으로 구성된 모듈 관리체계에 대해 소개한다. 3장에서는 인터페이스를 통일하지 않은 모듈 간의 통합 가능 여부를 확인하는 유효성 검사를 설명하고, 4장에서는 설계한 유도조종 시나리오를 구현하기 위한 통합 환경 및 방법을 제시한다. 5장에서는 검증된 특정 무기체계의 프로그램을 이용해 제시한 유도무기 시뮬레이션 환경의 성능을 검증하며, 마지막으로 6장에서는 결론을 서술한다.

2. 시뮬레이션 환경 구성

유도무기 시뮬레이션 환경은 시뮬레이션 수행에 필요

한 사용자 입력 정보, 시뮬레이션을 구성하는 모듈, 통합 과정을 통해 산출되는 최종 시뮬레이션 실행 파일로 구성되어있다. 본 연구에서 개발한 모듈 통합 프로그램(module integration program)은 사용자가 선택한 시뮬레이션 구성 모듈을 Base 모듈 기반으로 통합하고, 최종 시뮬레이션 파일인 통합 Simulink 파일을 생성하여 시뮬레이션 실행 및 분석 과정을 지원한다. 또한 통합 Simulink 파일은 모듈 통합 프로그램 없이 단독으로 시뮬레이션 실행이 가능한 형태이므로 유도무기체계의 상세설계에 활용할 수 있다. 해당 프로그램의 GUI는 MATLAB App designer를 기반으로 구현하였으며 동작 개념도는 Fig. 1과 같다.

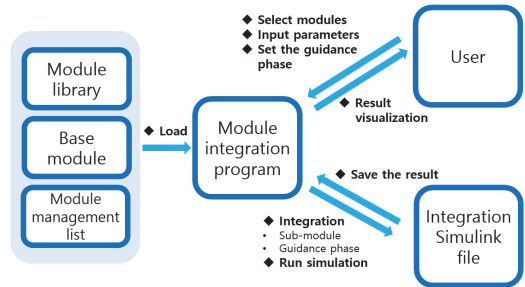


Fig. 1. Block diagram of module integration program

위의 개념도에서 시뮬레이션을 구성하는 주요한 요소인 모듈은 모듈 라이브러리, Base 모듈, 모듈 관리 목록으로 분류할 수 있다.

2.1 모듈 라이브러리

모듈 라이브러리는 유도무기의 비행궤적과 부체계의 동작 모사 및 유도조종 시나리오 설계를 위해 구현한 시뮬레이션 구성 모듈이다. 유도무기가 표적을 타격하거나 이상 기동을 하는 경우 시뮬레이션 종료를 위한 모듈까지 총 14 종류로 분류하여 구성하였다. 동일한 상위분류에 해당하는 모듈은 하나의 Simulink 라이브러리 파일로 저장하여 관리하며 구현한 모듈 목록은 Table 1과 같다.

모듈 설계 과정에서 모듈의 효율적인 관리 및 통합을 위해 모듈화 규칙을 정의하였다. 모든 모듈의 입출력과 파라미터는 다음의 규칙을 준수한다.

입출력은 Simulink 전용 입출력 구조체인 bus를 사용한다. 입력 bus의 경우 Base 모듈의 구조에 따라 각 모듈에 입력 가능한 bus의 종류가 결정되도록 구성하였고, 출력 bus의 경우 동일한 상위분류에 해당하는 모듈은 동일

Table 1. List of module library

Subsystem	Module Name
EOM	2DOF(Degrees of freedom), 3DOF, 6DOF
Aero	2DOF only, 3DOF only, Asymmetric shape 6DOF, Symmetric shape 6DOF
GuidSet	2DOF only, 3DOF only, 6DOF only
Target	Stop, Move
Seeker	None, Ideal
Thrust	None, Constant thrust, Thrust profile
Actuator	Ideal, Linear, Nonlinear
Navigation	ByPass, Ideal, INS with error
Atmosphere	Standard, Observation data
Gravity	WGS84
Wind	Observation data, MIL-STD-210C, Gust, Constant
Guidance	BPNG, Pursuit, Optimal guidance, etc. (Total of 7 modules)
Control	Roll Attitude/Angular velocity, Pitch Acceleration/Attitude/Angular velocity, Yaw Acceleration/Attitude/Angular velocity
Stop	Altitude, Time, Closing velocity, etc. (Total of 12 modules)

한 이름의 bus명을 사용하도록 구성하였다. 이때 bus를 구성하는 요소(element)들까지 동일하게 설계할 필요는 없으며 각 상위분류에 해당하는 모듈의 입출력 bus명은 Table 2와 같다.

파라미터는 모듈의 고유 특성(성능)을 결정하는 것으로 모듈은 파라미터를 정의 및 사용할 때 pGCPA 구조체 형태를 준수한다. 기본적으로 파라미터는 ‘pGCPA.상위분류.파라미터명’로 정의하며, 유도조종 모듈에 사용하는 파라미터만 ‘pGCPA.상위분류.모듈명.파라미터명’으로 정의하였다. 유도조종은 모듈의 중복 사용을 고려하여 다르게 구성하였다. pGCPA 구조체 형태에서 ‘상위분류’ 부분의 명칭은 Table 2에 기술한 ‘pGCPA field명’을 사용한다.

2.2 Base 모듈

Base 모듈은 사용자가 선택한 시뮬레이션 모듈을 적용하기 위한 기본 프레임으로 모듈의 연계 구조를 고려하여 설계하였다. 연계 구조는 운동방정식의 자유도에 따라 다르므로 자유도별로 Base 모듈을 구성하였다. 따라서 각 자유도의 전용 운동방정식과 GuidSet 모듈은 기본

Table 2. Name of I/O bus & pGCPA field

Subsystem	Input bus	Output bus	pGCPA field	
EOM	bGrav, bWind, bAero, bAtmos, bThrust,	bEOM	EOM	
Target	-	bTgt	Tgt	
Seeker	bTgt, bEOM	bSkr	Skr	
Thrust	bAtmos	bThrust	Thrust	
Actuator	bCtrl	bAct	Act	
Navigation	bEOM	bNav	Nav	
Aero	common	bEOM, bThrust	bAero	Aero
	2DOF	bGuid		
	3,6DOF	bAct		
Atmosphere	bEOM	bAtmos	Atmos	
Wind	bEOM	bWind	Wind	
Gravity	bEOM	bGrav	Grav	
GuidSet	common	bSkr	bGuidSet	GuidSet
	2,3DOF	bEOM		
	6DOF	bNav		
Guidance	bGuidSet	bGuid	Guid	
Control	bGuidSet, bGuid	bCtrl	Ctrl	
Stop	All	bStop	Stop	

설정하였고, 해당 자유도에서 사용할 수 있는 나머지 부체계는 subsystem 블록으로 구성하였다. Fig. 2는 6자유도 Base 모듈의 예시이다.

2.3 모듈 관리 목록

모듈 관리 목록은 모듈의 버전 확인을 위해 불러오는 MATLAB 전용 mat 파일이다. 해당 파일은 모듈의 입출력, 파라미터 정보를 기록/관리하는 인터페이스 문서와 동일한 정보를 가지고 있다. 인터페이스 문서는 ‘목록’, ‘입력’, ‘출력’, ‘파라미터’로 구성하여 각 요소에 대한 상세 정보를 작성하였다. 인터페이스 문서는 Fig. 3~6과 같이 Microsoft Excel 워크시트 형태이기 때문에 사용자가 프로그램 사용 시 매번 호출하는 방식은 비효율적이다. 따라서 MATLAB 메모리에서 빠르게 읽어올 수 있도록 모듈 관리 목록을 활용한다. 또한 모듈 관리 목록은 인터페이스 문서와 별개의 파일이므로 인터페이스 문서나 모듈 라이브러리의 변경 내역 검사에 용이하다. 모듈 통합 프로그램은 모듈의 추가/수정/삭제를 정상적으로 완료하면 모듈 관리 목록과 인터페이스 문서를 최신 정보로 갱신한다.

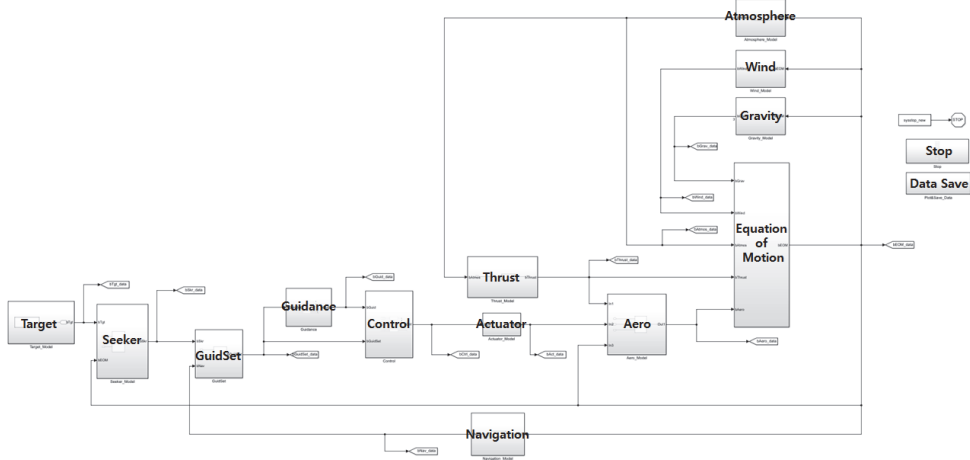


Fig. 2. Example of Base module(6 degrees of freedom)

Actuator	Aero	Atmosphere	Control	EOM	Gravity	Guidance	Navigation	Seeker	Stop	Target	Thrust	Wind	GuidSet
Ideal	2DOF only	Standard	Roll Attitude	2DOF	WGS84	BPNG	ByPass	None	Altitude	Stop	None	Constant	2DOF
Linear	3DOF only	Observation data	Pitch Attitude	3DOF		IACG	Ideal	Ideal	Time	Move	Constant thrust	Gust	3DOF
Nonlinear	Asymmetric shape 6DOF		Yaw Attitude	6DOF		Attitude Pursuit	INS		Closing velocity		Thrust profile	MIL-STD -210C	6DOF

Fig. 3. Example of ‘List’ sheet in the interface document

Subsystem	Module	Input bus	busElement	Description	Unit	Size
Actuator	Ideal	bCtrl	Del_cmd	Fin deflection command(4-fin)	rad	4
Actuator	Linear	bCtrl	Del_cmd	Fin deflection command(4-fin)	rad	4
Actuator	Nonlinear	bCtrl	Del_cmd	Fin deflection command(4-fin)	rad	4

Fig. 4. Example of ‘Input’ sheet in the interface document

Subsystem	Module	Output bus	busElement	Description	Unit	Size	Log	Element subname
Actuator	Ideal	bAct	Del	Actuator output(4-fin)	rad	4	o	*_1, *_2, *_3, *_4
Actuator	Linear	bAct	Del	Actuator output(4-fin)	rad	4	o	*_1, *_2, *_3, *_4
Actuator	Nonlinear	bAct	Del	Actuator output(4-fin)	rad	4	o	*_1, *_2, *_3, *_4

Fig. 5. Example of ‘Output’ sheet in the interface document

Struct	Field1	Field2	Field3	Dimension	Size	Unit	Default	Limit	Description	Element subname	Subsystem	Module	Load	Monte
pGCPA	Act	Fin_limit	-	1	1	rad	0.4363	(0 inf)	Actuator fin limit	-	Actuator	Ideal, Linear, Nonlinear	x	x
pGCPA	Act	Wn_Act	-	1	1	rad/sec	125.664	(0 inf)	Actuator natural frequency	-	Actuator	Linear, Nonlinear	x	x
pGCPA	Act	Zt_Act	-	1	1	-	0.7	(0 inf)	Actuator damping ratio	-	Actuator	Linear, Nonlinear	x	x

Fig. 6. Example of ‘Parameter’ sheet in the interface document

3. 모듈 통합 유효성 검사

모듈 통합 프로그램은 Base 모듈의 subsystem 블록을 선택한 모듈로 교체하는 ‘모듈 통합’ 작업을 수행한다. 본 프로그램에서 모듈 설계 시 설계자가 bus를 통해 모듈 입출력을 자유롭게 구성하기 때문에 모듈 통합 가능 여

부를 확인하기 위해 선택한 모듈 간의 입출력에 대한 유효성 검사를 수행해야한다.

3.1 모듈 입출력 검사 항목

시뮬레이션을 구성하는 각 모듈은 다른 모듈의 출력 bus를 입력받아서 해당 모듈에 필요한 요소만을 선택하

여 사용한다. 따라서 각 모듈의 입력 요소가 사용자가 선택한 모듈의 출력 요소에 존재하지 않으면 통합되지 않도록 구성하였고, 모듈 입출력 검사는 Fig. 7과 같은 과정으로 이루어진다.

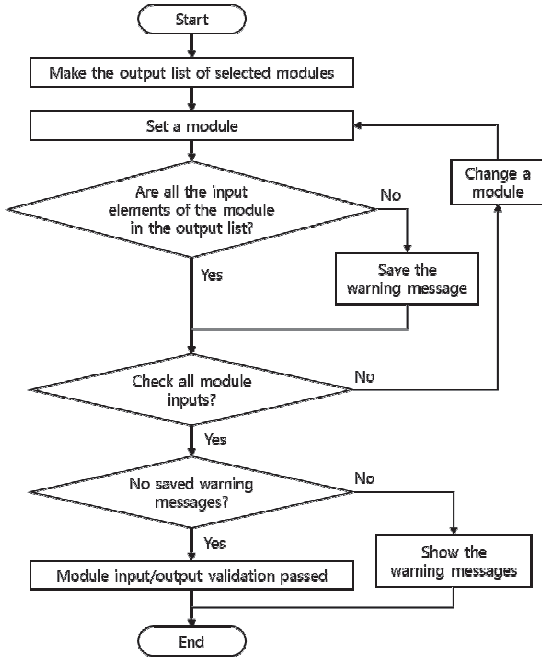


Fig. 7. Flow chart of I/O validation

3.2 모듈 입출력 구성 방식의 특징

본 프로그램에서는 앞서 설명한 모듈 입출력 검사를 통해 통합 여부를 결정하기 때문에 동일한 상위분류에 해당하는 모든 모듈이 동일한 요소를 출력할 필요가 없다. 이러한 특징은 모듈 설계 시 두 가지 측면에서 편의성을 제공한다. 먼저 출력 요소 통일을 위한 무의미한 연산 과정을 수행할 필요가 없다. 또한 새로운 출력 요소 추가 시 동일 상위분류의 기 구현한 모든 모듈에 출력 요소를 추가해야하는 번거로움이 없으므로 출력 요소를 자유롭게 추가할 수 있다.

Fig. 8, Fig. 9는 상위분류가 ‘항법’에 해당하는 두 모듈의 입출력 구성 예시를 보여준다. 운동방정식 모듈로부터 입력받은 유도무기 상태정보를 그대로 항법 정보로 출력하는 ‘ByPass’ 모듈과 가속도, 각속도 정보만을 입력받아 GPS, INS 통합항법에서 산출하는 항법 정보를 출력하는 ‘GPS/INS’ 모듈이다. 두 모듈은 입력은 ‘bEOM’ bus, 출력은 ‘bNav’ bus로 동일하지만 사용하는 입력 bus의 구성 요소와 출력 bus의 구성요소는 다른 것을 확인할 수 있다.

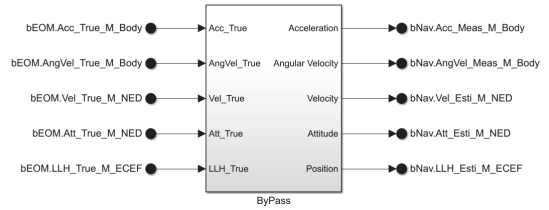


Fig. 8. Example of ‘ByPass’ module

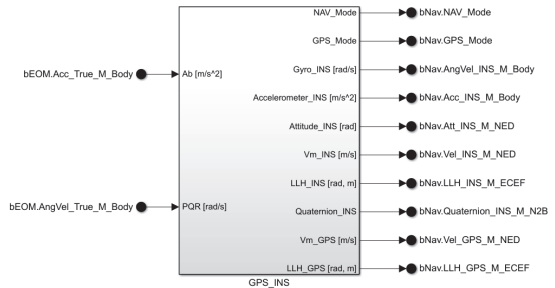


Fig. 9. Example of ‘GPS/INS’ module

4. 유도조종 시나리오 설정/통합

유도무기의 임무 및 적용 체계에 따라 유도조종 시나리오는 다양하다. 그러므로 사용자 입력 정보를 바탕으로 적용하고자 하는 유도조종 시나리오를 구현하기 위한 통합 환경 및 방법은 다른 시뮬레이션 구성 모듈들과는 차이가 있다.

4.1 유도조종 시나리오 통합 환경

유도조종 시나리오 통합 환경은 유도조종 전처리 모듈과 유도/조종 subsystem으로 구성하였다.

4.1.1 유도조종 전처리 모듈

유도조종 전처리 모듈(GuidSet)이란 유도조종에서 사용할 위치, 속도, 가속도 등의 정보를 필요한 좌표계 기준으로 변환하고 유도조종에 필요한 요소를 계산하는 모듈이다. 해당 모듈의 구조는 Fig. 10과 같이 Pre Cal, Management, Post Cal 부분으로 나누어 구성하였다.

Pre Cal에서는 항법이나 탐색기 정보를 활용하기 위한 전처리를 수행하고, 유도단계 전환조건으로 사용할 변수들을 계산한다. Post Cal에서는 유도단계에 따라 시선각, 잔여비행시간 등을 계산한다. 이 두 부분은 유도조종 시나리오와 상관없이 고정적인 부분이다.

Management는 script처럼 코딩이 가능한 블록으로 모

둘 통합 프로그램에서 사용자가 입력한 유도단계 정보를 해당 블록에 코드로 생성한다. 해당 블록은 유도전환 조건에 따라 현재 시점에서의 유도단계를 식별하고 유도조종기법 모드 정보를 출력한다.

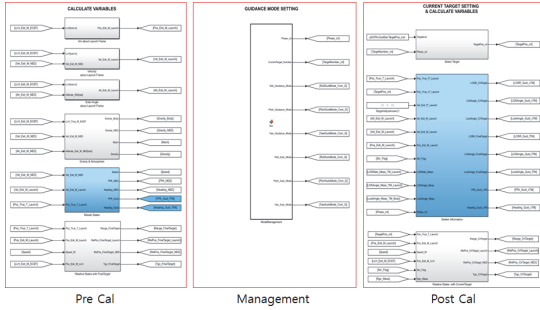


Fig. 10. Structure of GuidSet module

4.1.2 Base 모듈의 유도/조종 subsystem

Base 모듈의 유도 subsystem은 Fig. 11과 같이 기준 축 및 유도명령 종류에 따라 구분하였고, 각 블록에서 산출한 명령을 Command Converter를 통해 조종을 위한 유도명령으로 변환하여 출력한다.

Base 모듈의 조종 subsystem은 Fig. 12와 같이 기준

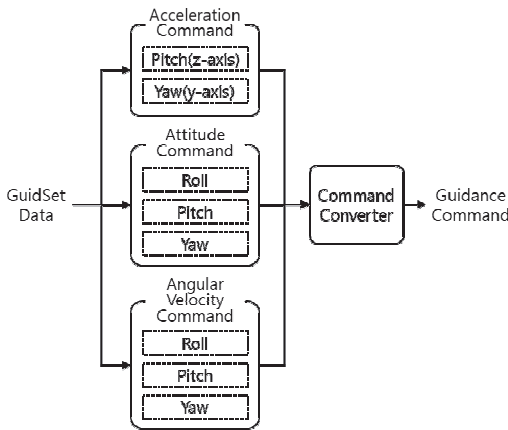


Fig. 11. Structure of base module for guidance

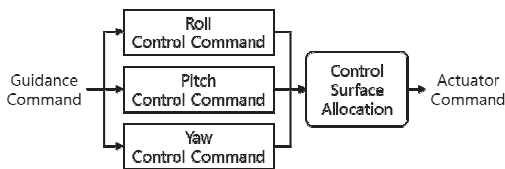


Fig. 12. Structure of base module for control

축에 따라 구분하였고, 각 블록에서 산출된 롤, 피치, 요조종면 명령을 Control Surface Allocation을 통해 구동기 동작을 위한 구동명령으로 변환하여 출력한다.

4.2 유도단계 필수 입력 정보

유도단계를 통합하기 위해 Table 3과 같이 5가지 유도단계 정보를 식별하였다.

Table 3. Required data for guidance phase

Guidance Information	
1	Total number of guidance phases
2	Transition condition of each phase
3	Target of each phase
4	Type of guidance and control loop of each phase
5	Guidance and control parameters of each phase

1~4의 정보는 Guidset의 Management 블록 코드 생성에 사용하며, 5의 정보는 유도조종기법의 성능을 결정한다. 이때 유도단계는 대상 표적, 유도조종기법의 종류, 유도조종 파라미터의 변경을 기준으로 구분한다.

4.3 유도조종 시나리오 통합 방법

모듈 통합 프로그램은 사용자가 입력한 유도단계 정보를 활용하여 ‘유도조종 모드 번호 정렬’, ‘코드 생성’, ‘유도조종 모듈 통합’의 순서로 유도조종 시나리오를 통합한다.

4.3.1 유도조종 모드 번호 정렬

유도조종 모드 번호는 현재 시점에서 적용하는 유도조종기법을 식별하기 위한 번호로 Management 블록에서 출력하여 유도조종 모듈의 동작 플래그로 사용한다. 사용자가 입력한 유도조종 시나리오를 정상적으로 통합하기 위해서 유도조종 모드 번호를 정해진 규칙에 따라 정렬한다.

유도는 유도단계가 다르면 같은 종류의 기법이라도 다른 모드 번호를 사용한다. 하나의 유도 모듈에서 게인이나 표적을 변경하지 않으므로 이를 기준으로 구분해놓은 유도단계에 따라 번호를 사용한다.

조종은 모듈의 종류가 같으면서 게인 테이블 파일명이 같으면 동일한 모드 번호를 사용한다. 일반적으로 유도기법이 달라지거나 대상 표적이 다르더라도 동일한 조종루트를 사용하는 경우가 많기 때문이다.

4.3.2 코드 생성

모드 번호 정렬을 완료하면 Management 블록에 유도 단계 정보를 출력하는 코드를 생성한다. 생성하는 코드는 ‘함수 입출력 코드’, ‘유도단계 전환 코드’, ‘유도단계 정보 할당 코드’로 구분할 수 있다.

‘함수 입출력 코드’는 유도단계에서 사용할 파라미터를 입력으로 선언하고, 유도기법, 조종루프 모듈의 모드 번호를 출력하는 함수 선언문을 의미한다.

```
function [CurrentT, Roll_GM, Pitch_GM, Yaw_GM,
Roll_AM, Pitch_AM, Yaw_AM]
= fcn(FPA_NED, LLH_True_M_ECEF)
Function input data
```

Fig. 13. Example of code for function I/O

‘유도단계 전환 조건 코드’는 사용자가 입력한 전환 조건을 코드로 변환한 것으로 아래 그림처럼 조건문을 이용하여 작성한다.

```
%----- Switch Phase
switch Phase
case 1
if (LLH_True_M_ECEF(1)*180/pi) > 10
Phase = Phase + 1;
end
case 2
if (LLH_True_M_ECEF(2)*180/pi) > 15
Phase = Phase + 1;
end
end
```

Fig. 14. Example of code for transition condition

‘유도단계 정보 할당 코드’는 유도단계에 맞게 표적 정보, 유도조종 모드 번호를 할당하는 코드로 정렬된 유도조종 모드 번호, 현재 표적 번호를 조건문을 이용하여 출력하는 코드이다.

```
%----- Mode Manage
switch Phase
case 1
CurrentTarget_Number = 1; Target flag
Roll_Auto_Mode = 0; Control flag
Pitch_Auto_Mode = 1;
Yaw_Auto_Mode = 0;
Roll_Guidance_Mode = 0; Guidance flag
Pitch_Guidance_Mode = 1;
Yaw_Guidance_Mode = 0;
```

Fig. 15. Example of code for guidance phase assignment

위와 같이 코드 생성을 완료하면 함수 입출력 코드에서 생성한 입력 정보를 연결하기 위해 입력 블록을 생성

하고 연결한다.

4.3.3 유도조종 모듈 통합

Management 블록의 코드 생성을 완료하면 모듈 통합 프로그램은 Base 모듈의 유도조종 subsystem에 유도조종 모듈을 ‘모듈 라이브러리’에서 호출하여 통합한다. 입력 종류 및 축 정의에 맞는 위치에 유도단계 순서대로 붙여넣고, 입력/출력을 자동으로 연결한다.

5. 통합 시뮬레이션

본 논문에서 제시한 유도무기 시뮬레이션 환경의 성능 검증에 위해 기존에 검증된 특정 무기체계의 프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다. 선택한 부체계 모듈의 종류는 다음과 같다.

Table 4. Selected module for simulation

Subsystem	Module	Subsystem	Module
EOM	6DOF	Aero	Symmetric shape 6DOF
Target	Stop	Atmosphere	Standard
Seeker	None	Wind	Constant
Thrust	Constant thrust	Gravity	WGS84
Actuator	Linear	GuidSet	6DOF
Navigation	ByPass	-	-

유도조종 시나리오는 6단계로 구성하였으며, 각 유도 단계에서 적용한 유도기법과 조종루프는 Table 5와 같다. 이때 동일한 조종루프이지만 번호가 다른 이유는 다른 계인 테이블을 사용하기 때문이다. 그리고 유도단계 1~3 단계는 Waypoint 1, 4~5단계는 Waypoint 2, 6단계는 최종 표적을 대상으로 유도를 수행한다. 그리고 프로그램 기능들이 의도에 맞게 정상동작 하는지 확인하기 위해 랜덤오차 요인들은 제외하였다.

시뮬레이션 결과는 Fig. 16~21과 같다. 여기서 실선은 기존 시뮬레이션 결과, 점선은 본 논문에서 구현한 모듈화 기반 시뮬레이션 결과, 원 모양의 마커는 유도단계 변환 시점을 의미한다. 그래프를 통해 두 결과가 유사함을 확인할 수 있다.

Table 5. Selected guidance and control module for simulation

Phase	Target Index	Roll		Pitch		Yaw	
		Guidance	Control	Guidance	Control	Guidance	Control
1	1	none	none	none	none	none	none
2	1	Constant	Attitude	IACG	Acceleration 1	BPNG	Acceleration 1
3	1			IACG	Acceleration 2		
4	2			none	none	BPNG	Acceleration 2
5	2			IACG	Acceleration 2		
6	3			IACG	Acceleration 2		

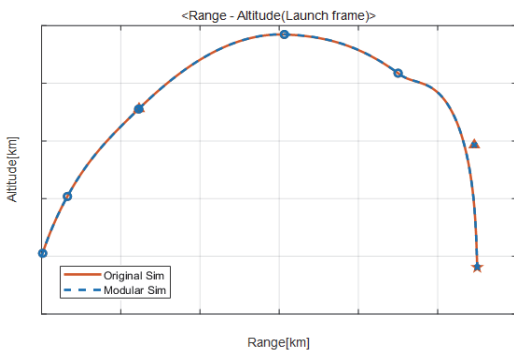


Fig. 16. Range - Altitude profile

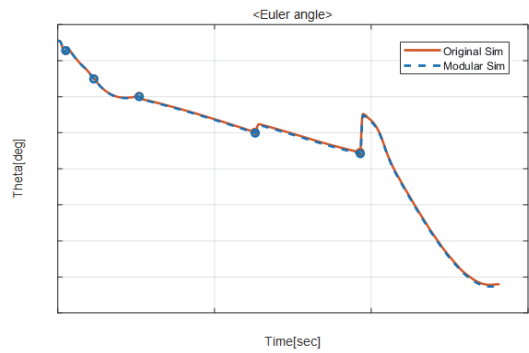


Fig. 19. Time - Attitude profile

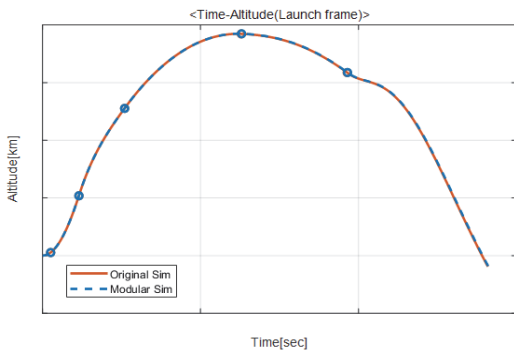


Fig. 17. Time - Altitude profile

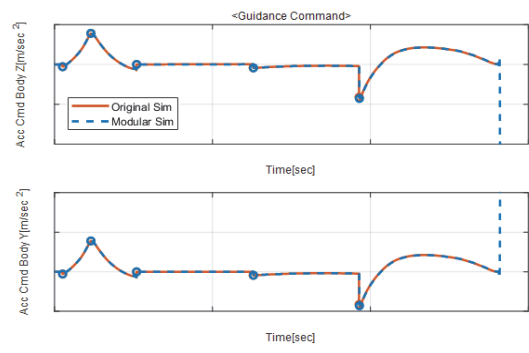


Fig. 20. Time - Guidance command profile

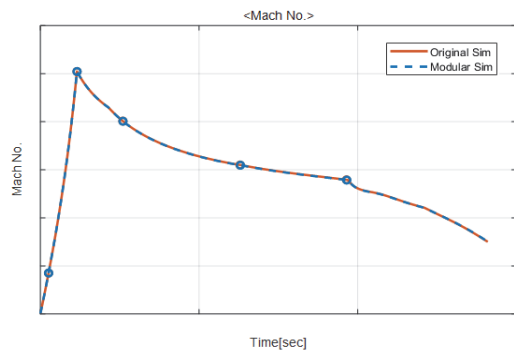


Fig. 18. Time - Mach number profile

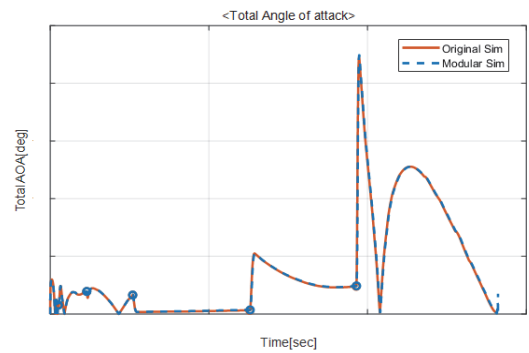


Fig. 21. Time - Angle of attack profile

6. 결론

본 논문에서는 유도무기의 비행 시나리오 설계 및 성능분석을 위한 모듈화 기반 시뮬레이션 환경에 대해 설명하였다. 재사용성을 위해 유도무기의 부체계 요소들을 MATLAB Simulink로 모듈화하고, 모듈들을 체계적으로 관리하기 위하여 인터페이스 문서, 모듈 라이브러리를 구성하였다. 또한 동일하지 않은 인터페이스에서도 모듈 간의 조립이 가능하도록 알고리즘을 구성하였고, 유도비행 시나리오 설계를 위해 여러 가지 조건들을 고려하여 유도단계를 구성할 수 있도록 구현하였다. 최종적으로 기존 시뮬레이션과의 비교를 통해 개발한 시뮬레이션 환경의 기능/성능이 정상적으로 동작함을 확인하였다.

설계한 시뮬레이션 환경은 모듈 관리 체계를 구축하였기 때문에 신규 모듈 및 기존의 모듈들을 체계적으로 관리함으로써 기술 축적을 할 수 있으며 인터페이스가 동일하지 않아도 통합 시뮬레이션이 가능하므로 다양한 유도무기의 성능분석에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- Park, M. S., Moon, K. J., Ryoo, C. K., and Kim, D. H. (2017), An Architectural Design of Guided Weapon System Model for Engagement Simulation, Korean Institute of Industrial Engineers 2017 Spring Conference, pp. 676-679.
- An, Y. Y., Park, M. S., Moon, K. J., Ryoo, C. K., Rhie Y. L. and Kim, D. H. (2018), Components Design for Standard Guided Weapon Simulation Model, Korean Institute of Industrial Engineers 2018 Spring Conference, pp. 442-445.
- Moon, K. J., An, Y. Y., Jeong, U. T. and Ryoo, C. K. (2019), Components Design for Guided Weapon System according to Resolution based on Base System Model, Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 28, no. 3, pp. 11-23.
- Yoo, B. M., Hong, J. H., Ko, D. H., Park, J. S., Park, K. K., Choi, K. Y., Ryoo, C. K. and Han, S. S. (2015), Development of Guided Weapons Design Software based on Model-Based Design Technique, The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 2015 Fall Conference, pp. 1155-1158.
- Park, J. Y., Seo, W. I., Ko, D. H., Choi, K. Y. and Kim, D. H. (2018), Development of Standardized Simulation Model for Fixed Wing Aircraft Under MBD Environment, The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 2018 Fall Conference, pp. 1028-1029.



김혜성 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-3700-3980> / scntl@hanwha.com)

2013 인하대학교 항공·조선·산업 공학부 학사
2015 인하대학교 항공우주공학과 석사
2015~ 현재 (주)한화 종합연구소 선임연구원

관심분야 : 유도, 제어, 최적화, M&S



안유영 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-9378-6078> / ayy0907@hanwha.com)

2017 인하대학교 항공우주공학과 학사
2019 인하대학교 항공우주공학과 석사
2019~ 현재 (주)한화 종합연구소 주임연구원

관심분야 : 유도, 제어, M&S



이창선 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-1743-326X> / cslee77@hanwha.com)

2003 한양대학교 전자컴퓨터공학부 학사
2005 한양대학교 제어계측공학과 석사
2005~ 현재 (주)한화 종합연구소 수석연구원

관심분야 : 유도, 제어, M&S



나형진 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2368-8939> / hyoungjin.na@hanwha.com)

1996 서울대학교 항공우주공학과 공학사
1998 서울대학교 항공우주공학과 공학석사
2017 KAIST 항공우주공학과 공학박사
2003~ 현재 (주)한화 종합연구소 수석연구원

관심분야 : M&S, Aeroelastic Analysis, Missile Conceptual Design