

1. 개요

시스템 개발 과정은 크게 설계, 제작, 검증의 세단계로 나눌 수 있다. 각각의 과정을 통해서 요구 조건에 맞는 시스템의 세부 사항이 결정되고 구현되며 그 성능이 확인된다. 이러한 시스템 개발의 과정을 잘 나타내는 모델로 대표적으로 V 모델을 들 수 있다. V 모델은 시스템의 요구사항 분석, 시스템 설계, 단위 모듈 설계 및 단위 테스트, 통합 테스트, 시스템 테스트의 단계로 요구 사항과 이에 해당하는 시스템 설계 그리고 검증과정을 모두 포함한다.

V 모델 도입과 함께 시스템 개발에서 많이 사용되는 개념이 모델 기반 시스템 설계이다. 모델 기반 시스템 설계는 컴퓨터를 이용하여 요구 시스템을 가상으로 설계 및 테스트를 수행함으로써 설계 과정에서 발생할 수 있는 결함을 미리 찾아내 방지하고 제작비용을 낮추는 효과를 가진다. 또한 테스트 과정을 보다 단순화 시키며 요구 사항과 시험 결과간의 인과관계를 명확하게 만든다.

V 모델 도입을 통한 시스템 설계 시간과해서 안되는 점은 소프트웨어와 함께 개발되는 하드웨어이다. 개발되는 시스템에 따라서 하드웨어의 중요성이 달라지지만 대부분 시스템에서 하드웨어 개발 또한 V 모델의 시스템에 들어간다고 생각하여야 한다.

수중운동체 개발은 다양한 측면에서 하드웨어 및 소프트웨어 개발의 어려움이 존재한다. 특히 운용 환경이 수중이기 때문에 하드웨어 개발의 무결성을 요구하게 되고 또한 높은 소프트웨어의 신뢰성이 요구된다. 이러한 개발의 어려움 때문에 90년대 초부터 수중운동체 개발에 V 모델 기반 설계 방법이 적용되어 왔다.

수중운동체 설계는 다양한 시스템이 융합된 통합 시스템의 개념을 띄기 때문에 체계 시스템 설계부터 부체계 단위의 시스템 설계까지 많은 종류의 요구 사항관리부터 설계가 진행되는 복잡한 작업이다. 예를 들어, 속도 요구 사항은 시스템의 크기, 형태, 전동기의 사양, 전지 사양, 구동기의 사양까지 영향을 미치며, 다양한 요구 사항들의 통합을 통해서 적절한 부체계 요구 사항을 도출 하여야 한다.

이러한 수중운동체 설계 및 시험 과정에서 그 중요성이 부각된 장비가 HILS(Hardware In the Loop Simulation) 시스템

이다. 완성도 높은 V 모델 기반 시스템 개발을 위해 HILS 시스템을 통한 시스템 검증은 필수적이다. 특히 수중운동체가 다양한 부체계의 통합으로 구성된 시스템이기 때문에 부체계의 성능 검증뿐만 아니라 통합된 시스템에서의 부체계의 성능과 전체 통합 성능을 확인 하는 것이 매우 중요한 작업이다.

LIG Nex1 은 지난 30년간 수중운동체 개발을 수행해 오면서 다양한 시스템 통합 경험과 자체 개발 경험을 보유하고 있다. 이러한 성공적인 수중운동체 개발은 신뢰성 있는 부체계 시스템 개발을 기본으로 HILS 시스템을 통한 통합 성능 검증을 통해 가능했다. 특히 최근 개발되고 있는 LIG Nex1 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)의 경우 HILS 시스템과 유기적으로 개발을 수행되어 시스템 개발 시간을 크게 단축시키는 결과를 가졌다. 본 논문에서는 이러한 HILS 시스템과 이를 응용한 사례에 대해서 살펴보겠다.

2. HILS 기반 수중운동체 개발

2.1 모델 기반 수중운동체 개발

시스템 모델은 다양한 관점에 따라서 정의 될 수 있다. 일반적으로 수중운동체 개발에서는 운동 시스템 해석을 중심으로 모델 구성을 수행한다. 즉, 6 자유도 운동 방정식을 기반 수중운동체의 운동 해석 모델을 이용하여 수중운동체의 주행 제어에 대한 모델을 중심으로 시스템이 설계된다. 이러한 이유는 수중운동체의 기본 기능이 수중운용환경하의 주행이고, 다양한 구성품의 성능이 운동 모델에 통합 될 수 있기 때문이다.

하지만 모델 기반 시스템 설계는 한 가지 맹점을 가지게 되는데 이는 모델에 대한 신뢰성이다. 일반적인 수중운동체 6-DOF 모델은 식(1) 과 같이 구성된다.

$$M_A \dot{\nu} + C_A(\nu)\nu + D(\nu)\nu + g(\eta) = \tau_p + \tau_f \quad (1)$$

여기서 ν 는 속도 상태변수이며, M_A 는 added mass, C_A 는 added mass의 코리올리힘 및 원심력을 나타내는 항렬이며, $D(\nu)\nu$ 는 hydronamics lift 와 drag, $g(\eta)$ 는 정유체 복원력을 나타낸다. 통상 이러한 운동 방정식은 구성에 따라

10개에서 20개를 넘은 유체력 계수 항을 포함하게 되는데, 이 계수 값에 따라서 전체 지배방정식의 결과가 달라진다. 따라서 시스템 설계 과정에서 이러한 유체력 추정을 위한 다양한 노력이 시도된다. 그 대표적인 예가, PMM (Planar Motion Mechanism) 시험과 Corning 시험이다. 두 시험 모두 모의 모형을 바탕으로 수조 시험을 통해서 계측이 된 무차원화된 계수를 바탕으로 유체력을 추정하는 방식을 사용한다. 하지만 두 방법 모두 완벽한 형태의 유체력 계수 추정은 힘들다. 보조적으로 경험적인 지식을 바탕으로 계수 추정이 추가로 요구되며 최종적으로는 실제 운동과 유사한 형태의 운동 모델이 만들어 진다고 볼 수 있다.

따라서 모델 기반 시스템 설계에서 모델이 가지는 본질적인 신뢰성 문제는 전체 시스템에 대한 신뢰성에 영향을 미치게 된다. 모델 기반 수중운동체 개발의 초장기에는 이러한 신뢰성에 대한 이슈가 매우 컸으며, 모델과 실 시험간의 괴리도 상당한 것으로 보였다. 모델을 생성하는 방법은 크게 수학적 분석을 통한 모델 생성 기법과 데이터를 통한 학습을 통한 모델 기법으로 구분 할 수 있다. 수중운동체 개발은 전자의 모델 생성 기법을 사용했기 때문에 이론과 실체가 보이는 차이는 태생적인 것이라 할 수 있다.

문제는 이러한 모델의 신뢰성을 높이기 위해 어떤 작업이 수행되어야 하는가이다. HILS 시스템은 이러한 모델 불안정성과 모델 업데이트 작업에 신뢰성 있는 대안을 제시한다.

2.2 HILS기반 수중운동체 개발

수중운동체의 모델 기반 설계 과정이 운동 모델을 기본으로 하기 때문에 HILS 시스템 또한 운동을 전체로 구성되어야 한다. 그림 1인 수중운동체의 HILS 시스템 구성을 나타낸다. 수중운동체의 운동 모의를 위해서는 IMU(Inertial measurement unit)를 통해 측정되는 자세/속도를 FMS(Flight Motion Simulator)을 통해 모의해 주어야 한다. 또한 수중 환경 모의를 위한 압력 인가 및 다양한 환경에 맞는 신호를 주어야 한다.

HILS 시스템 개발의 핵심 기술은 실시간 컴퓨팅, 모델링, 환경 모의 기술이라고 할 수 있다. 실시간 컴퓨팅은 정확한 계산을 위한 RTOS (Realtime OS)를 기반으로 하는 시스템 구축을 말하며, 모델링은 앞서 언급한 정확한 운동 모델을 의미한다. 환경 모의 기술은 수중운동 특성에 따라 부체계 시스템이 수중에서 운용된다고 가정하고 이에 적합한 신호를 넣어주는 기술을 의미한다. 예를 들면, 압력 센서를 이용한 심도 측정 시스템의 경우 운용 수심이 높아지면 이에 해당하는 신호를 생성하여 넣어주던가 혹은 실압을 넣어 주기도 한다.

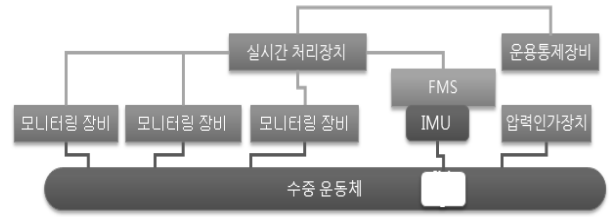


그림 1 수중운동체 HILS 시스템 구성

HILS 시스템에 대한 가장 많은 오해는 HILS 시스템은 단순히 Testing 장비로 활용한다는 점이다. 물론 기본적으로 V 모델 설계 과정에서 시스템 통합 검증 단계를 검증하기 위한 장비로 HILS 시스템이 활용되는 것은 맞다. HILS를 통해서만 전체 통합 시스템의 성능 검증이 가능하며, 하드웨어와 소프트웨어가 통합된 형태의 다양한 문제는 잡아 낼 수 있다. 하지만 HILS 시스템을 이용하여 운용 로직 개발과, 다양한 운동 조건에 모의를 통한 항법 알고리즘 개발 등에도 활용이 가능하다. 즉, 통합 시스템으로 설계 및 개발에도 충분히 활용이 가능하다.

운동 모델의 신뢰성을 높이는 작업은 통합 시스템 관점에서 해상 시험에서 획득된 데이터를 기반으로 모델을 수정하고, 수정된 모델을 바탕으로 HILS 시험을 통해 모델을 검증하는 절차를 통해서 수행된다. 이러한 절차는 단순한 소프트웨어 시뮬레이션을 통해서 수행 될 수도 있다. 하지만 좀 더 상세히 문제는 고려해 보면 HILS를 통한 모델 업데이트 작업과 소프트웨어 시뮬레이션 작업을 통한 모델 업데이트 작업은 엄연히 다른 측면이 있다. 일단 일반적인 기록 데이터의 경우 수중운동체의 제어 주기로 기록이 되며, 전체 항법 - 제어 시스템 또한 주기를 가지고 수행하게 된다. 또한 항법 센서의 경우 모델과 센서 계측을 통한 결과 값은 본질적인 차이를 가지고 있으며, 부체계간의 통신 시스템에서 발생하는 다양한 에러 및 지연 또한 통합 시스템에서 고려를 해야 된다. 즉 실제 시스템에서 계산되고 수행될 때와 단순히 소프트웨어만 구성하여 시뮬레이션 할 때는 엄연한 차이를 보인다.

HILS 시스템을 이용한 모델의 불확실성을 대처하는 다른 방법은 보다 고려 가능한 불확실한 모델을 기반으로 시스템을 설계하는 방법이다. 이는 모델의 불확실성을 전제로 하고 발생할 수 있는 최악의 상황에서의 환경과 최적의 환경 등 다양한 고려해야 하는 환경을 생성하고 이를 바탕으로 HILS를 수행하여 이러한 환경에서 운행이 가능한 제어 시스템 및 운용 시스템을 설계하는 방법이다.

운동 모델의 유체력 추정 과정에서 예산 및 시험 일정으로 인해 적절한 시험을 수행 하지 못한 경우, 유체계수를 경험적으로 추정을 하거나 CFD (Computational Fluid Dynamics) 를

이용한 추정하는 경우 몇 가지 세트의 유체계수를 추정하여 HILS를 통해 검증이 가능하다. 특히 속도변화 큰 경우 달라지는 적절한 유체력 계수 추정이 어려운 경우가 많고 이 경우 HILS 시험 기법을 통한 다양한 속도에서 제어기 검증은 시스템 안정성 확보측면에서 많은 도움이 된다.

3. LIG Nex1 AUV

3.1 LIG Nex1 AUV 소개

LIG Nex1 AUV 는 자사에서 개발 중인 무인잠수정으로 수중 지형 탐색 및 다양한 임무 수행이 가능한 잠수정이다. 자사는 다양한 수중유도무기 개발 경험을 바탕으로 미래 무기체계 한 분야로 무인잠수정을 선정하여 자체투자를 통해 2013년부터 LIG Nex1 AUV를 개발해 오고 있다. 크기는 2.1m 중량은 75Kg 정도 이며, 최대 속도 10kts, 3kts 운행 시 10시간 운행으로 목표로 시스템이 설계되었다. 그림 2은 LIG Nex1 AUV 형상을 나타낸다.

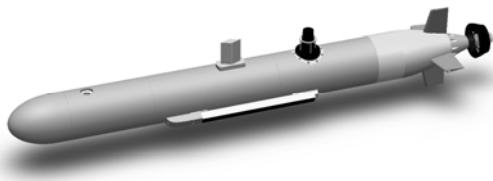


그림 2 LIG Nex1 AUV 형상

기존의 수중운동체와 달리 무인잠수정의 경우 기존 주행 성능뿐만 아니라 다양한 다른 기능을 요구하고 있다. 자율 판단을 위한 알고리즘, 해상 지형 획득 및 이를 분석하기 위한 알고리즘, 그리고 수중 및 수상 환경에서 통신을 수행하기 위한 시스템 등이 대표적인 요구 기능들이다. 자사는 이러한 추가적인 기술에 대한 개발 필요성을 느끼고 이에 적절한 상용품 하드웨어를 구성하여 개발을 수행하고 있다. 기존의 개발품 하드웨어 구성에서 상용품 하드웨어 사용은 크게 세 가지 의미를 가진다. 첫 번째는 개발 비용 및 시간 단축이다. 이를 통해 빠르게 시스템을 구성하여 통합 할 수 있었다. 두 번째는 시스템 구성품을 공개하여 다른 개발자들이 참고하여 개발을 수행하도록 배려하였다. 보다 공개적인 형태에서 무인잠수정이 개발되고 결과를 공유하여 개발된 시스템의 신뢰성을 얻고 같이 개발에 참여하는 기회를 확대하고자 하였다. 세 번째는 다양한 부체계 입출력 조건을 가지는 유도항법제어 시스템

이 요구된다는 점이다. 유도항법제어 (GNC: Guidance, Navigation and Control) 시스템은 수중운동체의 핵심 구성품으로 다양한 부체계간의 통신을 중재하며 핵심 알고리즘이 수행되는 하드웨어이다. 개발품을 이용한 시스템 설계 과정에서는 통신 인터페이스 및 전원 인터페이스가 통일되기 때문에 GNC 시스템의 통합 인터페이스 요구가 다양하기 않았지만, 상용품을 사용하면서 다양한 인터페이스가 요구되면서 GNC 시스템 구축이 쉽지 않다. 자사는 National Instrument (NI)사의 CompactRIO 시스템을 이용한 GNC 시스템 구축으로 이러한 요구사항을 만족 시킬 수 있었다.

LIG Nex1 AUV의 개발 목표는 수중무인시스템에 필요한 주요 핵심알고리즘을 개발하는 것이다. 자사는 무인잠수정에 필요로 하는 주요 핵심 하드웨어 기술은 이미 다 국산화 된 것으로 판단하고 있다. 따라서 하드웨어 개발은 더 이상 개발 이슈가 되지 않는다고 판단한다.

무인화 시스템에서 핵심은 어떻게 시스템은 운용되는가에 해당되는 소프트웨어이다. 따라서 무인잠수정 개발에 있어서 소프트웨어 개발이 최대한 편리하도록 개발이 진행되었다. 개발된 무인잠수정은 기본적으로 Vxworks를 운영체제로 NI LabVIEW RT를 이용한 LabVIEW 프로그램을 사용하여 코딩되었다. 또한 Mathscript를 이용한 Mathworks 사의 MATLAB M code가 삽입 가능한 구조로 설계되었다. 따라서 무인잠수정에 탑재되는 주요 알고리즘 개발은 MATLAB 기반으로 진행이 가능하며 소프트웨어 시뮬레이션 코드를 바로 하드웨어 시스템 적용이 가능하도록 설계되었다. 이러한 과정은 소프트웨어 변환 과정을 최소화 시키고 개발자로 하여금 소프트웨어 개발에 집중을 가능하게 해준다.

3.2 HILS 시스템을 통한 LIG Nex1 AUV 검증

LIG Nex1은 구미 하우스 및 판교 하우스에 HILS 시스템을 구축하고 있다. 특히 판교 하우스에는 약 150m² 크기의 수중 HILS 실을 보유하고 있으며 125Kg 까지 장착이 가능한 3축 Rate Table을 및 HILS 시스템을 구축하고 있다. 자사는 자항 식기만기 개발을 시작으로 다양한 수중유도무기를 개발에 HILS 시스템을 적극 활용하여 개발 중이다. 또한 2009년부터 HILS 시스템 운용을 위한 다양한 형태의 실시간처리시스템을 개발하고 있다. 실시간처리시스템 개발에서 가장 중요한 점은 FMS의 실시간 제어 및 운동모델 해석이라고 할 수 있다. 무인잠수정 개발에도 보다 향상된 HILS 시스템 개발이 진행되었다.

일반적으로 수중유도무기 개발에서는 수조 시험 및 경험을 통한 신뢰성 있는 모델이 획득이 되기 때문에 모델 수정이 크

게 발생하지 않지만, LIG Nex1 AUV의 경우 전체 유체력 계수가 CFD 및 경험식을 통해서 추정되었다. 따라서 해상 시험 후 운동모델 업데이트가 필요하며, 이 과정을 데이터 기반으로 수행하기 위해 시뮬레이션과 HILS 시스템간의 모델 통합 과정이 이루어 졌다. 결과적으로 MATLAB M code 기반 운동 모델이 적용되어 운동모델 업데이트 시간을 크게 단축 시켰다. 또한 기존의 기록 데이터 기반 운동 모델 업데이트 과정을 시스템적으로 추정하여 업데이트가 가능한 구조로 변경이 되었다. 그림 3은 무인잠수정의 HILS 수행 장면을 나타낸다. 왼쪽 그림이 무인잠수정과 FMS의 연동 장면을 나타내고 오른쪽 그림이 HILS 시험 결과를 나타낸다.

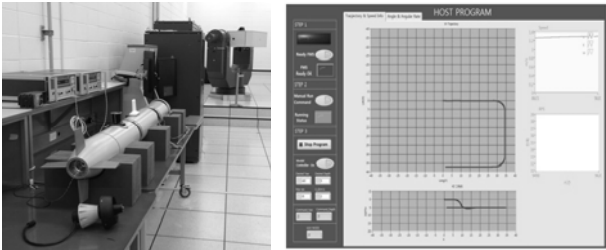


그림 3 LIG Nex1 AUV HILS 수행 장면

4. 결론

모델 기반 수중운동체 개발은 지난 30년간 다양한 무기체계 개발을 통해서 수행되었고 그 효과가 검증되었다. HILS 시스템은 이러한 V 모델 기반 시스템 개발의 핵심 기술로 자리 잡고 있다. 자사는 LIG Nex1 AUV를 포함한 다양한 수중운동체 개발에 HILS 시스템을 적용하고 있으며 높은 신뢰 수준을 자랑하고 있다.

하지만 아직도 HILS 시스템 개발에 많은 이슈가 남아 있으며 지속적으로 발전해 나가야 할 것으로 판단된다. 앞으로의 개발 방향에 대해서 제안해 보면 다음과 같다. 첫째, HILS 제어 주기 성능 향상 및 FMS 제어 정밀성 향상이 수행되어야 한다. 수중운동체는 비행운동체 보다 운동 동특성이 느리기 때문에 제어 주기의 민감도가 낮아 이에 대한 요구 사항이 낮은 편이지만, 향후 시스템 정확도 향상을 위해서는 지속적인 제어 주기 향상이 수행되어야 한다. 둘째, 수중 모의 환경 구

축이 수행되어야 한다. 운동 모델 부분은 파력 모델, 조류 모델과 같은 실제 환경 모델을 추가되어야 하며, 수중 음향 모델과 같이 수중음향 전달 특성을 모의 할 수 있는 보다 세밀한 모델이 필요하다. 셋째, 고출력 시험이 수행 가능한 시스템 구성에 대한 연구가 필요하다. 보다 복잡한 전자시스템의 검증을 위해서는 부체계 시스템의 실제적인 부하가 필요하다. 시험의 위험성을 낮추고 안전한 환경에서 고출력 시험까지 통합된 형태의 HILS 시스템 구성에 대한 연구가 필요하다.

마지막으로 LIG Nex1은 수중유도무기 개발의 선두주자로 지속적인 HILS 시스템 기술 개발을 통해 수중운동체 기술을 리드해 나가도록 노력할 것이다.

참고 문헌

- 김문환 [Development of Guidance, Navigation and Control System Software for Autonomous Unmanned Vehicle Based on LabVIEW, ISOPE 2015] (2015)
 남경원 [합성환경 하에서의 수중운동체 HILS/MILS 구현 기법 연구, 한국군사과학술지] (2002)



김 문 환

- 1981년생
- 2006년 연세대학교 전기전자공학과 석사
- 현 재 : LIG Nex1 선임연구원
- 관심분야 : 수중유도무기, HILS 시스템
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : moonani.kim@lignex1.com



이 상 영

- 1964년생
- 1990년 서강대학교 물리학과 석사
- 현 재 : LIG Nex1 Maritime연구소2센터2팀장
- 관심분야 : 수중유도무기, 소나시스템
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : sangyoung.lee@lignex1.com