



올프램 언어를 이용한 스마트유압 천공기 개발

2023. 11.10. (금)

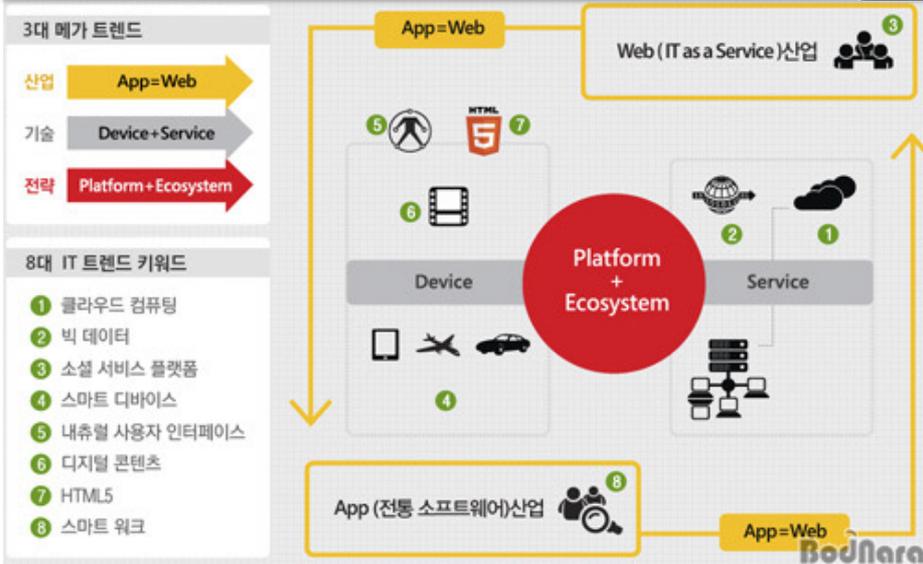
한국생산기술연구원/(주) 거비메타
신대영 수석연구원/대표



세계 트렌드

Mega Trend

'2012 IT 트렌드 한국마이크로소프트



'2016 세계경제포럼

“ 모든 것이 연결되고 보다 지능적인 사회로의 진화 ”

- 다보스 포럼, 2016 -



- (독일) 2010년 [Industry 4.0](#)
- (유럽) 2014년 [Horizon Europe](#)
- (미국) 2011년
 - [Advanced Manufacturing Partnership 2.0](#),
 - [Cyber-Physical System](#),
 - [Digital Transformation](#),
 - [4th Industrial Revolution](#)
- (일본) 2015년 재흥전략, [Society 5.0](#)
- (중국) 2014년 [Made in China 2025](#)(중국 제조 2025)

- 빅 데이터(Big Data Statistical [Analysis](#))
- 인공지능(Artificial Intelligence, AI)
- 로봇공학(Robot Engineering)
- 양자암호
- 사물 인터넷 (Internet of Thing, IoT)
- 무인 운송 수단: 무인항공기, 무인자동차 외
- 3D 프린팅(3D printing)
- 연결 및 표시 기술(IoT)
- 첨단헬스케어



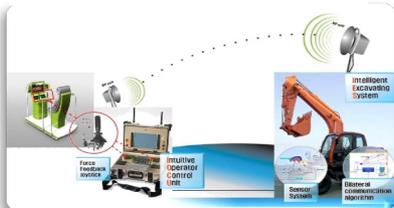
건설기계 기술동향

기술트렌드

친인간 지능형 기술, 친환경 기술, 극한작업용 고성능화 기술

- Autonomous machinery & robotics
- Machine connectivity & IIoT solution
- Fuel efficiency & low-or zero-emissions
- Improved ergonomics & operator comfort

지능형 원격시스템



무인 협업시스템

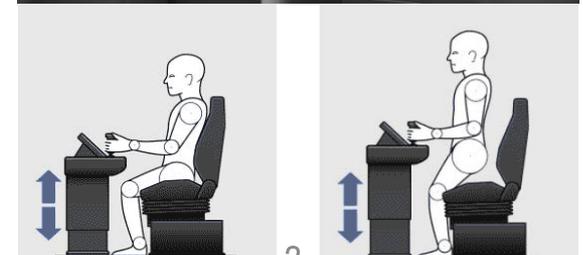


Connectivity Tech.



The Future of Onsite Safety: Introducing Samsung C&T's SEMSS

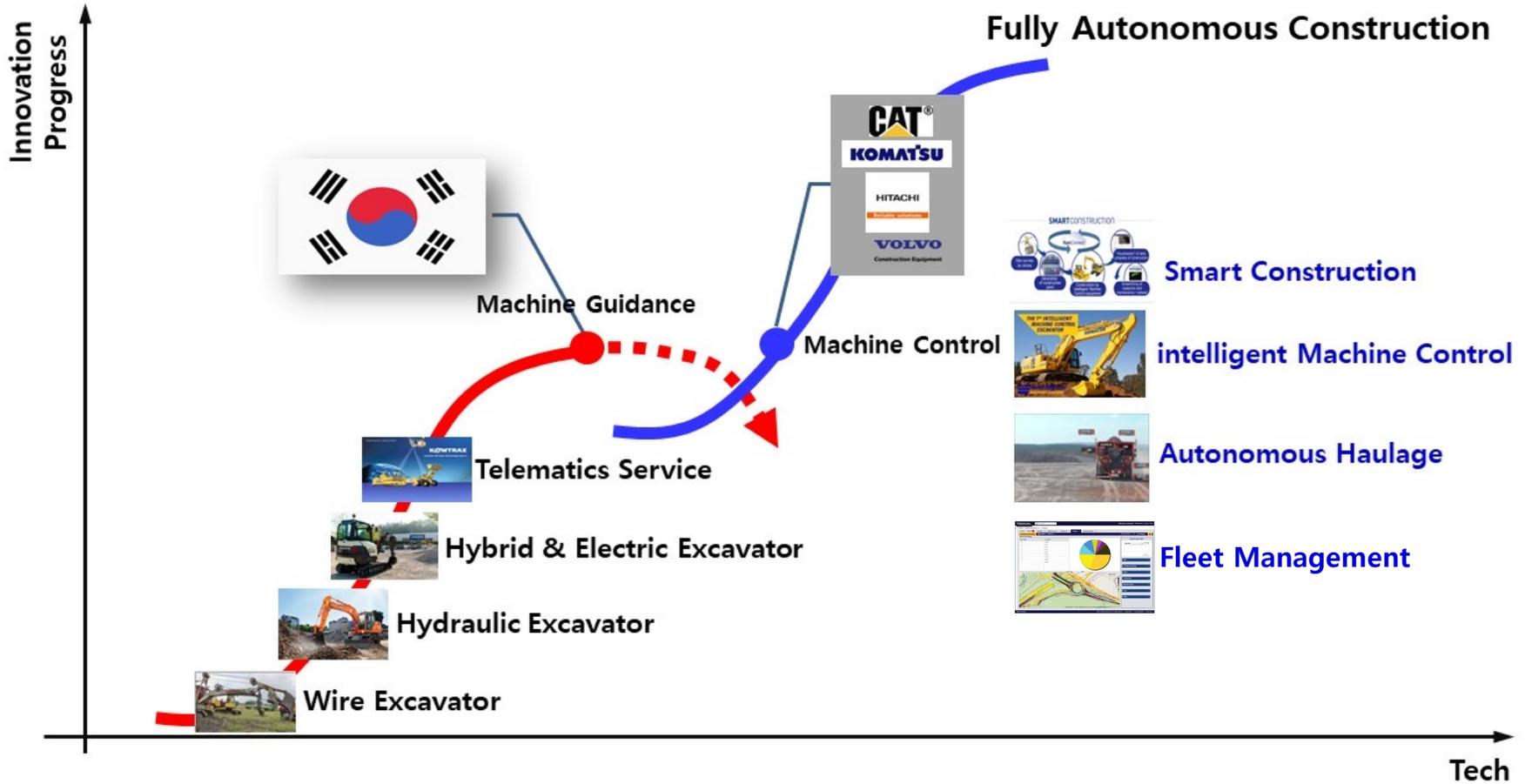
인체공학시스템



Sandvik DD422iS

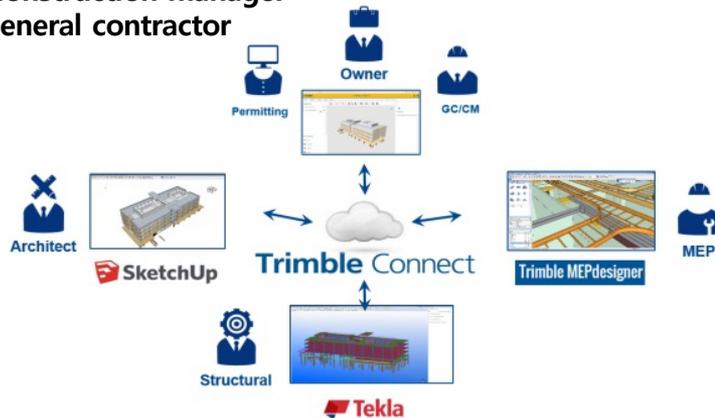


건설기계 기술동향



미래 건설현장

- MEP: Mechanical, electrical and Plumbing
- CM: Construction manager
- GC: General contractor

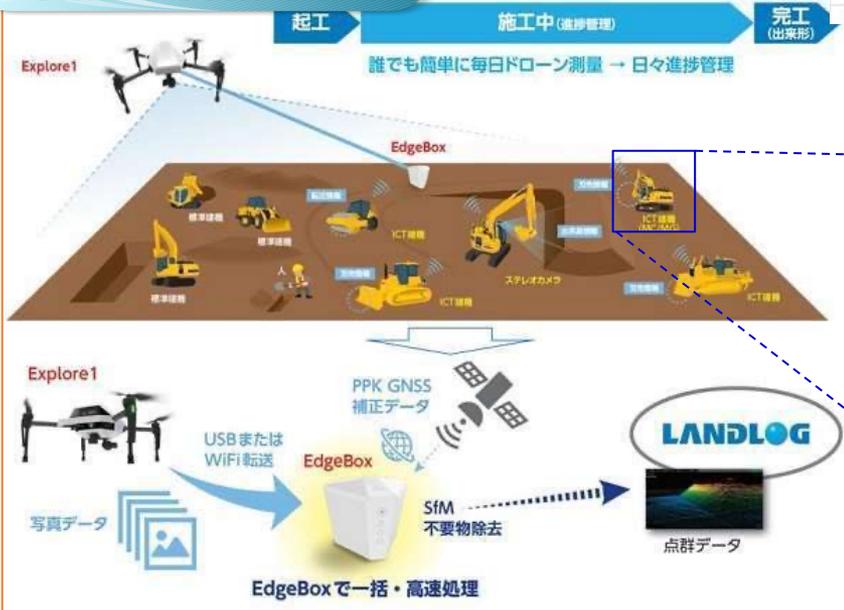


Fleet management

The screenshot shows the Trimble Fleet Management interface. At the top is a map of the Denver area with a red box highlighting a specific location. Below the map are two 'Assets Status' bar charts showing counts for Broken, In Repair, Lost/Stolen, and Operational assets. To the right is a pie chart titled 'Assets State' with three categories: In-Transit (16.12%), In-Warehouse (8.82%), and On-Site (79.06%). Further right is an 'Alerts' section showing 4 total alerts, including HSE Check for Assets, Service Due, Warranty Expiration, and HSE Check for Employee. At the bottom is a table of asset details.

Location Name	Asset Group Name	Scan Code	Manufacturer	Description	State	Responsible Employee
Westminster	1/2" Drills	10043578	Milwaukee	Sawzall	In Warehouse	Frank Bauer
Office Building	1/2" Drills	10043371	Milwaukee		On Site	John Hooper
Office Building	1/2" Drills	10043576	Milwaukee	1/2" 5.5 Amp Mag...	On Site	John Hooper
Office Building	1/2" Drills	10043605	Milwaukee	1/2" 8 Amp Magn...	On Site	John Hooper
Westminster	1/2" Drills	10043298	DEWALT	DRILLS 1/2"	In Warehouse	John Inman

Smart Construction



Machine Control





미래 건설현장: 경제성

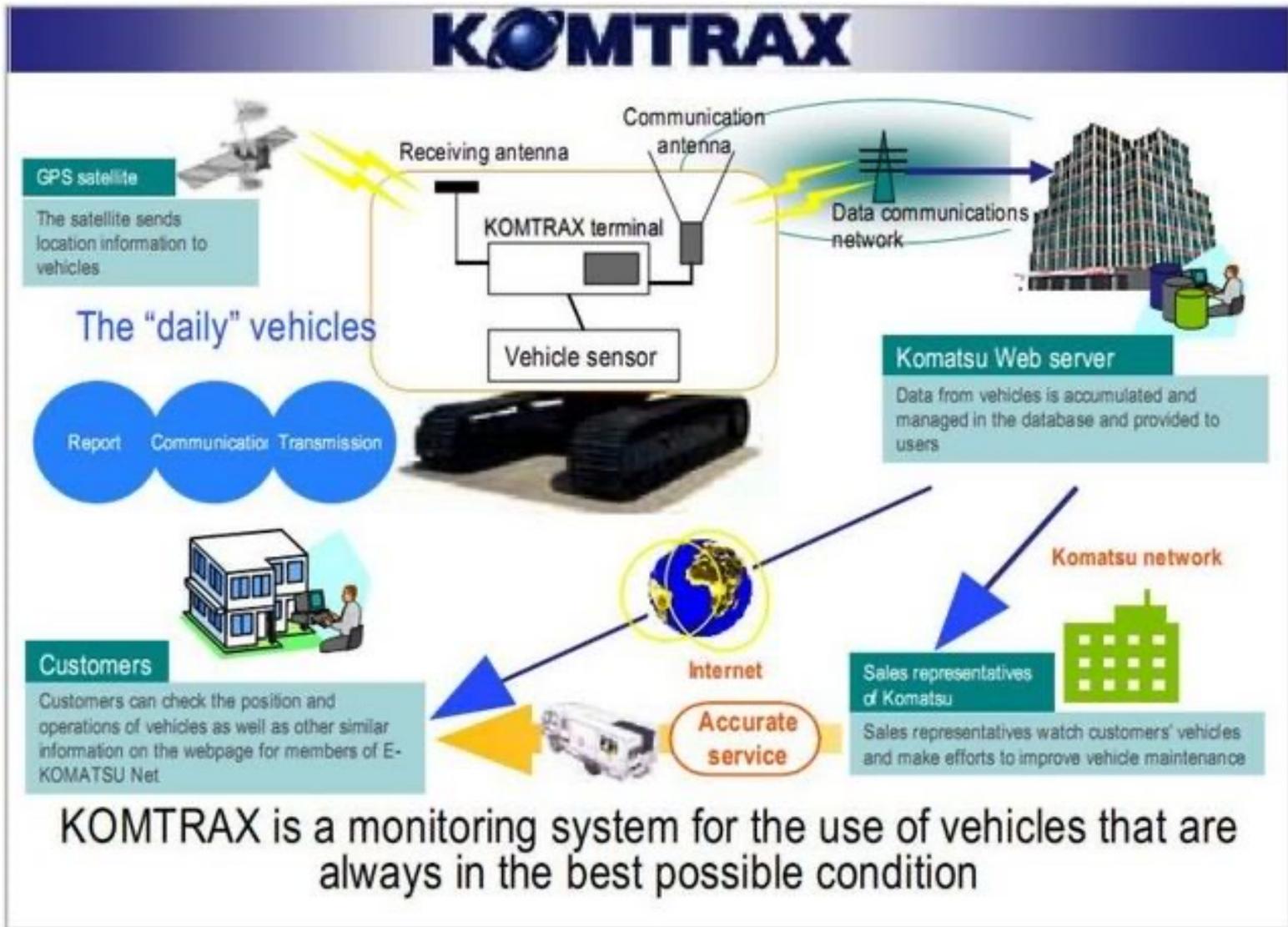
Work smarter, faster and more profitably with highly productive, integrated and innovative solutions for the complete job site to keep you on track throughout the project lifecycle.



Take the guesswork out of earthworks
construction.trimble.com

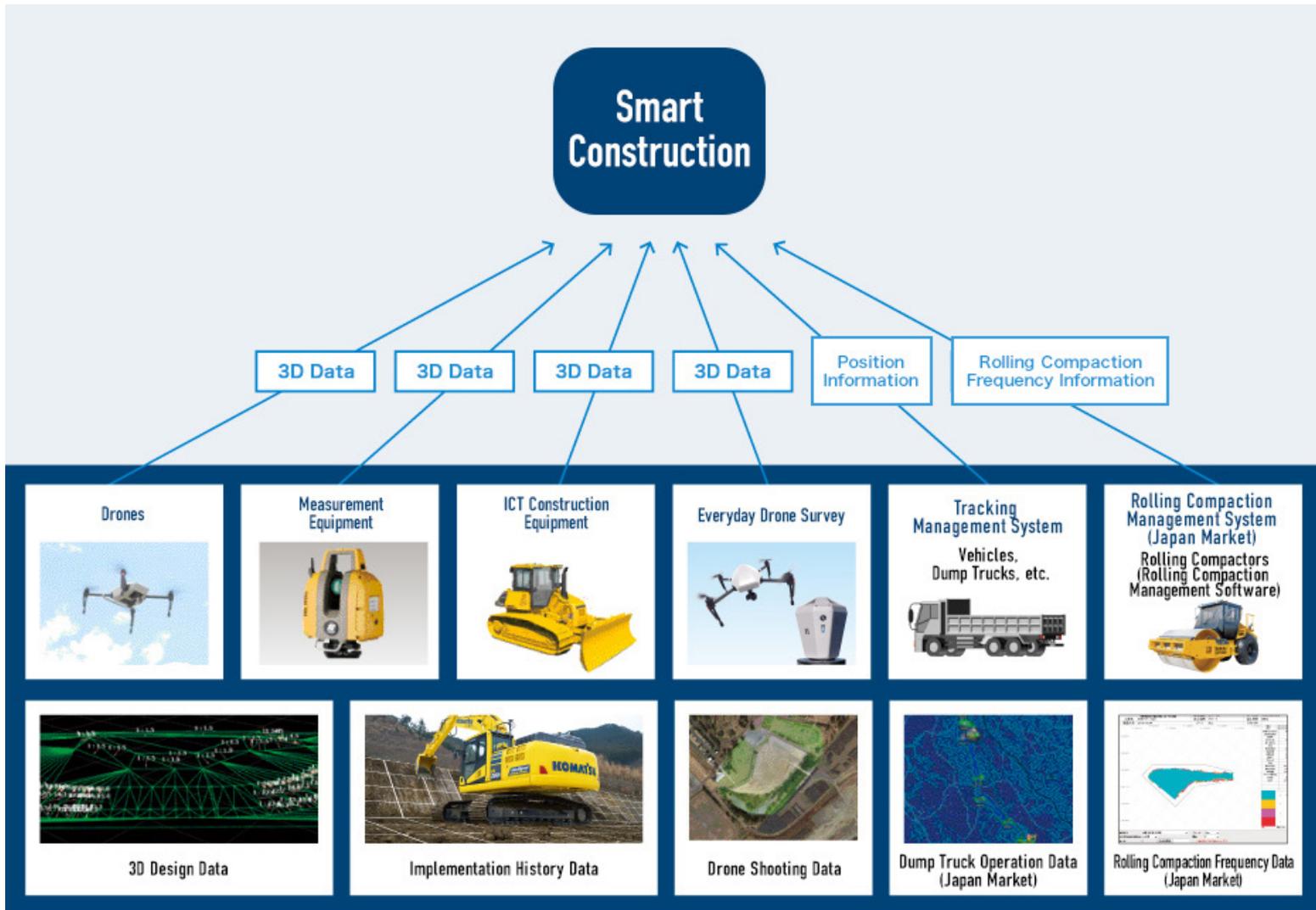


미래 건설현장: 제조





미래핵심기술: Smart Construction





미래핵심기술: MG 와 MC Load Map

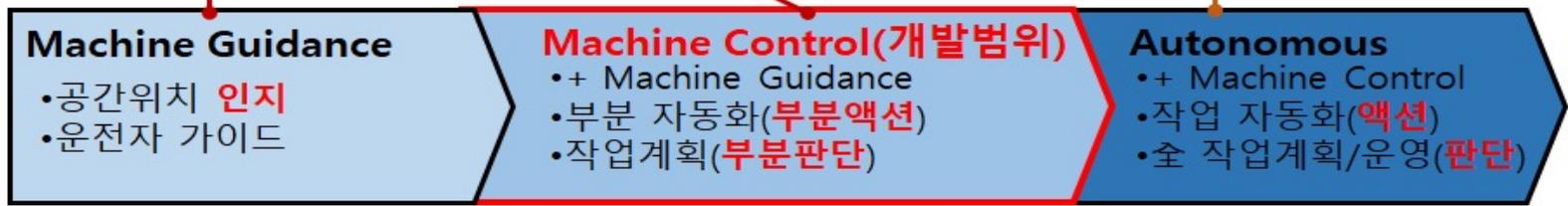


환경인지 및 Report

부분 작업계획
작업기 자동제어

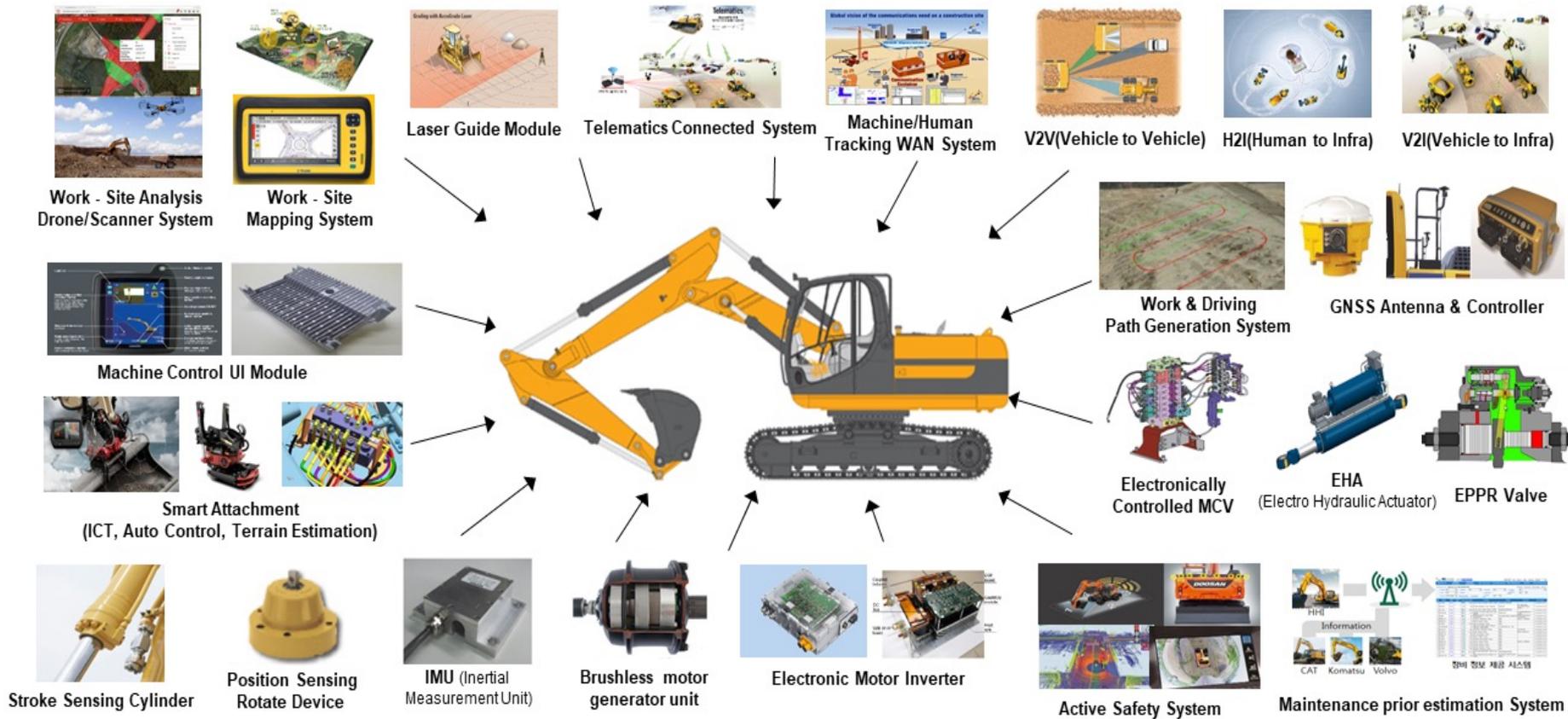
인공지능 작업계획
무인작업

로봇형태 구조





지능형 굴착기의 구조



2018 스마트 건설용 융복합 부품 평가기술 기반구축 사업
건설기계부품연구원

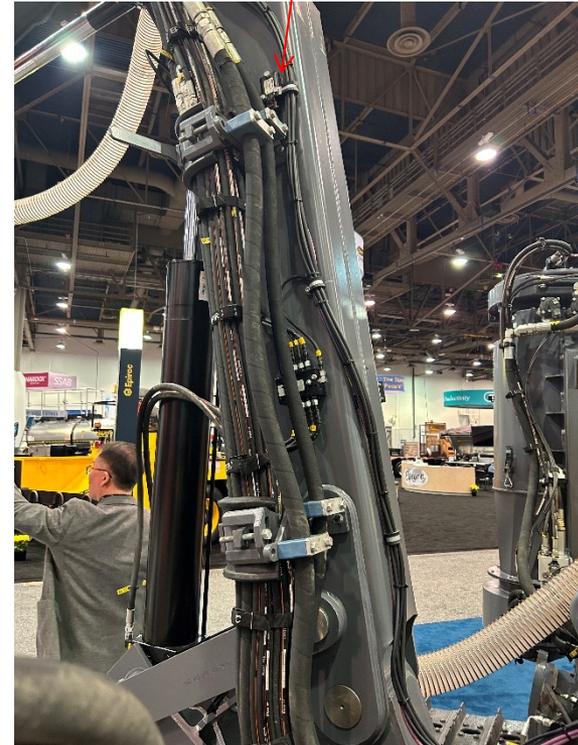


스마트 천공기

GNSS



AR(VRU)





스마트 천공기

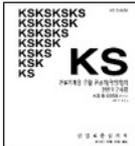
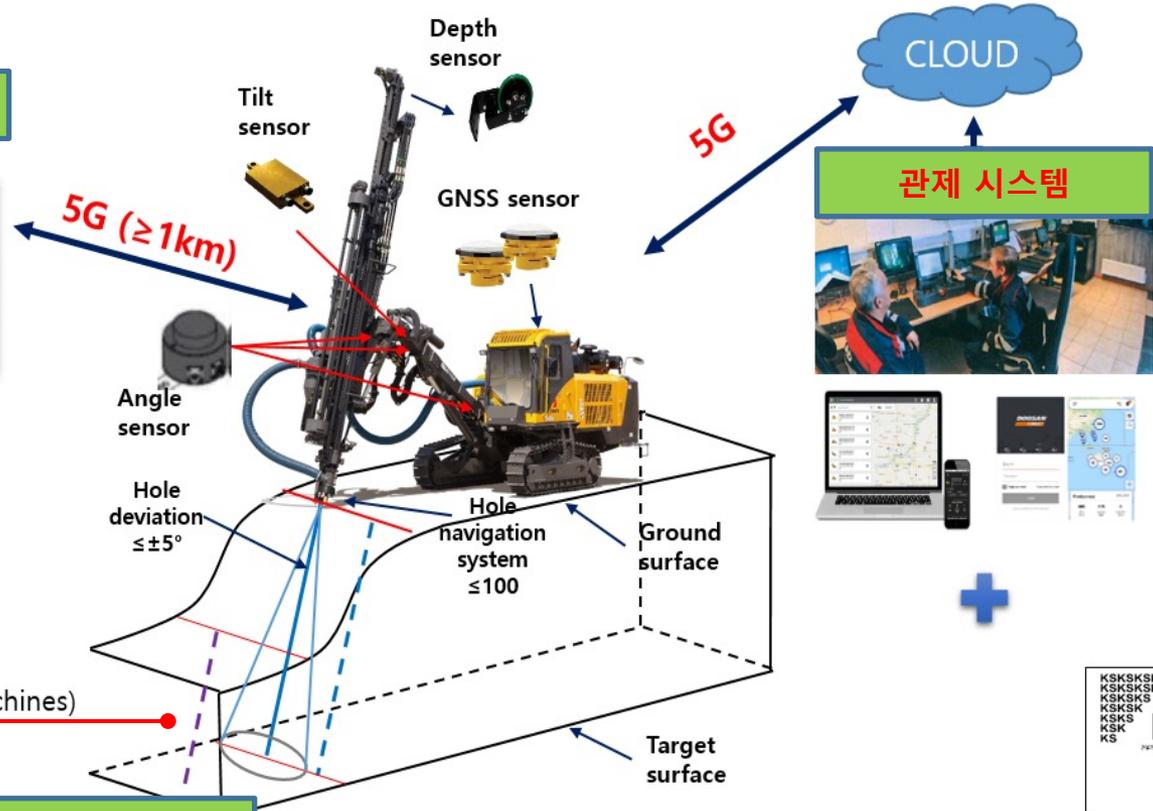
천공기 원격제어



- Multi rig control (max. 3 machines)

자동 천공 기술개발

- 천공 위치 및 자세 제어 기술
- AI 기반 타격 제어 기술 (천공 편차 최소화)
- 군집 주행 기술





Functional Block Diagram

ADAS sensors	Automated Driving Algorithms
Vehicle Dynamics Sensors	Actuator-Specific Controller
Fusion & Filtering Algorithms	

Sensing

Environmental & Ego Motion

Object Detection

- Object(Human, Mobile Equipment) Tracking
- Construction materials Detection
- Barrier Detection
- Etc.

Free Space Detection

- Terrain Grid Processing
- Co-working M/C Grid Processing

Ego Motion Detection

- GNSS
- IMU
- Angle Sensor
- Hyd. Sensor

Perception

Environmental Model & Ego Localization

Data Fusion & Filtering

- Object Fusion
- Fusion Of Working Area
- Fusion Of Construction materials

Free Space Fusion

Sensor Diagnosis

Scene Description

- Object Description & Prediction(e.g. Human, Truck)
- Material Description & Prediction(e.g. Pipe).

Free Space Description & Prediction(e.g. Filling, Cutting, Trench, Pit,)

Ego Vehicle Description & Prediction(e.g. Driving, Excavating, Stop)

Decision

Behavioral Function (Behavioral Layer)

Situation Analysis & Interpretation

- Situation Analysis/Treatment/Access

- Situation Interpretation/Decision Making/Function Selection

Working Strategy

Dynamic Trajectory Decision

- Emergency Brake Function
- Emergency Swing Function
- Emergency Dig. Function
- Normal Driving Function
- Normal Digging Function

Human Machine Interface

HMI Preparation

HMI Control

Planning

Path Planning (Logical Layer)

Dynamic Path Control

- Dynamic Trajectory Planning/Logical Arbitration
- Dynamic Travelling Path Planning

Kinematic Path Vector



Action

Dynamics Model (Physical Layer)

Vehicle Model & Arbitration

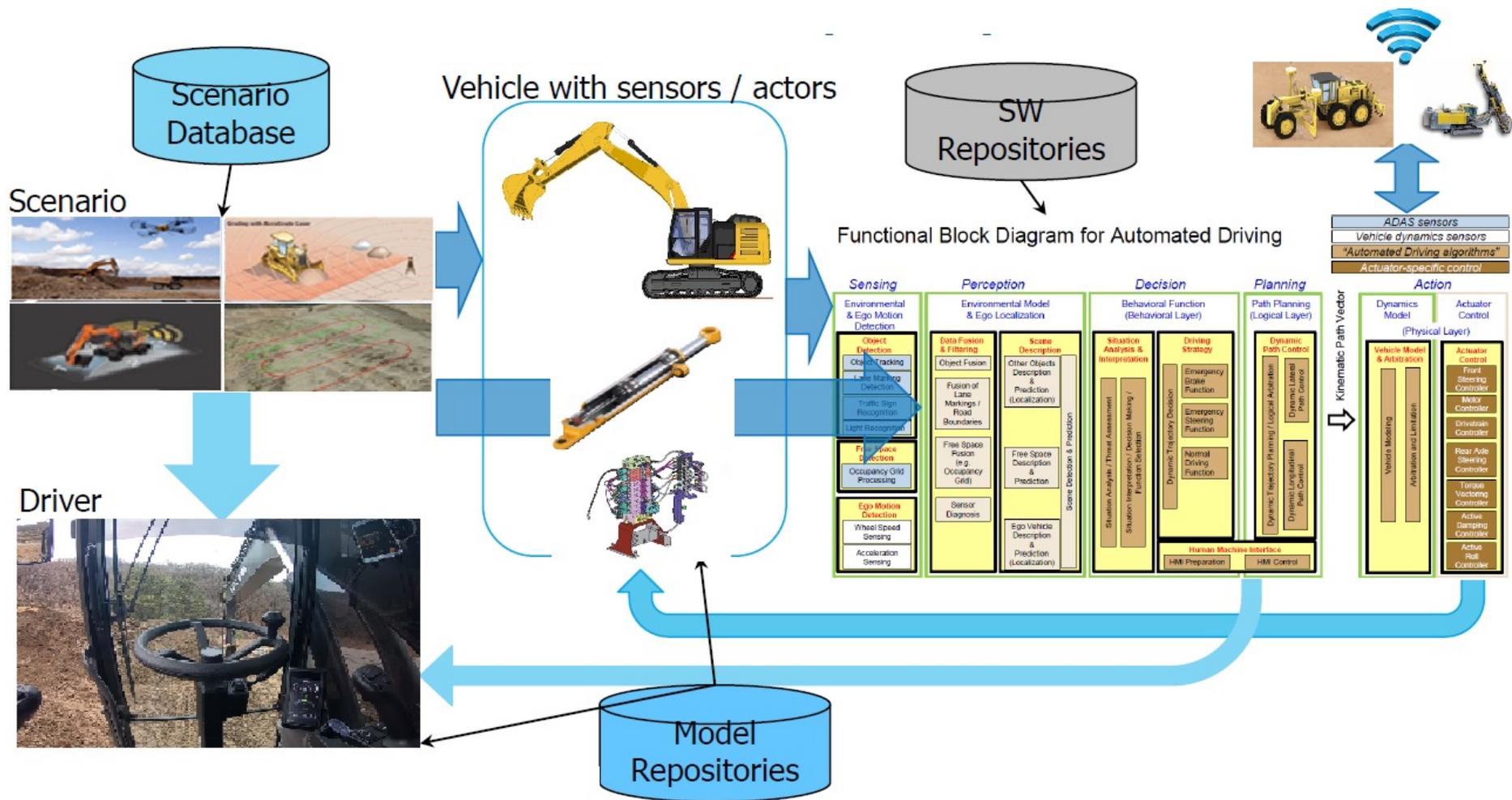
- Vehicle Modeling
- Arbitration and Limitation

Actuator Control

Actuator Control

- Dr. Hyd. Mo. Controller
- Sw. Hyd. Mo. Controller
- Bm. Hyd. Cyl. Controller
- Am. Hyd. Cyl. Controller
- Bkt. Hyd. Cyl. Controller
- Etc.

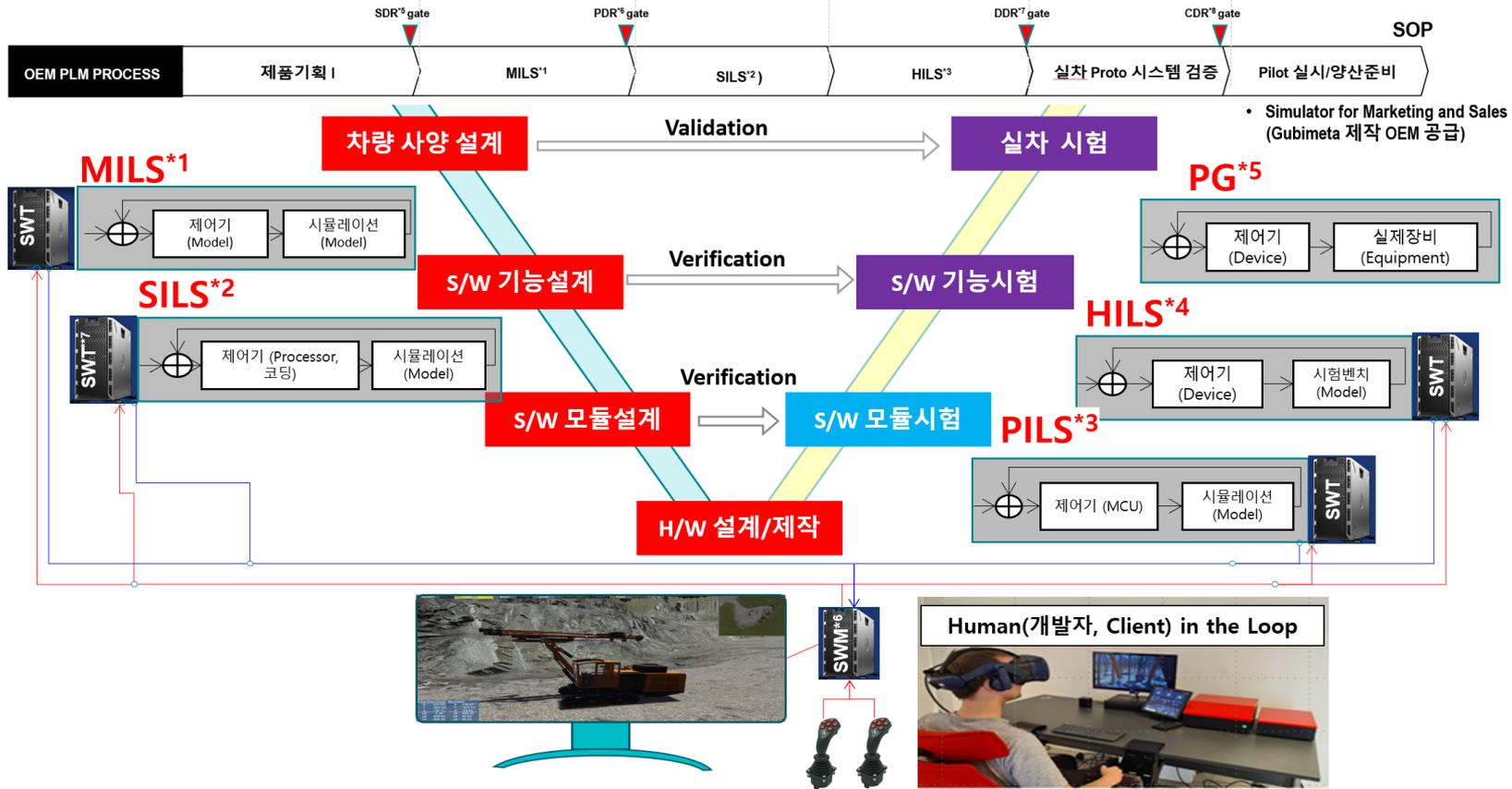
Block schema of complete system



V-cycle 개발 프로세스

MILs, SILs, PILs, SPILs, HILs의 적용

Metaverse 및 Digital Twin을 활용하여 가상 Proto type의 Concept Machine를 통해 장비 성능 과 생산성을 연구하고 제어시스템을 검증하는 MILs로부터 HILs Process에서 관련 Simulator Software를 개발함. 또한 이를 신기종 전시회 및 영업교육 등에서 활용하도록 함.

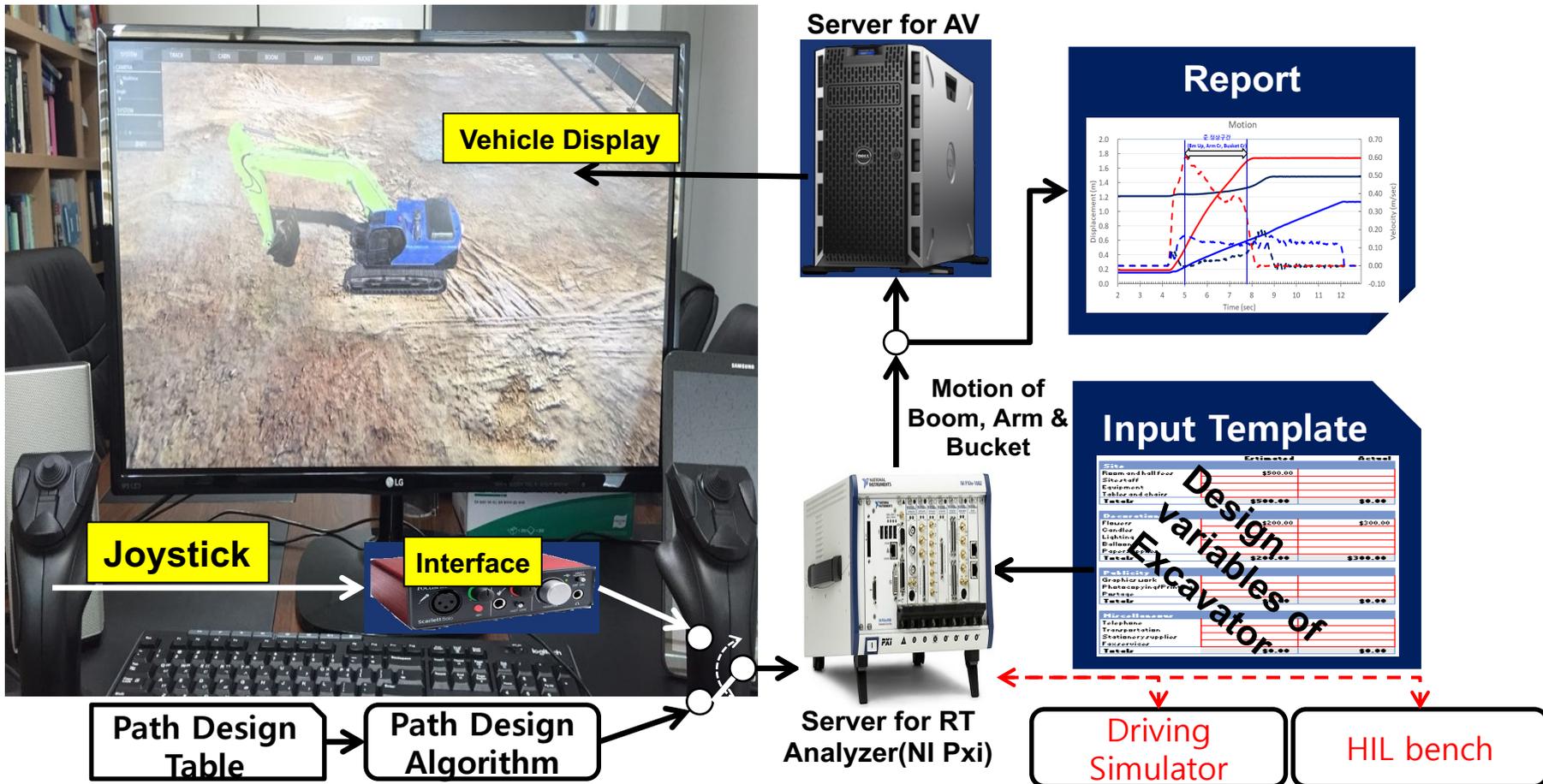


MILs*1: Modeling In the Loop Simulation, SILs*2: Software In the Loop Simulation, PILs*3: Processor In the Loop Simulation, HILs*4: Hardware In the Loop Simulation, PG*5: Proving Ground, SWM*6: Server with Metaverse, SWT*7: Server with Digital Twin

V-cycle 개발 프로세스

AR 기반 Driving Simulator + RT MIL/SIL/PIL/HIL Simulator

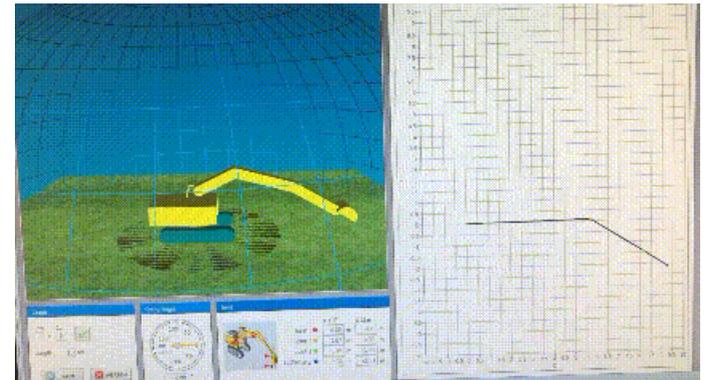
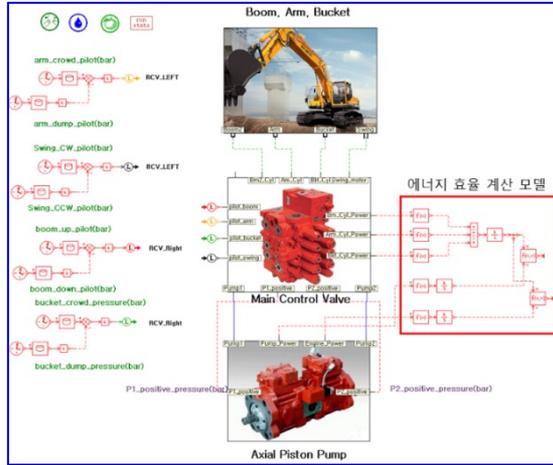
- 성능검증을 위한 가상환경 Proving Ground 개발
 - Driving Simulator 개발: 천공기 모델(3대)+노천광산+Joystick



<가상환경 실차시험장>

미래핵심기술 MILS @ KITECH & SKKU

굴착기의 실시간 연산 모델



에너지 15% 절감 굴삭기용 HILS 기반 전자유압 제어기술 개발



리그 경로 제어 기술

Target

발파공의 위치 (Cabin 상대좌표계(\hat{b}_i) 관점)	$L_{b,bt,T} = \{x_{bt}, y_{bt}, z_{bt}\}@_{\hat{b}}$
발파공의 자세 (Cabin 상대좌표계(\hat{b}_i) 관점)	$A_{bt,T} = \{\theta_{bt}, \psi_{bt}\}@_{\hat{b}}$

AsIs



ToBe



유압실린더의 행정거리	$c_{i,A} = \{c_S, c_B, c_C, c_D, c_E, c_G\}$
프레임 상대 회전각	$\theta_{i,A} = \{\theta_{S,A}, \theta_{B,A}, \theta_{D,A}, \theta_{E,A}\}$

최적의 유압실린더의 행정거리	$c_{i,T} = \{c_S, c_B, c_C, c_D, c_E, c_G\}$
프레임 상대 회전각	$\theta_{i,T} = \{\theta_{S,T}, \theta_{B,T}, \theta_{D,T}, \theta_{E,T}\}$



리그 경로 제어 기술

천공기 트랙과 리그의 정보 인지



Mathematica

C++

(*실린더 변위값을 받아서 계산이 이루어지는 곳*)
 (*displacementKinematicByHydCyl 계산되는 곳, 여기서부터 계산된 데이터 출력 가능*)

```

posiOfDrillBitAtACoord, posiOfDrillBitFromBaseFrameAtNCoord, posiOfDrillBitFromBaseFrameAtNCoord,
(dataOfIMandKNSonBaseFrame, dataOfIMonFrameOfBoonUnit, dataOfIMandKNSonGuideShellUnit)) =
displacementKinematicByHydCyl[disPOfHydCyl, dataOfIMandKNSonBaseFrame, boundOfHydCyl, infoOfKNSandIMonBaseFrame, infoOfIMonFrameOfBoonUnit, infoOfKNSandIMonFrameOfGuideShellUnit];

(* (eU, eS, eB, eD, eE): 절대 좌표계 {n1, n2, n3}를 기준으로 프레임의 자세정보*)
(eU, eS, eB, eD, eE) = infoOfFrameRotation;
(* (eBh, eSh, eDh): 절대 좌표계 {n1, n2, n3}를 기준으로 GuideShellUnit의 자세 정보 *)
(eBh, eSh, eDh) = infoOfGuideShellUnit;
(* (eCt, eDt): 절대 좌표계 {ξ1, ξ2, ξ3}를 기준으로 발파 정보 *)
(eCt, eDt) = infoOfLastHallATCICoord;
(* (eMt, eDt): 절대 좌표계 {n1, n2, n3}를 기준으로 발파 정보 *)
(eMt, eDt) = infoOfLastHallATCICoord;
(* (xSt, ySt, zSt): 절대 좌표계 {n1, n2, n3}를 기준으로 절대좌표계에 대한 드릴비트의 끝단의 위치정보 *)
(xSt, ySt, zSt) = posiOfDrillBitAtACoord;
(* (xUt, yUt, zUt): 천공계 {u1, u2, u3}를 기준으로 Undercarriage의 좌표 {a1, a2, a3}의 원점에 대한 드릴비트의 끝단의 위치정보 *)
(xUt, yUt, zUt) = posiOfDrillBitFromUndercarriageAtACoord;
(* (xct, yct, zct): 상대 좌표계 {ξ1, ξ2, ξ3}를 기준으로 FrameOfBoonUnit의 좌표 원점에 대한 드릴비트의 끝단의 위치정보 *)
(xct, yct, zct) = posiOfDrillBitFromFrameOfBoonUnitAtCICoord;
    
```

기존 Mathematica 방식에서
 C++ 방식으로 변환 작업

posiOfDrillBitAtACoord {5517.56, 1965.53, 3777.17}

상대 좌표계 {â₁, â₂, â₃}를 기준으로 GuideShellUnit의 자세 {ĥ₁, ĥ₂, ĥ₃} 자세전환 출력 (intrinsic): {ψ_{ah}, θ_{ah}, φ_{ah}} = {31.1032, 30.9201, 38.2336}

소요시간 = 7.0088

50 회 반복시 소요시간
 C++로 전환시 계산시간 단축됨

```

int main() {
    GUBI_drillingmachine(C_U, C_S, C_B, C_C, C_D, C_E, C_G);
    return 0;
}
    
```

```

Microsoft Visual Studio Debug Console
theta_u = 0.0001 [degree]
theta_s = -24.1950 [degree]
theta_b = 8.8590 [degree]
theta_d = 61.1409 [degree]
theta_e = 70.0010 [degree]
theta_g = 5.323254219 [degree]

천공기 원점 ( undercarriage 원점 ) 에서 본
발파공의 x,y,z값 = ( 5517.558 [mm], 1965.531 [mm], 3777.165 [mm] )
yaw= 31.10[deg]
pitch= 30.92[deg]
roll= 38.23[deg]
    
```

for문을 돌리는데 걸리는 시간(초) : 0.21236seconds



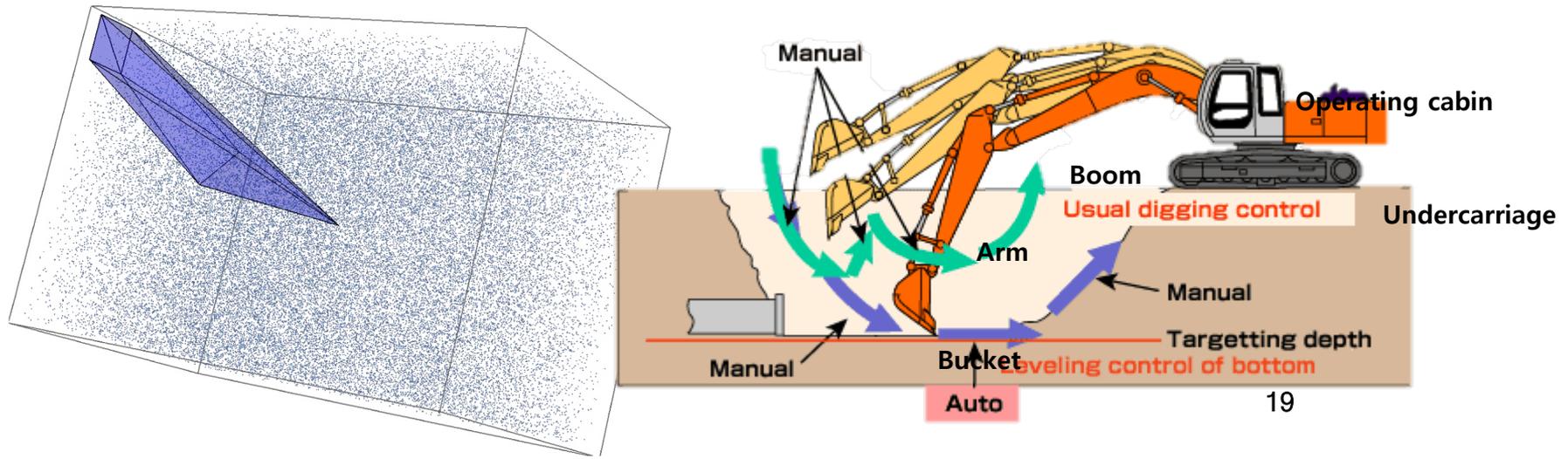
영역내의 Point Cloud 검출

```
num=50000;
 $\mathcal{R}$ =ConvexHullMesh[{{0,0,0},{1,0,0},{1,1,0},{0,1,0},{2,2,2},{3,2,2},{3.3,3,5},{2,3,2}}];
bounds=RegionBounds[ $\mathcal{R}$ ];
pts=RandomVariate[UniformDistribution[tolerance*bounds],num];
```

```
truePoints=Select[pts,RegionMember[ $\mathcal{R}$ ]]; Analysis time = 0.047
```

```
posiOfPts=Flatten@Position[RegionMember[ $\mathcal{R}$ ,pts],True]; Analysis time = 0.032
truePoints=pts[[#]]&/@posiOfPts;
```

```
truePoints=Pick[pts,RegionMember[ $\mathcal{R}$ ,pts],True]; Analysis time = 0.015
```



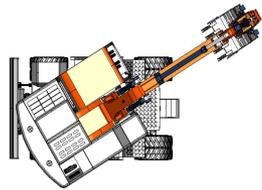
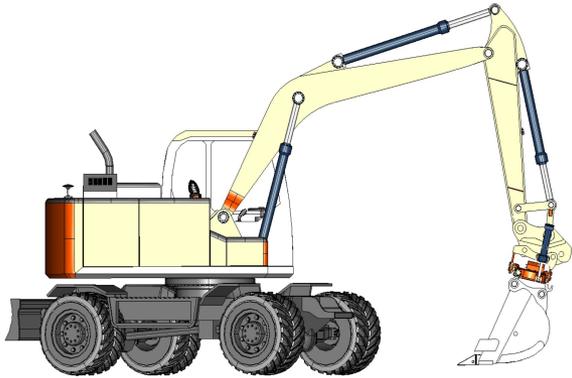


Inverse Kinematics 연산

- Design Variable: $\{\psi_D, \theta_F, \varphi_G\}$
- Cost fn.: $dcmNtoX-dcmNtoD.dcmDtoE.dcmEtoF.dcmFtoG.dcmGtoH.dcmHtoI.dcmItoX$
- Constrain eq.: $\psi_{D1} \leq tmp\psi_D \leq \psi_{D2}, \theta_{F1} \leq tmp\theta_F \leq \theta_{F2}, -\pi \leq tmp\varphi_G \leq \pi$
- Eq. based on Constants: $dcmNtoX, dcmNtoD, dcmEtoF, dcmHtoI, dcmItoX$
- Eq. based on Design variables: $dcmDtoE, dcmFtoG, dcmGtoH$
 - $tmpdcmDtoE = \text{EulerMatrix}\{\{tmp\psi_D, \theta_D, \phi_D\}, \text{dirIMU}\};$
 - $tmpdcmFtoG = \text{EulerMatrix}\{\{\psi_F, tmp\theta_F, \phi_F\}, \text{dirIMU}\};$
 - $tmpdcmGtoH = \text{EulerMatrix}\{\{\psi_G, \theta_G, tmp\varphi_G\}, \text{dirIMU}\};$
- $tmpSol = \text{NMinimize}\{\{ \#.\# \& [\text{Flatten}[dcmNtoX-dcmNtoD.tmpdcmDtoE.dcmEtoF.tmpdcmFtoG.tmpdcmGtoH.dcmHtoI.dcmItoX]], \psi_{D1} \leq tmp\psi_D \leq \psi_{D2}, \theta_{F1} \leq tmp\theta_F \leq \theta_{F2}, -\pi \leq tmp\varphi_G \leq \pi\}, \{tmp\psi_D, tmp\theta_F, tmp\varphi_G\}\};$
- $\{\psi_D, \theta_F, \varphi_G\} = \text{Values}@tmpSol[[2]];$



굴착기와 천공기





건설기계 훈련 시뮬레이터



- ① 메인스크린
- ② 훈련장비 선택과 훈련 평가스크린
- ③ 작업기 조작 조이스틱
- ④ 조향핸들
- ⑤ 제동, 가속페달
- ⑥ 카메라(헤드 장착 디스플레이어용)
- ⑦ 헤드 장착 디스플레이어용
- ⑧ 소프트웨어

개인 훈련용



- ① 메인스크린
- ② 훈련장비 선택과 훈련 평가스크린
- ③ 작업기 조작 조이스틱
- ④ 조향핸들
- ⑤ 제동, 가속 페달
- ⑥ 카메라(헤드 장착 디스플레이어용)
- ⑦ 시트 차제 동작/진동 재현 장치
- ⑧ 소프트웨어

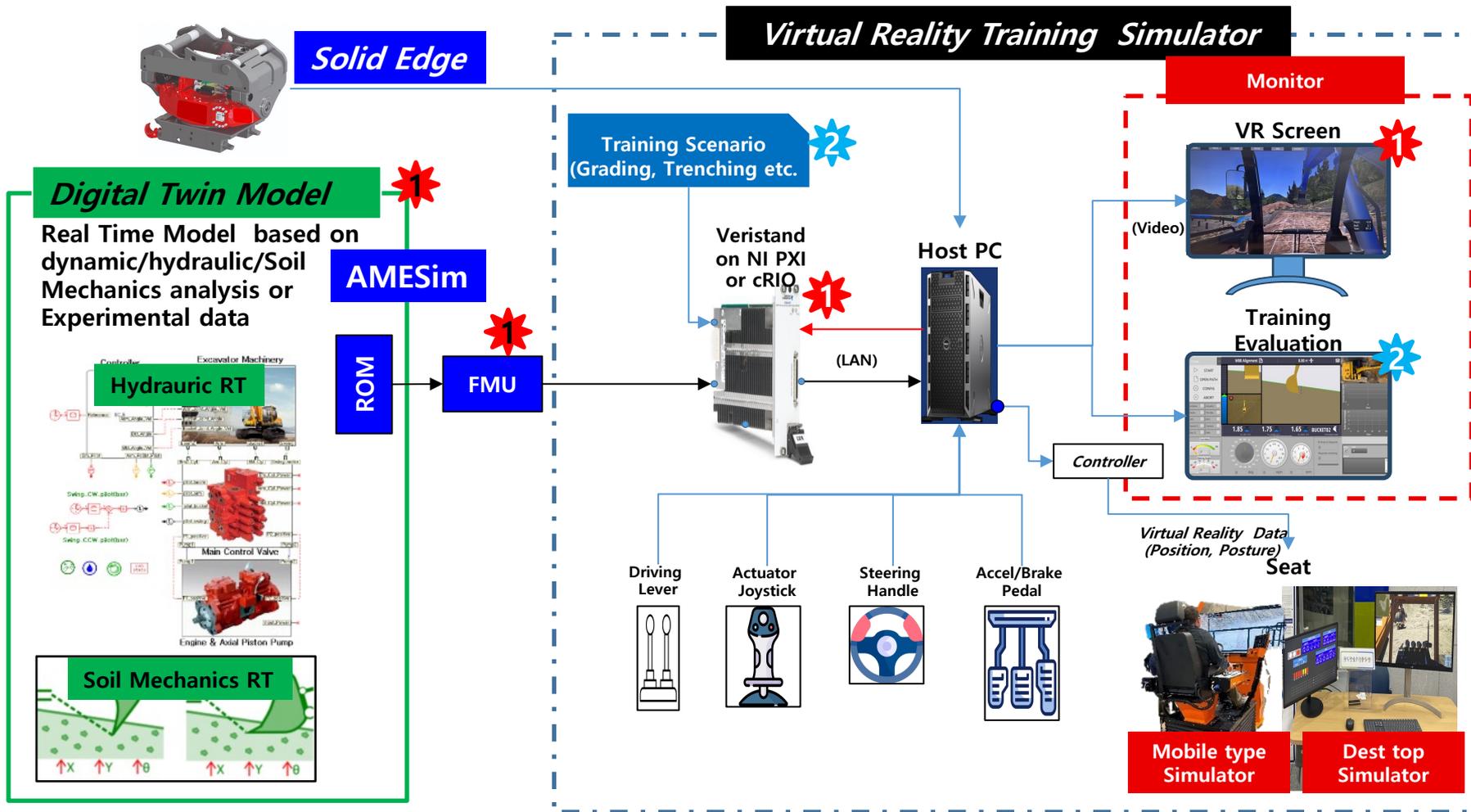
훈련 교습소(In down town)



- ① 훈련 Main Screen
- ② OEM 고객 CABIN
- ③ 차량 차제 동작/진동 재현 장치
- ④ Simulator S/W

OEM 맞춤형(장비업체 개발 및 마케팅)

훈련 SIMULATOR Architecture



- ROM : Reduced Order Model
- FMU: Functional Mockup Unit



훈련 SIMULATOR Architecture

AsIs

굴착기 가상 훈련시험장 전경



20톤 트랙 굴착기 굴착작업장



ToBe

통합된 굴착기 훈련 시뮬레이터

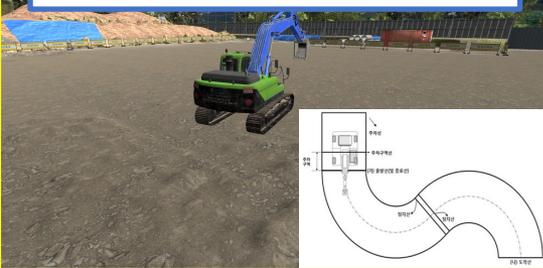


훈련시뮬레이터의 정의, 설계, 제작, 통합화

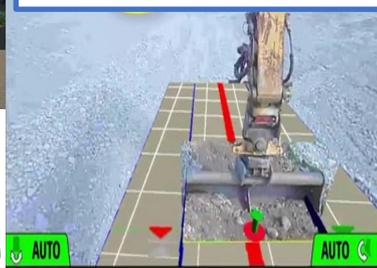
ToBe

굴착 작업의 가상환경

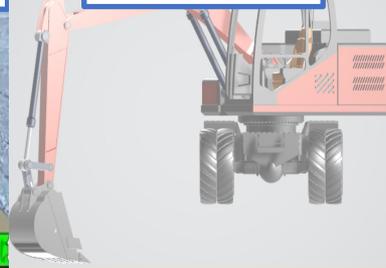
건설기계 운전기능사 실기시험장



목표 작업지형의 그리드



14톤 휠 굴착기



굴착 작업의 프로그램



HD 현대인프라코어 기술교육센터

굴착기 작업 자료 제공, 굴착기 훈련시뮬레이터의 상용화 시험서비스 운영

경청해 주셔서

감사합니다