

디지털 트윈을 활용한 굴착기 소프트웨어 개발 Excavator SW development with Digital twin technology

신상균 · 김재홍
Sanggyun Shin and Jaehong Kim

1. 서 론

최근 건설기계 산업에는 높은 작업 효율과 작업자 안전에 대한 요구를 충족시키기 위하여, 자동화 기술을 많이 도입하고 있다. 건설기계 산업의 중심인 굴착기의 경우, 운전을 보조하는 세미-오토메이션, 무인 작업장을 위한 텔레메틱 오퍼레이션, 작업 효율과 장비가동율을 관리용 실시간 데이터 모니터링 등이 있다. 최근에 지능형 실행 알고리즘을 통한 다양한 자동화 기술들을 적용하여, 작업의 정확성 및 운전자의 안전을 향상시키고자 한다. 이는 건설 현장의 생산성을 극대화하고 비용을 절감하는데도 꼭 필요한 기술이다. 그러나 자동화 기술의 개발과 적용에 있어서는, 복잡한 기술의 통합, 높은 초기 투자 비용, 엄격한 규제 준수, 그리고 시장 수용 문제 등의 여러가지 도전적 과제가 있다.

이러한 도전 과제를 효과적으로 해결할 수 있는 방법으로 물리적 객체의 가상 복제본을 만들어 분석하는 시스템 시뮬레이션이 있으며, 최근에는 시스템 시뮬레이션 기술에 사용자의 실시간 데이터를 확보하고 처리하는 기술을 통합한 디지털 트윈 기술이 주목받고 있다. 이 디지털 트윈 기술을 이용하면, 장비 성능 및 제어 알고리즘의 시뮬레이션을 통한 분석이 가능하여, 개발 과정에서의 시험 비용과 운전자의 위험을 크게 감소시킬 수 있다. 또한, 디지털 트윈을 사용함으로써, 개발자들이 실시간으로 사용자 장비의 데이터를 분석하고, 장비의 실시간 상태에 맞는 튜닝이 가능해 지므로써, 장비의 개발 기간 및 품질을 향상시킨다.

볼보 그룹에서는 볼보 트럭이 글로벌로 최고의 시장점유율 및 기술을 보유하고 있고, 전 그룹의 기술을 견인하고 있다. 본 기술해설에서는 볼보트럭에서 양산 개발에 적용 중인 디지털 트윈을 활용한 소프트웨어 개발/검증 방법을 설명하고, 볼보건설기계 굴착기(창원)의 현재 상황 및 향후 진행할 디지털 트윈

을 활용한 소프트웨어 개발/검증에 대한 방향을 소개하고자 한다.

2. 볼보 트럭의 소프트웨어 개발/검증 방법

볼보트럭에는 소프트웨어 개발 및 검증을 위하여 GSP(Global Simulation Platform)라는 시뮬레이션 플랫폼을 사용하고 있다. GSP의 생태계는 기본적으로 디지털 트윈의 컨셉을 따르고 있으며, 해당 생태계는 Fig. 1에서 보여주듯이 시뮬레이션 모델 매니지먼트 시스템, 테스트 자동화 시스템 및 데이터 매니지먼트 시스템으로 구성되어 있다.

그리고 GSP의 활용도는 제품 개발 프로세스에 맞추어 설계 단계, 실제 구현 단계, 유지 보수 단계로 정의된다.

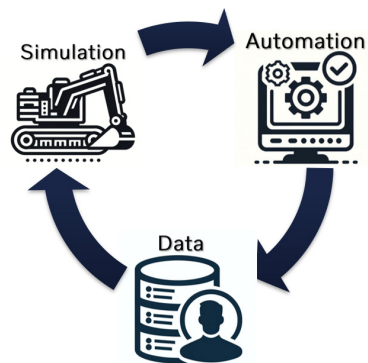


Fig. 1 GSP eco-system

2.1 설계 단계

설계 단계에서 장비의 모델을 생성하고, 다양한 운영 시나리오를 시뮬레이션 함으로써 최적의 설계를 도출할 수 있다. 이 과정에서 수집된 데이터는 향후 장비 운영 중 발생할 수 있는 문제를 예측하고, 개선 사항을 사전에 파악하는 데 중요한 역할을 한다. 더욱이, 이러한 가상 환경에서의 테스트는 실제 환경에서의 비용과 시간을 대폭 절약할 수 있으며, 개발 초

기 단계에서의 오류를 줄여 최종 제품의 품질을 향상시킨다.

2.2 실제 구현 단계

실제 구현 단계에서 GSP는 소프트웨어와 하드웨어의 통합 테스트를 지원한다. Fig. 2에서 표현 되듯이, 개발자들은 GSP를 활용하여 장비의 소프트웨어가 실제 하드웨어와 어떻게 상호 작용하는지를 가상으로 시뮬레이션할 수 있다. 이는 소프트웨어의 버그를 조기에 발견하고 수정할 수 있는 기회를 제공하여, 실제 운영 환경에서의 예기치 못한 문제를 예방할 수도 있다. GSP는 또한 사용자의 피드백을 신속하게 반영할 수 있는 플랫폼을 제공함으로써, 사용자 중심의 제품 개발을 가능하게 한다.

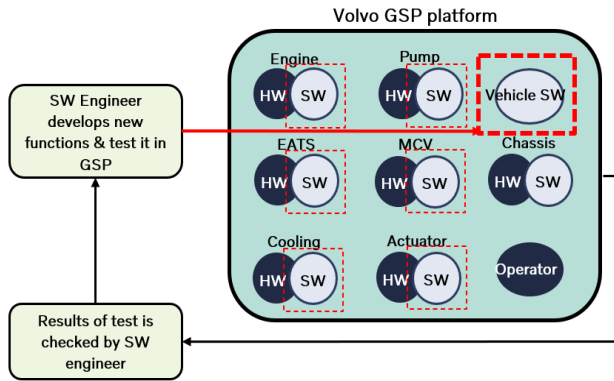


Fig. 2 Software test within GSP

2.3 유지 보수 단계

유지 보수 단계에서 GSP는 특히 중요하다. 일반적인 디지털 트윈에서는 실시간 데이터를 통해 장비의 현재 상태를 지속적으로 모니터링하면서, 장비의 성능 저하나 잠재적 결함을 조기에 감지할 수 있다. 이를 통하여 예방 정비를 실시함으로써 장비의 가동 중지 시간을 최소화하고, 수명을 연장할 수 있다. 여기에서 GSP는 장비의 현재 상태를 바탕으로 시뮬레이션 모델을 실시간으로 업데이트하고, 업데이트된 모델상에서 소프트웨어 분석하여, 사용자의 장비에 최적화된 소프트웨어를 제공할 수 있다. 이를 통하여 장비의 성능 유지 및 사용율을 높이는 데 도움을 준다. 이러한 접근 방식은 운영 비용을 줄이는 동시에 장비의 안정성과 신뢰성을 높인다.

3. 굴착기 시스템 시뮬레이션의 현재

이미 전자제어 시스템이 적용되어 성숙 단계에 있는 볼보트럭에서는 소프트웨어 개발을 위한 디지털 트윈, 즉 GSP 적용은 매우 효율적인 선택이었다. 현재 건설기계의 경우 다양한 자동화 기술을 적용하기 위하여 전자제어 시스템 도입을 확대하고 있어서, GSP의 도입이 시급하다. 단, 소프트웨어 개발 및 검증에 GSP를 적용하기 위해서는 정확도 높은 시뮬레이션 모델이 필수적으로 요구된다. 볼보건설기계의 다양한 장비 라인업 중, 굴착기의 경우, 이미 설계 단계에서 적용 가능한 시뮬레이션 모델 뿐만 아니라 그 시뮬레이션 모델을 활용한 시뮬레이터까지 개발되어 있다.

3.1 굴착기 시스템 시뮬레이션

볼보건설기계의 굴착기 시스템 시뮬레이션 모델은 ADAMS, AMESim 등의 다양한 굴착기 시뮬레이션 경험을 바탕으로, Simulink/Simscape 환경에서 유압/동역학/제어/엔진 모델이 모두 통합되어 있다.

굴착기 제어 알고리즘 개발 시 사용하는 Simulink와 시스템 시뮬레이션이 동일한 환경이므로, 다른 소프트웨어를 연동하여 실행할 때 발생하는 불필요한 데이터 통신이 없고, 부수적인 설정이 필요 없어, 엔지니어들이 쉽게 사용할 수 있다.

이 시스템 시뮬레이션 모델은 수치해석 방법을 최적화하여, 일반컴퓨터(Intel I9, Window10)에서 실시간보다 2배 빠른 속도로 실행이 가능하기 때문에 실제 환경과 동일하게 시뮬레이터를 구동할 수 있다. 복잡한 유압/동역학 시뮬레이션을 실시간으로 구동하는 세계 최고의 기술을 보유하고 있다고 할 수 있겠다.

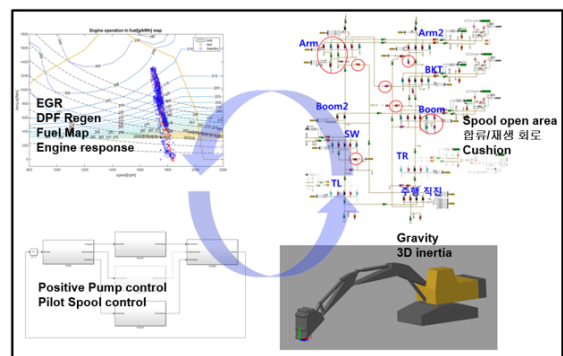


Fig. 3 Excavator simulation



Fig. 4 Excavator simulator by RT simulation

3.2 시스템 시뮬레이션의 설계 단계 적용 예

볼보 굴착기 개발에서 설계 단계의 연비 분석은 이미 보편화 되어 있다. 최근, 전통적인 엔진-유압 (spool type main control valve) 굴착기가 아닌, 탄소중립을 위하여 새로운 개념의 다양한 굴착기들을 검토 중이다. 이런 경우, 일반적인 시스템 개발보다 더 많은 개발 비용과 시간이 요구되어, 시스템 시뮬레이션 및 시뮬레이터를 활용한 제어 알고리즘 개발이 더욱 효과적이다.

Fig. 5는 기존의 유압 시스템인 MCV(Main Control Valve)에 탄소중립을 위한 연비개선 목적으로, Boom과 Arm에 독립 미터링 전자제어 밸브를 적용한 사례

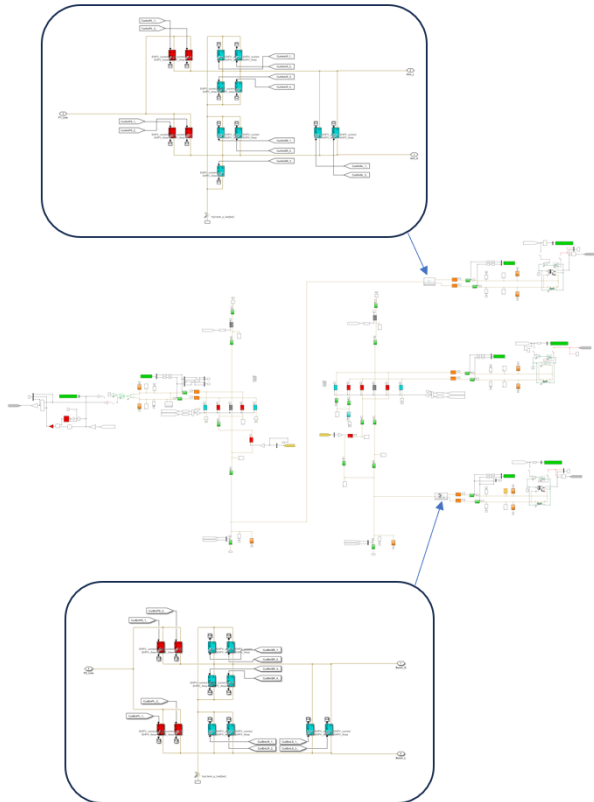


Fig. 5 Boom, Arm 전자밸브 굴착기의 시뮬레이터 적용사례

이다. 그림과 같이 구성된 시스템 시뮬레이션 모델은 실시간 시뮬레이터에 적용하였고, 기존의 굴착기와 새로운 시스템을 비교 테스트하여, 새로운 시스템에서 발생할 수 있는 다양한 문제점들을 사전에 인지할 수 있었고, 이를 시뮬레이터에서 운전하면서 개선함으로써, 제어알고리즘 개발에 큰 도움이 되었다.

4. GSP를 굴착기 적용 프로젝트

볼보건설기계에서는 성숙된 굴착기 시스템 시뮬레이션 기술을 바탕으로 VCE GSP(Volvo Construction Equipment Global Simulation Platform) 개발 프로젝트를 시작하였다. 그리고 해당 프로젝트는 Fig. 6와 같이 크게 3단계로 진행하여, 디지털 트윈을 완성시키고자 한다.

오늘날의 굴착기 개발에서 시스템 시뮬레이션은 최적 설계를 도출하는데 사용하고 있다. 연비 분석을 통한 굴착기의 컨셉이나, 컴포넌트 사양정의 및 새로운 시스템에 대한 컨트롤 알고리즘의 컨셉을 분석하고 있다. 현재 진행중인 VCE GSP 1차 과제에서는 실제 구현 단계인 양산 소프트웨어와 하드웨어의 통합 테스트를 시뮬레이션 환경에서 가능하게 만들 계획이며, 2차 과제를 통하여 1차 단계에서 확보한 테스트 방법론의 자동화를 목표로 한다. 그리고 3차 과제를 통하여, 현장에서 운용중인 장비의 데이터를 시뮬레이션 모델에 직접 연결가능한 환경을 구축하고, 사용자 데이터 바탕으로 지속적으로 사용자의 장비에 맞게 시뮬레이션 모델을 업데이트하는 시스템을 구축한다. 이러한 시스템을 활용하여 사용자에게 최적화된 굴착기 소프트웨어를 빠르게 지속적으로 제공하는 목표를 가지고 있다.

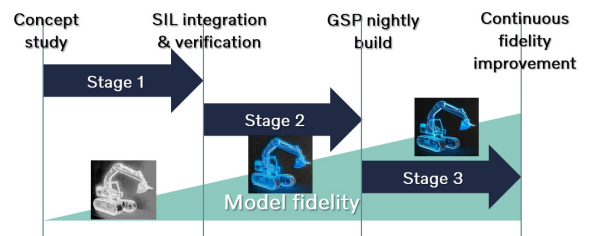


Fig. 6 VCE GSP development plan

5. 결론

해당 기술 해설에서는 GSP(Global Simulation Platform)

를 활용한 볼보 그룹의 소프트웨어 개발에 대한 선진 사례를 소개하였고, 볼보 건설기계 그룹의 굴착기 시스템 시뮬레이션 현황과 미래 방향을 제시하였다. 또한 기적용중인 제어 알고리즘 컨셉 개발등의 사례를 통하여 GSP 도입의 성공 가능성을 보여 주었다.

참고 문헌

- 1) 김재홍, 굴착기 실시간 시뮬레이션과 활용, 드라이브 컨트롤 Vol.17 no.3, pp. 69-75, 2020.9
- 2) Kim, J., Lee, J., and Jung, A., "The Methodology Development of Real-Time Simulation Model for an Excavator," SAE Technical Paper 2016-01-8115, 2016
- 3) 김재홍, 신상균, 이재용, 정안균, “시뮬레이터를 활용한 굴삭기 유압 시스템 최적화”, 유공압 건설기계학회 학술대회논문집, pp. 172-174, 2015.6
- 4) 김재홍, 신상균, 이재용, 정안균, “시뮬레이터를 이용한 굴삭기 유압 에너지 회생 시스템 개발”, 유공압 건설기계학회 학술대회논문집, pp. 111-112, 2016.6

- 5) 김재홍, 신상균, 김지윤, 정안균, “시뮬레이션 모델 기반 반자율 굴착기 제어 시스템 개발”, 유공압 건설기계학회 학술대회논문집, pp. 235-236, 2019.6

[저자 소개]



신상균
 E-mail : Sanggyun.shin@volvo.com
 Tel . ***-****-****
 2012년 부경대학교 유압공학 석사. 2011년 Volvo Construction Equipment, System simulation engineer for excavator. 2019년 Volvo Group Truck Technology, System simulation engineer for electro mobility truck. 2023년, Volvo Construction Equipment, Virtual SW verification specialist.



김재홍
 E-mail : jaehong.kim@volvo.com
 Tel . ***-****-****
 2005년 경북 대학교 기계공학과 석사(기계 응용 역학). 2005년 볼보 건설기계 코리아 입사. ADAMS, AMEsim, Simscape 를 이용한 굴착기 시뮬레이션. Technical Specialist for Multi-domain(Hydraulic,Dynamic) simulation