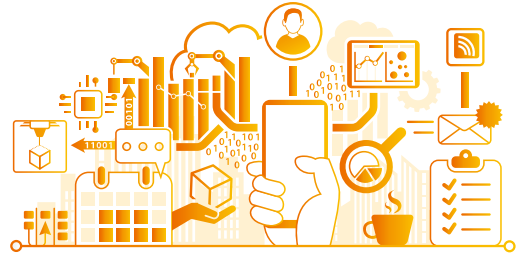


H2020의 가상물리시스템 신뢰성 연구 동향

임태형 _ TTA 소프트웨어시험인증연구소 지능정보융합소프트웨어단 책임연구원



1. 머리말

센싱 기술, 데이터 처리 기술, 제어 기술의 놀라운 발전은 가상물리시스템(Cyber-Physical Systems)의 실현을 가속화시키고 있다. 통신 가능한 지능적 센서들은 물리 세계에서 필요한 정보를 실시간으로 수집하여 가상 세계의 서버로 보내고, 이는 빅데이터, 인공지능 기술을 활용하여 분석된 후 다시 물리 세계를 제어한다. 센서와 액추에이터는 가상 세계와 물리 세계를 이어주는 손과 발이고, 빅데이터, 인공지능 서버는 가상물리시스템의 두뇌처럼 동작한다. 가상물리시스템은 인간의 개입을 최소화하고 자율적이고 지능적인 방식으로 동작하기 때문에 제조, 에너지, 운송 등 다양한 분야에서 생산 비용의 감소, 장비 및 시설의 유지보수 효율성 향상, 시스템 자동화 및 자원 활용의 최적화 등과 같은 다양한 편익을 제공할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

그러나 가상물리시스템이 항상 장밋빛 미래를 보장하지는 않는다. 가상물리시스템이 사회적 파급력이 큰 사회 기반 시설 곳곳에 적용되면서 크고 작은

사고들이 발생하기 시작했다. 테슬라의 오토파일럿 장치 오작동으로 인한 운전자 사망 사고, 수술용 로봇인 다빈치 의료 사고, 마이크로소프트 인공지능 챗봇 테이의 인종차별 발언 등 센서, 액추에이터, 인공지능 등에서 발생한 시스템의 오작동은 단순한 에러로 그치지 않았고, 결국 예상하지 못한 나쁜 결과로 이어졌다. 가상물리시스템을 실현하기 위한 중요한 변수로 신뢰성이 부각되기 시작한 것이다.

미국과 유럽의 주요국들은 가상물리시스템 시대를 선도하기 위해 사물인터넷, 임베디드 시스템, 네트워크, 클라우드, 빅데이터, 인공지능 등 가상물리시스템을 구성하는 다양한 기술 요소들의 수준을 한 단계 발전시키고자 노력하고 있는 동시에 시스템을 안전하게 만들기 위한 개발 방법론, 시험 및 검증 방법 등을 함께 고민하기 시작했다. 가상물리시스템의 신뢰성에 대한 확실한 해답을 찾지 못한 상태에서, 시스템의 성능과 같은 기술적인 측면의 혁신만을 추구하는 것은 반쪽짜리 가상물리시스템을 만들 수밖에 없음을 깨달은 것이다. 본고에서는 유럽의 ‘호라이즌 2020(H2020)’에서 추진 중인 13개의 프로젝트

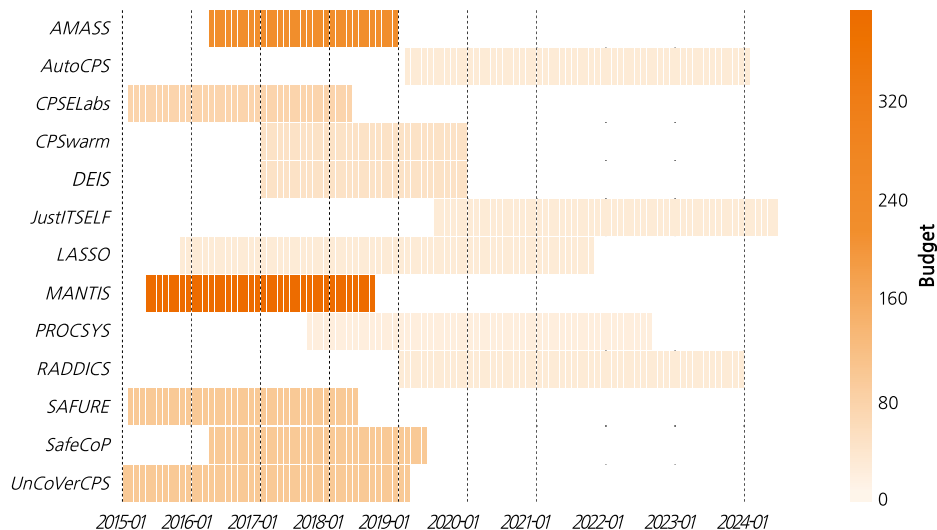
트를 중심으로 가상물리시스템의 신뢰성 확보 연구 동향을 살펴본다.

2. H2020의 가상물리시스템 신뢰성 프로젝트

H2020은 유럽 최대 규모의 연구기금 지원 프로그램으로 2014년부터 2020년까지 약 7년 간 총 98조 6천억 원의 예산이 투입될 예정이며, 유럽뿐만 아니라 전 세계 연구자들이 H2020의 지원을 통해 다양한 분야의 기술혁신을 위한 연구를 수행하고 있다. 본고에서는 H2020의 수행 과제들 중 가상물리시스템 신뢰성 연구와 관련된 총 13개 프로젝트를 선별하여 조사하였다. 최신 동향을 살펴보기 위해 2018년 이전에 종료된 과제들은 제외하였으며, 특정 산업에 지나치게 특화되거나 신뢰성 확보기술의 비중이 낮은 프로젝트들도 포함시키지 않았다. [그림 1]은 조사 대상으로 선정된 총 13개 프로젝트의 기간과 예산을

나타낸다. 각 프로젝트의 기본적인 정보는 <표 1>과 같으며, 구체적인 내용은 프로젝트의 홈페이지 또는 CORDIS¹⁾에서 찾아볼 수 있다.

가상물리시스템의 신뢰성을 확보하기 위한 기본적인 접근법은 시스템의 생명주기에 따라 필요한 활동들을 세분화하는 것이다. 즉, 일반적인 시스템 엔지니어링과 마찬가지로 가상물리시스템의 생명주기를 ‘요구사항-분석-설계-개발 및 통합-시험-유지보수’의 단계로 분할하여 각 단계에서 신뢰성을 확보할 수 있도록 집중하는 것이다. 이러한 관점에서 H2020의 CPS 신뢰성 프로젝트를 분류해 본 결과, 설계 단계의 신뢰성 확보와 관련된 프로젝트는 AutoCPS, SafeCoP, SAFURE, PROCSYS가 있으며, 개발 및 통합의 신뢰성 확보 프로젝트는 CPSwarm, DEIS가 진행되고 있다. 시험은 신뢰성 확보를 위한 핵심 단계로, 이와 관련된 프로젝트는 AMASS, JustITSELF, LASSO, RADDICS, UnCoverCPS로 가장 많은 수

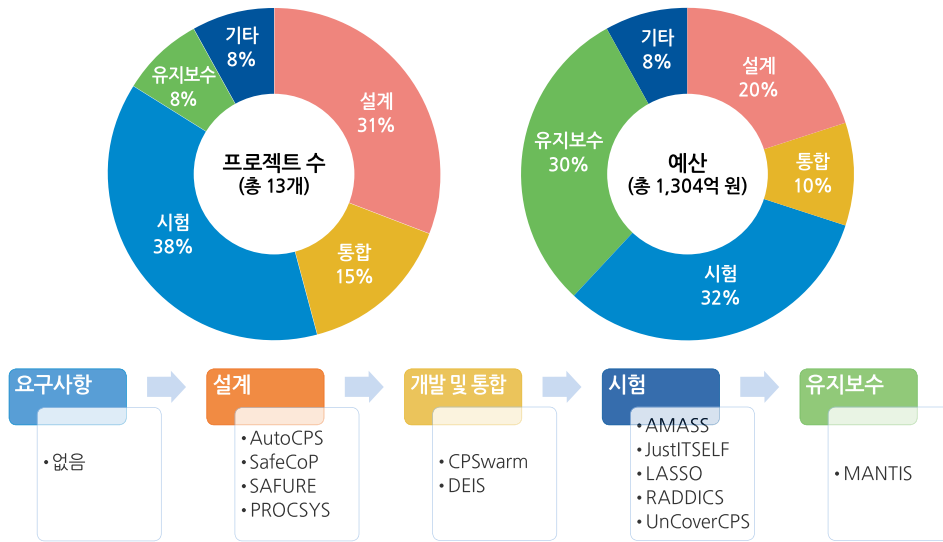


[그림 1] H2020의 가상물리시스템 신뢰성 관련 주요 프로젝트의 기간 및 예산(2015~2024)

1) H2020에서 진행되는 모든 과제는 EU의 정보서비스 기관인 CORDIS(<http://cordis.europa.eu>)에서 검색이 가능하다.

<표 1> H2020의 가상물리시스템 신뢰성 프로젝트 요약

프로젝트명	목표	기간 / 예산	수행기관	홈페이지
AMASS (Architecture-driven, Multi-concern and Seamless Assurance and Certification of Cyber-Physical Systems)	가상물리시스템의 안전성, 보안성 보장 및 인증을 위한 전 유럽의 사실 표준(de-facto standard) 공개 도구 플랫폼 개발 및 생태계 조성	2016. 4.~2019. 3. (36개월) 266.82억 원	스페인 FUNDACION TECHALIA 연구 소 등 32개 기관	https://www.amass-ecsel.eu/
AutoCPS (Automated Synthesis of Cyber-Physical Systems: A Compositional Approach)	가상물리시스템의 제어 소프트웨어 신뢰성 향상을 위한 자동합성 (Automated Synthesis) 지원 설계 프로세스 개발	2019. 2.~2024. 1. (60개월) 19.36억 원	독일 뮌헨 대학교	https://cordis.europa.eu/project/rcn/219899/factsheet/en
CPELabs (CPS Engineering Labs - expediting and accelerating the realization of cyber-physical systems)	가상물리시스템 산업육성을 위한 혁신자 양성 프로젝트로, CPS 기반의 제품 및 서비스를 개발하고자 하는 사업가, 연구자, 학생들의 연구실험에 대한 예산 지원	2015. 2.~2018. 4. (39개월) 100.73억 원	독일 FORTISS 등 8개 기관	http://www.cpse-labs.eu/
CPSwarm	협력적 자율형 가상물리시스템 개발을 위한 모델 기반 설계 공학 개발	2017. 1.~2019. 12. (36개월) 64.66억 원	이탈리아 FONDAZIONE LINKS 재단 등 10개 기관	https://www.cpswarm.eu/
DEIS (Dependability Engineering Innovation for CPS - DEIS)	분산형 가상물리시스템의 신뢰 가능한 통합 방법론 개발	2017. 1.~2019. 12. (36개월) 64.35억 원	오스트리아 AVL 등 9개 기관	http://www.deis-project.eu/
JustITSELF (Just-in-time Self-Verification of Autonomous Systems)	가상물리시스템의 적시 정형 검증 기법 개발	2019. 7.~2024. 6. (60개월) 26.31억 원	독일 뮌헨 공과 대학교	https://cordis.europa.eu/project/rcn/220434/factsheet/en
LISSO (Learning, Analysis, Synthesis and Optimization of Cyber-Physical Systems)	기계학습과 모델체크킹 기법의 결합을 통한 가상물리시스템의 가상 및 물리 컴포넌트의 정량적 모델링 도구 개발	2015. 11.~2021. 10. (72개월) 32.82억 원	덴마크 아이보그 대학교	https://www.lasso-cs.dk/
MANTIS (Cyber Physical System based Proactive Collaborative Maintenance)	가상물리시스템의 협력적 사전 유지보수(Collaborative and Proactive Maintenance) 플랫폼 아키텍처 개발	2015. 5.~2018. 7. (39개월) 394.61억 원	스페인 몬드라곤 대학 공학 단과대학 협동조합 등 47개 기관	http://www.mantis-project.eu/
PROCSYS (Towards programmable cyber-physical systems: a symbolic control approach)	가상물리시스템의 물리 객체의 연속적, 동적 특성을 추상화하는 고급(High-level) 프로그래밍 언어 개발	2017. 9.~2022. 8. (60개월) 16.68억 원	프랑스 국립과학 연구센터	https://cordis.europa.eu/project/rcn/207896/factsheet/en
RADDICS (Reliable Data-Driven Decision Making in Cyber-Physical Systems)	가상물리시스템의 신뢰할 수 있는 데이터 기반 의사결정에 대한 연구 수행	2019. 1.~2023. 12. (60개월) 26.28억 원	스위스 취리히 연방 공과 대학교	https://cordis.europa.eu/project/rcn/220096/factsheet/en
SafeCoP (Safe Cooperating Cyber-Physical Systems using Wireless Communication)	무선 통신 기반의 협력형 가상물리 시스템의 안전 보장 방법론 및 플랫폼 개발	2016. 4.~2019. 6. (39개월) 151.52억 원	스웨덴 ALTEN 등 31개 기관	http://www.safecop.eu/
SAFURE (SAFety and secURity by design for interconnected mixed-critical cyber-physical systems)	안전성, 보안성을 보장하는 가상물리시스템 설계 방법론 개발	2015. 2.~2018. 5. (40개월) 75.05억 원	오스트리아 연구소 등 11개 기관	https://safure.eu/
UnCoVerCPS (Unifying Control and Verification of Cyber-Physical Systems)	가상물리시스템 신뢰성의 정형 보장 (Formal Guarantee) 기법 개발	2015. 1.~2019. 2. (50개월) 64.92억 원	독일 뮌헨 공과대 학교 등 10개 기관	https://cps-vo.org/group/UnCoVerCPS



[그림 2] 개발 생명 주기에 따른 H2020 CPS 신뢰성 프로젝트의 분류

를 차지한다. MANTIS는 유지보수 활동에 초점을 맞추고 있으며, CPSELabs는 연구자들의 실험 예산을 지원해주는 일종의 산업 육성 사업으로 특정 개발 생명주기에 제한되지 않아 기타로 분류하였다. 또한 분류된 결과는 각 프로젝트들이 해당 단계의 신뢰성 확보 기술만을 개발하고 있음을 의미하지 않으며, 해당 단계에 가장 높은 비중을 두고 있음을 의미한다. 예를 들어 AMASS의 경우, 최종적인 프로젝트의 목적은 신뢰성 보장을 위한 인증 플랫폼 구축으로 시험 단계의 신뢰성 확보가 주된 내용이지만 이를 실현하기 위한 추진 전략으로 인증된 컴포넌트의 재사용을 지원하는 설계 도구와 컴포넌트 간 통합 도구 등의 개발까지 포함하고 있어 설계, 개발 및 통합, 시험의 주요 단계를 모두 포괄하고 있다.


H2020의 CPS 신뢰성 프로젝트는 가상물리시스템의 신뢰성 확보를 위해 주로 설계와 시험 단계 활동을 중심으로 진행되고 있다. 그다음으로 시스템 통합과 유지보수 단계의 활동이 주를 이루고 있다. 프로젝트 수를 기준으로 살펴보면 설계 및 시험 단

계와 관련된 프로젝트가 총 9건으로 전체의 69% 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 예산 기준으로는 시험과 유지보수의 비중이 62%로 가장 높은 비중을 차지했다. 신뢰성을 확보하기 위한 시험 단계의 주요 관심사는 주로 가상물리시스템의 물리적 불확실성, 복잡한 상호작용 등으로 발생할 수 있는 예외적 상황을 시험하는 방법과 인공지능 신뢰성에 대한 검증 방법이 주를 이루고 있다. 설계 단계와 관련된 프로젝트는 프로젝트 수를 기준으로 전체의 31%를 차지하나, 예산을 기준으로 전체의 20%로 다소 줄어들었다. 이는 설계 단계의 연구가 대부분 이론적인 모델 기반의 설계 방법을 개발하는 데 집중되고 있어 상대적으로 적은 예산이 소요되는 한편, 서로 다른 연구자를 통해 다양한 관점의 프로젝트가 추진되고 있는 것으로 해석할 수 있다. 반면 유지보수와 관련된 프로젝트는 MANTIS가 유일하지만 예산 비중은 전체의 30%를 차지한다. 이는 현재 구축 중인 스마트 공장 등 장비의 유지보수 비용이 높은 분야에서 가상물리시스템을 활용하여 비용 절감 효과를 누

리고자 하는 시장의 목소리가 반영된 것으로 이해된다. 가상물리시스템에서 수집되는 센싱 데이터가 물리 장치의 사용 이력, 상태, 위치 등 다양한 정보로 구성되어 있고, 이는 시스템의 유지보수 측면에서 활용 가치가 높기 때문이다. H2020은 유지보수 단계의 신뢰성 확보를 위해 앞서 언급한 설계 관련 프로젝트와는 달리 단일 프로젝트로 역량을 집중시켰다. MANTIS는 유럽 전역에서 모인 대기업, 중소기업, 연구소와 대학 등 47개 기관이 파트너로 참여하고 있으며, 가상물리시스템의 예측적인 유지보수 서비스 플랫폼을 만들고자 한다. 마지막으로 통합 단계와 관련된 프로젝트도 10~15% 비중을 차지하고 있으며, 가상물리시스템의 SoS(System of Systems) 특성으로 인해 대규모 시스템 구현 시 발생할 수 있는 시스템 통합의 이슈가 가상물리시스템에서도 여전히 중요한 숙제임을 알 수 있다.

3. 맺음말

가상물리시스템은 안전필수 시스템(Safety-Critical Systems)이다. 가상물리시스템이 우리에게 다양한 편익을 제공해 줄 것으로 기대하지만 지나친 낙관은 금물이다. 가상물리시스템의 오작동은 사람과 환경에 예상치 못한 피해를 끼칠 수 있으며, 신뢰성이 검증되지 않은 시스템은 오히려 인간의 삶을 위협하는 요인이 될 수 있다. 가상물리시스템이 갖고 있는 기술적 복잡성, 대규모 및 이종성, 물리 환경의 불확실성, 인공지능의 안전성 이슈 등 시스템의 신뢰성 확보를 위해 해결해야 할 과제가 무수히 많다. H2020의 프로젝트 중 일부는 수행 기간이 종료되었고, 많은 산출물들을 만들었지만 아직까지 앞에서 언급한 문제들에 대한 확실한 답을 찾았다고는 할 수 없을 것이다. 더욱이 지능형 가상물

리시스템을 구현하는 데 핵심적인 역할을 수행할 인공지능 기술의 신뢰성 검증과 관련된 프로젝트인 JustITSELF, RADDICS 모두 올해부터 연구가 시작되는 만큼 이 분야의 연구는 이제 막 첫 번째 발걸음을 내딛은 상태이다. 이는 국내 기업이나 연구기관에게도 중요한 메시지이며, 우리에게도 아직 기회가 있음을 의미한다. H2020의 연구자들이 국경과 연구 분야를 초월해 협력하는 것과 같이 국내 산·학·연·관의 다양한 전문가들도 힘을 모아 가상물리시스템의 신뢰성 확보에 노력해야 한다. 정부는 서로 다른 도메인 전문가들이 한자리에 자주 모여 교류할 수 있는 소통의 장을 마련하고, 적극적인 지원을 아끼지 말아야 한다. 우리나라가 가상물리시스템 신뢰성 확보 기술 강대국으로 거듭나 4차 산업혁명의 시대를 실현시킬 수 있는 좋은 결실을 맺을 수 있기를 기대해 본다. 

[주요 용어 풀이]

- 사이버 물리 시스템(CPS, Cyber-Physical Systems): 센서 네트워크(sensor networks), 사이버네틱스(cybernetics) 및 메카트로닉스(mechatronics) 시스템을 결합 설계한 임베디드 시스템(embedded systems)이 진화되고 있는 시스템을 의미. 현실 세계의 다양한 물리, 화학 및 기계공학적 시스템(physical systems)을 컴퓨터와 네트워크(cyber systems)를 통해 자율적, 지능적으로 제어하기 위해 등장하였다. 크게 연산(computation), 통신(communication), 제어(control) 기술로 구성되며, 대규모 융 복합 시스템(system of systems) 구축을 위한 여러 전문 분야가 관련된 다학제적(多學際的, multidisciplinary and interdisciplinary)이다. 스마트 공장(smart factory), 스마트 그리드(smart grid), 자동차, 항공, 국방 등 광범위한 분야에 응용된다.