

# 해양 시스템의 이기종 구성요소 간 연동 시뮬레이션을 위한 FMI 기반의 접근 방안에 대한 고찰

김정식, 정우성\*  
\*한국전자통신연구원

j.s.kim@etri.re.kr, \*woosung@etri.re.kr

## A Preliminary Study on FMI-based Approaches to Co-simulate Heterogeneous Components in Maritime Systems

Jeongsik Kim, Woo-Sung Jung\*

\*Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요 약

본 논문은 해양 시스템 내에 있는 다양한 구성요소들을 통합하여 시험하기 위해 FMI(Functional Mock-up Interface) 표준에 기반한 연동 시뮬레이션 기술을 활용하는 방안에 대해 고찰한다. 연동 시뮬레이션 기술은 해양 시스템과 같은 복잡한 구조를 가진 시스템 내에서 다양한 형태로 개발되는 구성요소들을 통합하여 시험하기 위해 고도화되어 왔다. FMI는 그 중 가장 대표적인 접근방법 중 하나로, 단위 시뮬레이션 개체와 그들의 정보 교환에 대해 표준화된 인터페이스를 명세한다. 본 연구에서는 해양 시스템의 이기종 구성요소 간 연동의 측면에서, FMI 기반 연동 시뮬레이션의 기본 개념을 정리하고 실질적인 활용을 위한 접근방안을 고찰하였다. 본 연구를 통해 해양 시스템의 이기종 구성요소 간 연동 시스템 구축을 위한 FMI 기반의 접근 방안과 당면한 과제에 대해 살펴볼 수 있을 것이다.

### I. 서 론

연동 시뮬레이션 기술(Co-simulation)은 일반적으로 여러 시뮬레이션 도구에서 개발된 이기종 시뮬레이터들을 연동하여 하나의 시뮬레이션처럼 동작하도록 통합하는 기술을 의미한다. 간단하게는 서로 다른 2 개 이상의 시뮬레이션 도구를 연결하는 툴 커플링(Tool coupling)부터 동기화를 위한 연동 알고리즘이나 어댑터 기반의 변환 기술 등이 포함된다[1].

시뮬레이션 연구자들은 어떤 하나의 시뮬레이션 도구에 종속되지 않는 폭넓은 연동을 위해 표준을 개발해왔는데, 가장 대표적인 표준 중 하나가 Functional Mock-up Interface (FMI)이다[2]. [2]에 따르면 Matlab Simulink™, Dymola™, 20-sim™ 등을 포함하는 180 종 이상의 소프트웨어에서 FMI 에 따른 호출이나 단위 시뮬레이터 생성을 지원한다고 보고하고 있다.

이러한 발전에도 불구하고, 해양 시스템 내 다양한 구성요소들을 통합하여 시험하기 위해서는 여러가지 과제들이 남아있다. 예를 들어, FMI 를 준수하는 어떤 요소에 대해 정형화된 검증 서비스를 연동 시뮬레이션을 바탕으로 제공하기 위해서는 비정상 동작 주입, XiLS (X-in-the-loop Simulation), 다른 요소들과 통합 시험 등의 다양한 연구가 필요하다. 하지만, 국내 해양 분야에서는 소수의 문헌만이 FMI 를 다루고 있는 실정이다[3]. 본 논문에서는 이러한 기술격차를 줄이기 위해, 해양 시스템의 이기종 구성요소 간 연동을 위한 FMI 기반 연동 시뮬레이션을 살펴본다.

### II. 배경 지식

FMI 는 표준화된 연동을 위하여 시뮬레이션 단위 개체를 의미하는 FMU (Functional Mock-up Unit)와 FMU 간 정보 교환을 위한 인터페이스를 명세한다. 본 논문에서는 FMI 의 실질적인 활용을 돕기 위한 핵심 요소를 아래에 기술한다(그림 1).

- FMU: 사용자가 익숙한 시뮬레이션 모델링 도구를 이용하여 FMI 에 따른 형태로 배포한 시뮬레이션 모델 단위이다. FMU 는 일반적으로 입력, 출력, 상태, 상태변화 함수, 시간전개 방식, 로컬 솔버 등으로 구성된다. 이 때, FMI 가 제시하는 인터페이스만 맞추면 되기 때문에, 도구에 따라 소스코드가 포함된 수정가능한 버전과 블랙박스 버전으로 선택하여 배포할 수 있다.
- 연동 시나리오: FMU 간의 입력과 출력을 연결시키고 임의의 이벤트를 입력하여 연동 시뮬레이션을 수행하기 위한 시나리오이다. 연동 시뮬레이션 구조에 따라 메인 시뮬레이터에서 바로 작성하거나 별도 파일로 불러 연동하기도 한다. FMI 를 주도적으로 만든 Modelica 에서는 시뮬레이션 도구에 종속되지 않는 형태인 SSP (System structure and parameterization) 표준을 FMU 간 구조적 연결을 위해 제시하고 있다[4].
- 연동 시뮬레이션 마스터: FMU 들을 인스턴스화하여 초기화하고, 연동 시나리오에 따라 시뮬레이션을 진행한 후 종료한다. FMI 에서 다루지 않지만, 제한적 시간전개에 따른 보정, 동기화, 리포팅 등이 여기에 포함될 수 있다.

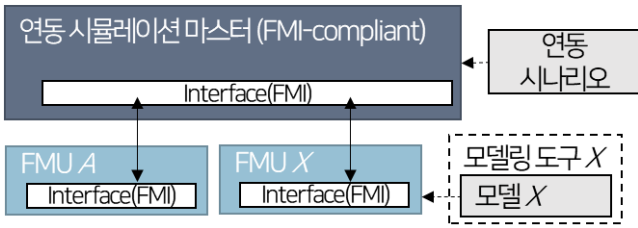


그림 1. 연동 시나리오 및 FMI 기반의 시뮬레이션 연동 구조 예시

### III. 접근방안 및 논의

해양 시스템은 굉장히 많은 요소들로 구성되어 있고, 소프트웨어의 사용에 따라 시스템의 복잡성이 증가하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, OSP (Open Simulation Platform)에서는 FMI 2.0 을 기반으로 해양 시스템을 위한 샘플들과 핵심 도구들을 개발하고 있다[5]. 특히, FMI 에서 정의하지 않고 있는 연동 시뮬레이션 마스터(데모 버전)를 포함하여, 기본적인 샘플 FMU, 활용 사례 등을 공개하고 있다.

그림 2 는 OSP 에서 제공하는 연동 시뮬레이션 데모 프로그램의 실행화면이다. 사용자는 제공된 가이드에 따라 응용프로그램과 예제 파일을 다운받아 설치 및 실행한 뒤, FMU 와 연동 시나리오 파일의 경로를 지정함으로써 연동 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 실행 후에는 그림 2 와 같이 시뮬레이션의 상태를 확인하고 제어할 수 있는 화면을 볼 수 있다. 여기서 FMU 별 상태의 확인이나 이벤트 시나리오 설정 등도 수행할 수 있으며, 원하는 설정으로 시뮬레이션 연산결과를 그래프 형태로 확인할 수 있다.

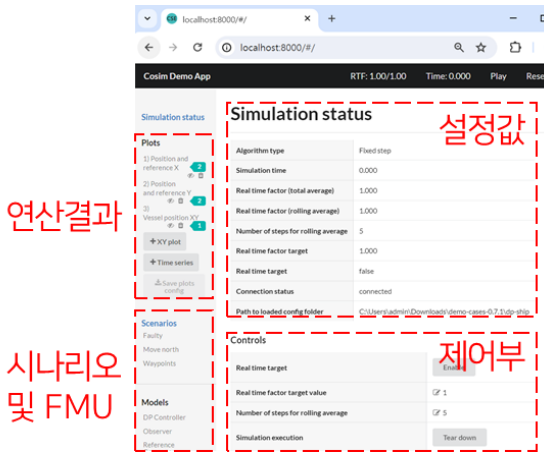


그림 2. OSP 데모 프로그램을 통한 시뮬레이션 연동 화면 캡처

OSP 는 기본적으로 오픈소스 형태로 해당 기술들을 제공하고 있어, 기본적인 FMI 기반의 연동 시뮬레이션을 수행하는 것이 가능하다. 하지만, 비전문가가 해양 시스템의 이기종 구성요소 간 연동 시뮬레이션을 실질적으로 활용하기 위해서는 OSP 기술뿐 아니라 많은 요소기술들의 고도화가 필요하다. 해당 기술들의 독립적 개발을 보장하면서 해양 시스템 내 활용도를 높이기 위해, 오픈소스 기반의 연동 시뮬레이션 마스터를 중심으로 대표 FMU 샘플들, 표준 기반의 연동 시나리오, 그리고 이종 시뮬레이터(실장비, 이산사건 시뮬레이터 등)의 연계를 위한 어댑터를 기본 구성으로 한 연동 구조를 가져가는 것이 유용해 보인다. 이를 바탕으로, 해양 시스템의 특수성이 반영된 부분적인 요소 기술을

고도화하고 별도로 개발되고 있는 FMI 관련 기술들을 반영하여 재결합하는 것이다.

예를 들어, 해양시스템은 연속시간 기반으로 구성되는 기계시스템부터 이산사건으로 구성되는 통신망까지 다양한 분야가 혼합된 시스템이다. 하지만, FMI 는 연속시간 시스템에 기반을 두고 있어 이산사건 시스템과의 하이브리드 시뮬레이션에는 제약이 있다. 이 문제를 극복하기 위해, 통신 시뮬레이터인 NS-3 에 어댑터를 달아 FMU 와 호환되게 작동시키는 접근법이 제시되었으나[6], 업데이트가 되지 않아 현재 버전의 NS-3 에는 적용이 되지 않는 상황이다. 이러한 기술을 최신화 시켜 재결합하는 것은 FMI 기반 연동 기술의 보다 빠른 발전에 도움이 될 것이다.

연동 시뮬레이션 기반 시험을 위한 여러 요소 중 가장 핵심적인 부분은 마스터 알고리즘이라고 생각된다. FMI 자체에는 마스터 알고리즘에 대한 규격을 제공하고 있지 않지만, 사실 연동 시뮬레이션 시 오류는 많은 부분이 부분에서 기인하고 있다고 알려져 있기 때문이다[7]. 해양 시스템 내 통신의 경우 기계시스템과 비교해 굉장히 빠르게 상태가 변화하는 특성을 가지는데, 그러한 작은 변화를 모두 반영하고 교환하기 위해서는 상당한 연산과 소요시간이 발생하게 된다. 이 때문에 데이터 교환 주기와 정확도는 시뮬레이션의 목적에 따라 타협할 필요가 있다. 이러한 문제는 실시간 연동이 필요한 경우 더욱 심각해지며, 연산속도와 정확도를 모두 높이기 위한 알고리즘을 개발할 필요가 있다.

디지털 트윈의 유행에 따라 많은 시뮬레이션 모델이 개발되는 상황에서, 오픈소스 기반의 이기종 구성요소간 연동 시뮬레이션은 단순히 한 집단의 이익을 위한 문제이거나 하나의 집단에서 해결할 수 있는 문제가 아니다. 다양한 측면을 고려한 연구가 필요하며, 국내에서도 다양한 연구자들의 관심을 촉구한다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2024 년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었음 (20220531, 시뮬레이션평가기술개발)

### 참 고 문 헌

- [1] Gomes et al. "Co-simulation: a survey," ACM Computing Surveys (CSUR), 51(3), pp. 1-33. 2018.
- [2] Functional Mock-up Interface, <https://fmi-standard.org/> (accessed at: Apr. 18th, 2024).
- [3] Jo et al. "해상교통 시뮬레이션을 위한 FMI 기반 연동기술 프로토타입 개발." Proc. of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference. pp. 182-184, 2020.
- [4] System Structure & Parameterization, <https://ssp-standard.org/> (accessed at: Apr. 18th, 2024).
- [5] Open Simulation Platform, <https://opensimulationplatform.com/> (accessed at: Apr. 18th, 2024).
- [6] Legaard et al. "A Universal Mechanism for Implementing Functional Mock-up Units," SIMULTECH, pp. 121-129, July 2021.
- [7] Hansen et al. "Co-simulation at different levels of expertise with Maestro.2." Journal of Systems and Software, 209, p. 111905, 2024.