

수시 17-08

4차 산업혁명에 대응하는 현실국토와 가상국토의 연계·활용 전략

The study on the strategies for linking and utilizing realistic world and
virtual world against the 4th Industrial revolution

임시영, 사공호상, 임용호, 오창화

■ 연구진

임시영 국토연구원 책임연구원(연구책임)

사공호상 국토연구원 선임연구위원

임용호 국토연구원 연구원

오창화 국토연구원 연구원

■ 연구심의위원

임은선 국토연구원 연구위원

김미정 국토연구원 연구위원

김대종 국토연구원 연구위원

변필성 국토연구원 연구위원



1. 연구의 개요 및 목적

1 연구의 배경 및 목적

- 4차 산업혁명에 현실과 가상세계를 연계하는 사이버물리시스템(CPS)을 핵심 플랫폼으로 인식하며 진행 중
- 미국, EU를 비롯한 세계 각국은 CPS 개념을 국토 공간단위로 적용하려는 노력을 하고 있으므로 우리도 이에 대한 고려가 필요한 시점임
- Virtual Singapore는 전국토를 대상으로 CPS를 구축하여 가능성을 실험하고 있으며 미국, EU 등도 CPS 관련 연구에 많은 투자를 하고 있음
- 이에 본 연구는 4차 산업혁명에 대한 선제적 대응을 위해 국토분야 CPS 적용 전략 제시를 목적으로 함
- CPS 적용사례, 국토분야 CPS 적용 필요성, 국토분야 CPS 적용 개념 및 시나리오, 국토분야 CPS 적용을 위한 전략방안 등을 제시하고자 함

2. 사이버물리시스템의 개념과 국토분야 적용 필요성

1 CPS의 개념과 특징

- 센서를 통한 물리적 세계의 정보 입력과 액추에이터를 통한 출력 및 제어를 기반으로 가상의 사이버 세계와 현실의 물리적 세계가 상호작용하는 시스템을 의미
- CPS는 현실 세계와 상호작용하기 위한 물리적 장치, 수집한 데이터를 분석하기 위한 제어 시스템, 서비스를 위한 서비스 프레임워크를 기본 구조로 함

■ CPS 구축 사례

- 국토와 연관 있는 분야로서 스마트빌딩 분야, 스마트교통 분야, 스마트그리드 분야, 스마트시티 분야에서 구축 사례를 확인할 수 있음
- Smart America Challenge, Virtual Singapore 등을 통해 개별 CPS의 통합 및 연계, 동일 가상공간에서 다양한 CPS를 연계하는 시도 등이 진행 중임

■ 국토분야 CPS 적용의 필요성

- 급격한 환경변화에 대응하기 위해 국토분야도 선제적 도전이 필요, 상상을 초월하는 기술 발전 속도는 그간 고려하지 못했던 새로운 문제 대응 방안을 가능케 함
- 가상 국토 기반의 데이터 분석을 통해 문제 이해도를 높이고 다양한 정책방안을 가상 국토에 적용하고 실험해봄으로써 효과성 높은 정책선택이 필요함
- 실시간, 대용량 데이터를 기반으로 한 국토관리 대상에 대한 분석 및 예측은 발생 가능한 문제에 대한 대응방안을 선제적으로 제공, 갈등 비용 최소화가 기대됨

3. 사이버물리시스템의 국토분야 적용 방향

■ 국토분야 CPS 적용 개념 및 구성요소

- 현실공간은 공간을 구성하는 객체, 객체간 상호관계로 표현되어야 함
- 가상공간은 현실공간과 유사, 동일하게 객체와 객체간의 상호관계 및 행위를 표현할 수 있어야 함
- 현실공간과 가상공간의 연계는 현실공간에서 취득되는 데이터와, 가상공간에서



분석되는 결과 피드백으로 구성, 피드백은 곧 현실객체에 대한 제어임

- 구성요소는 ① 현실 문제, ② 현실 데이터, ③ 현실 모델링, ④ 데이터의 전달, ⑤ 가상모델(가상화), ⑥ 의사결정 및 자율제어임

■ 국토분야 CPS 적용 방향

- CPS를 국토분야에 적용하기 위해서는 현실공간, 가상공간, 그리고 현실공간과 가상공간의 연계를 모두 다루어야만 함
- CPS를 국토분야에 적용하는 것은 공간적 범위의 다양성, 대상 문제의 다양성을 고려한다면 점진적인 적용과 확대가 필요함
- CPS가 지닌 다학제적 특성과 복잡성을 고려한다면 CPS를 국토분야에 적용하기 위해서는 많은 분야의 기술적 융복합과 충분한 시간 및 예산이 요구됨
- 국토분야에 적용하는 CPS는 국민의 삶에 직접적으로 연결될 것으로 예상되므로 충분한 테스트를 거쳐 안정성이 확보될 수 있어야 함

■ 국토분야 CPS 적용을 위한 시사점

- 국토분야에 CPS를 적용하기 위해서는 문제의 정의가 명확하고, 이에 대한 해결 의지가 무엇보다 중요함
- CPS를 통합 및 연계하는 것은 시스템 구조, 성능, 표준 등의 이질성으로 인해 매우 어려운 작업이므로 상호운용성에 기반한 협력과 표준 마련이 필요
- CPS는 국토적용의 목적을 명확히 하고 적용분야를 발굴하는 노력이 필요하며 업무담당자와 기술자간의 밀접한 소통이 기반이 되어야 함

4. 사이버물리시스템의 국토분야 적용을 위한 전략 방안

1 전략 방안

- 국토분야 CPS 적용 문제 발굴 필요 : 기존 문제 해결에 기반한 분야의 발굴, 혁신적 마인드에 기반한 문제의 발굴 필요
- 국토분야 CPS 적용 기반 구축을 위한 과제 발굴 : 분야별, 문제별 CPS의 구현, 세부 기술의 고도화, 테스트베드 검토, 제도 및 정책 정비 필요
- 국토분야 CPS 적용을 위한 체계적 접근 : 국가차원의 장기플랜 수립, 국토분야 CPS 적용을 위한 테스트베드 구축 필요

2 정책 제언 및 향후 과제

- 국토분야의 CPS 적용을 위하여 예산의 확보, 거버넌스의 구축 등 무엇보다 정책적 추진의지가 중요하며 이를 통해 무엇보다 빠른 시간 내에 시범사업 등을 수행, 성공 사례를 확보해야 함
- 공간에 기반 하는 점과 향후 전국토로 확장하는 것을 고려한다면 장기적 관점의 견지가 무엇보다 중요하며, 장기적 관점에서 단계적 목표를 설정하고 해결해나가는 데 주력해야 함
- 국토분야 CPS 적용을 위한 문제 발굴에 대한 정책 연구, 국토분야 CPS 적용을 위한 장기계획 수립을 위한 정책 연구 등이 시급하게 필요함
- 국토분야 CPS 적용을 위한 종합적 기술기획 연구, 국토분야 CPS 적용을 위해 커스터마이징된 기술 개발 등이 필요함

차례

CONTENTS

요약	i
----	---

제1장 연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적	3
1) 연구 배경	3
2) 연구 목적	5
2. 연구의 범위 및 방법	6
1) 연구 범위	6
2) 연구 방법	6
3. 선행연구와의 차별성	7
1) 선행연구 현황	7
2) 선행연구와의 차별성	7

제3장 사이버물리시스템의 국토분야 적용 개념 및 방향

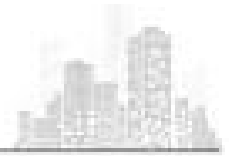
1. 국토분야 CPS 적용의 개념	37
1) 국토분야 CPS 적용의 개념	37
2) 국토분야 CPS 적용 구성요소	39
2. 국토분야 CPS 적용 방향	44
1) 국토분야 CPS 적용을 위한 일반 고려사항	44
2) 국토분야 CPS 적용 방향	45
3. 국토분야 CPS 적용을 위한 시사점	47
1) 현실공간 측면	47
2) 가상공간 측면	48
3) 현실공간과 가상공간의 연계활용 측면	49
4) 시사점 종합	49

제2장 사이버물리시스템의 개념과 국토분야 적 용의 필요성

1. CPS의 정의 및 구성요소	10
1) CPS의 정의와 부상	10
2) CPS의 구성요소와 구현 요구사항	11
3) CPS 구현의 효과	16
4) 국내외 CPS 연구 동향비교와 사회적 기대	16
2. CPS 적용 사례	19
1) 분야별 개별 적용사례	19
2) 연계통합관점 적용 사례	25
3) 국내 국토분야 CPS 구축 유사사례	27
4) 적용 사례를 통해 본 시사점	27
3. 국토분야 CPS 적용의 필요성	30

제4장 국토분야 사이버물리시스템 적용을 위한 전략방안

1. 국토분야 CPS 적용 문제 발굴	53
1) 기존 문제 해결에 기반한 분야의 발굴	53
2) 혁신적 마인드에 기반한 문제의 발굴	54
2. 국토분야 CPS 적용 기반 구축을 위한 과제 발굴	55
1) 분야별, 문제별 CPS의 구현	55
2) 세부기술의 고도화	55
3) 테스트베드 검토	56
4) 제도 및 정책	57
3. 국토분야 CPS 적용을 위한 체계적 접근	58
1) 국가차원의 장기플랜 수립	58
2) 국토분야 CPS 적용을 위한 테스트베드 구축	60



제5장

결론 및 향후과제

1. 연구의 결론 및 정책 제언 66
 - 1) 연구의 결론 66
 - 2) 정책제언 67
2. 연구의 성과와 향후 과제 68
 - 1) 연구의 성과 68
 - 2) 향후 과제 68

참고문헌 70

SUMMARY 72

부록 74

1. 국토분야 CPS 적용과 스마트시티의 관계 74
2. 국토분야 CPS 적용 시나리오 77
3. 국토분야 CPS 적용과 공간정보의 관계 89



CHAPTER 1

연구의 개요

- 1. 연구의 필요성 및 목적 | 03
- 2. 연구 범위 및 방법 | 06
- 3. 선행연구와의 차별성 | 07

The study on the strategies for linking and
utilizing realistic world and virtual world
against the 4th Industrial revolution

연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구 배경

□ 4차 산업혁명이 부상함에 따라 주요국은 대응 방안 마련을 통해 혁신, 경제 성장과 국가경쟁력 제고를 추구하고 있음

- 독일의 ‘Industry 4.0’, 중국의 ‘중국제조 2025’ 등을 통해 (스마트 공장으로 대표되는) IoT 기반의 제조업 혁신을 통한 재도약 추진
- 우리나라도 제4차 산업혁명 전략위원회(부총리 및 15개 부처장관) 발족(‘17.2.22), 제4차 산업혁명 종합대책(국토부), 지능정보 사회 중장기 종합대책(미래부) 등을 통해 대응방안을 모색 중임

□ 기술의 급속한 발달과 기술간 융·복합, 그로 인한 초연결사회로의 진화는 4차 산업혁명의 핵심요인이며 수집, 저장, 분석 기술들과 더불어 연계와 통합, 자동화까지의 확장을 요구함

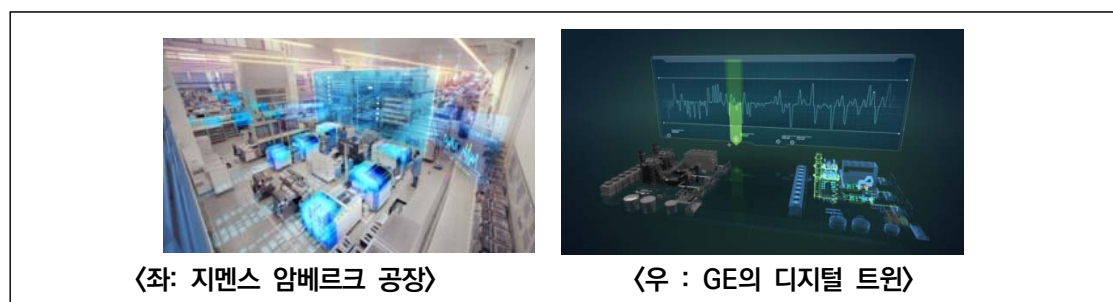
□ 초연결 사회에서 요구하는 사회시스템의 연계·통합·자동화는 「사이버물리시스템¹⁾(Cyber-Physical System, 이하 CPS)을 통해 현실공간-가상공간을 연결·분석·피드백 함으로써 해결」 될 수 있음

- 미국은 2006년부터 NSF(국가과학재단) 주도로 CPS 연구를 수행하고 있으며 2013년부터 Smart America Challenge를 통해 실증사업의 추진예산편성, 집행상황, 사업추진방식 등을 분석하여 문제점 개선 방안을 마련 중

1) 사이버물리시스템(Cyber Physical System, CPS): 물리적 공간이 디지털화되고 네트워크로 연결되어 물리적 세계와 사이버세계가 결합되고 이를 분석·활용·제어할 수 있는 시스템

- CPS는 개별 네트워크 중심의 CPS(스마트 팩토리, 스마트 홈, 스마트 그리드 등)와 개별 CPS의 연계 및 통합을 통한 확장 CPS의 구축으로 발전
- 4차 산업혁명은 현실과 가상세계를 연계하는 CPS를 핵심 플랫폼으로 인식하며 진행 중
 - (지멘스) 암베르크 공장은 하루 5,000만 건씩 축적되는 데이터를 기반으로 CPS를 구축하여 생산성 800% 증가, 100만개 당 불량 11개, 설계/주문 변경시 99.7%를 24시간 내에 출시하는 시스템을 구축
 - (GE) 소프트웨어에 10억달러가 넘는 투자와 14,000여명의 SW 엔지니어를 고용하여 산업용 기계50만대의 디지털트윈(가상세계 복제품)을 제작
- 미국, EU를 비롯한 세계 각국은 CPS 개념을 확장하여 국토 공간단위의 적용을 모색하고 있으므로 우리나라도 이에 대한 고려가 필요한 시점임
 - Virtual Singapore는 전국토를 대상으로 CPS를 구축하여 가능성을 실험하고 있으며 미국, EU 등도 CPS 관련 연구에 많은 투자를 하고 있음

그림 1-1 | 사이버물리시스템 구축 사례



(좌) 출처: “이코노미조선: 박순욱의 기업인 탐방<14> 김종갑 한국지멘스 대표이사 회장”, 프리미엄 조선, 와이드 인터뷰 http://premium.chosun.com/site/data/html_dir/2016/10/26/2016102602076.html, 2018.01.19

(우) 출처 : 4차산업혁명의 핵심 - IoT 기술의 선두주자 GE, GE리포트코리아, <http://www.gereports.kr/the-next-internet-giant-also-starts-with-g-and-ends-with-e/> , 2018.01.19.

2) 연구 목적

□ 본 연구는 4차 산업혁명에 대한 선제적인 대응을 위하여 국토분야에 CPS를 적용하고, 현실국토와 가상국토의 연계 및 활용을 위한 전략을 제시하는 것을 목적으로 함

- 이를 위해 우선적으로 CPS 적용사례, 국토분야 CPS 적용 필요성, 국토분야 CPS 적용 개념 및 시나리오, 국토분야 CPS 적용을 위한 전략방안 등을 제시하고자 함
- 이 연구결과를 토대로 국토분야에 CPS를 적용하기 위한 단계적 실행방안 구체화, 관련 R&D 수행 방안, 비즈니스 모델 발굴 등의 차후 연구가 추진되어야 함

2. 연구 범위 및 방법

1) 연구 범위

☐ 시간적 범위 및 공간적 범위

- 본 연구는 국토분야에 CPS를 적용하기 위한 전략을 수립하는 연구로서 대상 시간 범위를 설정하기 어려우나 4차 산업혁명에 대응하기 위해서는 조속히 국토분야에 CPS의 적용이 필요함
- 본 연구는 궁극적으로 스마트코리아의 구현을 위하여 전국토를 대상으로 하며, 단계적 접근을 통해 공간 범위를 다양화해야 함

☐ 내용 범위

- 연구의 주요내용은 CPS의 개념을 기반으로 국토분야에 CPS를 적용하기 위하여 현실국토, 가상국토, 현실국토와 가상국토의 연계 및 활용 부분에 대한 전략을 수립하는 것임

2) 연구 방법

☐ 이론 연구

- 관련 문헌을 중심으로 CPS의 정의, 구성요소, 기능, 효과 등 확인
- CPS 관련 문헌(논문, 기사 등)에 대한 텍스트마이닝을 적용, 국토 분야 CPS 적용을 위한 시사점 검토

☐ 사례연구

- 다양한 유형의 CPS 구축 사례와 Virtual Singapore, SAC(Smart America Challenge)를 조사하여 시사점을 도출

☐ 관련 외부 전문가·이해관계자 의견수렴

- 국토교통부와 업무협의를 통해 관련 의견 수렴
- 공간정보 분야 전문가를 중심으로 한 자문

3. 선행연구와의 차별성

1) 선행연구 현황

☐ 국토분야에 CPS를 적용한 연구는 찾아보기 어려움

- ICT 기술을 적용한 연구로 u-City, 초연결사회, 시스템 수준의 CPS 등을 고찰함

표 1-2 | 선행연구와의 차별성

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	• 과제명: u-City(時空自在 도시) 구현을 위한 국가전략 연구 • 연구자(년도): 김정훈 외(2006) • 연구목적: 성공적인 u-City 구현을 위한 국가차원의 전략 제시	• 국내외 문헌 검토 • 관련 전문가 의견수렴	• 유비쿼터스시대의 도시변화 전망 • u-City 개념의 한계분석 및 시사점 • u-City 구현을 위한 현안과제 도출 • u-City 구현을 위한 기본구상과 전략 • 국가차원의 u-City 구현 방안 제시
	2	• 과제명: 초연결사회 도래와 사이버물리시스템 • 연구자(년도): 김혜경(2014) • 연구목적: 초연결사회 도약을 위한 사이버물리시스템 구축 방안 도출	• 국내외 문헌 검토 • 기존 자료 분석 • 외국 사례 분석	• 초연결사회 도래와 사이버물리시스템 부상 • 해외사례를 통해 본 사이버물리시스템의 필요성 및 주요 이슈 • 초연결사회 도약을 위한 사이버물리시스템 구축 방안
	3	• 과제명: 사이버물리시스템(CPS) 기반의 사회시스템 최적화 전략 • 연구자(년도): 이정아(2015) • 연구목적: CPS 기반의 사회시스템 인프라 최적화 전략 제시	• 국내외 문헌 검토 • 외국 사례 분석	• 정보사회에서 IoT, CPS 사회로 • 초연결을 위한 새로운 인프라 CPS • 선진 각국의 CPS 사례와 현황 • CPS 기반의 최적화 전략
본 연구		• 국토를 대상으로 하는 CPS(스마트국토) 구축 전략을 수립하는 기초연구로, 스마트국토 구축을 위한 가상국토, 가상국토와 현실국토의 연계 전략 등을 제시	• 국내외 문헌 검토 • 외국 사례 분석 • 관련 전문가의 의견수렴	• 스마트국토 개념, 필요성, 목표 • 가상국토 구현 기술 동향 및 사례분석 • 가상국토 구축 전략 • 현실국토와 가상국토 연계 및 활용을 통한 스마트국토 구현 전략 제시

2) 선행연구와의 차별성

☐ 선행연구들은 공간변화에 따른 개념의 재정립, 또는 CPS에 대한 기대효과, CPS 구현을 위한 여건 변화의 필요성을 제시하고 있음

☐ 본 연구는 국토분야의 CPS 적용을 위한 개념을 수립하고, 국토 분야에서 CPS를 적용하기 위한 전략 등을 제시하는데 차별성이 있음

2

CHAPTER

사이버물리시스템의 개념과 국토분야 적용의 필요성

1. CPS의 정의 및 구성요소 | 10

2. CPS 적용 사례 | 19

3. 국토분야 CPS 적용의 필요성 | 30

The study on the strategies for linking and
utilizing realistic world and virtual world
against the 4th Industrial revolution

사이버물리시스템의 개념과 국토분야 적용의 필요성

1. CPS의 정의 및 구성요소

1) CPS의 정의와 부상

□ (CPS란) 컴퓨터 처리, 네트워킹 및 물리적 프로세스가 통합된 시스템²⁾임

- 물리적 프로세스의 데이터가 네트워크를 통해 컴퓨터로 계산되고 이러한 계산된 결과가 물리적 프로세스에 피드백 되는 시스템을 의미함
- 개별적이고 복잡한 시스템들을 SW/네트워크/제어(Actuation)기술을 통해 유기적이고 통합적으로 공통의 목적을 수행할 수 있게 하는 시스템의 시스템(System of System)임
- 센서를 통한 물리적 세계의 정보 입력과 액추에이터(Actuator)를 통한 출력 및 제어를 기반으로 사이버 세계와 물리적 세계가 상호 작용하는 시스템을 의미함
- 개별화된 임베디드 시스템에서 확장되어, 많은 수의 디지털 시스템이 연결된 광범위한 지리적 영역을 커버하는 시스템을 말함
- 실시간, 대용량의 데이터 수집 및 분석을 통해 현실세계에 대한 심도있는 이해가 가능하며 신속한 반응성에 기반한 안전성 향상과 최적 알고리즘을 통해 시스템 스스로가 제어하는 자율성 확보가 가능한 시스템을 말함

2) Cyber-Physical Systems, <http://cyberphysicalsystems.org>, 2018.01.19

☐ (CPS의 발생) 컴퓨터 시스템과 물리적 세계가 상호작용을 주고받는 체계가 증가함에 따라, 사이버 세계와 현실 세계의 연결이 중요해지며 그 과정에서 CPS가 등장

- 상호작용하는 개별 도메인의 수가 증가하고 복잡해지면서 상호작용의 처리량과 안정성을 확대하는 기술이 발달함

☐ (CPS의 부상) ICT 기술의 발달 특히 사물인터넷(IoT) 기술과 인공지능의 발달로 많은 사물들의 디지털화가 확대되면서, CPS가 급부상

- ICT 기기의 독립적 활용 단계, 네트워크를 통한 연결 및 클라우드화 단계를 거쳐 사이버 세계와 현실 세계를 연결하는 CPS 구현 단계까지 진입함
- IoT는 현실 세계의 사물을 네트워크에 연결하는 데 방점을 두지만, CPS는 현실 세계와 가상 세계를 연결하고 사이버상의 분석 결과를 현실에 반영하는 과정에 중점을 둔다는 점에서 차이가 남
- CPS의 핵심적 특징은 반응적/병행적/실시간 처리, 피드백을 통한 물리적 세계 제어, 안전 우선적 설계임

2) CPS의 구성요소와 구현 요구사항

☐ (구성요소) CPS는 현실 세계와의 상호작용을 위한 물리적 장치, 수집한 데이터의 분석을 위한 제어 시스템, 서비스를 위한 서비스 프레임워크를 기본 구조로 갖추

☐ 센서와 액추에이터는 현실세계와 가상세계의 상호작용을 위한 필수 구성 요소임

- 센서는 주변 환경의 인식을 통해 현실세계의 데이터를 수집하여 데이터의 전처리를 준비함
- 액추에이터는 센서와 함께 현실 환경과 상호작용하며, 응용 모듈의 제어에 따라 명령을 수행하는 장치임

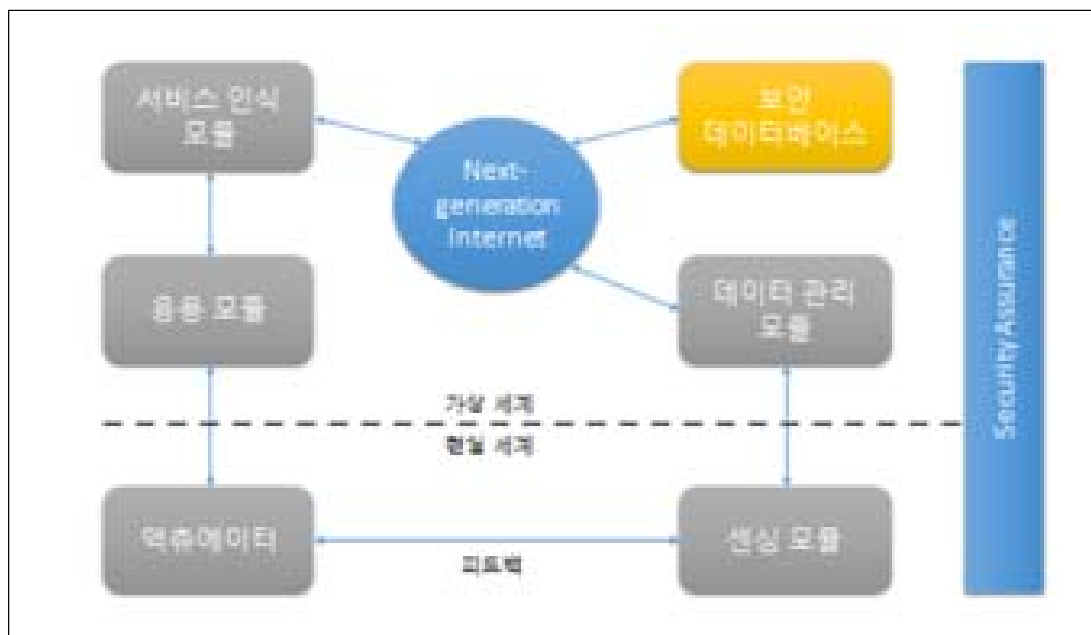
□ 데이터 관리 모듈은 컴퓨팅과 스토리지 장치를 통해 데이터의 처리를 하는 구성 요소임

- 데이터의 저장 뿐 아니라 다양한 데이터에 대한 표준화, 에러 처리 등을 실시함
- 처리된 데이터는 서비스 인식 모듈로 전달됨

□ 서비스 인식 모듈은 데이터의 분석을 통해 의사결정 등의 기능을 수행하며, CPS 시스템의 서비스를 가능하도록 데이터를 전달함

□ 응용 모듈을 통해 여러 서비스들이 상호작용하면서 이루어짐

그림 2-1 | 사이버물리시스템의 구성

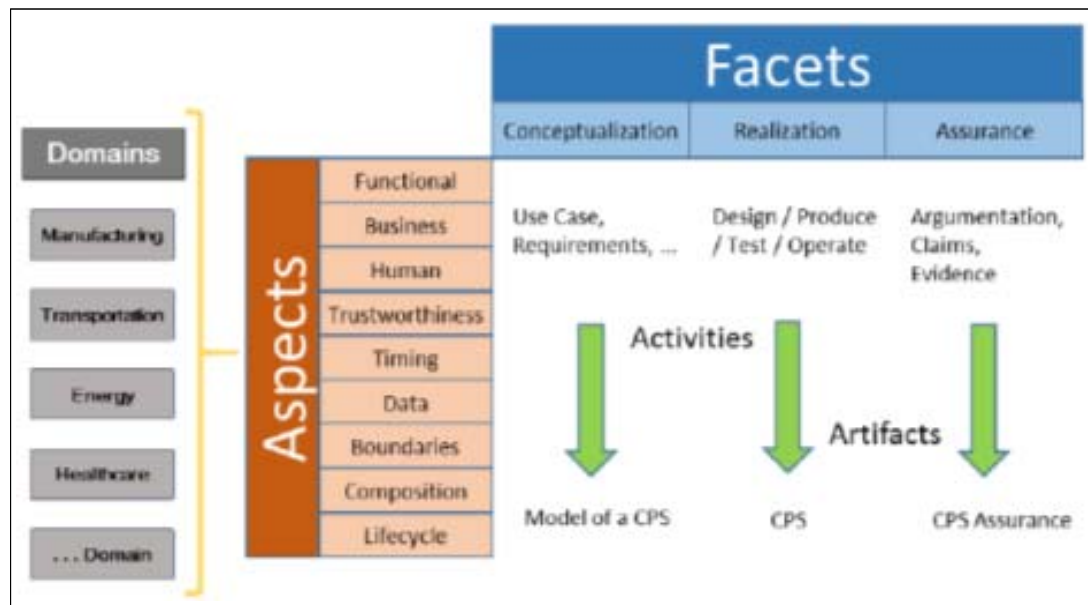


출처: Zeadally, S. and Jabeur, N. 2016, Cyber-Physical System Design with Sensor Networking Technologies. IET. Herts. p.19

□ (CPS 프레임워크)는 데이터가 수집되고 활용되는 도메인(Domain), 사이버물리시스템 구축의 고려요소(Aspects), 구축단계(Facets)로 구성됨

- CPS의 도메인은 매우 다양하며, IoT 또는 M2M이 가능한 분야가 접근이 용이함
- CPS 구축의 고려요소로는 기능, 비즈니스, 사람, 신뢰성, 타이밍, 데이터, 경계, 구성, 수명주기 등이 있음
- 구축단계는 개념모델 설정, 설정된 개념모델을 현실화 할 수 있도록 구체적인 상세설계, 상세 설계된 시스템이 개념모델에서 제시한 요건을 모두 만족시키는지에 대한 확인 및 보증 단계로 구성됨
- 각 구축단계는 도메인의 고려요소를 만족시킬 수 있도록 구성하며 다양한 가상 상황을 고려하여 CPS의 정상적 작동을 보증할 수 있어야 함

그림 2-2| 사이버물리시스템 프레임워크 및 구성요소

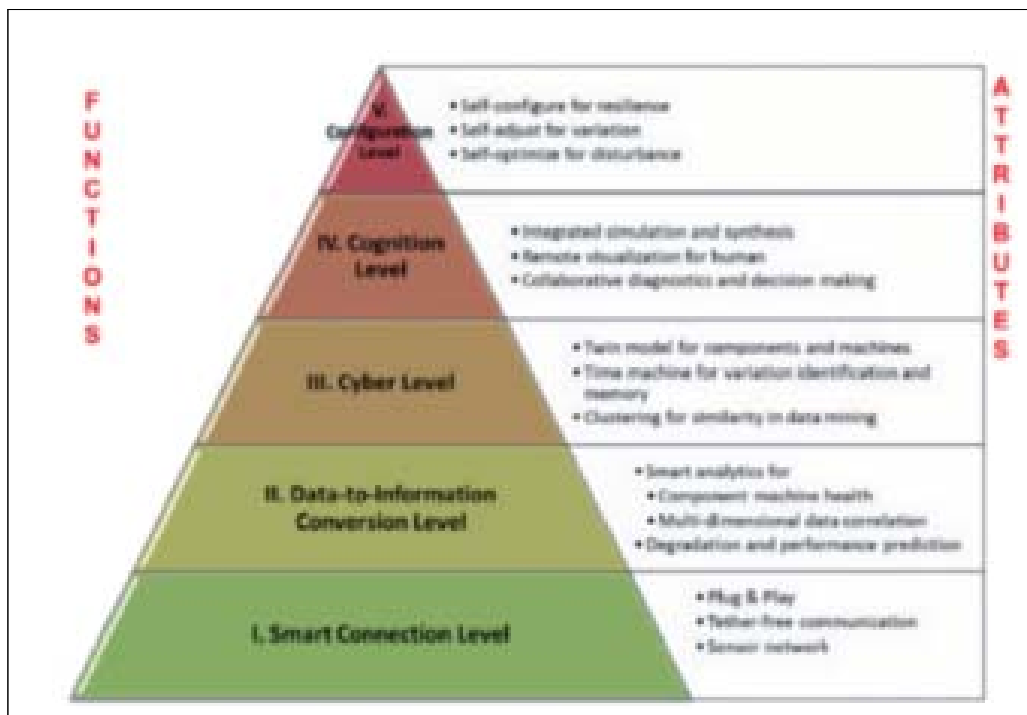


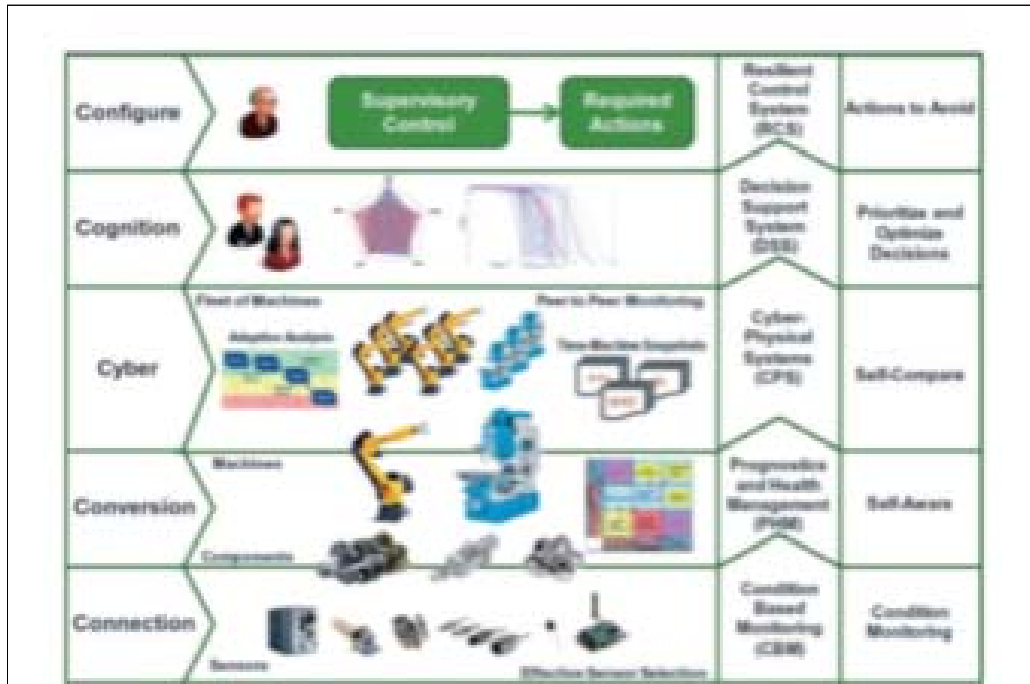
출처: Cyber Physical Systems Public Working Group, 2016, Framework for Cyber-Physical Systems Release 1.0, 15p

□ (CPS 아키텍처) CPS는 스마트 연결, 데이터 정보화, 사이버화, 인지, 자율구성의 5단계 아키텍처로 구성됨

- LV1인 스마트연결 단계에서는 플러그 앤 플레이, 센서네트워크 등을 통한 기기간의 연결 및 조건부 모니터링을 요구함
- LV2인 데이터 정보화단계에서는 데이터 분석, 다차원 데이터 상관성, 열화 및 성능 예측 등을 통한 진단 및 예방을 요구함
- LV3인 사이버화 단계에서는 트윈모델, 클러스터링 등을 통한 CPS기반 Self-compare를 요구함
- LV4인 인자 단계에서는 시뮬레이션 및 통합, 종합 진단을 통한 의사결정 지원을 요구함
- LV5인 자율구성 단계에서는 자율구성 및 자율조정, 자율최적화를 통한 자율복원 시스템을 요구함

그림 2-3| 사이버물리시스템의 아키텍처





출처: Lee, J. 외(2014), A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. p. 19-20

□ (CPS 구축 이슈 사항) CPS 구축에 있어 주요하게 볼 점은 기술성, 자동화정도, 라이프 사이클 통합, 제분야 이슈 등임(Song, et al., 2017)

- 기술성(Technical emphasis)은 물리적 환경과 CPS 시스템의 상호 설계 최적화와 서로 연결된 장치들의 커뮤니케이션 능력에 대한 이슈임
- 자동화정도(Level of automation)는 CPS 시스템의 자동화 및 지능화 정도를 의미함
- 라이프 사이클의 통합(Life-cycle integration)은 CPS의 각 응용 분야에 있어서 CPS가 서비스의 질, 비용, 사업성 등의 측면에서 얼마나 통합되었는지에 대한 관점임
- 제분야 이슈(Cross-cutting aspects)는 CPS의 도입으로 인한 안정성, 관련 법제도, 거버넌스 등을 의미함

3) CPS구현의 효과

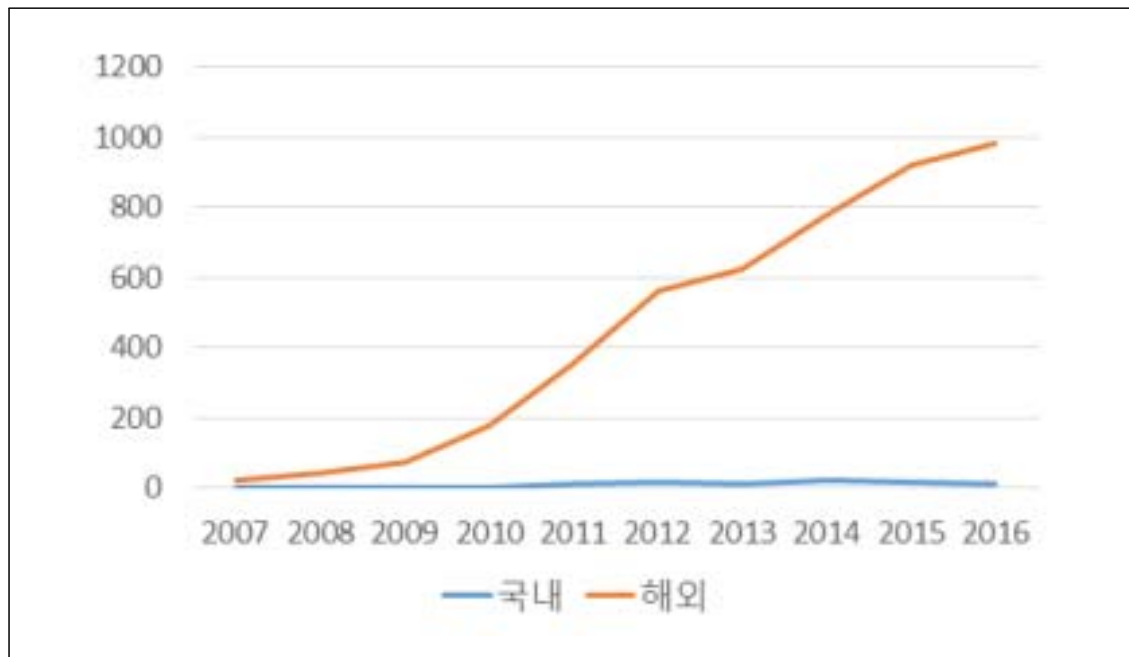
- ☐ CPS를 통해 현실 세계의 실시간 데이터 수집, 현실 세계에서 수행하기 어려운 분석 및 시뮬레이션의 수행, 분석을 기반으로 한 실시간 대응 등의 효과를 얻을 수 있음
 - CPS는 센서와 기존 시스템의 수많은 데이터를 통합하여 분석과 서비스 차원의 레이어로 송출할 수 있는 시스템
- ☐ 건물의 붕괴에 따른 영향 등과 같이 현실 세계에서 직접적으로 실행할 수 없는 시뮬레이션을 디지털 트윈이라는 가상 공간에서 실행함으로써 예측적 분석이 가능함
- ☐ CPS에서 수집되고 분석된 결과물은 액추에이터를 통해 현실 세계에 직접적으로 영향을 미치고, 다시 현실 세계의 데이터를 수집함으로써 시스템의 선순환 체계를 달성함

4) 국내외 CPS 연구동향 비교와 사회적 기대

- ☐ 국내외 연구동향을 개략적으로 파악하기 위하여 다음과 같이 관련 데이터를 수집함
 - 검색어 : 유사어 검색을 포함하여 ‘Cyber-physical system’ 사용
 - 검색DB : NDSL(www.ndsl.kr) 검색기능 사용
 - 대상 기간 : (최초 출현 시기) ~ 2017
 - 수집자료 : 국내 총 120편, 해외 총 4726편
- ☐ 국내외 연구동향을 개략적 보면, 다음과 같음
 - CPS 관련 연구의 최초 출현 시기는 국외는 2007년, 국내는 2010년으로 약 3년 정도의 차이가 발생
 - 2016년 논문의 양을 살펴보면 국외는 983건인데 비해 국내는 11건 수준임

- 아래 연도별 발간추이를 보면 국내에서는 아직 활발한 연구가 진행되지 않는 반면 국외에서는 2010년 이후부터 지속적으로 증가하는 상황임을 알 수 있음

그림 2-4 | 국내외 CPS 관련 연구동향 변화 추이



자료 : 저자 작성

☐ CPS에 대한 사회적 기대를 개략적으로 살펴보기 위하여 네이버 뉴스 검색 자료를 다음과 같이 수집함

- 검색어 : ‘사이버물리시스템’ 사용
- 검색DB : Naver 뉴스 검색 사용
- 대상 기간 : (최초 출현 시기) ~ 2017년 매 1사분기
- 수집자료 : 총 7,119개의 기사제목 수집

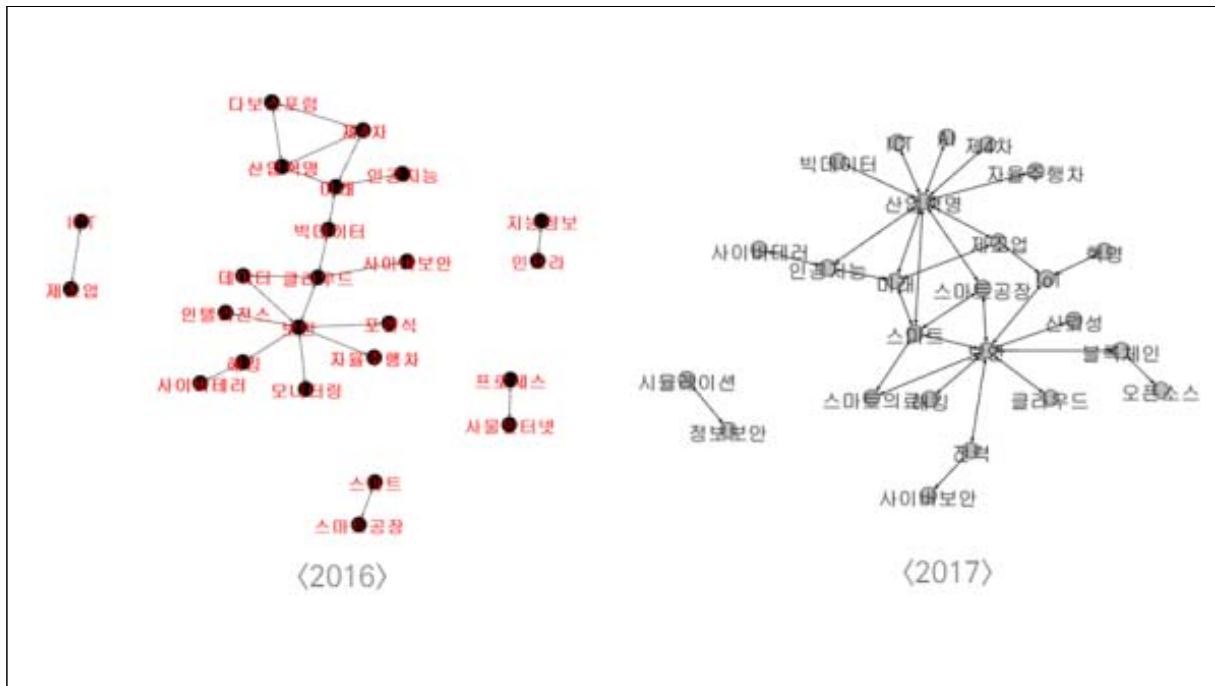
☐ CPS에 대한 사회적 기대를 개략적으로 살펴보면 다음과 같음

- CPS와 유의미한 기사는 2014년부터 본격적으로 출현(이전 기사

에는 사이버세상, 사이버 공간에 대한 개념이 출현하였고, 이는 CPS와 직접적인 연관을 찾기 어려움)

- 그러나 최근 2년 동안의 기사 수는 전년대비 4~5배 이상 증가하였음
- 최근 2년 기사들에 대하여 키워드별 연관관계를 살펴보면 아래 그림과 같으며, 2016년에는 보안이 주요한 이슈로 볼 수 있으나, 2017년에는 4차산업 혁명이 주요하게 부상함

그림 2-5 | 2016-2017 키워드를 통해 본 이슈의 변화



자료 : 저자 작성

2. CPS 적용 사례

1) 분야별 개별 적용사례

□ CPS는 실시간의 정보 수집 및 분석, 현실세계에 대한 피드백을 가능하게 함으로써 다양한 분야에 응용이 이루어지고 있음

- CPS는 임베디드시스템에서 진화하여 IoT(데이터수집), 빅데이터(데이터분석), 클라우드(데이터저장), 분산컴퓨팅(연산처리), 제어기술(현실피드백) 등과 연계되어 그 역할과 가능성이 크게 부각됨
- 데이터를 기반으로 한 단순 모니터링을 넘어 진단 및 예방, 예측 및 의사결정 지원, 자율제어 등은 거의 모든 분야에서 필수적인 기능임

□ 구체적으로는 스마트홈, 스마트팩토리, 스마트그리드, 스마트국방, 스마트시티 등의 분야가 주로 해당됨

□ 분야별로 필요한 기술이 실현된다면 더욱 다양한 분야에서 CPS 적용이 가능함

표 2-1 분야별 CPS 적용을 위한 필요 기술

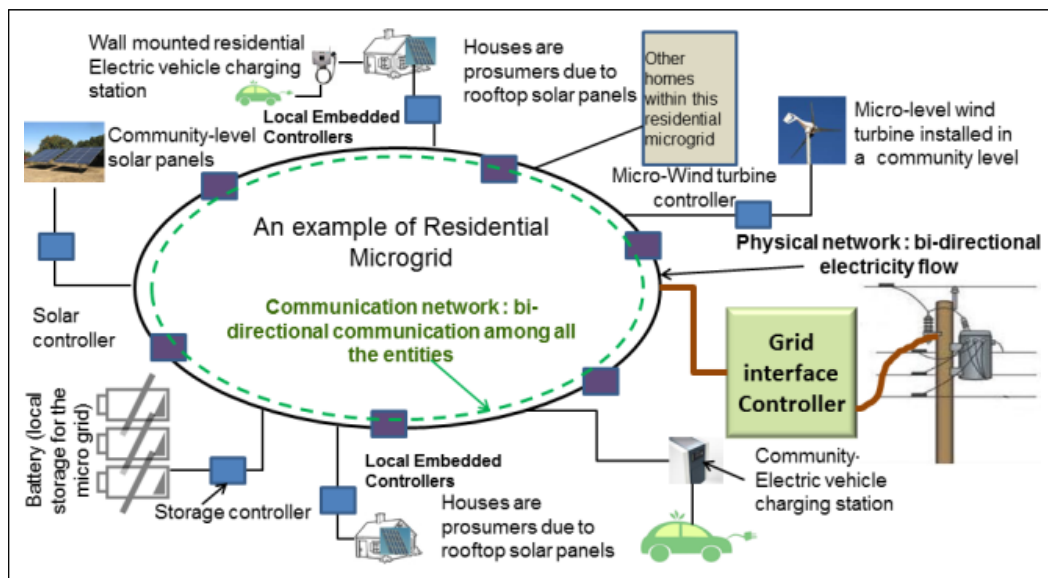
응용	필요 기술
교통 CPS	교통 상황에 따른 경로 산정 등 교통 제어의 복잡한 알고리즘으로 인하여 CPS 구축에 있어 더 강력한 컴퓨팅 능력을 요구
환경 CPS	광범위한 지리적 영역의 모니터링을 위해서 CPS 시스템이 인간의 물리적 간섭을 최소화하고, 저전력 유지 체계를 구축해야 함 긴급한 데이터를 수집하기 위한 저전력 네트워크를 가능하게 하는 정밀한 CPS의 구축이 연구 이슈로서 진행 중
항공 CPS	항공 관련 CPS 구축을 위해서는 저전력 컴퓨팅 및 고도의 보안성과 정밀성을 갖춘 컨트롤 시스템, 그리고 보안 프로토콜의 개발 등이 필요함
에너지 CPS	수자원 관리 및 에너지 제어 시스템이 스마트그리드 CPS 구축에 있어 필수적이며, 관련 서비스의 품질이 보증되는 응용 소프트웨어의 연구도 필요함

출처: Zeadally, S. and Jabeur, N. 2016, Cyber-Physical System Design with Sensor Networking Technologies

(1) 스마트빌딩 분야 □ 건물의 에너지 망 등에 대한 CPS 응용으로 스마트빌딩을 구축 가능

- 온도, 소음, 빛 등의 환경 요소에 대한 센싱으로 가정의 에너지를 제어하는 스마트 거주공간의 구축에 응용
- 재생에너지와 제어 시스템을 활용하여 스마트빌딩의 마이크로그리드 시스템에서 에너지 생산량과 에너지 수요, 마이크로그리드 내의 에너지 부하에 대한 실시간 제어 및 운영을 가능하게 하는 시스템을 모델링함

그림 2-6 | 스마트빌딩 분야 마이크로 그리드의 구성



출처: Cyber-Physical Energy Systems(CPES). <http://aicps.eng.uci.edu/research/CPES/> 2018.1.19. 최종접속

(2) 스마트교통 분야 □ 교통 분야에서는 CPS 관련 기술을 활용하여 지능형 교통 시스템 (Intelligent Transportation System ; ITS)을 구축하는 연구를 진행

- 차량과 차량 사이, 차량과 도로 인프라 사이의 센싱과 컴퓨팅 기술 등을 활용하는 프로토콜의 개발
- 실시간적이며 효율적인 차량의 통행을 위한 차량 CPS(Vehicular

CPS)의 구축에 응용

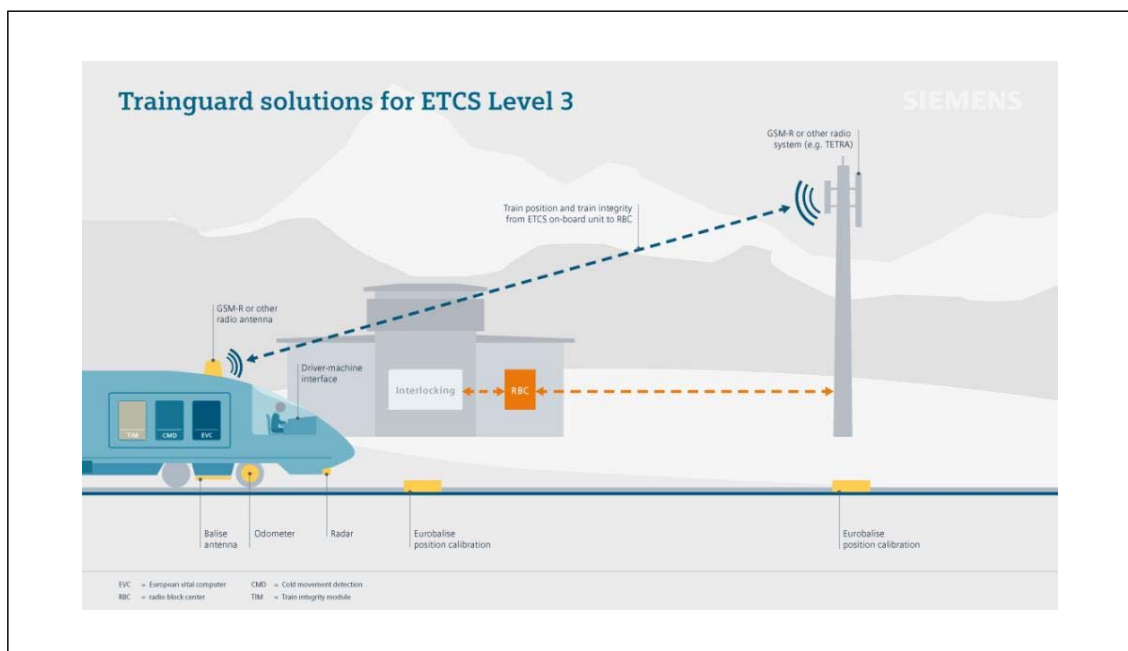
□ 유럽철도교통관리시스템(European Rail Traffic Management System; ERTMS)

- 열차와 철도 인프라 시설, 시스템 관리를 통합하여 지능형 교통 관리를 도모함
- 철도교통 서비스의 물류, 열차, 철로 등의 영역에 대한 관리 필요성에 대해 CPS를 적용함으로써 자동 제어를 구축함

□ 철도 승객의 탑승 시 안전을 위한 플랫폼 스크린도어와 열차 문 연동 CPS 기술

- 플랫폼과 열차 문의 상태에 대해 실시간으로 정보를 주고받으며 승객이 낙상당하지 않도록 조정함

그림 2-7| 유럽 철도 교통시 스템의 열차제어 시스템



출처: European Train Control System (ETCS),
<http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/en/interurban-mobility/rail-solutions/rail-automation/train-control-system/european-train-protection-system/pages/european-train-control-system.aspx>. 2018.1.19. 최종 접속

☐ 항공 분야에서 관제 시스템 등 필수적 요소의 상시 안정적 운영을 위한 CPS 시스템 구축

- 항공기 레벨 - 공항 레벨 - 항로 관리 레벨의 레이어에 대해서 상호작용하는 CPS 시스템의 구축
- 시스템의 용적과 퍼포먼스 향상을 위해서 클라우드 컴퓨팅 기술을 적용
- 항공 분야에서 적용할 수 있는 CPS의 예를 들면, 항공기의 위치와 속력 등의 정보에 대한 신호 전송의 업데이트 간격과 실제 전송에 걸리는 시간(latency)을 클라우드 컴퓨팅을 활용하여 줄이는 기술 등이 있음

(3) 스마트그리드분야 ☐ 수자원 및 전력 에너지 등의 원활한 관리 및 제어를 위하여 CPS 관련 기술 응용

- CPS의 구축으로 비효율적인 에너지 시스템, 예상치 못한 서비스 중단 등의 손실 사항에 대한 조정을 가능케 함

☐ 스마트그리드는 물리적 에너지 전달망과 제어를 위한 장치 및 가상 상호작용의 결합이라는 측면에서 CPS의 구축이라 볼 수 있음

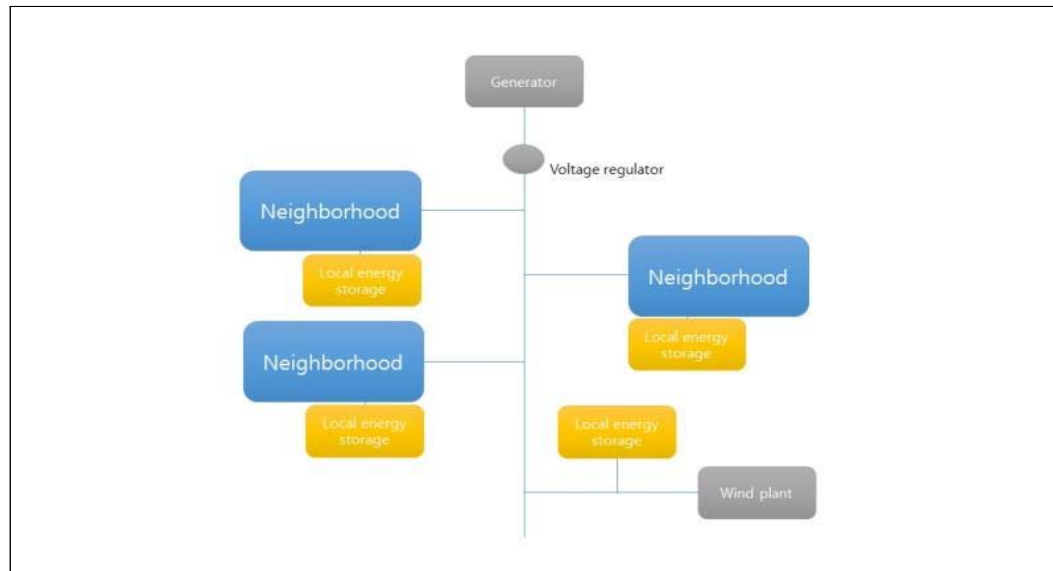
- 스마트그리드의 구축에 있어 에너지의 사용과 거래 청구를 위해 분산화되고 협력적 조직 구성을 가능케 하는 CPS 기술이 중요함

☐ 특히 태양광, 풍력 등 신재생에너지를 에너지 전달망에 통합하고자 하는 CPS 시스템의 구현 시도가 이루어짐

- 전달망 운영과 에너지 전달 비용의 감소, 에너지 분배에 따른 손실 감소, 환경에 있어 지속가능성 증대 등의 효과가 기대됨
- 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서

GridLAB-D, GridMat 등의 프로그램을 이용하여 스마트그리드 CPS의 시뮬레이션을 실시하는 등 이를 응용하고자 함

그림 2-8 신재생에너지의 스마트그리드 통합 토폴로지



출처: Song, H, et al, 2017, Cyber-Physical Systems Foundations, Principles and Applications

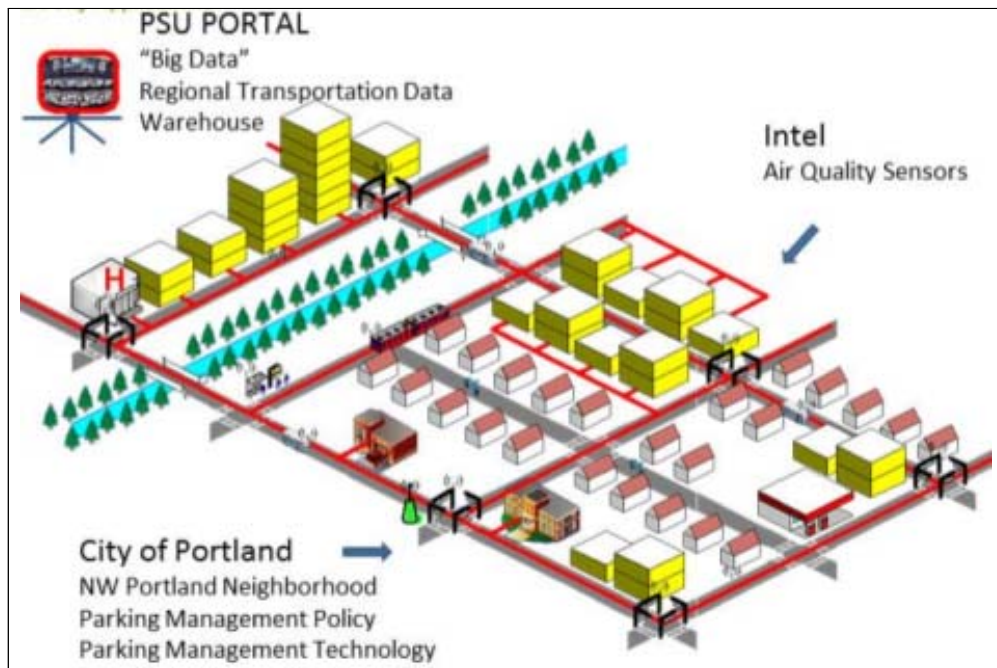
(4) 스마트시티 분야 ☐ 오리건주의 포틀랜드의 대기오염 CPS구축을 통한 대기오염 모니터링 및 분석 사례

- 도시 대기 오염을 측정하기 위해 저비용 공기 품질 센서를 배치 및 테스트 할 예정이며 도시 대기를 모니터링하기 위하여 센서와 분석 어플리케이션을 네트워크에서 통합하는 프레임워크를 구성

☐ 메릴랜드 주 몽고메리 카운티 (Montgomery County, Maryland)의 재난·재해·사고 CPS 구축 사례

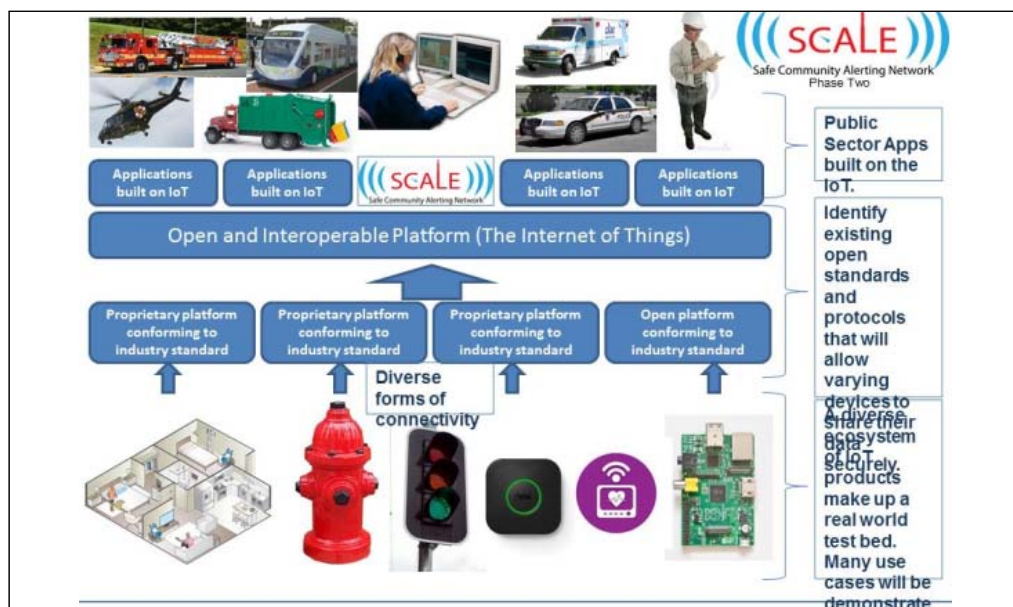
- Wi-Fi 지원 센서를 사용하여 응급 상황에 대처하는 사람들에게 이전에 전화로만 이루어 졌던 사고지점을 알려줌으로써 주민들에게 보다 안전한 환경을 제공하는 것을 목표로 하는 SCALE (Safe Community Alert Network) 구축

그림 2-9| 사이버물리시스템 기반의 대기오염 모니터링 및 분석



출처: Global City Teams Challenge Tech Jam 2015: 25Action Cluster Highlights 발표자료 p8.(2015.02.09.)

그림 2-10| 사이버물리시스템 기반의 SCALE



출처: Smart Cities and the NIST Global Cities Team Challenge.

https://www.atiss.org/wsts/docs/2016/1-02_NIST_Rhee_Weiss_Smart_Cities.pdf, 8p, 2017.07.24. 최종접속

☐ 워싱턴 주 Bellevue 시는 업무 공유 CPS 구축을 통한 도시 업무의 효율성 및 효과성 향상을 추구함

- 공공기관간, 일반인들간 데이터를 공유 할 수 있는 대시 보드 스타일의 인터넷 인터페이스를 만들어 일상 업무에서 발생하는 실시간 데이터 활용을 통하여 효율성과 효용성을 개선하고자 함
- Bellevue 시는 개방형 표준 기반 아키텍처를 사용하여 경찰 및 화재, 시민 서비스, 교통, 유틸리티 및 정보 기술을 포함한 부서 시스템의 도시 차원 상호 연결성을 향상시키고자 함

☐ 버지니아 주 Newport News는 8개의 다른 도시와의 협력을 통해 도시 홍수 예측 CPS 구축하고 있으며 단위도시 보다 광범위한 강수 데이터 획득을 통해 통합 상황 인식을 높이고 종합적인 대응방안을 마련할 수 있음

- 수위 센서와 군중 기반 데이터를 사용하여 모델을 만들고 비상 대응 계획을 세울 수 있는 예측 모델링 도구를 추가 중에 있음
- 버지니아 해양 과학 연구소와 Hampton Roads 지역의 8개 파트너 도시 간의 협력프로젝트이며 광범위하고 유연한 대응전략 마련이 가능하며 폭우에 대한 상황 인지를 향상시킬 수 있음

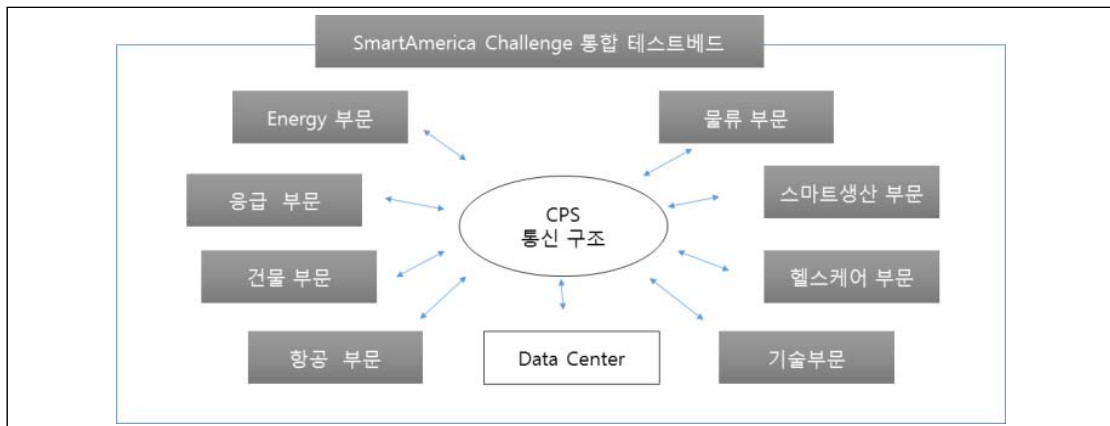
☐ 미국에서 구축하고 있는 CPS는 타 지역에서 개발한 CPS를 복제하여 다른 지역에서도 재사용이 가능하도록 개발 중이며 이를 위한 가이드 라인을 제공

**2) 연계·통합 관점
적용 사례**

- ☐ 미국은 2013년 Smart America Challenge를 통해 대규모 CPS 융합프로그램을 추진하여 Smart Manufacturing, Smart Transportation, Smart Energy 등의 세부분야에서 프로젝트를 수행

- 각 도메인의 CPS 연구개발 결과는 CPS 테스트베드를 통한 통합 테스트를 수행하고 있으며 XML, 웹과 같은 개방형 데이터 포맷을 사용
- NIST, NSF 뿐 아니라 정부부처들을 포함한 100여개의 단체가 참여하고 있음

그림 2-11 | SmartAmerica Challenge 테스트베드



출처: 김원태 외. 2014. SmartAmerica Challenge 기술동향. 전자통신동향분석 제29권 제4호. p.75 재구성

□ 싱가포르 Smart Nation 기초 하에 Virtual Singapore라는 가상공간을 구축하여 운영

- 물류, 스마트홈, 환경, 생산성향상, 스마트헬스, 공공서비스 분야에서 프로젝트를 수행

그림 2-12 | 버추얼 싱가포르 예시



출처: 3D experience City-Virtual Singapore 닥쇼시스템 홍보 영상, <https://www.youtube.com/watch?v=Dix-8SNxlAo>, 2017.05.26. 최종접속

3) 국내 국토분야 CPS 구축 유사 사례

□ 국토분야에서는 지속적으로 ICT 기술을 활용하여 데이터에 기반한 정책의사결정을 지원하고자 노력해옴

- KOPSS, UPIS, 3차원공간정보시스템 등을 구축하여 현실데이터를 기반으로 가상공간에서의 시뮬레이션을 통해 정책 의사결정을 지원하고자 함

□ 이러한 그간의 시도는 기초적 수준의 CPS를 추구한 것으로도 볼 수 있음

- 그러나 아직 현실공간과 가상공간의 연계라는 관점에서 본다면 국토분야에서는 아직 CPS를 적용한 사례는 없다고 보는 것이 보다 타당

그림 2-13 | 국토분야 CPS 구축 유사 사례

		
KOPPS의 경관이	UPIS 도시계획도	V-world 3D 서비스

출처 : (좌) <https://www.nsdi.go.kr>, (중) <http://www.upis.go.kr> (우) <http://map.vworld.kr/map>

4) 적용 사례를 통해 본 시사점

□ (개별사례 관점) CPS는 현실세계와 가상세계 연결이라는 관점으로 다양한 분야에서 적용 중

- 좁게는 임베디드시스템 부터, 넓게는 스마트시티까지 다양한 분야에서 CPS를 적용 중에 있음
- CPS 적용의 개별 사례를 살펴보면, 주로 현실세계의 데이터를 센서 등으로부터 수집하여 이를 사이버 상에 표출 및 모니터링하고, 모니터링 결과를 바탕으로 현실세계의 제어를 수행함
- CPS 적용을 위한 가상공간의 개념은 단순 데이터에 대한 분석 및

시뮬레이션, 지역적 모니터링 및 표출 수준에서 수행되고 있음

- 현실세계라는 관점에서 보면, 개별 적용사례들에서 CPS는 현실 세계에서 발생하고 있는 하나의 문제에 대한 해결을 목표로, 현실 세계에서 데이터를 습득하여 가상세계로 전달하는 기능을 함
- 가상세계라는 관점에서 보면, CPS는 주로 지역적/부분적 모니터링이나 수집된 데이터에 기반한 분석을 수행함
- 현실과 가상의 연계라는 관점에서 보면, CPS는 수집된 또는 분석된 정보의 상호전달, 현실세계 기기/장비에 대한 단순 제어수준의 기능을 함

□ (연계통합관점) 다양한 유형의 CPS 통합, 하나의 가상공간에서 다양한 CPS의 연계를 하려는 시도가 지속적으로 수행됨

- Smart America Challenge는 각 분야에서 적용되고 있는 CPS를 통합하거나 데이터를 중심으로 연계하고자 하는 노력을 수행
- Virtual Singapore는 3D 공간을 중심으로 CPS가 연계될 수 있도록 3D 데이터 기반으로 구축하고 다양한 분야의 CPS를 연계 및 통합하고자 하는 노력을 수행
- 현실세계라는 관점에서 보면, 각 분야의 CPS와 차이가 없으나 CPS의 연계 및 통합은 다양한 복합적 요소에 의하여 생겨나는 현실문제에 대한 해결을 가능하게 함
- 가상세계라는 관점에서 보면, 보다 현실에 가까운 모형이나 디지털트윈을 구축함으로써 복잡한 현실문제에 대한 이해력을 높이고 가상세계의 분석 및 시뮬레이션 능력을 강화시키고자 함
- 현실과 가상의 연계라는 관점에서 보면, CPS는 수집된 또는 분석된 정보의 상호전달 및 상호 연관성 파악, 현실세계 기기/장비에 대한 단순 제어뿐 아니라 복합적 제어를 수행하고자 함

□ (국토분야 적용관점) ICT기술을 활용하여 국토분야의 현실세계 문제를 가상세계에서 분석 및 시뮬레이션 하는 시도는 다양하게 이루어져 왔음

- 즉, 현실세계의 문제를 데이터화 하고 이를 사이버 상에서 다양한 기법들을 적용하여 원인을 파악, 분석 결과를 바탕으로 정책적 방안을 모색하고자 하는 시도는 지속적으로 수행되어 옴
- 그러나 지금까지의 시도는 한정적 데이터의 수집, 가상세계에서의 분석 및 시뮬레이션 기술의 한계, 주관적 정책판단 성향 등으로 인해 최근 묘사되고 있는 CPS와는 거리감이 있음
- 현실세계라는 관점에서 보면, 대부분의 CPS가 센서를 통해 보다 실시간의 다양한 정보를 취득하고자 하므로 국토분야에 적용하기 위해서는 센서를 통한 다양한 실시간 정보의 취득이 필수적임
- 가상세계라는 관점에서 보면, 국토문제가 가지는 공간적 범위의 크기 때문에 연계 및 통합 관점과 동일하게 보다 현실에 가까운 모형이나 디지털트윈을 구축함으로써 복잡한 현실문제에 대한 이해력을 높이고 가상세계의 분석 및 시뮬레이션 능력을 강화하는 것이 필수적임
- 현실과 가상의 연계라는 관점에서 보면, 국토문제는 다양한 요소들에 의하여 발생하므로 수집된 또는 분석된 정보의 상호전달 및 상호 연관성 파악이 필요하며, 분석 및 시뮬레이션 결과가 다양한 유형(정책의사결정, 규제, 단순/복합제어)으로 피드백 되어야 함

3. 국토분야 CPS 적용의 필요성

1) 환경변화에 대응하기 위한 국토분야의 선제적 성장동력 필요

□ 급격하게 변화는 환경에 대응하기 위해 국토분야에도 선제적 도전이 필요함

- 도시의 플랫폼화, 공유경제 확산, 시민의 정치 참여확대, 고용구조 변화, ICT 기기의 확산 등으로 삶의 모든 영역에서 급격한 변화가 진행되고 있음
- 이러한 급격한 변화는 삶에 다양한 요소들을 개입시키고 그 요소들의 관계를 더욱 복잡하게 만듦으로써 문제해결에 있어 기존의 접근과는 다른 유형의 대응 방안을 필요로 함
- 국토분야는 공간적 범위나, 이해관계자의 다양성, 문제의 복잡성 등을 고려하면 급격한 환경변화에 더욱 영향을 받을 것임
- 이에 시민의 삶의 터전인 국토분야에서도 이러한 변화에 대응하기 위한 선제적 도전이 필요

□ 기술 발전 속도는 상상을 초월하고 있으며 이러한 기술발전으로 인해 그간 고려하지 못했던 대응 방안을 가능하게 하는 수준에 다다름

- 기술발전으로 인해 기존에는 고려하지 못하던 데이터의 실시간 습득 및 전달, 대용량 정보의 분석 및 시뮬레이션, 인공지능을 활용한 복잡한 문제의 해결 등이 가능해짐
- 제조업과 같은 타 분야에서는 이러한 기술을 기반으로 변화함으로써 새로운 성장 동력을 갖추고 있는 상황
- 이에 국토분야에서도 새로운 기술들을 적극적으로 적용하여 기존에는 고려하지 못한 방식으로 다양한 문제들을 해결하고자 하는 시도가 필요

- 이러한 선제적 도전을 통해 국토분야의 새로운 성장 동력을 마련할 필요가 있음

2) 국토문제 대응 및 해결을 위한 CPS의 필요성

□ 국토문제는 사회의 다변화, 전문화가 심화되면서 문제에 대한 정확한
원인과 분석을 위하여 실시간의 다양한 데이터 수집을 요구함

- 건축, 토지이용과 같이 행위의 결과가 상대적으로 지속적인 분야뿐만 아니라 교통, 에너지 및 재난·재해 등과 같이 휘발성 데이터들의 실시간적인 계측과 분석을 통해 문제에 대한 심도있는 이해가 필요한 분야가 존재
- IoT(Internet of Things)를 기반으로 빌딩, 교통, 시설물 등에서 발생하는 국토 문제 해결을 위한 다양한 시도가 수행 중

□ 국토문제는 공간기반의 맥락 하에서 이해되고 분석해야만 상호관계
파악이 용이하므로 3D 국토 기반의 분석이 필요함

- 국토문제는 다양한 유형의 공간 위에서 존재하고 발생하므로 공간의 맥락 하에서 이해 및 분석해야 보다 정확한 판단이 가능함
- 국토문제가 발생하는 공간에 대해 현실과 유사한 가상공간(3D)이 묘사된다면 모니터링, 분석 및 시뮬레이션 등을 통해 보다 현실화된 판단이 가능
- 다양한 신기술(드론, AI, 빅데이터 등)은 공간의 디지털화에 소요되는 비용과 시간을 급격하게 감소시키고 있으며 이는 공간기반의 국토문제 해결에 대한 제약을 더욱 완화시키고 있음

□ 국토문제는 국민의 실생활에 지대한 영향을 미칠 수 있으므로 정책결
정이 어려우며, 사전에 그 정책의 실효성을 예측하는 것이 불가능함

- 국토문제와 관련된 정책들은 국민의 실생활에 직결되는 경우가 다수이므로 이를 사전에 충분히 분석 및 시뮬레이션 하여 그 실효

성을 예측할 수 있다면 정책의 효과를 극대화할 수 있음

- 그러나 정책에 의해 영향을 받는 요소들은 매우 다양하고 그 관계가 복잡하므로 이론적 분석만으로는 한계가 있음
- 이러한 점을 고려한다면 현실세계와 유사한 가상세계에서 해당 정책을 충분히 테스트해 볼 수 있다면 그 가치는 매우 클 것으로 예상

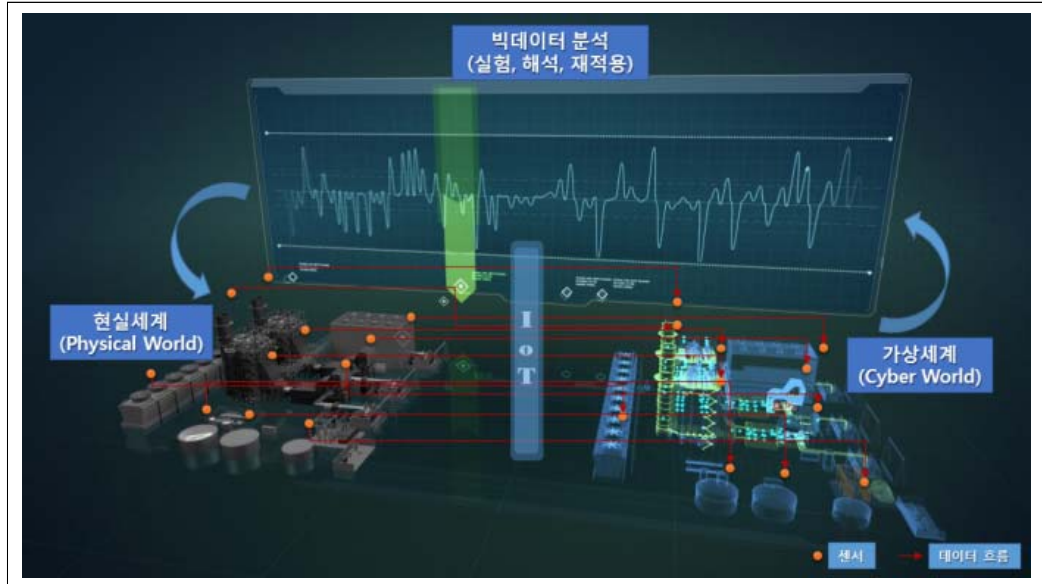
□ 위와 같은 관점에서 보면, 국토문제 대응 및 해결을 위해 CPS가 필요

- 국토문제 해결을 위한 데이터의 실시간 습득, 공간정보 기반의 가상공간 구축, 가상공간에서 분석/시뮬레이션 등은 기술발전으로 가능한 수준임
- 이에 국토관련 문제의 해결방안 마련을 위해 CPS를 적용해야 함
- 현실국토(Physical World)와 똑같은 가상국토(Cyber World)를 구축하고 가상국토에 IoT 기반의 데이터를 연동하면 현실국토와 매우 유사한 환경조성이 가능함
- 이러한 현실국토화된 가상국토를 기반으로 데이터 분석을 통해 문제에 대한 이해를 높이고 다양한 정책방안을 가상국토에 적용하고 실험해봄으로써 효과성 높은 정책선택이 가능함

□ 다양한 요인이 복잡하게 얽혀 있는 국토단위의 문제 해결을 위해서는 통합과 표준을 기반으로 하는 CPS의 국토적용이 필요함

- 오늘날의 국토문제 해결을 위한 기술개발은 단일 목적에 포커스되고, 맞춤화되어 있어 상호운용성 보장이 어려움
- 또한 실시간 데이터 습득이나 가상공간의 구현 등 한쪽으로 편중되어 있으므로 기술 연계를 통한 활용성 강화가 부족
- 따라서 통합과 표준 기반 CPS의 지속적/단계적 국토적용이 필요

그림 2-14 국토문제 대응 및 해결을 위한 CPS의 필요성



출처: <http://www.zdnet.com>, 2017.07.18., 편집 및 수정

3) 국토관리를 위한 CPS의 필요성

□ 국토관리를 위한 주요 분야에는 도시, 주택, 건설, 수자원, 교통물류 및 교통시설물(도로 및 철도) 등이 있음

□ 해당 분야에서는 정책입안에 대한 효과를 검증하고 평가하여 개선된 정책방안 적용을 위하여 국토지표를 선정하고 있음

- 국토교통부는 국토관련 8개 분야 50여개의 지표를 바탕으로 통계기반 정책관리체도를 시행, 통계와 정책간 연계를 강화, 정책 및 제도의 효과성을 제고하고자 함
- 현재 국토를 평가하는 지표는 시간과 비용으로 인한 개수의 제한, 시간적 갭(월간, 연간 등) 등으로 인한 후행지표이며 정확한 현실 파악이 어려움
- 이러한 태생적 한계를 지닌 지표를 이용한 정책제도 역시 현시점의 상황을 반영하기 어려운 한계를 내포

-
- CPS를 통한 국토관리는 실시간, 다양하고 조밀한 데이터를 기반으로 현황에 대한 심도있는 이해와 정확도가 높은 예측을 가능하게 함
 - 실시간, 대용량 데이터를 기반으로 국토관리 대상에 대한 분석 및 예측은 발생 가능한 문제에 대한 대응방안을 선제적으로 제공해 줌으로써 사회갈등 비용을 최소화 시킬 수 있음

3

CHAPTER

사이버물리시스템의 국토분야 적용 개념 및 방향

1. 국토분야 CPS 적용의 개념 | 37

2. 국토분야 CPS 적용 방향 | 44

3. 국토분야 CPS 적용을 위한 시사점 | 47

The study on the strategies for linking and
utilizing realistic world and virtual world
against the 4th Industrial revolution

사이버물리시스템의 국토분야 적용 개념 및 방향

1. 국토분야 CPS 적용의 개념

1) 국토분야 CPS 적용의 개념

□ (적용개념) CPS를 국토분야에 적용하는 개념은 그림3-1과 같음

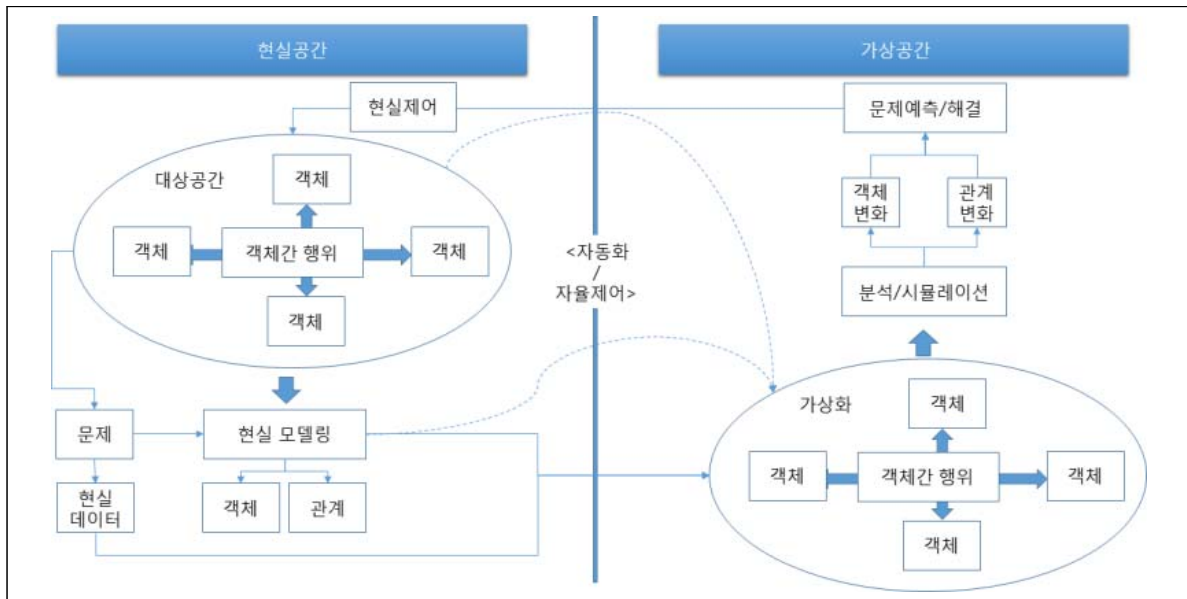
- CPS 개념의 국토분야 적용을 위해서는 우선 현실공간과 가상공간³⁾을 구분하여 접근해야함
- 현실공간의 대상은 공간을 구성하는 객체와 객체간 상호관계로 표현되어야 함
- 가상공간은 현실공간과 유사 또는 동일하게 객체와 객체간 상호관계 및 행위를 표현할 수 있어야 함
- 현실공간과 가상공간은 현실공간에서 취득되는 데이터와(향후 실시간에 준하는), 가상공간에서 분석된 결과의 피드백으로 연결되어야 하며 피드백은 곧 현실객체에 대한 제어로 연결되어야 함

□ (적용과정1 -현실공간) CPS의 개념을 국토분야에 적용하기 위해 현실공간에 대한 다음 내용의 표현이 가능해야 함

- 현실공간의 객체와 객체의 행위는 객체 그 자체에 대한 정의와 객체 간의 관계를 표현할 수 있도록 모델링되어야 함
- 객체와 객체간의 모델링은 대상 공간에서 발생하는 현실의 문제를 해결할 수 있도록 목적에 의존적으로 정의 및 구성해야 함

3) 현실공간과 가상공간은 현실국토와 가상국토를 구성하는 작은 단위의 공간들을 의미하며 이러한 공간들의 구축 및 상호 연계는 현실국토, 가상국토, 현실국토와 가상국토의 연계로 확장되는 개념으로 정의함

그림 3-1 | 국토분야 CPS 적용의 개념



자료 : 저자 작성

- 현실의 문제에 대한 다양한 데이터들은 문제와 직간접인 관계로 인해 발생하는 가능한 모든 형태의 데이터가 수집되어야 함

□ (적용과정2 -가상공간) CPS의 개념을 국토분야에 적용하기 위하여 가상공간에 대한 다음 내용의 표현이 가능해야 함

- 가상공간의 객체와 객체간의 관계는 현실문제의 모델링에 기반하여 최대한 현실에 유사하게 구현되어야 함
- 가상공간의 객체와 객체간의 행위는 현실문제에 대한 모델링, 현실문제와 관련한 데이터를 모두 포함해 분석/시뮬레이션을 수행할 수 있어야 함
- 가상공간에서의 분석 및 시뮬레이션은 객체의 변화, 객체 간 관계의 변화를 측정할 수 있어야 하며 이를 기반으로 문제의 예측 및 해결 방안 등에 대한 제시가 가능해야 함
- 가상공간의 예측 및 해결 방안은 현실 공간으로 피드백되어 현실의 객체를 제어하거나 관련 의사결정을 지원할 수 있어야 함

□ (적용과정3 - 현실공간과 가상공간의 연계) CPS의 개념을 국토분야에 적용하기 위해서는 현실공간과 가상공간에 대하여 단계적인 연계 방향을 고려해야 함

- 데이터의 특성에 따라 가변적이거나, 현실공간의 데이터는 단기적 관점에서는 주기적으로, 장기적 관점에서는 실시간으로 취득될 수 있어야 함
- 가상공간의 문제 예측 및 해결 방안은 단기적 관점에서는 수동적 제어로, 장기적으로는 자동적 제어로 발전하여 현실에 반영되어야 함
- 향후 현실공간의 데이터는 가상공간을 실시간으로 변화시키고, 가상공간의 분석 및 시뮬레이션 결과는 실시간으로 제어하여 자동화 및 자율제어까지 연장되어야 함

2) 국토분야 CPS 적용 구성요소

□ (적용을 위한 구성 요소) 국토분야에 CPS를 적용하기 위해서는 다음의 6가지 구성 요소에 대한 정의 및 개발이 필요

- 구성요소는 ① 현실 문제, ② 현실 데이터, ③ 현실 모델링, ④ 데이터의 전달, ⑤ 가상모델(가상화), ⑥ 의사결정 및 자율제어임

□ (구성 요소 ① - 현실문제) 현실문제란 국토분야에서 발생할 수 있는 다양한 문제 중 CPS를 적용함으로써 해결이 가능한 문제를 정의하는 것을 의미함

- 이를 위해서는 CPS 적용을 통해 해결하고자 하는 현실의 문제에 대한 구체적인 정의, 해당 문제의 해결 목적 등을 명확히 해야 함
- 또한, 해결하기 위한 문제와 직간접적으로 연관이 되는 인자나 요인들의 검토 및 점검이 이루어져야 함

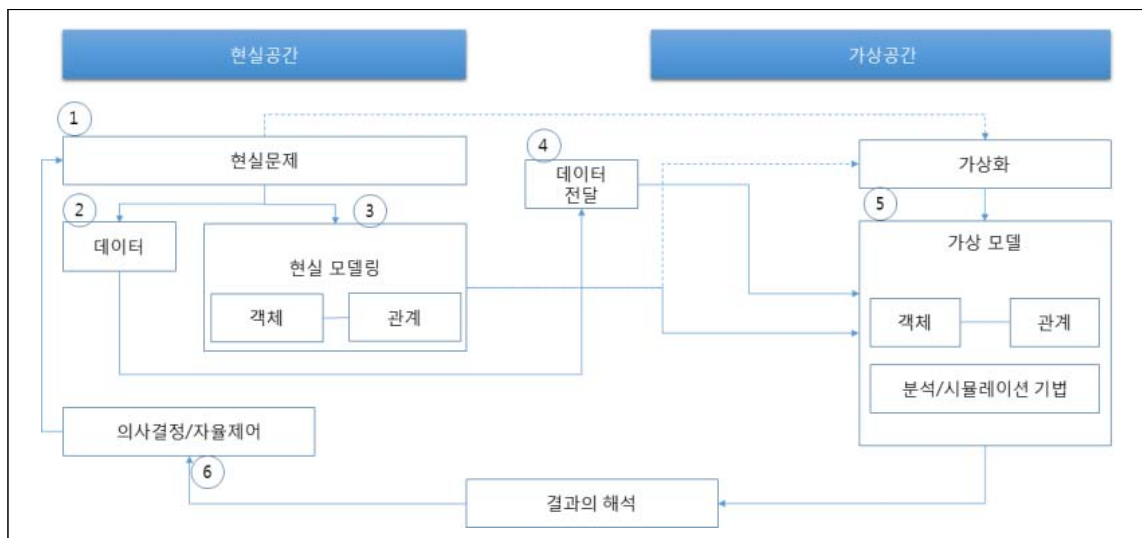
□ (구성 요소 ② - 현실데이터) 현실데이터란 CPS 적용이 가능한 문제와 직간접적으로 관련된 데이터를 의미함

- 정의된 현실 문제에 따라 필요한 데이터가 변경될 것이므로 문제 해결 목적에 부합할 수 있는 다양한 데이터의 정의가 필요함
- 해당 데이터는 정의에 따라 실시간성 등의 데이터 특성 파악이 수반되어야 함
- 정의된 데이터를 기준으로 데이터를 수집하거나 모델링하는 방식이 정의되어야 함(예- 센서를 통한 수집, 위치정보와 같은 확정적 데이터의 수집, 데이터 변동성, 범주, 포맷 등의 정의 포함 등)

□ (구성 요소 ③ - 현실모델링) 현실모델링이란 현실문제를 해결하기 위한 현실 공간에 존재하는 객체와 객체간의 관계를 정의하고 모델링하는 것을 의미함

- 현실 문제와 관련이 있는, 문제의 유발이나 문제의 해결과 관계되는 객체를 정의(예-인프라, 시설물, 사용자 등)

그림 3-2 | 국토분야 CPS 적용 구성요소



자료 : 저자 작성

- 현실 문제와 관련이 있는, 문제의 유발이나 문제의 해결과 관계되는 객체 상호간의 관계를 규정(예-사용자가 인프라를 관리함/시설물이 인프라의 특정위치에 배치됨, 사용자가 시설물을 원격으로 동작함)
- 객체와 객체간의 관계를 기준으로 현실모델링을 수행함(현실모델링은 문제에 대한 요인, 문제해결 방법, 문제를 구성하는 객체와 객체간의 관계를 표현하는 것임)
- 현실 문제별로 기존 이론적 연구, 기존의 접근 방식 등 다양한 현실 모델링 방식이 존재함
- 그러나 추가적으로 수집 가능한 데이터의 존재, 데이터의 수집 형태(실시간성 반영) 등으로 인해 기존 모델링에 대한 재고찰 또는 새로운 유형의 모델링이 필요할 수 있음⁴⁾

□ (구성 요소 ④ - 데이터의 전달) 현실공간의 데이터를 가상공간으로 전달하는 방법에 대한 점검 필요

- 현실공간과 가상공간은 연계되어야 하므로, 현실공간 데이터를 가상공간으로 전달하는 것에 대한 보증이 중요함
- 실시간데이터의 경우에도 전송주기를 결정할 필요가 있으며, 위치정보와 같은 기반이 되는 데이터에 대한 갱신주기의 결정이 필요함
- 데이터의 전달 방식은 문제의 특성이나 현실 모델링 방향에 따라 변경 가능함
- 통신 등의 기술을 기준으로 데이터 전송 오류, 데이터의 전송 무결성 등에 대한 수준 검토 및 확보가 필요함

4) 예) 힘의 법칙 $F=ma$ 가 현실을 제대로 반영한 것인가? 마찰력의 실시간적 측정이 가능하다면 이를 반영하여 $F=m(a-\text{마찰력})$ 으로 모델링을 수정해야 하지 않는가?

□ (구성 요소 ⑤ - 가상모델/가상화) 현실문제의 분석 및 시뮬레이션을 위해 현실공간을 가상공간에 표현하는 것을 의미함

- 가상화는 해결하고자 하는 현실문제에 따라 선택적으로 접근해야 함
- 일반적 가상화는 기술적 한계나 문제 특성에 따라 가상공간에 대한 모델링에 한정되는 경우가 일반적이나, 디지털트윈 등의 등장은 가상화의 관점 변화를 의미한다고 볼 수 있음
- 즉, 가상화만을 위해 또는 현실공간의 모델링에 기초하여 가상화를 추구하는 것이 아니라, 현실 그대로를 모사하여 그로부터 새로운 통찰을 얻고자 하는 시도임
- 국토분야의 문제 대부분은 가상화의 역할이 매우 중요함
- 현실공간과 유사한 가상공간을 구축하고, 이에 대한 분석 및 시뮬레이션, 변화의 탐지 등을 통해 현실에 대한 보다 명확한 이해를 유도할 수 있음
- 또한 가상화 구축 수준에 따라 기존 현실 모델링의 한계를 극복할 수 있는 방안의 마련도 가능할 것으로 예상⁵⁾
- 가상화 부분에서 가장 중요한 것은 ‘어떻게 현실을 최대한 똑같이 모사할 수 있는가’이며 이 부분에서 무엇보다 공간정보의 역할이 중요
- 가상화 수준에 따라 적용할 수 있는 분석 및 시뮬레이션 기법이

5) 일반적으로 현실 모델링에 따른 가상화는 입력변수가 확정적으로 정의되지만, 가상화에 기반하여 유사데이터 또는 영향을 주는 데이터를 추가함으로써 가상화 자체를 변화시킬 수 있음. 특히, 이러한 현상은 확정적 또는 확률적 모형 뿐 아니라, 모형의 구현을 통해 모형 자체로부터 현실의 변화 및 적응(조정)을 가능하게 함(예-자동차 전장사업의 경우, 모델링으로부터 나온 예측데이터들을 중심으로 현실세계를 미세조정(Calibration)함

바뀔 수 있으므로 높은 수준의 가상화는 새로운 유형의 분석 및 시뮬레이션 기법 개발을 유도할 수 있음

□ (구성 요소 ⑥ - 의사결정/자율제어) 가상공간으로부터의 분석 및 시뮬레이션 결과를 바탕으로 문제해결 방안이나 예측을 수행, 현실세계에 적용하는 것을 의미함

- CPS의 경우, 자동화된 현실제어나 현실-가상연계를 통해 데이터의 전달, 분석 및 시뮬레이션 결과의 지속적 반영을 통해 자율제어까지를 추구함
- 국토분야에 CPS를 적용하는 경우는 제어 뿐 아니라 의사결정 부분이 추가됨
- 국토에서 발생하는 대부분의 문제는 복잡한 이해관계를 내포하고 있으며 이는 무엇보다도 정책적 판단이 중요함을 의미
- 이러한 관점에서 본다면, 가상세계의 분석 및 시뮬레이션 결과는 그 자체로 해답이 아니라 단순 근거자료로만 활용될 가능성이 있음
- 즉, 국토분야의 CPS 적용에 대한 의사결정/자율제어 부분은 자율제어를 목표수준으로 설정하기보다 문제해결을 위한 적정 수준의 목표를 우선적으로 설정해야 함

2. 국토분야 CPS 적용 방향

1) 국토분야 CPS 적용을 위한 일반적 고려 사항

□ (문제 정의의 중요성) CPS를 국토분야에 적용하기 위해서는 무엇보다 문제의 정의가 중요

- CPS는 다양한 분야에 다양한 형태로 적용이 가능하며, 각각의 경우 요구사항이 다름
- 요구사항의 다름은 곧, 구성 시스템에 대한 차이를 가져오기 때문에 국토분야 CPS 적용에 대한 정형화가 불가능함
- 이러한 점은 문제 정의 없이 CPS를 국토분야에 적용하는 것은 일반적이고 보편적인 개념의 제시 수준에만 머물 수밖에 없으므로 개념적 모델을 제시하는 것만이 현 시점에서 가능한 수준임

□ (구축 및 검증) CPS를 국토분야에 적용하기 위해서는 시스템의 구축 뿐 아니라 검증방식에 대한 고려가 필요

- CPS는 단일 시스템에서부터 시작하여 시스템의 시스템(System of Systems)으로 확장될 것임
- 단일 시스템의 경우, 모델링에 의존하여 어느 정도의 성과를 도출할 수 있을 것이나, 시스템의 시스템이 되면 그 복잡도가 지수적으로 증가하여 단순 모델링만으로는 해결할 수 없는 경지에 이를 것임
- 또한 단일시스템의 경우도, 현실세계의 모사 정도나 수준에 따라 단순 모델링만으로는 해결할 수 없는 수준의 문제가 발생할 것임
- 이런 문제들을 해결하기 위해서는 시스템의 구축 단계별로 요구사항의 도출과 그에 대한 검증이 지속적으로 반복 수행되어야 함

2) 국토분야 CPS 적용 방향

□ CPS를 국토분야에 적용하기 위해서는 현실공간, 가상공간, 그리고 현실공간과 가상공간의 연계를 모두 다루어야만 함

- 현실공간에 대하여 문제 정의부터, 모델링, 데이터 종류 및 정의 등을 다루어야 함
- 가상공간에 대하여 가상모델 구현, 분석 및 시뮬레이션, 예측 등을 다루어야 함
- 현실공간과 가상공간의 연계에 대하여 데이터의 전달 방식과 제어 등을 통한 결과의 피드백을 다루어야 함

□ 또한 CPS를 국토분야에 적용하는 것은 공간적 범위의 다양성, 대상 문제의 다양성으로 인해 점진적인 적용과 확대가 필요함

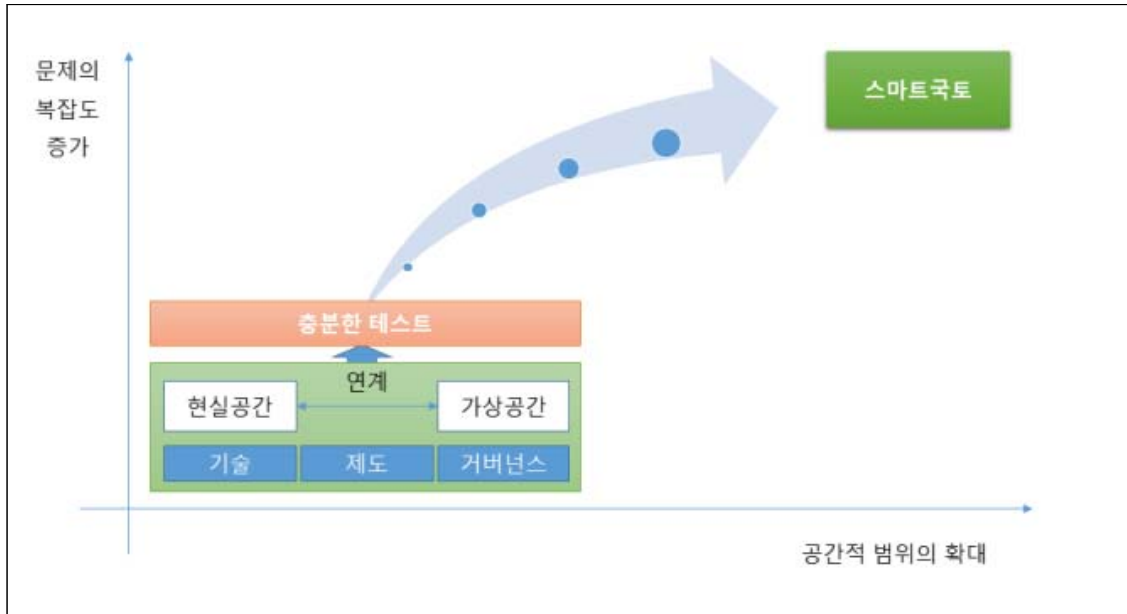
- 공간범위는 시설물부터 시작하여 도시 수준까지는 다루어야 하며 궁극적으로 전 국토를 대상으로 확대되어야 함
- 대상 문제는 실제 현실에서 발생하는 국토문제들 중 분석, 시뮬레이션, 예측 등으로 피드백할 수 있는 문제들로, 고장/수명, 기능개선, 효율 및 최적화, 대응 및 대처, 예측 및 예상, 효과의 측정 등의 다양한 목적을 달성할 수 있어야 함
- 궁극적으로 국토분야에 CPS를 적용 확대해 나가는 것은 곧 전국토를 스마트化하는 것이며 이는 곧 스마트국토를 구현하는 것으로 연결됨

□ 그러나 CPS가 지닌 다학제적 특성과 복잡성을 고려한다면 이를 국토분야에 적용하기 위해서는 많은 분야의 기술적 융복합과 충분한 시간 및 예산이 요구될 것임

□ 더불어 이를 위한 기술, 제도, 거버넌스 등 전반적인 측면에서 단계적 발전 전략을 수립하여 접근해야만 함

- 또한 국토분야에 적용하는 CPS는 국민의 삶에 직접적으로 연결될 것
이므로 충분한 테스트를 거쳐 안정성이 확보될 수 있어야 함

그림 3-3 | 국토분야 CPS 적용 방향



자료 : 저자 작성

3. 국토분야 CPS 적용을 위한 시사점

1) 현실공간 측면 ☐ (문제정의가 중요) 국토분야 CPS 적용을 위해서는 무엇보다 현실문제의 정의가 중요함

- 현실문제가 어떻게 정의되고, 그 해결 목적이 어떠한 방향이냐에 따라 필요한 데이터, 데이터 유형, 데이터 전달방식, 가상화 방식, 분석 및 모델링 방식, 피드백 방식 등이 변화함
- 이렇게 문제에 따라 변화하는 구성요소는 다양한 유형의 CPS를 요구할 것이며, 이로 인해 협력이 필요한 분야가 다각화 될 것임
- 더불어 CPS의 다학제적 특성을 고려하면, 단순 국토분야에서만 추진해서는 불가능하므로 관련 분야와 협력체계의 구축이 필요한데 이를 위해서는 무엇보다도 문제에 대한 상호이해가 바탕이 되어야 함
- 따라서 국토분야에 성공적으로 CPS를 적용하기 위해서는 명확한 문제의 정의와 그에 따른 적합한 협력체계를 구축하는 것이 시작점임

☐ (데이터 정의 및 취득에 대한 검토가 필요) 문제정의가 완료된 후 문제 해결하기 위한 다양한 데이터의 정의, 정의된 데이터의 정확한 취득이 필요

- 취득되는 데이터가 문제 해결 목적에 부합하는지, 부합하게 취득되고 있는지 등에 대한 검토가 중요함
- 이를 위해서는 기술적 수준 파악 및 기술 고도화 뿐 아니라 관련 제도, 표준 등의 정비도 병행되어야만 함

☐ (현실모델에 대한 새로운 시각 필요) 기술발전으로 인해 기존의 이론이나 가정에 의존하는 모델의 한계를 극복할 수 있는 환경이 조성됨

- 이러한 관점에서 보면 문제의 해결을 위해 기존의 시각이 아닌 가

상공간의 관점에서 접근 가능한 현실 모델에 대한 고려가 추가될 필요가 있음

2) 가상공간 측면

□ (가상공간의 구축) 가상공간 측면에서는 어떻게 가상공간을 구축, 구성할 것인가가 가장 중요한 문제임

- 가상공간의 구축 방향은 문제 정의 및 해결 목적에 따라 다양하게 구축될 수 있음
- 예산의 한계와 가상공간 구성의 데이터 특성 한계(무거움, 복잡함)를 극복할 수 있다면 가상공간은 되도록 현실과 동일하게 구현하는 것이 바람직함(여기서 말하는 동일함은, 시각적으로 표출되는 동일함 뿐 아니라 구조적인 동일함까지를 의미함)
- 더불어 궁극적으로 현실 공간의 변화를 실시간으로 반영할 수 있는 수준이 되어야 함
- 이러한 부분은 기술의 발전과 다양한 분야의 기술을 적용함으로써 달성될 수 있을 것으로 기대됨
- 따라서 CPS의 통합 및 연계를 통해 국토분야의 대상공간을 확대하는 것을 궁극적인 방향으로 본다면 가상공간의 구축에 대한 장기적인 전략 마련이 필요함

□ (분석 및 시뮬레이션의 고도화)

- 다양한 유형의 센서로부터 수집되는 정보들을 분석하기 위해서는 무엇보다 분석/시뮬레이션 기술의 고도화가 필요함
- 또한 기존 모형에 기반한 분석 및 시뮬레이션 기술은, 이기종 데이터의 제공과 공간적 기반이라는, 기존에 존재하지 않는 요소에 의해 크게 영향을 받을 것임

- 따라서 CPS의 성능을 높이기 위해서는 무엇보다 위 요소들을 고려한 분석 및 시뮬레이션의 고도화가 중요함

3) 현실공간과 가상공간의 연계활용 측면

- ☐ (현실데이터의 가상공간 전달의 무결성 확보) 현실공간에서 취득된 데이터가 오류 없이 가상공간으로 전달되는지 등에 대한 무결성의 확보가 중요함

- 기술의 고도화, 중복설계 등을 통해 현실의 데이터가 왜곡 없이 가상공간으로 전달됨을 보증할 수 있어야 함
- 현실데이터는 가상공간에서 이루어지는 분석 및 시뮬레이션의 재료가 되기 때문에 정확한 데이터가 전달됨을 보증하지 못하면 분석 및 시뮬레이션 결과에 대한 정확도와 신뢰도가 떨어짐

- ☐ (가상공간 분석결과 피드백의 다각화 필요) 국토문제의 복잡성을 고려하면 분석결과의 피드백을 다양한 형태로 제공할 필요가 있음

- 일반 CPS와 다르게 국토분야의 CPS는 이해관계자가 다양하고, 문제해결 방식이 확정적이지 않으므로, 이에 대한 고려가 필요
- 국토문제의 성격에 따라 단순 기기의 제어나, 결과의 모니터링 및 표출 이외에도 다양한 이해관계자와의 합의가 필요할 수 있으므로 이에 대한 추가적 고려가 필요함

4) 시사점 종합

- ☐ 국토분야에 CPS를 적용하기 위해서는 문제의 정의가 명확하고, 이에 대한 해결 의지가 무엇보다 중요함

- 문제에 따라 각 구성요소에 대한 요구사항을 점검하고, 거버넌스 체계를 구축하여 점진적으로 수행되어야 함

- ☐ CPS를 통합 및 연계는 것은 시스템 구조, 성능, 표준 등의 이질성으로

인해 매우 어려운 작업이므로 상호운용성에 기반한 협력과 표준 마련
이 필요함

- 현재 운용되고 있는 시스템들은 고유의 목적을 가지고 개발되었고 서비스도 특화된 경우가 일반적이므로 시스템 통합이 기반인 CPS를 구축하는데 많은 어려움이 있을 것으로 예상됨
- 따라서 기존 시스템의 통합을 위해서는 기술적인 면과 더불어 운용주체간의 고도화된 협력이 필수적이며 이러한 협력을 통해 표준화 방안이 마련되어야 함

□ CPS는 국토적용의 목적을 명확히 하고 적용분야를 발굴하는 노력이
필요하며 업무담당자와 기술자간의 밀접한 소통이 기반이 되어야 함

- CPS는 새로운 기술이라기보다는 현실-가상공간의 융복합을 통해 목적을 더 효과적으로 추구하는 기술로 볼 수 있음
- 이에 업무담당자는 기존 업무에 대한 혁신적 마인드가 필요하며 이러한 아이디어를 기술자와 논의함으로써 현실성 있고 효과적인 모델을 마련해야 함

4

CHAPTER

국토분야 사이버물리시스템 적용을 위한 전략 방안

1. 국토분야 CPS 적용 문제 발굴 | 53
2. 국토분야 CPS 적용 기반 구축을 위한 과제발굴 | 55
3. 국토분야 CPS 적용을 위한 체계적 접근 | 58

The study on the strategies for linking and
utilizing realistic world and virtual world
against the 4th Industrial revolution

국토분야사이버물리시스템 적용을 위한 전략 방안

1. 국토분야 CPS 적용 문제 발굴

1) 기존 문제 해결에 기반한 분야의 발굴

- ☐ 국토분야 CPS 적용을 위해서는 우선적으로 세부 분야의 구분이 중요
 - 국토분야는 매우 광범위하고 다양한 세부분야가 존재하기 때문에 이에 적합한 분야 분류가 선행되어야 함
 - 또한 세부분야별 특징이 상이하므로 각 분야 실무자 또는 전문가의 의견 정취가 필수적인 사항임
- ☐ 국토분야 CPS 적용을 통해 해결하고자 하는 목적의 구분 필요
 - CPS 적용을 통해서 해결할 수 있는 문제는 기기/시설의 고장이나 수명예측 문제, 기능 개선 문제, 효율 및 최적화 관련 문제, 사고/재난 대응이나 대처 문제, 특정 현상에 대한 예측 및 예상, 특정 정책/행위에 대한 효과의 측정 등으로 구분할 수 있음
- ☐ 분야별 목적에 부합하는 문제들을 발굴함으로써 국토분야 CPS 적용을 구조화 할 수 있음
 - 분야별 특징, 해결 목적을 세분화하여 상호 검토함으로써 국토분야에서 발생할 수 있는 문제들을 해결할 수 있도록 국토분야 CPS 적용을 유형화 할 수 있음
 - 국토분야 CPS 적용의 유형화는 CPS 구축을 용이하게 하고, 추후 통합 및 연계를 위한 근간이 됨

2) 혁신적 마인드에 기반한 문제의 발굴

☐ 혁신적 마인드에 기반하여 CPS의 적용이 가능한 문제를 발굴하는 노력도 병행되어야 함

- 국토분야에서 발생하는 문제들은 상호 연관성이 있고 복잡하므로 CPS 적용 여부를 떠나 기존 방식의 접근은 태생적 한계를 가질 수밖에 없음
- 따라서 혁신적 마인드로 국토분야에서 발생하는 문제들을 조합하여 새로운 시나리오를 생성하여 이를 해결할 수 있도록 CPS를 구축하는 것도 필요(예- 싱크 홀 발생에 따른 교통 혼잡 문제 해결, 등)

☐ 미래 수요자 요구사항 예측, 아이디어 경진대회 운영, 생활 패턴의 변화 예측 등 장기적 관점의 적용 가능 분야를 발굴이 필요

- CPS의 구축 및 연계 통합은 많은 시간과 예산이 소요될 것이므로, 초기부터 미래지향적인 관점의 견지가 필요
- 또한 최근의 급격한 기술발전은 문제해결을 위한 다양한 방향의 접근을 용이하게 하므로 이를 적극적으로 반영할 필요가 있음

2. 국토분야 CPS 적용 기반 구축을 위한 과제 발굴

1) 분야별, 문제별 CPS의 구현

☐ 개별문제 해결형 CPS 과제 수행 필요

- CPS 적용이 가능한 국토분야의 문제를 발굴, 이에 대하여 개별 문제 해결형 CPS 구축을 위한 과제를 수행해야 함
- 해당 과제는 국토분야 CPS 적용을 위한 예측 불가능했던 문제의 재발견 또는 성공 사례 개발을 위해 필수적임
- 발굴된 문제 중 충분한 시간 내에 구축이 가능한 문제를 대상으로 시범과제의 성격으로 우선 수행이 필요함

2) 세부기술의 고도화

☐ 현실 모델링 기법의 고도화 과제 필요

- 현실 문제에 대한 다양한 모델링 기법의 개발이 추가되어야 함
- 기존 기술적 한계로 인해 고려되지 못했던 데이터들이 취득 가능해짐에 따라 보다 현실에 가까운 모델링이 필요하며 이를 위한 과제가 필요
- 단, 해당 과제는 이론에 기반하여 수행되어야 하므로 단기적 성과 보다는 장기적 성격, 원천기술의 성격으로 수행되어야 함

☐ 데이터 획득 방법의 개발 필요

- 국토분야 CPS 적용을 위해서는 국토의 환경요인, 다양한 유형의 정보를 위한 데이터 획득 방법의 개발이 필요함
- 타 ICT 분야에서 개발되고 있는 센서 및 센서네트워크 기술을 도입하더라도 국토분야의 문제에 부합할 수 있도록 커스터마이징되어야 함

☐ 데이터 전달 방법의 개발 필요

- 데이터 획득 방법과 마찬가지로 주변 환경요인 등을 고려한 데이터 전달 방식의 고려가 필요(예를 들어 전파혼선이 심한 도심 내에서 무단절 통신을 보증하는 기술개발 등)
- 무단절 통신 또는 재난 통신과 같은 통신분야의 기술을 도입하거나 커스터마이징 해야 함

☐ 가상화 기술의 개발 필요

- 문제의 특성에 부합하도록 가상공간의 구축, 가상공간 갱신 등에 대한 기술 개발 및 적용이 필요
- 해당 기술은 기존에도 공간정보 분야에서 지속적으로 수행되어 왔으나 타 기술의 발전 및 요구사항의 다각화를 고려하여 새로운 방향을 추가적으로 모색해야함
- 또한 해당 기술에는 시스템화, 저장, 경량화, 실시간 데이터 처리 등 구축 뿐 아니라 운영적 요소를 포함하고 있어야 함

☐ 분석 및 시뮬레이션 기법의 개발 필요

- 국토분야의 CPS 적용은 무엇보다 공간과, 특히 3D화된 공간과 연계가 되므로 기존 분석 및 시뮬레이션 기법 외에 추가적 기술의 개발이 필요
- 국토분야의 CPS 적용에는 센서로부터 수집/전달되는 실시간 데이터가 중요한 역할을 수행할 것이므로 이에 대응할 수 있는 분석 및 시뮬레이션 기법의 개발이 필요

3) 테스트베드 검토 ☐ 다양한 목적을 수행할 수 있는 테스트베드의 선정이 필요

- 국토분야 CPS 적용을 위해서는 효과 검증이 가능한 테스트베드

의 존재가 무엇보다 중요함

- 또한 테스트베드는 국토분야 문제의 성격에 부합하도록 복잡한 상황 등을 점검할 수 있어야 하며, 또한 실제 시민들에게 미치는 영향 등을 확인할 수 있어야 함
- 따라서 적용가능 문제의 발굴이 완료되면 CPS구축과 동시에 테스트베드의 선정에 대한 고려가 필요함

☐ 테스트베드를 위한 여건 조성이 필요

- 국토분야 CPS 적용을 위해서는 다양한 센서의 설치, 통신환경의 정비, 기타 규제/제도의 개선 등 여건 조성이 필요
- 따라서 테스트베드 선정 뿐 아니라 국토분야 CPS 적용을 위한 테스트베드의 여건에 대한 고려가 필요함

4) 제도 및 정책

☐ 국토분야 CPS 적용을 위한 관련 제도의 정비가 필요

- 국토분야 문제들 중 시민의 삶과 직접적으로 연관되는 문제들의 경우 개인정보나 보안 등의 제약사항으로 데이터의 획득 자체가 불가능한 경우가 존재함
- CPS 적용은 기존 문제 해결 절차나 문제해결 담당자들의 변화를 가져올 것이므로 이에 대한 제도적 고려가 필요

☐ 국토분야 CPS 적용을 위한 규제완화 필요

- 제도 개선은 기술발전 속도를 쫓아가기 어렵기 때문에 특정 지역이나 문제에 대한 규제완화의 노력도 병행되어야 함

3. 국토분야 CPS 적용을 위한 체계적 접근

1) 국가차원의 장기플랜 수립

□ 장기플랜 수립 방향

- 국토분야 CPS 적용을 위해서는 현실 문제의 모델링, 가상공간 구축, 현실공간과 가상공간 연계를 위한 국가차원의 장기적 플랜이 필요함
- 해당 플랜에는 관련 기술의 개발, 거버넌스 체계 구축, 단위 CPS 구축 등이 필수적으로 포함되어야 함
- 또한 해당 요소들은 장기적 관점에서 단계별로 접근하여야만 하며 단기적 성과를 강조하기보다는 결과의 재평가를 통해 지속적으로 발전하는 방향으로 구현되어야만 함
- 궁극적으로 CPS를 통해 스마트국토를 구현하는 것이 필연적 미래상임에도 불구하고 U-City 사례에서 볼 수 있듯이 장밋빛 전망의 단기적 접근은 자칫 깊은 실망으로 이어져 경쟁력의 상실로 연결될 수 있음

□ 구체화 1- 신국토정책(스마트국토) 비전의 수립

- 스마트국토 구현을 위해 국가차원의 장기적 비전을 수립하고 점진적인 투자와 연구개발을 수행해야 함
- 협력적 작업(Cooperative), 패러다임 전환(Paradigm shift), 시스템의 시스템(System of systems) 관점의 접근이 필요함

□ 구체화 2- 기술개발 전략

- 개별 요소기술의 개발 뿐 아니라, 문제해결을 위한 단위 CPS의 개발에도 초점을 맞추어 수행할 필요가 있음
- 다양한 유형의 데이터를 기반으로 한 분석 및 시뮬레이션 기술의

고도화를 통해 복합형 분석 기술의 개발이 필요함

- 장기적 관점에서는 표준화에 대한 고려가 중요함

□ 구체화 3- 거버넌스 체계 구축 전략

- 범부처적 관점의 거버넌스 체계가 무엇보다 중요함
- 목적지향적으로, 문제해결을 위한 다양한 분야의 참여를 유도할 수 있는 거버넌스 체계가 필요함

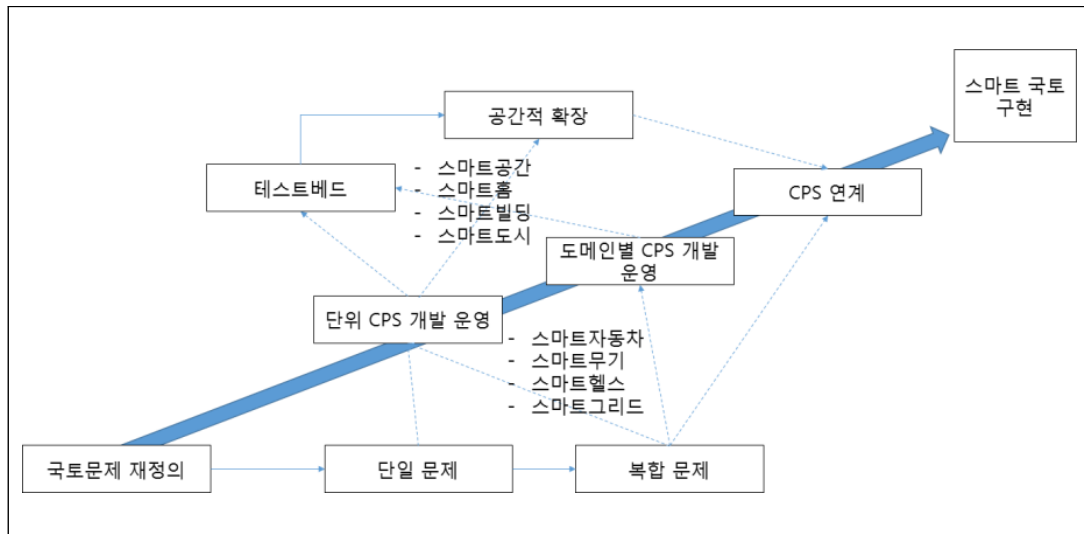
□ 구체화 4- 단위 CPS 구축 전략

- 국토분야의 문제들을 점검하고, CPS의 도입을 통한 효과가 큰 문제들을 선정해야 함
- 문제에 적합한 테스트베드를 중심으로 CPS를 개발 및 운영하여 안정성을 확보, 해당 CPS에 대한 확산을 추진해야 함

□ 구체화 4- 단계적 접근 방안 수립

- 우선적으로 테스트베드를 중심으로 단일문제, 복합문제를 해결할 수 있는 단위 CPS의 개발 및 검증을 지속적으로 추진해야 함
- 검증된 CPS에 대한 공간적 확장, 도메인별 CPS개발 및 운영, 도메인별 CPS의 공간적 확대 등을 추구해야 함
- 검증된 도메인별 CPS에 대한 연계 및 고도화를 통해 스마트국토를 구현해야 함

그림 4-1| 단계별 접근 방향



자료 : 저자 작성

2) 국토분야 CPS 적용을 위한 테스트베드 구축

□ 전략 수립 방향

- CPS는 곧 현실문제의 해결을 목표로 하며 이를 위해서는 현실세계의 정보와 가상공간에서의 분석 및 시뮬레이션, 그 결과의 현실세계 피드백이 필요함
- 이러한 관점에서 본다면 기존 테스트랩이나 테스트베드 수준의 테스트는 비현실적 정보에 의한 왜곡을 초래할 수 있으며 현실 피드백이 불가함으로써 성능에 대한 평가가 어려움
- 따라서 적용 가능한 리빙랩 수준의 실생활 공간이 테스트 공간으로 필요
- 또한 실생활에 적용되는 규제 등을 완화하는 정책적 지원의 수반이 중요

(1) 가상공간 구축 관점

□ 국토분야 CPS 적용을 위한 테스트 공간은 지능형 공간플랫폼의 형태로 구현 가능함

- 국토단위로의 유연한 확장성을 확보를 위해 오픈소스 기반의 개발도 고려해야 함

☐ **지능형 공간플랫폼은 국토의 다른 분야에도 저비용, 고효율적으로 적용할 수 있도록 상호운영성이 확보되고 유연한 확장성을 확보할 수 있어야 함**

- 높은 상호운영성과 제한 없는 배포 및 다양한 도메인 전문가들 참여 그리고 유연한 확장성을 확보하기 위해서 특정 벤더 종속성이 없어야 함

☐ **구축초기부터 정책결정자의 국토운영에 필요한 요구사항과 CPS 개발자의 갭을 해소하는 방식으로 개발 필요**

- 정책결정자는 국토운영에 필요한 요구사항에 대해서는 잘 알고 있지만 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 혁신적인 기술을 잘 모르며, 개발자들은 기술에 대한 지식은 많으나 정책결정자의 요구사항에 대한 이해는 낮음
- 이러한 정책결정자와 개발자간의 갭을 해소하고 활용을 통한 지속적인 개선을 위해 개방성 확보 및 표준화가 필요하며 개방형 혁신(Open Innovation)⁶⁾ 방식을 적용하는 방안이 필요함

☐ **단위기능이나 단위 서비스 테스트가 아닌 도시나 지역수준과 같이 일정 수준 이상의 규모에 적용되어야 함**

- 이를 통해 정책가, 계획가, 관리 및 운영자 통합 활용을 통한 실질적인 테스트가 이루어져야 함
- CPS는 상호운용성과 안정성이 기반이 되는데 국토분야 적용의

6) 개방형 혁신은 각 단계마다 기업 내부와 외부 사이의 지식 교류가 원활하게 이루어져서 외부의 기술이 기업 내부로 도입되거나, 그 반대로 기업 내부의 기술이 외부 경로를 통해 상업화되는 방식들을 모두 포괄하는 개념(NIPA, 2011, IT R&D와 오픈 이노베이션, IT R&D 정책 동향 (2011-특집3호), 42p 일부발췌)

규모가 너무 소규모일 경우 이러한 기능을 확보하기 힘들기 때문에 지역 주민과 혁신 기술업체와의 파트너십 구축을 통해 규모의 경제를 추구해야 함

(2) 데이터 수집 및 활용 관점 ☐ 규제완화, 참여형 접근을 통한 다양한 유형의 정보 수집이 가능해함

- CPS의 요소 중 현실세계의 데이터는 그 데이터의 정확성, 다양성에 기반하여 가상세계 분석의 주요 자원이 되기 때문에 이러한 정보 수집을 어떠한 측면으로 할 수 있는지가 매우 중요함
- 성공적인 CPS 구축을 위해서는 규제의 완화 또는 참여형 정보제공 등을 통해 정보 원천을 다양화해야 함

☐ V-world나 3차원공간정보 등의 연계, 개선을 통한 활용 방안의 모색이 필요함

- 현실국토와 거의 유사하게 가상국토를 구현하는 것은 CPS의 주요 과제임
- 여기에는 많은 비용과 시간이 소요될 것이므로 기존 V-World나 3차원공간정보 구축 성과의 개선 또는 연계를 통한 활용방안이 필요함

(3) 분석 및 의사결정 지원 관점 ☐ 빅데이터 분석, 인공지능 등 신기술의 적용을 통한 분석 기술의 고도화가 병행되어야 함

- 빅데이터 기법은 다량, 실시간 데이터에 대한 분석을 가능케 하고, 인공지능은 새로운 접근방법을 제안, 기존의 해결불가능 문제의 단초를 제공함
- IoT 환경에 따른 데이터의 수집은 어느 정도 가능한 시점이므로

장기적으로는 무엇보다 분석의 역량이 CPS 성능을 좌우할 것으로 예상됨

5

CHAPTER

결론 및 향후 과제

1. 연구의 결론 및 정책 제언 | 66
2. 연구의 성과와 향후 과제 | 68

The study on the strategies for linking and
utilizing realistic world and virtual world
against the 4th Industrial revolution

결론 및 향후과제

1. 연구의 결론 및 정책 제언

1) 연구의 결론

- 본 연구는 4차 산업혁명의 주요 기술인 CPS의 정의, 구성요소, 적용 사례 등을 살펴보고 시사점을 도출함
 - CPS가 다양한 분야에서 적용되고 있으나 아직은 단순 기기 제어 수준의 기능이 대부분임을 확인함
 - 연계 및 통합을 통해 복합적 상황에 대한 제어를 위한 연구와 시도가 지속적으로 수행되고 있음을 확인함
 - 이를 통해 국토분야 CPS 적용이 국토분야의 성장동력으로서, 국토문제 대응 및 해결을 위해, 국토관리의 효율증대, 효과검증을 위해 필요함을 제시
- 또한 국토분야 적용을 위한 개념 및 구성요소, 적용방향 등을 제시하고 이해를 높이기 위한 시나리오를 검토함
 - 개념 및 시나리오 검토를 통해 향후 국토분야의 CPS 적용을 위해 필요한 사항에 대하여 현실공간, 가상공간, 현실공간과 가상공간의 연계 및 활용 측면에서 시사점을 제시
- 이를 통해 스마트코리아 구현을 위한 핵심 플랫폼으로서 국토분야의 CPS 적용을 위한 전략방향을 제시함
 - 국토분야 CPS 적용을 위해서는 무엇보다 적용 문제의 발굴, 적용을 위한 과제의 수행, 적용을 위한 체계적 접근 등을 제시

2) 정책 제언

- (1) 정책적 추진의지 강화 필요
- ☐ 국토분야 문제의 특성, CPS의 구축 특성 등을 고려할 때 많은 시간과 비용의 소요되고, 다양한 전문가의 참여가 필요
 - 이러한 관점에서 보면, 국토분야의 CPS 적용을 위해서는 예산의 확보, 거버넌스의 구축 등 무엇보다 정책적 추진의지가 중요함
 - ☐ 따라서 무엇보다 빠른 시간 내에 시범사업 등을 통해 성공사례를 확보할 수 있어야 함
- (2) 장기적 관점 견지 필요
- ☐ 공간에 기반하는 점과 전국토로의 확장을 고려하면, 국토분야 CPS 적용을 위해서는 장기적 관점의 견지가 무엇보다 중요
 - 스마트시티와 동일한 최종 목표를 가지는 국토분야 CPS 적용은 단기적 성과에 의해 평가될 경우 자칫 초기 U-City와 같은 상황에 처할 수 있음
 - 공간의 확장으로 인해 발생하는 문제의 복잡성은 예측이 불가능하므로 단계적으로 해당 문제를 해결해나가고자 하는 장기적 관점의 접근이 무엇보다 중요
 - ☐ 이에 장기적 관점에서 단계적 목표를 설정하고, 이를 해결해나가는 데 주력할 필요가 있음

2. 연구의 성과와 향후 과제

1) 연구의 성과

- (1) 정책적 기대효과
- ☐ 신정부의 정책 중 ‘미래성장동력 확충’에 기여, 특히 단기적으로는 ‘ICT 강국을 상징하는 스마트시티 조성 확산’에 기여 가능
 - ☐ 신정부의 스마트코리아 구현을 위해 CPS는 그 핵심플랫폼으로서의 역할을 수행, 국가 신성장 동력의 기반이 될 것임
 - ☐ 본 연구는 이러한 국토분야의 CPS 적용을 위한 전략을 제시함으로써 체계적이고 전략적인 국가 정책 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대됨
 - ☐ 국토를 대상으로 하는 CPS의 구축 및 활용전략을 제시, 데이터 기반 스마트한 국토의 계획 및 관리에 기여할 수 있음
- (2) 경제적·사회적 기대효과
- ☐ 4차 산업혁명에 대응하는 핵심 플랫폼의 구축을 통해 신성장 동력의 창출, 혁신적 문제해결 방안 마련 등에 기여
 - ☐ 데이터에 기반한 예측 및 시뮬레이션을 통해 사회문제의 과학적 해결 방안의 제시가 가능함
 - ☐ 고장예방 및 생애주기 관리 등을 통한 시설물 유지비용절감, 다양한 국토 문제에 대한 예측 및 피드백을 통해 피해 저감, 관리비용 절감 등을 기대할 수 있음

2) 향후 과제

- (1) 국토분야 CPS 적용을 위한 정책 연구 강화 필요
- ☐ 국토분야 CPS 적용을 위한 문제 발굴에 대한 정책 연구 필요
 - 국토분야의 CPS 적용을 위해서는 무엇보다 문제의 정의가 중요

하므로 이에 대한 정책연구가 중요

- 문제를 정의하고, 이에 대한 시급성, 용이성 등을 분석하여 국토 분야 CPS를 시범 구축하여 성공사례를 시급히 만들 수 있는 기반을 마련해야 함
- 또한 문제의 난이도, 복잡성 등을 고려하여 장기계획 수립을 위한 기반 자료의 마련이 필요

☐ 국토분야 CPS 적용을 위한 장기계획 수립을 위한 정책 연구 필요

- 장기계획 수립을 위한 기술발전 예측, 생활 패턴의 변화 등에 대한 연구가 필요함
- 제도 및 규제 등에 관한 연구를 통해 장기계획 수립의 기반 마련 병행되어야 함

(2) 국토분야 CPS
적용을 위한 기술
기획 및 개발 연
구 필요

☐ 국토분야 CPS 적용을 위한 종합적 기술기획 연구가 필요

- 그간의 CPS 기술 발전 및 적용 사례를 바탕으로 국토분야 CPS 적용문제의 특성을 고려한 종합적 기술기획 연구가 필요함

☐ 국토분야 CPS 적용을 위해 커스터마이징된 기술의 개발이 필요

- 기존 CPS가 적용되는 분야와 다르게 국토분야는 다양한 제약요건을 가지므로 이를 극복할 수 있도록 기존 CPS 기술에 대한 커스터마이징이 필요함

참고문헌

REFERENCE



건설산업기본법. 2017 제2조 8호.

<http://www.law.go.kr/lsSc.do?menuId=0&p1=&subMenu=1&nwYn=1§ion=&tabNo=&query=%EA%B1%B4%EC%84%A4%EC%82%B0%EC%97%85%EA%B8%B0%EB%B3%B8%EB%B2%95#undefined>. 2018.1.19. 최종접속

김원태, 이수형, 전인걸, 유미선, 김경태, 임채덕. 2014. SmartAmerica Challenge 기술동향, 전자통신동향분석 제29권 4호

김정훈, 조준만, 한선희. 2006. u-City(時空自在 도시) 구현을 위한 국가전략 연구. 국토연구원

김혜경. 2014. 초연결사회 도래와 사이버물리시스템. IT & Future Strategy. 한국정보화진흥원.

이정아. 2015. 사이버물리시스템(CPS)기반의 사회시스템 최적화 전략. IT & Future Strategy. 한국정보화진흥원.

임은선, 사공호상, 이원섭, 차미숙, 이영주, 김동한, 강민조, 황명화, 박재희, 김보람, 양은정. 2015. 국민공감 정책지원을 위한 국토지표 프레임워크 설계 및 활용 전략 연구. 국토지리정보원

NIPA. 2011. IT R&D와 오픈 이노베이션. IT R&D 정책 동향 (2011-특집3호).

Cyber Physical Systems Public Working Group. 2016. Framework for Cyber-Physical Systems Release 1.0.

Lee, J., Bagheri, B., Kao, H. A. 2014. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems

Song, H., Rawat, D. B., Jeschke, S., Brecher, C. 2017. Cyber-Physical Systems Foundations, Principles and Applications, Elsevier, London.

Zeadally, S. and Jabeur, N. 2016. Cyber-Physical System Design with Sensor Networking Technologies, IET, Herts.

Global City Teams Challenge Tech Jam 2015: 25Action Cluster Highlights 발표자료 p8.(2015.02.09. 발표) Smart Cities and the NIST Global Cities Team Challenge.

https://www.atiss.org/wsts/docs/2016/1-02_NIST_Rhee_Weiss_Smart_Cities.pdf, 8p, 2017.07.24. 최종접속.

4차 산업혁명의 핵심 - IOT 기술의 선두주자 GE, GE리포트 코리아, <http://www.gereports.kr/the-next-internet-giant-also-starts-with-g-and-ends-with-e/>, 2018.01.19.

“이코노미조선: 박순욱의 기업인 탐방<14> 김종갑 한국지멘스 대표이사 회장”, 프리미엄 조선, 와이드 인터뷰 http://premium.chosun.com/site/data/html_dir/2016/10/26/2016102602076.html. 2018.01.19.최

종접속

Cyber-Physical Energy Systems(CPES), <http://aicps.eng.uci.edu/research/CPES/>, 2018.1.19. 최종접속

Cyber-Physical Systems, <http://cyberphysicalsystems.org>, 2018.01.19. 최종접속

European Train Control System (ETCS),

<http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/en/interurban-mobility/rail-solutions/rail-automation/train-control-system/european-train-protection-system/pages/european-train-control-system.aspx>.

2018.1.19. 최종 접속

3D experience City-Virtual Singapore 다쏘시스템 홍보 영상. <https://www.youtube.com/watch?v=Dix-8SNxlAo>, 2018.01.19.최종접속

<https://www.nsd.go.kr>, 2017.05.26. 최종접속

<http://www.upis.go.kr>, 2017.05.26. 최종접속

<http://map.vwold.kr/map>, 2017.05.26.최종접속

<http://www.zdnet.com>, 2017.05.26.최종접속

SUMMARY



The study on the strategies for linking and utilizing realistic world and virtual world against the 4th Industrial Revolution

Lim Siyeong, Sakong Hosang, Lim Yongho, Oh Changwha

Keywords: Cyber-Physical System, the direction of strategy, Land sector, CPS application strategy

Cyber-Physical System(CPS) is recognized as a core platform linking realistic world and the virtual world In the era of The 4th Industrial Revolution. The United States, the EU and other countries around the world are looking for applications of CPS for a unit of land space, so we need to take this into account.

This study aims to present a CPS application strategy for the preliminary response to the 4th Industrial Revolution. For this purpose, the case of CPS application, the necessity of application of CPS in the land sector, the concept and scenario of CPS application in the land sector, and the strategy for CPS application in the land sector were suggested.

CPS refers to a system in which the cyber world and the physical world interact with each other based on information input from the physical world through the sensor and output/control through the actuator. It can be seen in the fields of smart building, smart transportation, smart grid, and smart city as related to the land sector. In addition, integration and linkage of individual CPSs through the Smart America Challenge and Virtual Singapore, and CPS linkage in the same virtual space are underway.

In order to cope with rapid changes in the environment, preemptive challenges are needed in the land sector, and speed of technology development beyond imagination enables countermeasures that have not been considered yet. Therefore, it is necessary to develop policies with high effectiveness by improving understanding of problems through analysis of virtual land based data and applying various policy measures to

virtual land. Analysis and forecasting of land management based on real time, large scale data are expected to provide preemptive measures against possible problems and minimize social conflict costs.

To apply the CPS to the land sector, the following should be considered. First, the real space must be represented by objects that make up space and the mutual relation between objects. Virtual space should be able to express objects and the mutual relation and behavior between object in the same way as real space. The link between the real space and the virtual space should be able to deal with the data obtained in the real space, the result feedback analyzed in the virtual space, and the control on the real object.

The application of CPS to the land sector requires gradual application and expansion due to the diversity of the spatial range and the diversity of the subject matter. Considering the multidisciplinary nature and complexity of CPS, it will require a lot of technological convergence and plenty of time and budget. In addition, the CPS applied to the land sector is expected to be directly linked to the lives of the people, so it must be thoroughly tested and secured.

For this reason, in order to apply the CPS to the land sector, the government should: 1) identify the problems of applying CPS in the land sector, 2) find out the tasks for establishing the base for CPS application in the land sector, 3) and prepare a systemic approach. In particular, considering the space-based point and the expansion into the whole country, the long-term viewpoint is more important than anything else, and the focus should be on establishing and solving step-by-step goals from a long-term perspective.



1. 국토분야 CPS 적용과 스마트시티의 관계

□ 국토분야 CPS 적용과 스마트시티의 관계는 크게 다르지 않다고 볼 수 있으나 접근 방식, 대상 설정 등에서 차이가 발생함

- 국토분야 CPS 적용은 국토분야의 문제 해결 중심으로 수행될 수밖에 없는 반면 스마트시티는 도시 문제의 해결을 위한 인프라 구축 및 서비스에 초점을 맞춤
- 즉, 스마트시티는 인프라 및 서비스를 중심으로 다양한 문제를 해결하고자 하는 종합적 관점의 접근이 중요한 반면, 국토분야의 CPS 적용은 명확한 단일 문제의 해결을 위해 다양한 방법을 적용해야 함¹⁾

□ 특히, 현재 시점만을 고려한다면 스마트시티와 국토분야의 CPS 적용은 더욱 큰 차이를 나타냄

- 스마트시티의 발전과정을 살펴보면, 정보의 연결 중심의 유비쿼터스 시대에서 정보의 수집/통합을 추구하던 U-City로 진화, 정보의 연계를 통한 스마트시티로 발전
- 이러한 발전과정은 네트워크 연결, 관제 및 모니터링, 모니터링 연계 및 통합이라는 기능적 발전을 가져왔음
- 그러나 국토분야의 CPS 적용은 모니터링 또는 제어, 예측 등을 추구하고 있으므로 기존 스마트시티와는 차별성을 보임

□ 그럼에도, 진화 과정을 살펴보면 스마트시티는 결과적으로 CPS 기반 스마트시티로 진화할 것이며 이는 CPS와 스마트시티의 차별성을 없앨 것임

- 스마트시티 초기 단계에서도 정보의 분석 및 활용, 제어를 통한 자동화를 지향점으로 설정하였음

1) 예) 교통 혼잡 문제의 해결을 위해 스마트시티에서는 교통량 모니터링을 통한 종합적 관제를 우선시하는 반면, CPS에서는 교통량에 따른 신호자율제어를 고려함

- 그러나 데이터 수집, 저장, 컴퓨팅, 가시화 등 스마트시티를 구성할 수 있는 기반 기술의 발전이 이를 지원할 수 없었으므로 현재와 같은 과정을 거쳐 발전하고 있는 상황으로 판단됨²⁾
- 국토분야 CPS 적용 역시, 분야를 넓히고 공간범위를 넓혀간다면 결국 스마트시티에서 추구하는 이상향과 동일함
- 그간 임베디드 시스템이나 생산현장과 같은 작은 단위의 CPS가 가능한 이유는 기술적 진보 외에 적용대상의 단순성에 기인하였다고도 볼 수 있음
- 그러나 국토분야의 다양한 문제들은 위에 언급된 단순한 시스템에 비해 복잡도가 상대적으로 매우 높을 것이므로 대상이 도시수준까지 확대된다면 곧 스마트시티와 차이점이 없어질 것임

□ 하지만, 아직은 스마트시티를 구축/구현하는 것뿐만 아니라 국토분야에 CPS를 적용하는 시도 역시 지속적으로 필요함³⁾

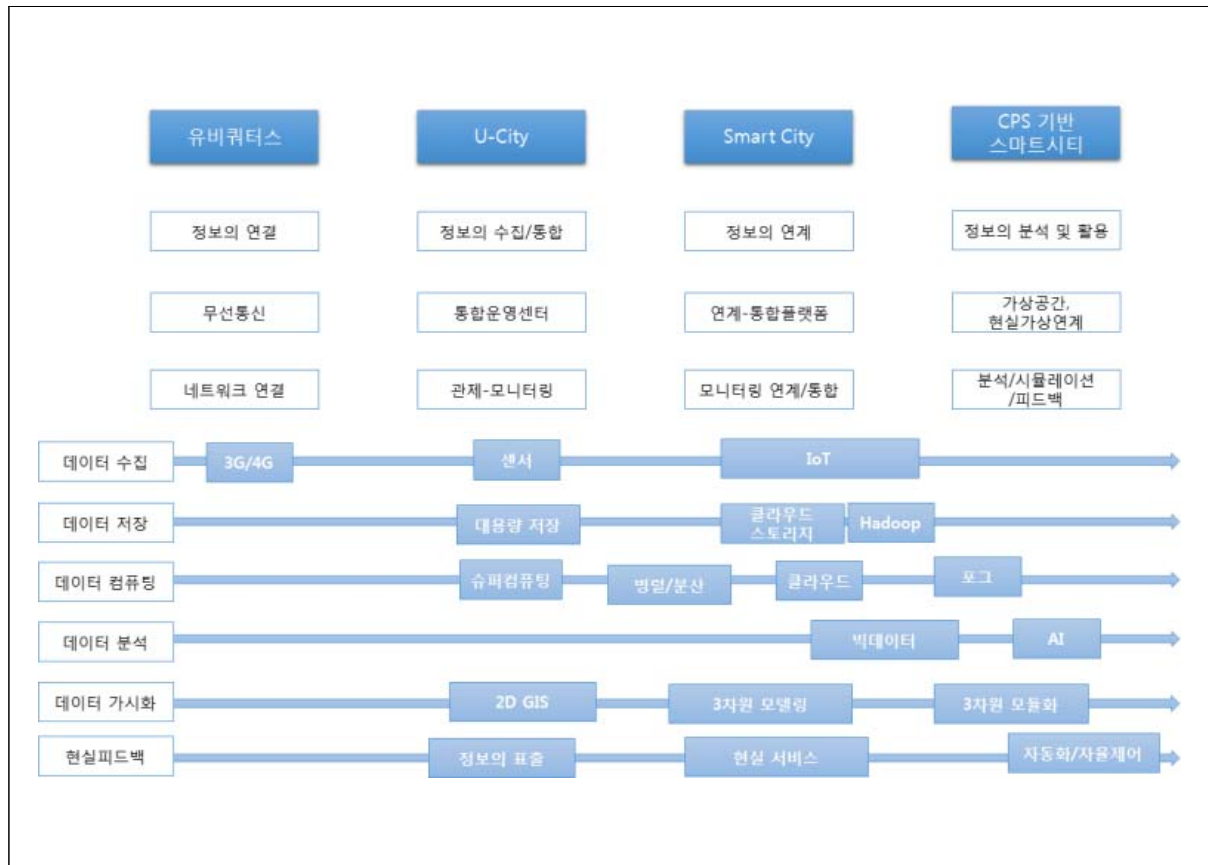
- 스마트시티를 구축/구현하는 것은 지난 기간을 돌아보면 장밋빛 전망과 실망, 타기술 발전에 따른 새로운 희망이 지속적으로 반복되어옴
- 이러한 현상이 발생하는 이유는, 지향점에 대한 공감은 있으나 이를 구체적으로 실현하다 직면하게 되는 기술적, 환경적 제약사항을 미리 예측하는 것이 불가능하기 때문임
- 또한 도시에서 발생하는 문제들의 복잡성은 매우 높기 때문에 이를 다루는 것이 쉽지 않으며, 그로 인해 초기 설정되었던 목표치를 낮추어 현시점에서 가능한 수준을 구현하게 되며 이점이 장밋빛 전망과 차이를 유발, 실망으로 연결되는 구조가 되었다고 볼 수 있음
- 그러나 스마트시티에 대한 추구는 도시발전의 장기적 방향과 궤를 같이하므로, 도시의 미래상에 대한 이견이라기보다 미래상이 현실이 되는 시간 차의 문제일 뿐임
- 이러한 관점에서 보면, 국토분야에 CPS를 적용하는 것은 그 출발점이 도시 전체여서는 안 되며, 도시문제들 중에서 실제로 해결할 수 있는 문제들이 대상이 되어야 함을 의미
- 또한 국토분야 CPS 적용은 단순히 하나의 문제를 해결하는 것이 아니라 문제의 복잡성, 대상 공간의 확대를 통해 결국 스마트시티가 추구하는 목적을 달성할 수 있어야 함
- 또한 국토분야의 CPS 적용사례나 기술들은 스마트시티의 소규모 시스템으로 활용될 수 있으며, 이를 연계 및 통합함으로써 스마트시티 구현을 가속화 시킬 수 있음

2) 예) 지능형 CCTV의 경우, U-City 초기에도 그 목적 및 기능 구현에 대한 방향이 현재와 같이 설정되었으나, IoT를 통한 정보의 습득, 클라우드/하둠 등의 저장 및 처리기술 발전, 병렬/분산/클라우드/포그 컴퓨팅 등의 컴퓨팅 속도 발전, 빅데이터/AI 등 분석기술 개발 등 타 기술의 발전으로 인해 현시점에서야 실질적 역할을 수행할 수 있는 상황에 다다름

3) 국토분야 CPS 적용과 스마트시티의 관계는 마치 문제의 해결을 위해 하향식(Top-down)의 구조화 접근을 하는 것과 상향식(Bottom-up)의 객체화 접근을 하는 것과 유사함

- 즉, 스마트시티를 구축하는 것과 병행하여 CPS를 국토분야에 적용하는 것이 지속적으로 필요함

그림 1 | 스마트시티의 발전 과정



자료 : 저자 작성

2. 국토분야 CPS 적용 시나리오

1) 시나리오 1. 국토진단과 정책방안 도출을 위한 CPS 적용방안

□ 국토지표는 국토 정책 수립의 기본 자료로 활용하기 위해 인구사회, 토지주택, 경제일자리, 생활복지, 기반시설, 환경방재 등의 주제에 대한 데이터를 수집·가공하여 구축되는 지표임

- 국토지표를 통해 국토 계획과 국토조사, 평가 등에 필요한 정보를 얻을 수 있음
- 국토지표를 활용하여 국토의 현 상태를 진단하고 이에 맞는 정책을 도출하기 위하여 국토지표에 대해 CPS를 응용 가능

표 1 | 현행 국토지표 현황

분류	지표 명
인구와 사회	총인구, 인구밀도, 남자인구, 여자인구, 유소년인구, 생산가능인구, 고령인구, 고령인구 비율, 노령화지수, 총부양비 등 24개
토지와 주택	행정구역별 면적, 도시화율, 도서수, 도시지역 면적, 관리지역 면적, 농림지역 면적, 자연환경보전지역 면적, 자연환경보전지역 비율, 경관지구 면적, 미관지구 면적, 고도지구 면적, 방화지구 면적, 방재지구 면적, 시설보호지구 면적, 취락지구 면적, 개발진흥지구 면적, 특정용도제한지구 면적, 보존지구 면적, 주거지역 면적, 상업지역 면적, 공업지역 면적, 녹지지역 면적 등 71개
경제와 일자리	농가수, 농가인구, 가구당 농가인구, 어가수, 어가인구, 가구당 어가인구, 실업률, 고용률, 취업자수, 주력기간산업 특화도지수*, 지식기반서비스업 특화도지수*, 지식기반제조업 특화도지수*, 지식기반산업 비율* 등 26개
생활과 복지	1인당 도시공원면적, 천명당 의사수, 천명당 병상수, 종합병원수, 체육시설수, 만명당 사회복지시설수, 만명당 노인복지시설수, 직장보육시설수, 국공립보육시설수, 장애인복지시설수, 문화기반시설수, 공공도서관수, 전통시장점포수, 기업형유통업체수, 사설학원수 총 15개
기반시설	인구당 도로연장, 차량당 도로연장, 고속국도연장, 국도 연장, 지방도 연장, 도로포장비율, 주차공간 확보율, 철도 연장, 철도 복선화율, 항공여객수, 항공화물량, 항만별 물동량, 항만별 컨테이너물동량, 물류단지 면적, 이동통신서비스 관련 기반시설수, 상수도보급률, 하수도보급률 총 17개
환경과 방재	강수량, 연평균기온, 하천수질오염도(BOD), 하천수질오염도(COD), 하천수질오염도(DO), 하천수질오염도(PH), 하천수질오염도(SS), 대기오염도(SO2), 대기오염도(PM-10), 대기오염도(NO2), 오존주의보 발령일수 등 27개

출처: 임은선 외, 2015, 국민공감 정책지원을 위한 국토지표 프레임워크 설계 및 활용 전략 연구, p.35에서 재구성

□ **현행 국토지표는 후행지표로서 지표를 활용할 경우 사후 대처의 성격을 가질 수밖에 없으나, 국토지표에 있어서 CPS를 통해 선행적 대처가 가능한 지표의 구축이 가능**

- 여러 국토지표 중 CPS의 구축을 통해 선제적 대응과 더 나은 서비스의 제공을 가능하게 하는 지표가 있을 것이며, 그것이 필요하지 않은 지표도 존재할 것
- CPS를 통해 선제적 대응과 서비스 품질의 제고가 가능한 국토지표를 선별하여 CPS를 구축한다면, 국민 삶의 질 향상을 위한 국토지표의 기능을 충족할 수 있음

□ **CPS의 적용을 통해 국토지표의 실시간 업데이트와 현실세계의 피드백으로 서비스 품질 개선이 가능한 국토지표의 선정**

- 현행 국토지표 중 대기오염 지표는 어느 정도의 실시간성을 가지고 측정되고 있으며, 어플리케이션, 문자알림 서비스 등 여러 가지 형태로 국민 생활에 도움이 될 수 있도록 제공 중임
- 대기오염 지표는 이산화황(SO2), 이산화질소(NO2) 수준, 미세먼지(PM-10) 정도 등이 있으며, 현재 이러한 대기정보를 통합한 통합대기질수 정보도 제공
- 하지만 현재 제공 중인 대기오염 지표는 많지 않은 수의 기상청 측정소 관측자료에 의존하고 있으며, 이에 따른 실제 공간 위치의 정확성은 떨어지는 상황임
- 대기오염 지표는 국토지표 중에서도 실시간성과 공간적 적용성이 높은 지표이며, 그러므로 CPS를 구축할 시에 가장 서비스 측면에서 효율적인 개선을 보일 것으로 예상됨
- 그러므로 대기오염 지표의 수집 및 국민 안전 활용에 대한 CPS를 사례로 적용하고자 함

그림 2 | 대기오염 지표 대국민서비스 현황



출처 : <좌: 문자알림 서비스> <우: 대기오염 정보 어플리케이션> 화면캡처

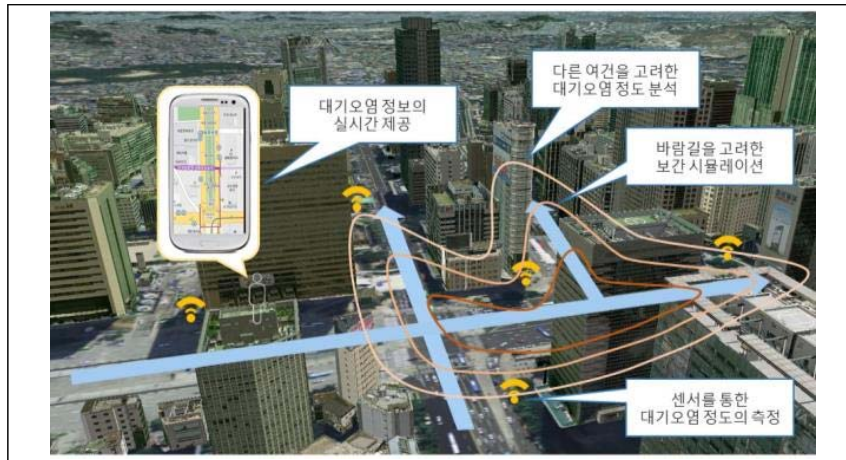
□ 대기오염도 지표의 CPS는 현실 세계에서의 데이터 수집을 위한 센서, 대기 상태의 시뮬레이션을 위한 3차원의 가상공간, 분석 데이터의 서비스를 위한 모듈 등을 필요로 함

- 대기오염도 지표의 실시간 구축을 위해서는 먼저 현실 세계에서의 대기오염을 감지할 수 있는 센서를 조밀하게 설치
- 이렇게 측정된 데이터와 함께 사이버 공간에서 시뮬레이션이 가능한 바람길 등의 정보를 결합하여 센서 사이의 대기오염 정보를 보간하고 전역적인 대기오염 지표를 구축
- 분석 결과를 바탕으로 소지역 단위의 대기오염 주의 발령, 지역의 통제나 대처를 가능하게 하는 서비스의 제공이 가능

□ CPS를 기반으로 한 대기오염도 국토지표는 현재의 후행적 정보제공에서 벗어나 적극적으로 대응하고자 하는 시스템임

- 현재 국민안전처는 각종 재난상황에 대해 문자알림 서비스를 실시하고 있으며, 미세먼지 등 대기오염 정도 역시 알림 서비스의 대상임
- 하지만 광범위한 지역 단위를 대상으로 하는 문자알림 서비스는 국민들에게 정확한 공간적 범위에 대한 대기오염 정보를 제공하기에는 역부족이며, 실시간적인 변동 상황의 반영 역시 어려움
- CPS를 기반으로 측정 센서 위치의 대기오염 정보 수집뿐만 아니라 전체적 공간 상의 바람길, 온습도 정보 등 부가 정보에 대한 빅데이터 분석을 통해 더 정확한 위치기반 대기오염 정보를 제공하는 것이 가능
- 특히 대기오염도에 민감한 도심 지역에 대한 센서를 구축하여 대기오염 정도의 세밀한 측정이 필요하며, 이를 바탕으로 비정상적으로 오염 정도가 높을 경우에 실시간 경보 발령이 가능
- 이를 통해 단순한 문자알림 서비스를 넘어서, 국민들에게 소지역 단위의 대기오염 지도를 실시간으로 제공하고, 국민들의 야외 행동에 대한 참고데이터로서 기능할 것
- 또한, 보행자의 현재 위치기반 정보를 파악하여 실시간 대기오염 정보를 받아 대응할 수 있는 체계를 구성하는 것이 가능

그림 3 | 대기 오염 지표의 CPS 기능



자료 : 저자 작성

2) 시나리오 2. 국토 관련 문제해결을 위한 CPS 적용방안 -건설관리 분야

□ 건설관리(Construction Management, CM)란 기획, 설계, 시공 및 유지관리까지 전 단계에 걸친 종합적이고 체계적인 관리체계를 말함

- 건설관리는 사업기간 단축, 사업비절감, 고품질 및 안전 확보 등을 통해 사업성과를 최대화 하는 것을 목적으로 함
- 건설공사에 관한 기획·타당성조사·분석·설계·조달·계약·시공관리·감리·평가·사후관리 등에 관한 관리를 수행하는 업무영역으로 정의됨⁴⁾
- 건설관리 분야는 건설산업 전생애주기에 관여되어 있으며, 각 생애주기 단계별로 목적하고자 하는 바를 달성하기 위해 다양한 관리기법들이 개발

□ 건설사업에서는 기획에서 사후평가까지 여러 단계를 거쳐 목적 구조물을 구축하고 관리하므로 각 단계에 따라 발생하는 주요 문제의 성격도 상이

- 계획단계 : 사업비 및 개발일정의 불확실성 감소 필요
- 설계 및 공정관리 단계 : 높은 재설계/재시공 비용으로 인한 재설계 및 재시공 발생 비율의 저

4) 건설산업기본법 제2조 8호

감 필요

- 구매단계 : 잦은 계획변경으로 인한 자재관리의 어려움 해소 필요
- 시공단계 : (안전관리) 전체 산업에서도 높은 안전사고율을 보이므로 안전사고를 줄이기 위한 노력 필요
- 시공단계 : (생산성 증가 한계) 가격경쟁력을 통해 해외수주액이 증가한 반면 수익률은 악화되었으며, 이는 낮은 노동생산성에 기인하므로 생산성 향상을 위한 노력이 필요
- 시설물 유지관리 단계 : (시설물 노후화) 특히 SOC 시설의 경우, 짧은 기간 동안 급격하게 구축되어 2020년 이후 급격한 노후화 비용이 예상됨
- 건설생애주기 전단계 : (생애주기 정보공유 단절현상 발생) 프로젝트의 대형화/복잡화로 인해 정보의 미공유로 인한 비효율성 감소 필요

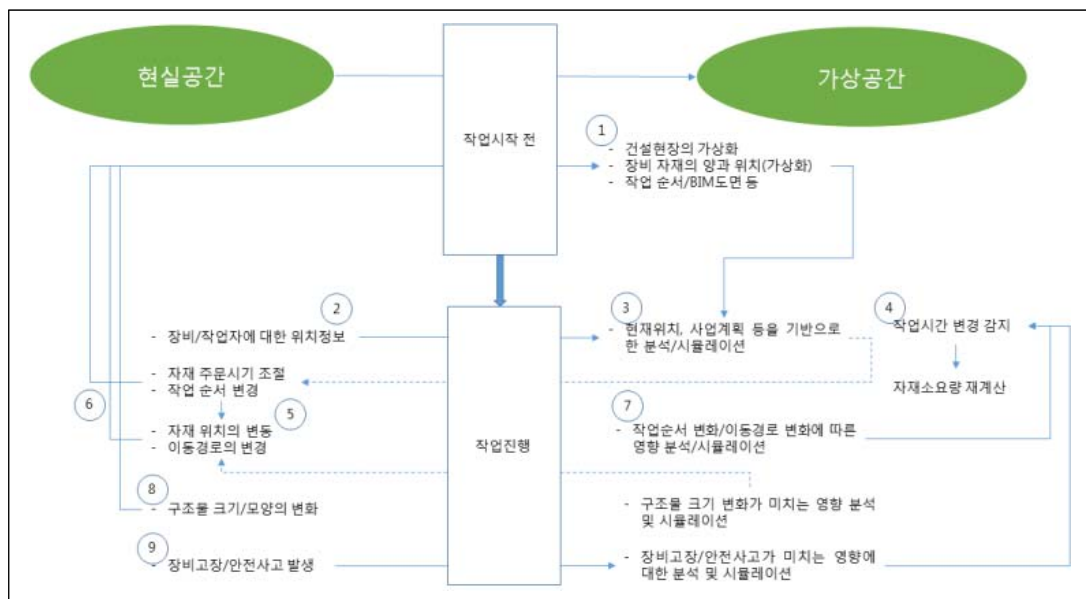
□ 건설관리 분야의 주요 문제 중 시공단계의 생산성 증가 한계를 극복하기 위하여 CPS를 적용한다면 다음과 같은 접근이 가능함

- (문제의 정의) ① 시공현장에서는 잦은 계획 변경으로 인해 자재관리의 비효율성이 발생 → 자재관리의 비효율성은 공사지연 및 원가 상승문제를 유발, ② 적재적소에 필요한 장비를 활용하지 못함 → 장비간 협업이 주먹구구로 이루어지면서 생산성을 저하시킴
- (해결 방향) ① 자재 및 장비의 흐름 파악, ② 작업 진척도에 따른 선제적인 자재 및 장비의 준비, ③ 물리시스템 상에 자재 및 장비의 위치정보를 사이버시스템에 연계, ④ 공정진행에 따른 필요자재 및 장비에 대한 계획, ⑤ 장비 간의 협업을 위한 Task Planning 정보 공유 등
- (현실 데이터) 2D 설계도면, BIM 도면, 건설현장 계측정보, 건설현장 환경정보, 장비 및 작업자 위치정보, 안전사고방지 센싱정보, 사업계획서, 장비 이력정보, 장비 주요부위 센싱정보, 과거 장비고장 이력정보 등
- (현실 모델링 - 객체) ① 자재, ② 장비, ③ 작업자, ④ 현장 등
- (현실 모델링 - 객체간 관계) ① 자재는 구축되기 위하여 특정 장소에 산적, ② 장비는 정해진 경로를 통해 자재의 위치로 이동, 정해진 경로를 통해 자재를 특정 위치로 이동, ④ 작업자와 장비는 자재를 이용하여 구조물을 건설, ⑤ 장비는 고장이 날 수 있음(단, 장비의 고장을 관리할 수 있는 CPS가 구축되었다고 가정), ⑥ 안전사고가 발생하면 작업이 중지됨, ⑦ 장비의 이동속도, 현장의 구조 등은 사전에 파악이 되며 이를 통해 장비의 이동속도 및 이동 경로 등을 모델링할 수 있음(해당 부분은 장비특성, 건설목적에 따라 더욱 구체화될 수 있음), ⑧ 각 작업에 소요되는 장비와 작업속도 등을 모델링 할 수 있음 등

- (데이터의 전달) ① 자재의 위치정보는 실시간성(짧은 주기 가능)으로 가상공간으로 전달되어야 함, ② 장비/작업자의 위치정보는 실시간으로 가상공간으로 전달되어야 함, ③ 장비의 주요부위 센싱정보는 실시간성으로 가상공간으로 전달되어야 함, ④ 구조물의 진척 정도는 준실시간성으로 가상공간으로 전달되어야 함, ⑤ 건설현장은 적절한 주기로 갱신되어야 함, ⑥ 2차원 설계도면, BIM 도면, 사업계획서, 장비이력/고장이력 등의 정보는 가상공간에 전달되어 있어야 하며 변경정보 등이 관리되어야 함, ⑦ 전달되는 정보는 무선을 통해 이루어져야 하며, 데이터의 왜곡이나 손실이 없어야 함
- (가상화/가상모델링-구현) ① 작업시작 시점에서 건설현장과 동일한 수준의 가상화가 이루어져야 함(단, 실사수준일 필요는 없으나 건설현장의 높낮이, 건설현장의 구조, 건설현장 장애물의 모양 및 위치 등을 동일하게 표현할 수 있어야 함), ② 자재, 장비, 구조물, 작업자의 모양 및 위치가 동일하게 표현되어야 함(디지털 트윈의 수준 보다는 대상물을 담는 박스 형태로 존재해도 가능), ③ 구축 수준은 개별 자재, 개별 장비, 개별 작업자, 구조물 등이 각각 3차원 객체화되어 구축되어 이동 및 재배치가 가능해야 함, ④ 장비에 대한 디지털트윈(단, 이는 장비 고장을 관리할 수 있는 CPS가 있다면, 단순한 하나의 객체로 인식할 수 있음), ⑤ 구축의 정확도는 cm 수준의 오차범위 안으로 들어와야 함
- (가상화/가상모델링-분석 및 시뮬레이션) ① 각 장비들이 각각의 목적을 수행하기 위해 스케줄링 된 작업 순서에 따라 이동 및 작업을 수행하며 작업순서의 변화/이동경로의 변화에 따른 영향을 분석 및 시뮬레이션 할 수 있어야 함, ② BOM(자재소요명세서) 수준에서 각 작업별 소요 자재에 대한 필요량 및 각 자재의 위치, 외부 조달시간, 최대 적재량, 자재 위치에서 구조물 위치까지의 거리 등을 토대로, 특정작업시점에서의 잔여 자재량 또는 작업순서에 따른 자재량의 변동 등을 분석 및 시뮬레이션 할 수 있어야 함, ③ 장비의 고장, 장비의 교체, 안전사고 등과 같은 이벤트가 발생함으로써 생기는 작업시간의 지연, 자재소진 시간의 변화 등에 대한 분석 및 시뮬레이션을 할 수 있어야 함, ④ 작업의 진행, 건설현장의 환경적 요인 등에 의한 건설현장의 변화를 분석 및 시뮬레이션 가능해야 함, ⑤ 건설현장의 변화에 따라 발생하는 장비의 이동경로 변화, 자재의 위치 변화, 위험도 변화 등 분석 및 시뮬레이션 해야 함
- (의사결정-자율제어) ① 작업시간이 지연/단축됨에 따라 계획과의 오차가 발생할 것으로 예측되므로 자재의 조달 기간을 늘릴지/줄일지 여부, ② 작업이 진행됨에 따라 구조물의 크기가 변화함으로써 작업자/장비의 이동경로를 수정할지 여부, ③ 장비의 고장/작업자의 안전사고 등으로 인해 작업이 정지될 경우, 어느 정도까지 일정에 영향을 줄지를 판단하고 자재조달 시간을 늘릴지 말지에 대한 여부, ④ 건설현장의 변화/잔여자재량의 변화/신규 조달 자재량에 따라 현재 시점의 자재 위치를 이동할지의 여부 등
- (적용 과정) 다음과 같이 현실공간과 가상공간은 상호 연계되어야 함

- ① 작업시작 전 건설현장에 대한 가상화 및 장비 자재의 양과 위치가 가상화 되어야 하며 작업순서/BIM도면 등이 가상공간에 준비되어야 함,
- ② 작업이 진행되면, 장비/작업자에 대한 위치정보가 지속적으로 가상공간으로 제공되어야 함
- ③ 전달된 현재의 위치와 작업시작전 가상화된 내용을 토대로 분석 및 시뮬레이션을 수행
- ④ 작업시간의 변화 여부를 탐지, 작업시간 변화가 예상되면 자재소요량을 재계산하여 이를 현실공간으로 전달
- ⑤ 현실공간에서는 자재주문시기를 조절하고, 작업순서를 변경하며 이는 현실공간에서 자재 위치의 이동이나 장비/작업자 이동경로의 변경을 유발함
- ⑥ 변경된 정보는 다시 가상공간으로 전달되어 ①을 변경시키며 이 후 다시 ②부터 지속적으로 반복
- ⑦ ①의 변경에 따른 영향을 분석 및 시뮬레이션 하여 ④를 재계산 후 반복함,
- ⑧ 작업이 진행됨에 따라 구조물의 크기와 모양이 변화하며 이는 가상공간으로 전달되어 ①을 변화시킴과 동시에 가상공간에서는 구조물의 크기와 변화가 미치는 영향을 분석 및 시뮬레이션 하여 다시 ⑤를 변화시킴,
- ⑨ 갑작스러운 장비의 고장이나 안전사고의 발생은 장비고장 및 안전사고 발생에 따른 분석 및 시뮬레이션을 거쳐 ④로 다시 진행됨

그림 4 | 현실공간과 가상공간의 연계



자료 : 저자 작성

3) 시나리오 3. 국토 관련 시스템 통합 시너지 확산을 위한 CPS 적용방안

□ 시스템 통합 관점의 CPS는 국토분야에 산재해 있는 많은 시스템과 서비스들을 체계적으로 연계하고 클러스터화하여 시스템 및 서비스의 규모의 경제를 추구하는 관점의 시나리오임

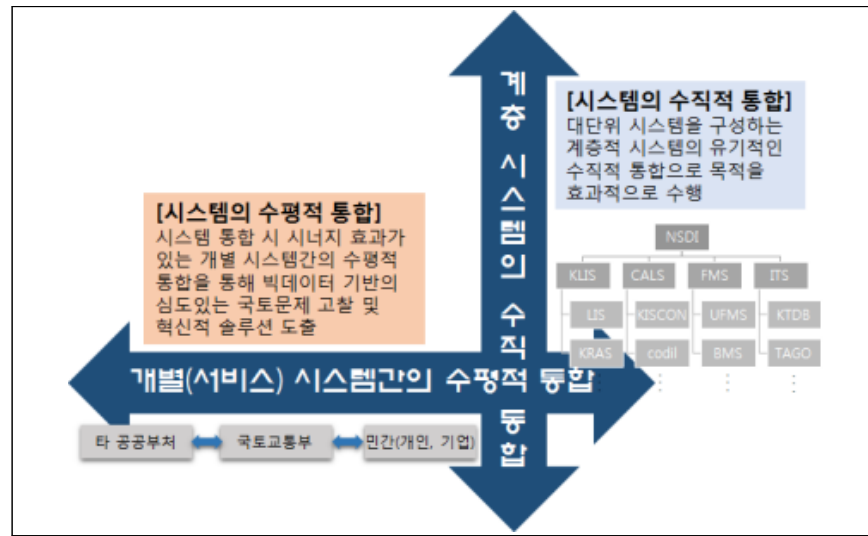
- CPS는 System of System(SoS)이며 기존에 없었던 새로운 시스템을 구축할 수도 있지만 이미 구축되어 활용되고 있는 시스템들을 이용하여 상호운영성(Interoperability) 확보를 통한 수직·수평적 통합으로 시너지 확대
- 계층 시스템의 수직적 통합은 단일 목표를 가지는(예: 국가공간정보통합체계(NSDI)) 시스템과 하위 시스템(예: 토지정보시스템, 일사편리 등)과의 체계적 통합을 통하여 고품질 서비스를 제공할 수 있는 통합을 의미함
- 시스템의 수평적 통합은 다양한 목표를 가지는 시스템(예: 기상예보시스템(공공), 네비게이션시스템(민간) 등)을 유기적으로 연계하여 종합적인 서비스를 제공할 수 있는 시스템 통합을 의미함

□ 국토분야에는 100여개의 시스템이 존재하며 시스템 구축 목적 및 서비스에 따라 시스템 통합을 통한 클러스터를 구성하여 고품질 서비스 제공이 가능함⁵⁾

- 각각의 시스템은 서로 다른 목적을 가지고 구축되었으며 고유의 서비스를 제공하고 있으나 공통된 기능 및 데이터가 있으며 체계적인 계층적 통합을 통한 액션 클러스터를 구성함으로써 고품질 서비스 제공이 가능

5) 국토교통부 2015년 EA(Enterprise Architecture)조사결과를 토대로 계수한 수치임

그림 5 | CPS 기반의 국토관련 시스템 통합을 위한 개념



자료 : 저자 작성

- 국토분야에는 시설물, 교통, 토지, 주택 등 다양한 서비스를 목적으로 하는 CPS가 있을 수 있으며 본 시나리오에서는 교통안전과 관련한 내용을 통해 시스템 통합 시너지 확산을 위한 CPS 적용방안을 살펴보고자 함
- 교통안전 분야는 ITS와 관련한 인프라가 잘 마련되어 있어 CPS 적용이 상대적으로 용이하며 국민 생명과 안전에 직접적 영향을 미치는 분야로 적용의 가능성과 시급성이 높은 분야임
 - 교통안전 분야도 다양한 서비스가 존재하므로 본 시나리오에서는 ‘도로결빙에 따른 사고 방지를 위한 CPS’로 범위를 한정하여 적용방안을 고찰함

그림 6 | 도로결빙에 따른 사고방지를 위한 CPS 및 구성 시스템

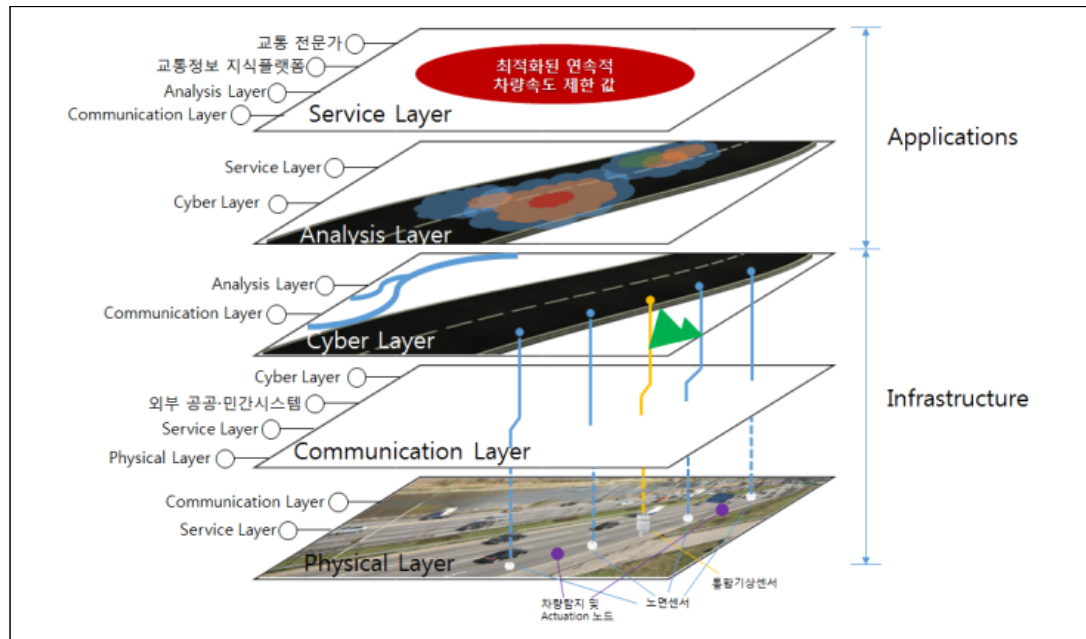


자료 : 저자 작성

□ 도로결빙에 따른 사고방지를 위한 CPS의 계층(Layer)은 인프라 부분인 Physical Layer, Communication Layer, Cyber Layer와 어플리케이션 부분인 Analysis Layer, Service Layer로 구성됨

- Physical Layer는 실제 도로에 설치된 센서에 의해 데이터를 계측하고 Service Layer의 최종 결과물을 현실에 반영하는 구성요소임
- Communication Layer는 계측된 데이터를 Cyber Layer에 전달하는 IoT부분과 외부의 타 시스템과 상호 연결하는 네트워크로 구성되어 있으며 결빙구간의 있을 경우 정확한 분석 전에 응급상황을 Service Layer로 전송함
- Cyber Layer는 Physical Layer의 디지털 트윈으로 IoT와 타 시스템으로부터 수집한 데이터를 Cyber world에 매칭 함으로써 현실세계와 같은 환경을 구축할 수 있고 이를 기반으로 분석, 실험, 수정보완을 수행
- Analysis Layer는 빅데이터 기반의 분석을 담당하는 계층으로서 머신러닝, 인공지능 등을 적용한 분석을 수행하는 구성요소임
- Service Layer는 분석결과를 기반으로 교통전문가 의사결정지원, 교통정보 지식플랫폼을 이용한 응급상황 대처 등을 수행하는 구성요소임

그림 7 | 도로결빙에 따른 사고방지를 위한 CPS 계층 및 기능



자료 : 저자 작성

□ CPS 기반의 도로결빙 시스템은 다양한 정보 제공이 목적이 되기보다는 액션(action)을 취할 수 있는 최적화된 값을 제공해 주는 시스템임

- 도로결빙에 의한 정보를 제공하는 시스템은 돌발상황 감지시스템에서 서비스하고 있으나 스마트폰 내비게이션 서비스를 통한 상황정보 제공임
- 상황정보 제공은 정보를 미리 알려줌으로써 사고를 회피하고자 하는 노력인데 상황정보를 인지한 사람의 지각능력이나 판단력의 차이가 존재하기 때문에 사고의 위험은 항상 존재함
- 또한 기존의 상황정보는 국지적으로 일반화된 정보이므로 지형, 기상조건 등에 의해 나타날 수 있는 소규모지만 사고에 영향을 줄 수 있는 특이점에 대한 정보제공이 불가능 하고 이는 정보에 대한 신뢰성을 저하시킴
- CPS를 기반으로 하면 상황정보 제공에서 한단계 더 나아가 Cyber World 기반의 빅데이터 분석을 통해 제한속도를 제시해 줌으로써 사고발생을 줄일 수 있고, 네비게이션과 연동하게 되면 과속에 대한 기준으로 사용 가능함
- 이러한 형태의 도로환경에 따른 최고속도를 제한할 수 있는 CPS 기반의 제어시스템은 향후 자율주행자동차 도입시에도 활용성이 높을 것으로 판단됨

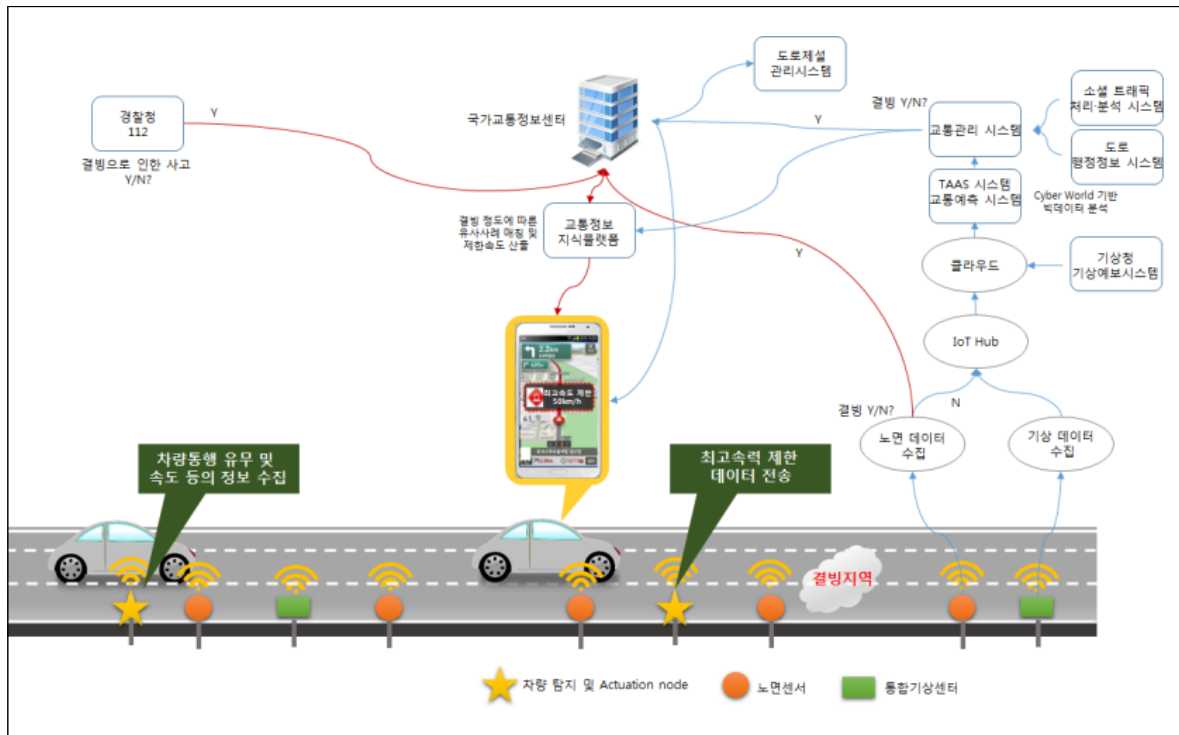
□ 도로결빙에 따른 사고방지를 위한 CPS는 새로운 시스템 구축보다는 기존 교통시스템간 및 교통연관 시스템간의 체계적인 통합에 초점이 맞추어져 있기 때문에 서비스의 질은 높이고 비용은 줄일 수 있는 정책방안 마련에 있어 효과적인 방법임

- 이러한 시스템 통합 관점의 CPS는 기존 교통시스템 및 교통연관 시스템과의 상호연결성을 확보하고 고품질 서비스를 위한 교통 액션 클러스터를 구성하여 서비스의 규모의 경제를 추구할 수 있음
- 다만, 데이터 계측 센서 및 네트워크 통신, 현실제어를 위한 Actuator에 대한 투자, Cyber Layer 구축과 같은 인프라에 대한 투자와 빅데이터, 인공지능과 같은 알고리즘 및 소프트웨어에 대한 투자는 필요함

□ 도로결빙에 따른 사고방지를 위한 CPS는 실시간, 현실국토 기반의 분석이 가능하므로 정책의 효과를 테스트할 수 있는 실험의 장으로서의 역할이 가능하기 때문에 실효성 높은 정책마련이 가능함

- 도로결빙에 따른 사고 방지를 위한 기술개발 및 적용, 관련 법·제도 수정 및 보완에 있어 처음부터 현실을 대상으로 한 실험은 사고의 위험이 있기 때문에 추진의 한계가 있음
- 그러나 실제 국토와 디지털 트윈인 Cyber World(3D)를 대상으로 실험을 하게 되면 안전, 비용, 시간 등에 있어 효과적이며 반복적 실험을 통한 최적의 정책마련이 가능함

그림 8 | 도로결빙에 따른 사고방지를 위한 CPS 기능



자료 : 저자 작성

3. 국토분야 CPS 적용과 공간정보의 관계

□ 그간 공간정보는 국토분야의 다양한 문제를 해결하기 위해 현실과 가까운 가상공간을 구축하고, 이를 토대로 목적에 부합할 수 있는 분석을 수행해 왔음

- 종이지도 중심의 공간정보가, 수치지도로 전환하면서 다양한 관점, 다양한 방식의 분석을 위한 기반을 마련
- 수치지도와 더불어 GIS의 도입 및 적용은 과학적 국토관리의 초석을 다짐

□ 구글어스의 등장, 위치정보서비스의 확대, 스마트폰 중심의 앱의 다양화 등은 수치지도를 넘어 더욱 다양한 유형의 공간정보를 요구하게 됨

- 내비게이션은 기존 나침반과 지도가 해주던 길안내의 역할을 전자지도와 GPS를 기반으로 전환으로써 누구나 쉽게 쓸 수 있는 토대를 마련
- 구글(Google)은 2005년 위성사진을 기반으로 기존의 수치화된 지도를 벗어나 영상의 개념을 지도에 도입함으로써 현실감을 강화함
- 2016년 출시된 포켓몬고(Pokémon GO)는 증강현실을 기반으로 대중적 인기를 유발한 게임으로서 공간정보가 더 이상 단순 지도로서의 역할이 아닌 실생활 여기저기에 필수적으로 사용될 수밖에 없는 상황을 간접적으로 보여줌

□ 정부와 공간정보시장은 이러한 환경변화에 대응하기 위하여 지속적인 노력을 수행해 왔음

- 이러한 환경변화에 대응하기 위하여 정부 및 공간정보시장은 국가기본공간정보 구축, 국가공간정보통합관리체계 구축, 공간정보오픈플랫폼의 개발 운영, 3차원 공간정보 구축, 실내외/지하공간정보 구축 등 다양한 노력을 수행해 왔음
- 또한 최근엔 자율차, 드론 등 새로운 기술들의 등장에 따라 정밀도로지도 구축, 고정밀 측위 기술 개발 등 다각화되고 세밀한 공간정보의 구축을 추진

□ 그러나 4차산업혁명에 대응하기 위해서는 그간의 노력뿐 아니라 미래를 대비하는 보다 도전적인 시도가 필요

- 공간정보를 안정적으로 구축/운영하는데 걸리는 시간보다 타 기술의 성장속도가 현저하게 빠르기 때문에 현재 수준에서 가능한 공간정보의 구축만으로는 타분야 신기술의 적용을 따라잡기 어려움
- 기존 공간정보 업계가 아닌 타 분야에서도 자기들이 필요로 하는 수준의 공간정보를 직접 구축하는 사례 발생(예-자율자동차 업계, 샤오미 로봇청소기, 네이버 M1과 같은 SLAM 기술의 적용 등)
- 이러한 분위기를 보면, 공간정보 부문에서도 기존의 방식과 형태가 아닌 새롭고 도전적인 움직임이 필요
- CPS가 기술이 종합되고 미래 지향적이라는 점을 고려한다면 공간정보 분야에서도 CPS의 도입에 대한 시도가 필요

□ 현실공간과 가상공간의 연결을 미래의 주요한 방향으로 인식되며 이 중, 가상공간의 구축을 책임지는 것은 공간정보의 몫임

- 국토분야 CPS 적용은 곧, 공간정보 분야에서 가상공간을 어떠한 방식으로 구축/제공할 수 있느냐에 따라 판가름이 난다고 볼 수 있으므로, 공간정보 분야 역시 CPS 적용에 대비할 수 있는 방안에 대한 도전적 시도가 필요
- 이를 위해서는 정밀도/최신성 중심의 접근이나, 전국 확산을 통한 공간정보의 연결성 등을 고려하기 보다는 목적 지향적으로 문제에 적합한 수준의 정밀도와 최신성을, 문제에 적합한 공간을 대상으로 한 공간정보의 구축이 필요
- 특히, 기존의 객체 단위를 보다 쪼개어 인식할 수 있는 최소 수준의 객체를 중심으로 현실과 최대한 근접한 속성을 부여하는 방안 등을 고려해야 함
- 이러한 목적을 달성할 수 있는 공간정보의 구축을 위해서는 예산과 시간이 소요될 것이므로, 이를 위해 단계적으로 대상 공간 범위의 조정을 통해 접근하여 효용성을 부각시킬 필요가 있음