

실시간 3D 공간선량 및 3D 표면선량 측정이 가능한 이동형 3차원 스캔 플랫폼

ALARA 분석 평가 프로그램 및 3D-BIM 기반
실감 몰입형 피폭선량 예측진단 통합시스템 기술개발 워크숍

2025.10.29

유보현 Ph.D

CONTENTS

실시간 3D 공간선량 및 3D 표면선량 측정이 가능한 이동형 3차원 스캔 플랫폼



- 01. 연구원 소개
- 02. 연구배경
- 03. 1단계 연구수행내용
- 04. 1단계 연구결과
- 05. 2단계 연구수행내용

CONTENTS

실시간 3D 공간선량 및 3D 표면선량 측정이 가능한 이동형 3차원 스캔 플랫폼



01. 연구원 소개

02. 연구배경

03. 1단계 연구수행내용

04. 1단계 연구결과

05. 2단계 연구수행내용

01 연구원 소개



기술의 실용적 가치를 창출하는 연구기관

History of IAE

Since 1992



- 2016.05. 산업용 전력소재개발 착수 (TIO2, TiCl4)
- 2014.03. IAE VISION 2022 수립
- 2013.04. 희소금속산업기술연구센터 설치 (인원 50명, TP)
- 2012.11. 폐기물 가스화 용융시스템 Pilot Plant 구축
- 2012.03. 신소재공정센터 신설 (자원 Recycling)
- 2011.10. 천연가스(LNG) 제조공정 BSU 구축
- 2010.09. 폐자원 재활용 및 희유금속 회수 기술개발 착수
- 2010.06. 합성천연가스(SNG) 제조공정 BSU 구축



- 1998.09. 국가지정연구실 지정 (과학기술부, 공과대학 등 2개 연구실)
- 1995.11. 용인 연구센터 준공 (연구원 10명)
- 1994.08. 아주대학교 내 본원 설립 (IGCC 연구)
- 1992.07. 설립 (서울)

2022.12.

IAE Vision2032 수립

2022.03.

화학산업 포럼 사무국 지정/운영 (산업부)
중주 바이오그린수소 충전소 준공/상업운전 개시
(산업부 에너지기술개발 사업)

2021.11.

수열탄화 기반 수소슬러지 고형연료 생산기술 환경 신기술 획득
(연속 675호, 검출 263호)

2020.11.

지역특화 R&D사업 수행을 위한 본사무소 설립
(경남-문경, 울산-CCUS, 충남-수소FC발전)

2019.05.

수소에너지 기반기술 신규추진
(수소 생산, 저장, 플랜트 설계, 구축, 운영 기술)

2018.07.

액화공기 저장/용융 및 CO₂ 포집/융용 기술개발 (ESS & CCUS)

2017.08.

플렉스 발전시스템 관련 기술개발 착수

2016.07.

석탄화력용 초임계 CO₂ 발전 Eng. Design 착수



고등기술연구원
김진균

2009.07.

정정석탄기술개발 MOU 체결 (자석정개발, POSCO, SK에너지 등)

2006.02.

중소기업지원 부품소재통합연구단 가입 (산업자원부)

2004.04.

ISO9001:2000 품질경영시스템 인증 획득 (공정 및 기술개발)

2003.03.

정부R&D사업 인건비계상 연구기관 지정 (산업자원부)

2000.07.

창업보육센터 지정 (중소기업청)

2000.06.

국가지정연구실 지정 (과학기술부, 기초과학진흥 4개 연구실)



ORGANIZATION

조직구성



01 연구원 소개

● 유보현 주요경력

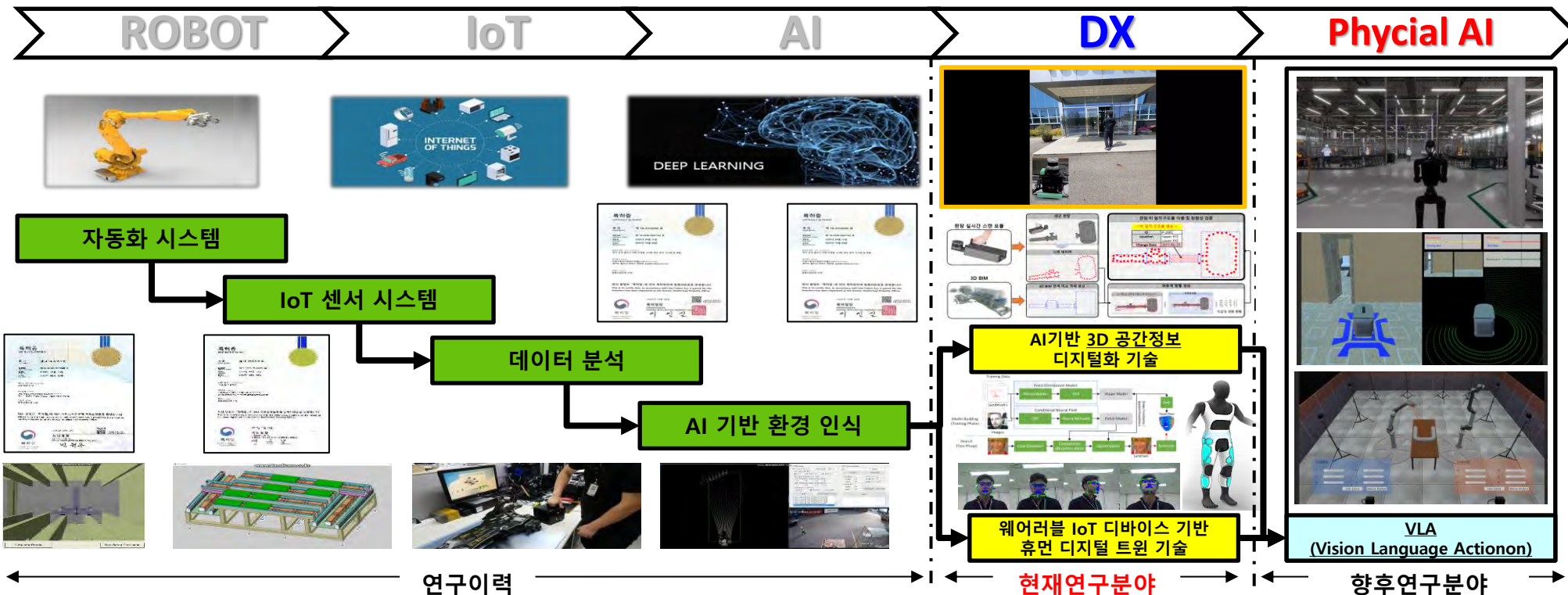
- 現 고등기술연구원
AI/DX 센터 공간정보 지능화 연구그룹 그룹장
- 한양대학교 메카트로닉스 박사
- 대한기계학회 IT융합분과 학술위원
- 한국로봇산업진흥원 산업자동화 컨설팅 전문위원
- 과학기술정보통신부 국가연구개발사업 전문위원



● 유보현 연구실적 (최근 5년)

- R&D 연구 프로젝트 PM 수행 실적 → 8건 (정부 R&D 6건, 기업용역 2건)
- 학술논문 실적 → 14건 (SCI 3건, 저널 4건, 학술발표 7건)
- 지식재산권 실적 → 11건 (특허등록 3건, 특허출원 7건, PCT 출원 2건)
- 프로그램 등록 실적 → 20건

● 유보현 연구이력



01 연구원 소개

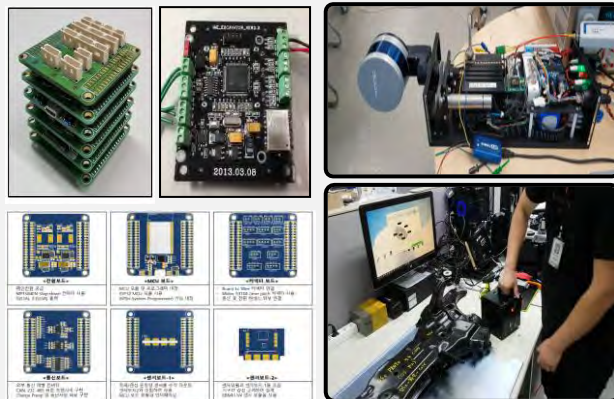
● AI/DX 센터 공간정보 지능화 연구그룹 연구분야

Physical AI Robotics Technology



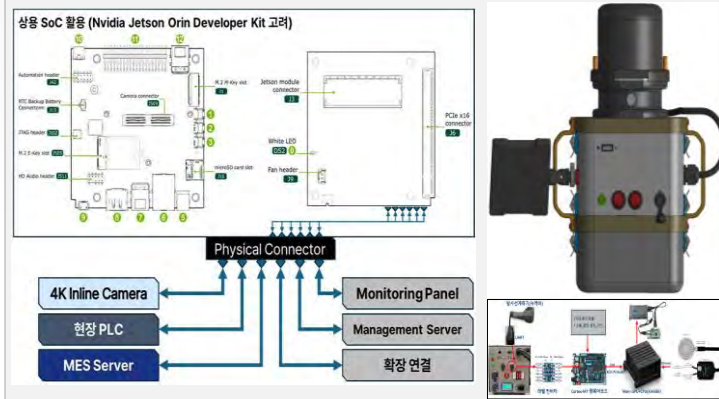
작업정보 기반 VLA(Vision Language Action) 기술

IoT Sensor Technology



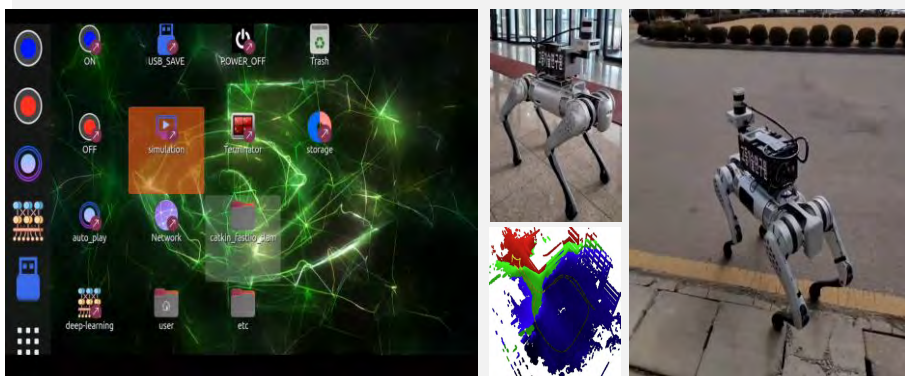
임베디드 기반 IoT 센서 개발 기술

On-Device AI Technology



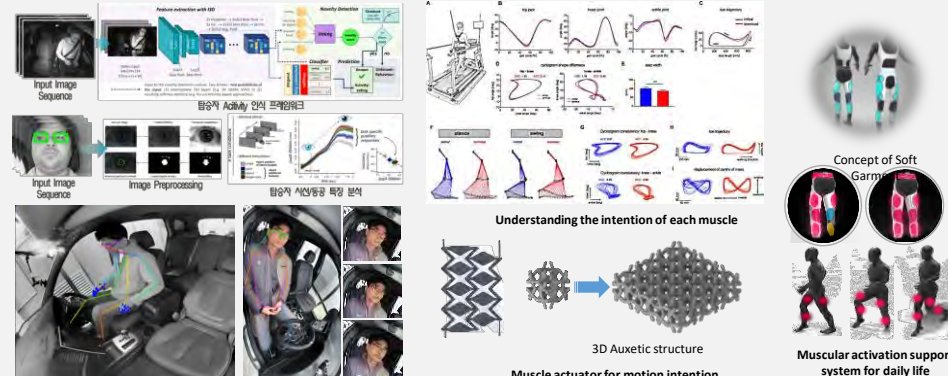
AI 모델 탑재 온디바이스 모듈 개발 기술

DX(Digital Transformation) Technology



3차원 공간정보 디지털화 기술

HXI(Human-centered eXtended Intelligence) Technology



인간중심 다중 감각기반 시스템 인터랙션/증강 기술

● AI/DX 센터 공간정보 지능화 연구그룹 연구인력



유보현 책임
Group Leader

Physical AI



이동찬 수석

Artificial Skin Design



김언규 수석

Embedded Board



박평원 책임

Embedded Firmware



유은섭 선임

AI Model



황병훈 책임

Robot Application



황병훈 책임

DX Simulator

CONTENTS

실시간 3D 공간선량 및 3D 표면선량 측정이 가능한 이동형 3차원 스캔 플랫폼



01. 연구원 소개

02. **연구배경**

03. 1단계 연구수행내용

04. 1단계 연구결과

05. 2단계 연구수행내용

>> 다중센서 연계 실시간 이동형 3차원 스캔 기술 활용분야 (가동원전 분야)

1. 측정방법 : 작업자가 사전에 지정된 위치에서 수기 측정방식을 경로기반 자동 연속 측정방식으로 개선
2. 데이터관리 : 수기 측정된 연속된 수치 데이터 관리방식을 직관적 확인 가능한 3D 형태로 관리 방식으로 개선

→ 4D : 3D + Time

❖ 운영원전에서 OH 기간마다 공간선량을 3D로 측정하여 운영원전 생애 전주기 4D기반 공간선량 관리가 가능

AS-IS

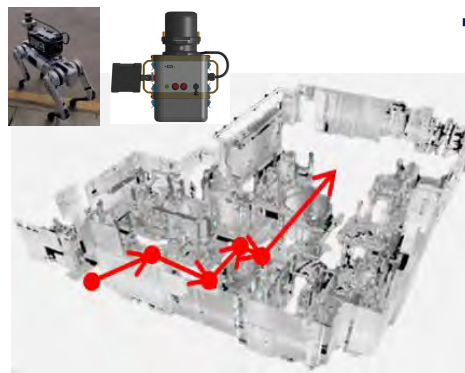
텍스트 기반 공간선량 측정
(측정 위치 공간선량 확인가능)

Date	time	uSv/h	uSv
2023-12-12	23:00:11	0.12	0.01
2023-12-13	23:01:12	0.14	0.003
2023-12-14	23:02:13	0.16	0.02
2023-12-15	23:03:14	0.18	0.021
2023-12-16	23:04:15	0.2	0.026
2023-12-17	23:05:16	0.22	0.031
2023-12-18	23:06:17	0.12	0.036
2023-12-19	23:07:18	0.1	0.041
2023-12-20	23:08:19	0.08	0.046
2023-12-21	23:09:20	0.02	0.051
2023-12-22	23:10:21	0.01	0.056
2023-12-23	23:11:22	0.03	0.061
2023-12-24	23:12:23	0.05	0.066
2023-12-25	23:13:24	0.07	0.071
2023-12-26	23:14:25	0.09	0.076
2023-12-27	23:15:26	0.11	0.081
2023-12-28	23:16:27	0.13	0.086
2023-12-29	23:17:28	0.15	0.091
2023-12-30	23:18:29	0.17	0.096
2023-12-31	23:19:30	0.19	0.101
2024-01-01	23:20:31	0.21	0.106
2024-01-02	23:21:32	0.23	0.111
2024-01-03	23:22:33	0.25	0.116
2024-01-04	23:23:34	0.27	0.121
2024-01-05	23:24:35	0.29	0.126

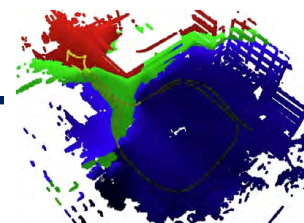
정해진 위치에서 공간선량 육안 확인 후 기록

TO-BE

3D 공간선량 지도 생성
(모든 위치 공간선량 확인가능)



이동 경로 기반 연속적인 공간선량 기록



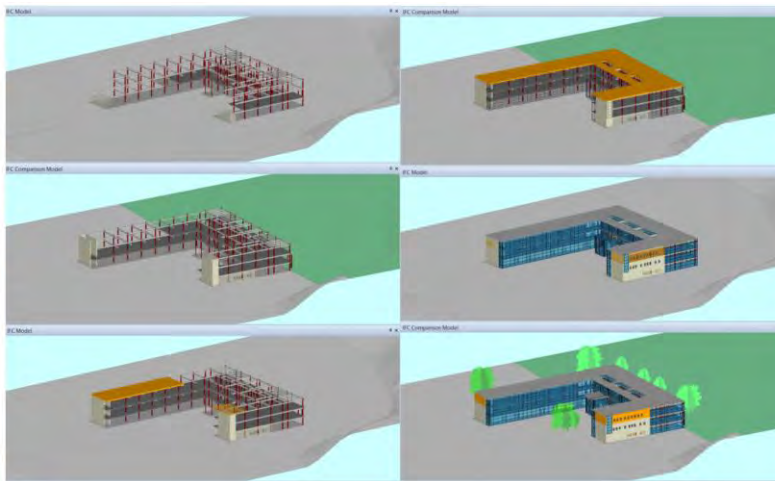
Red명암: 10 uSv/h 이상
Green명암: 4~10 uSv/h
Blue명암: 0~4 uSv/h

>> 다중센서 연계 실시간 이동형 3차원 스캔 기술 활용분야 (원전해체 분야)

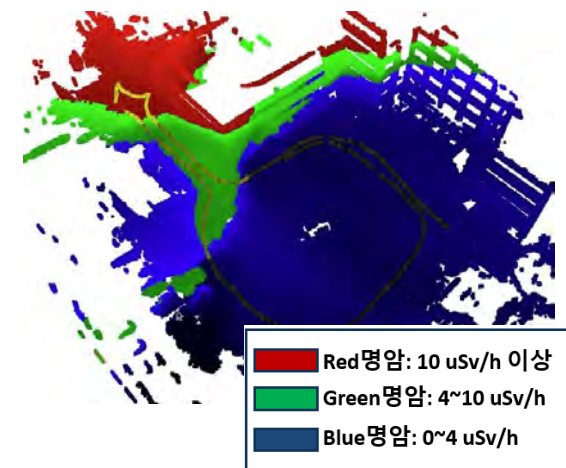
1. 해체형상관리 : 해체 시 **구조물 변화를** 주기적으로 측정하여 **3D 형상변화 관리** 가능
2. 공간선량관리 : 해체 시 구조물의 변화에 따른 **공간선량 변화를** 주기적으로 측정하여 **3D 형태로 관리** 가능

→ 4D : 3D + Time

❖ **해체원전**에서 **구조물의 변화**와 이로 인해 발생하는 **공간선량의 변화**를 **4D기반 해체 프로세스 관리**가 가능

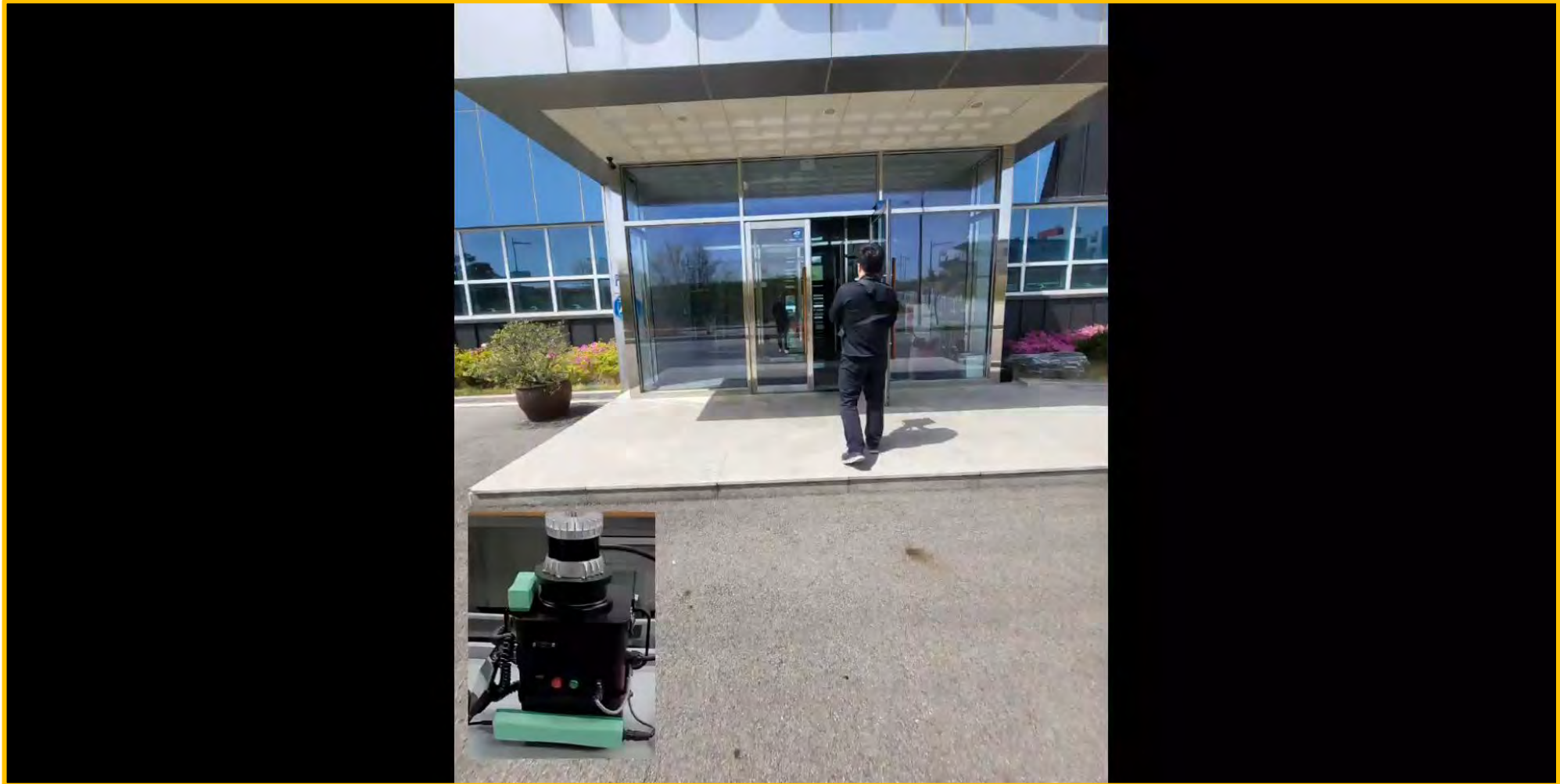


해체형상 변화 이력관리



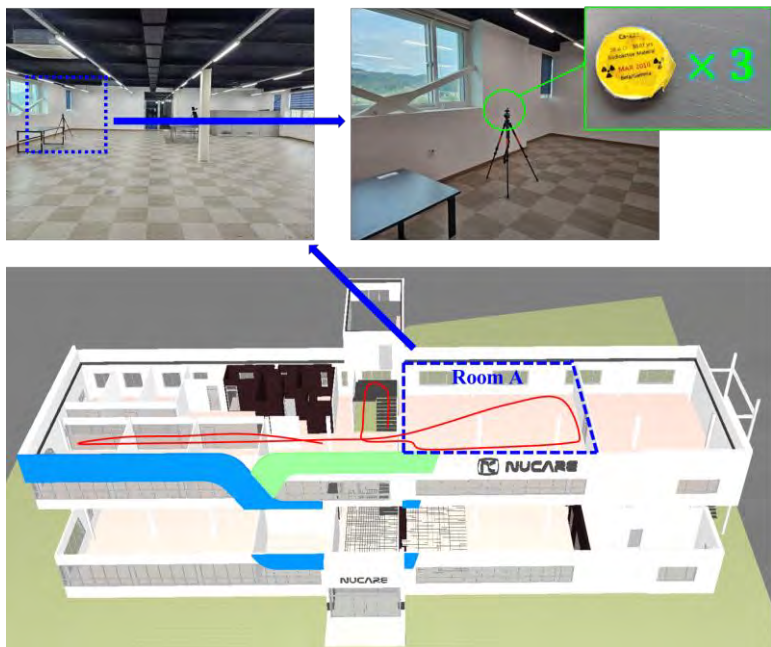
공간선량 및 표면선량 이력관리

>> 다중센서 연계 실시간 이동형 3차원 스캔 기술 시연 (Human Operation)



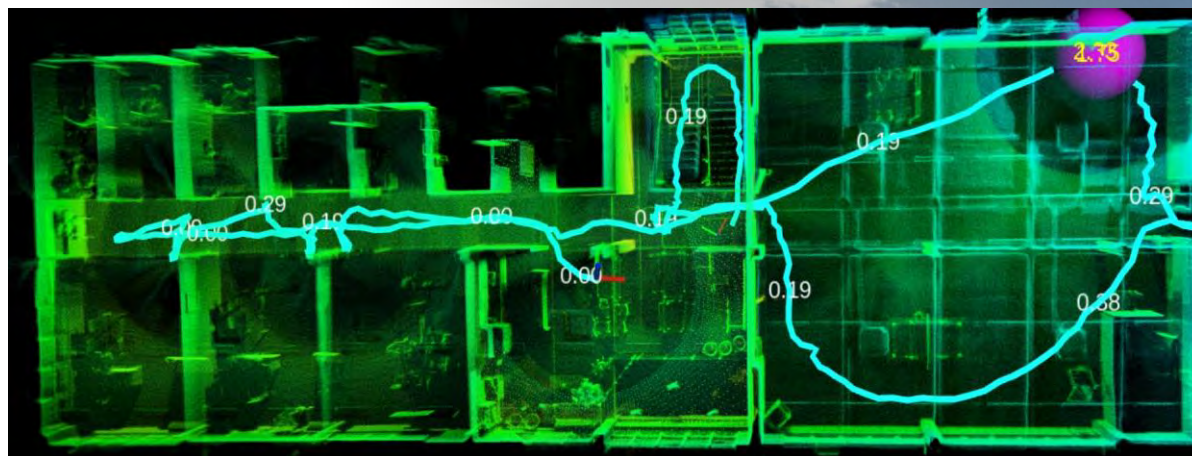
>> 다중센서 연계 실시간 이동형 3차원 스캔 기술 시연 (Human Operation)

✓ 실험환경

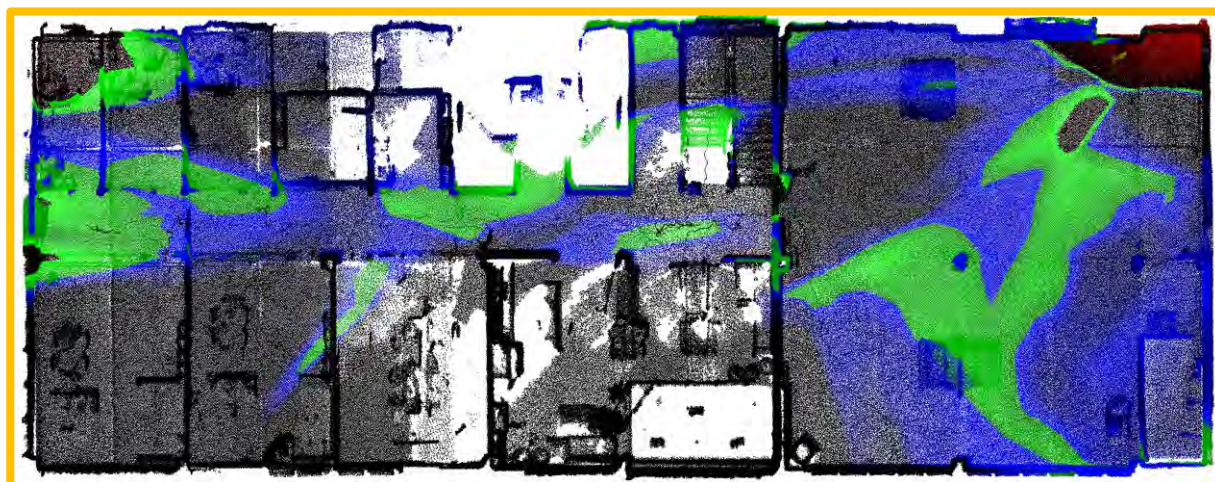


List	Material / Value
Radioactive nuclide	Cs-137
Activity	10 uCi
Date of production	Mar. 2010
Number of sources	3
Total activity at test date	~ 21.7 uCi

✓ 실시간 위치 기반 선량 측정 결과



✓ 3D 공간선량 지도 생성 결과



CONTENTS

실시간 3D 공간선량 및 3D 표면선량 측정이 가능한 이동형 3차원 스캔 플랫폼



01. 소개

02. 연구배경

03. **1단계 연구수행내용**

04. 1단계 연구결과

05. 2단계 연구수행내용

03 1단계 연구수행 내용

>> SLAM 기반 실시간 3차원 공간정보 스캔 플랫폼 요소기술

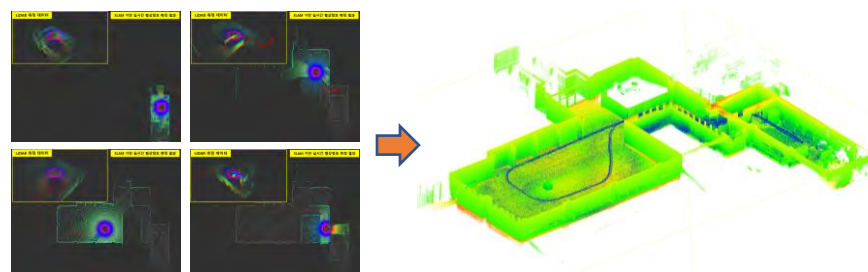
01 3차원 대면적 공간정보 이동형 스캔 모듈 개발

- 라이다 센서 기반 대면적 공간정보 실시간 3D 스캔 이동형 모듈 개발
- 작업자가 들고 이동하며 실시간으로 스캔하여 데이터 처리 하는 방식



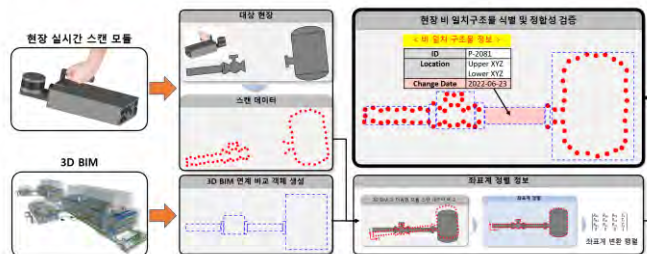
02 SLAM 기반 실시간 스캔정보 자동정합 및 위치추정 알고리즘 개발

- 실시간 점군 데이터 자동 정합 및 위치추정을 위한 라이다 기반 SLAM 알고리즘 개발
- 알고리즘 성능 향상을 위한 현장 특성을 고려한 특징점 추출 기능 최적화 적용



03 3D BIM 연계 현장 비 일치 구조물 정합성 검증 알고리즘 개발

- 정밀 스캔 데이터 좌표계 정렬 및 3D 모델 데이터 추출 알고리즘 개발
- 이동형 모듈 스캔 데이터 기반 3DBIM 모델과 현장 정합성 검증 알고리즘 개발



04 실시간 자기위치 기반 방사선/능 측정 알고리즘 개발

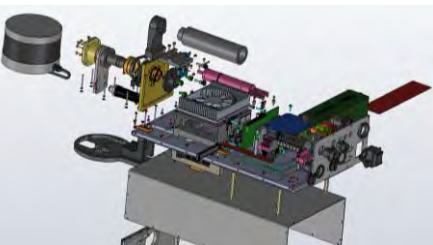
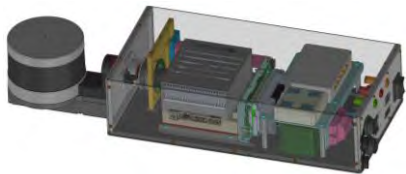
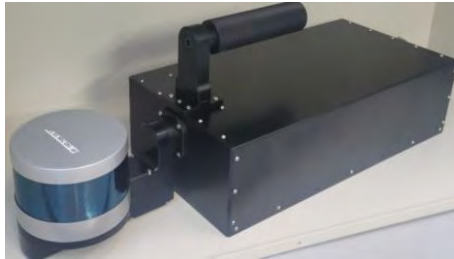
- 방사선(능) 계측기와 이동형 스캔 모듈 통합 H/W & S/W 인터페이스 개발
- SLAM 기반 실시간 자기위치 측위 기반 방사선(능) 측정 알고리즘 개발



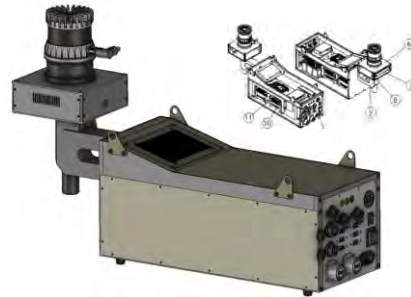
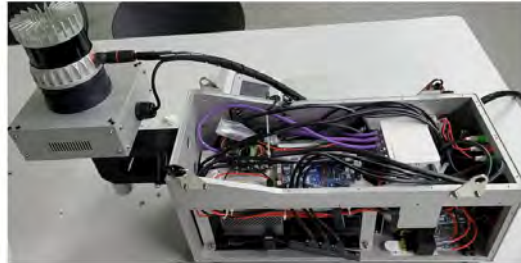
03 1단계 연구수행 내용

>> 이동형 스캔 모듈 설계 및 제작

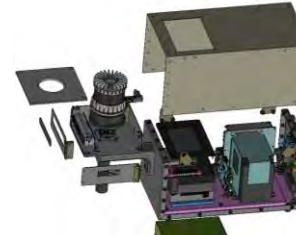
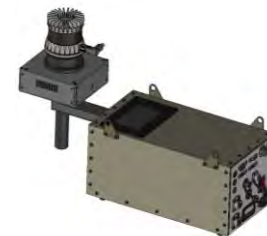
- ✓ 실제 원전 내 이동이 간편하도록 시스템 구성을 변경 중



[1차 시제품 제작: 회전형]

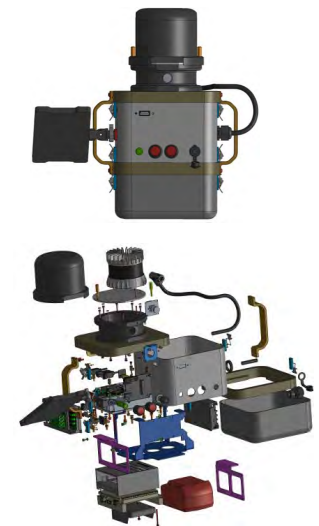


[2차 시제품 제작: 크로스백타입]



[3차 시제품 제작: 사이즈축소]

< 서울 원전 현장적용 버전 >



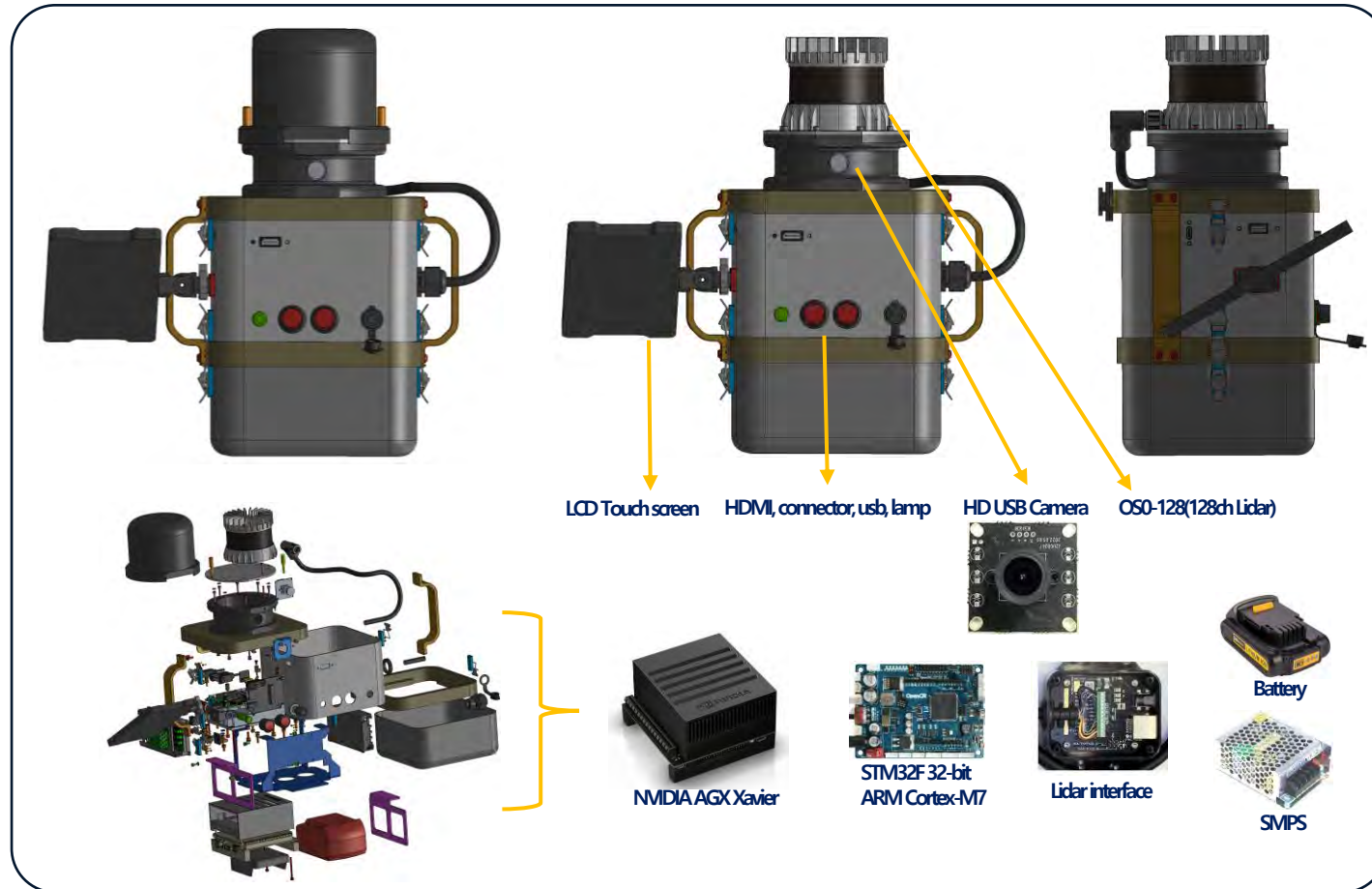
[4차 시제품 : 사이즈&무게 축소 (<5Kg)]

< 월성 원전 현장적용 버전 >

03 1단계 연구수행 내용

>> 이동형 스캔 모듈 설계 및 제작

✓ 4차 시제품 세부 구성도



03 1단계 연구수행 내용

>> SLAM 기반 실시간 3차원 공간정보 스캔 플랫폼 요소기술

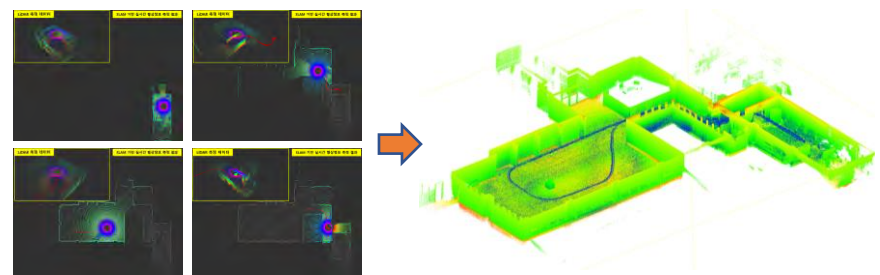
01 3차원 대면적 공간정보 이동형 스캔 모듈 개발

- 라이다 센서 기반 대면적 공간정보 실시간 3D 스캔 이동형 모듈 개발
- 작업자가 들고 이동하며 실시간으로 스캔하여 데이터 처리 하는 방식



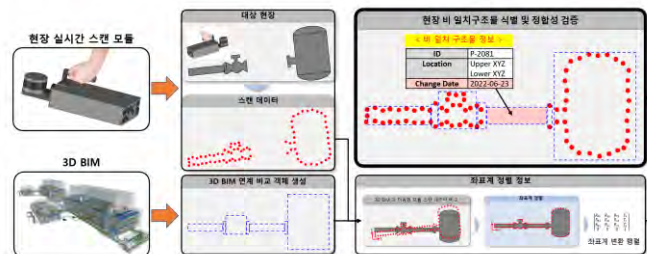
02 SLAM 기반 실시간 스캔정보 자동정합 및 위치추정 알고리즘 개발

- 실시간 점군 데이터 자동 정합 및 위치추정을 위한 라이다 기반 SLAM 알고리즘 개발
- 알고리즘 성능 향상을 위한 현장 특성을 고려한 특징점 추출 기능 최적화 적용



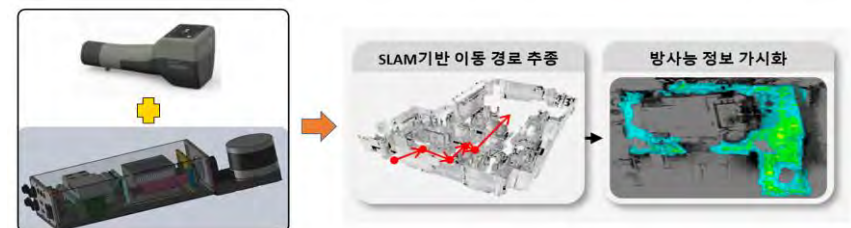
04 3D BIM 연계 현장 비 일치 구조물 정합성 검증 알고리즘 개발

- 정밀 스캔 데이터 좌표계 정렬 및 3D 모델 데이터 추출 알고리즘 개발
- 이동형 모듈 스캔 데이터 기반 3DBIM 모델과 현장 정합성 검증 알고리즘 개발



03 실시간 자기위치 기반 방사선/능 측정 알고리즘 개발

- 방사선(능) 계측기와 이동형 스캔 모듈 통합 H/W & S/W 인터페이스 개발
- SLAM 기반 실시간 자기위치 측위 기반 방사선(능) 측정 알고리즘 개발



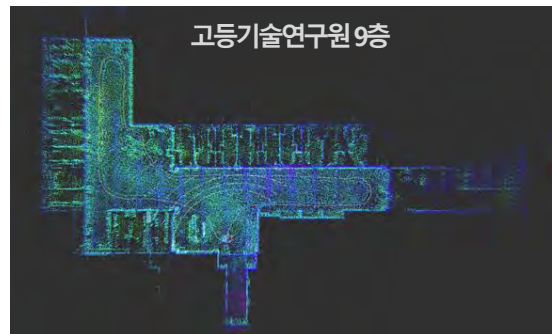
03 1단계 연구수행 내용

>> SLAM 기반 실시간 스캔정보 자동정합 알고리즘 최적화



1차 알고리즘 결과

드리프트
문제
해결



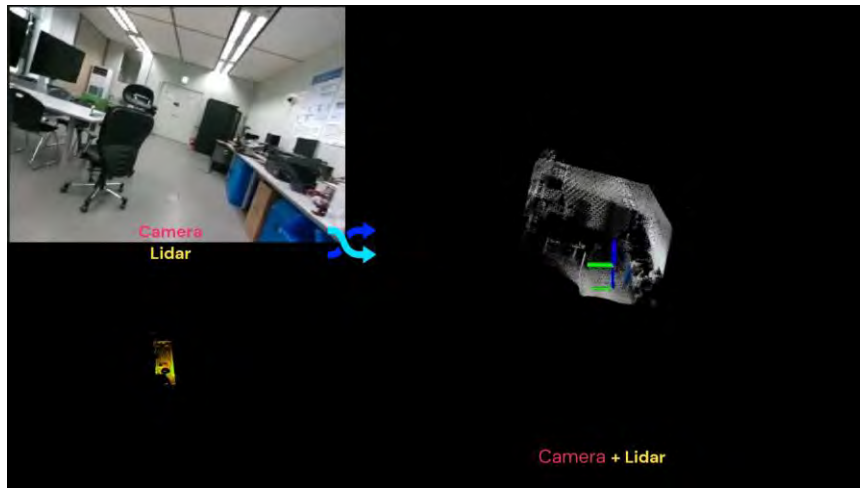
2차 알고리즘 결과

연산량
문제
해결

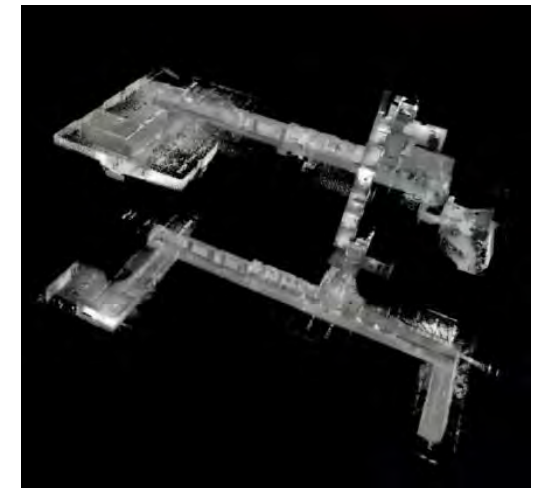


3차 알고리즘 결과

특징점 추출 최적화

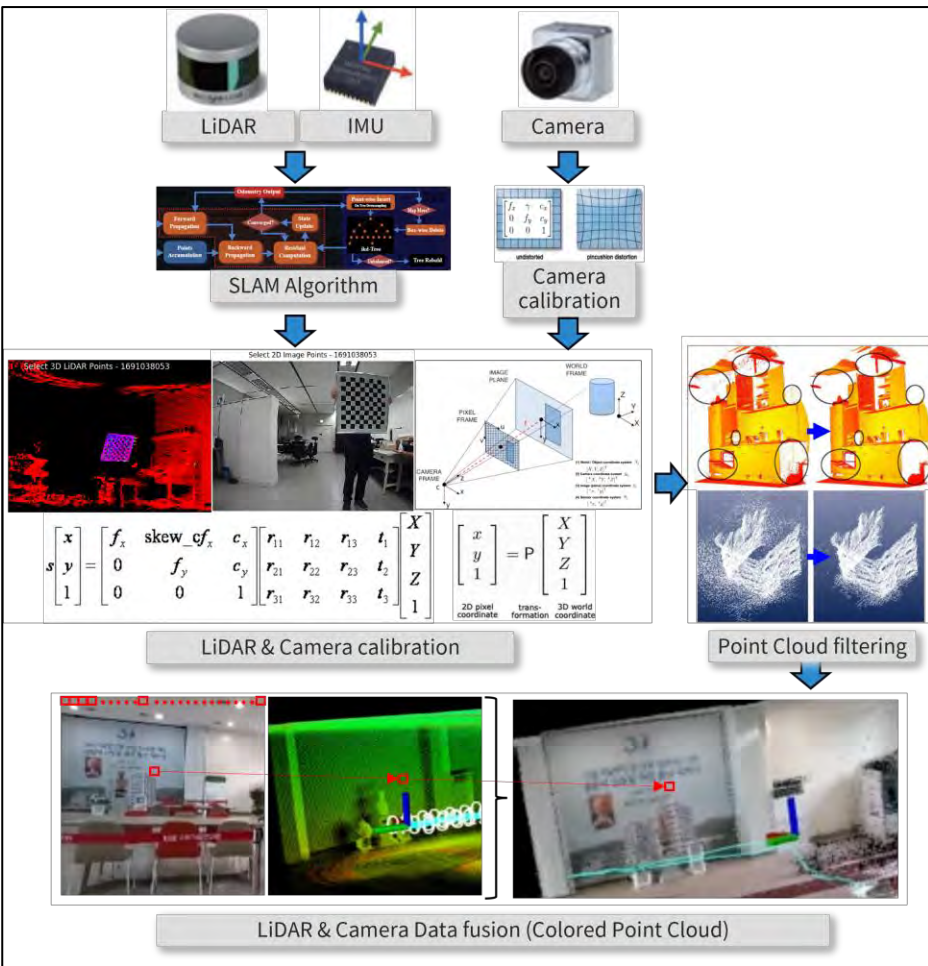


최종 알고리즘 결과

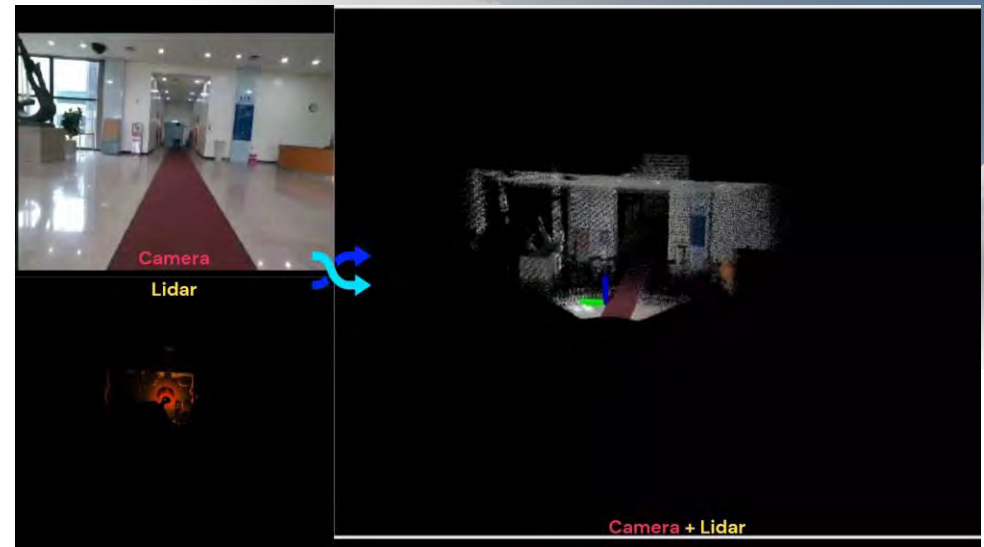


03 1단계 연구수행 내용

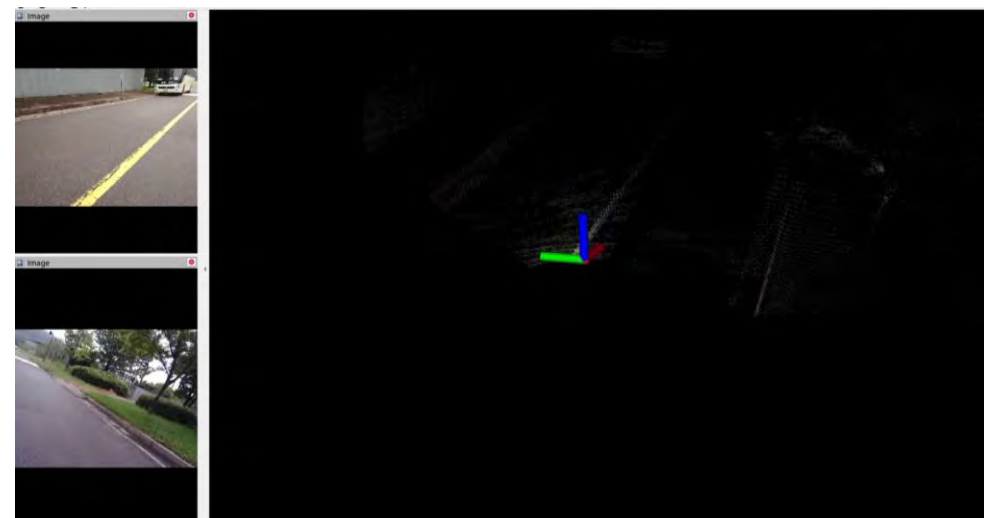
>> 카메라 & LiDAR 융합 스캔 알고리즘



- 단일 카메라 연동



- 다중 카메라 연동



03 1단계 연구수행 내용

>> SLAM 기반 실시간 3차원 공간정보 스캔 플랫폼 요소기술

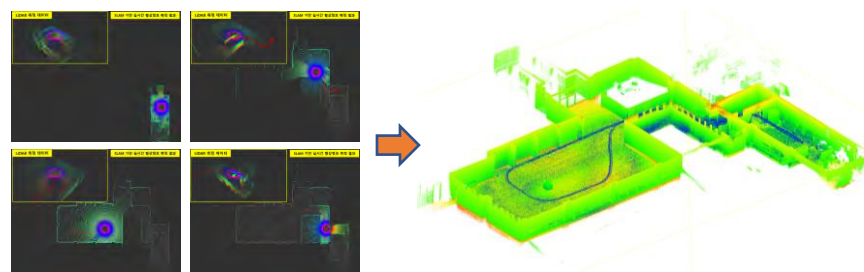
01 3차원 대면적 공간정보 이동형 스캔 모듈 개발

- 라이다 센서 기반 대면적 공간정보 실시간 3D 스캔 이동형 모듈 개발
- 작업자가 들고 이동하며 실시간으로 스캔하여 데이터 처리 하는 방식



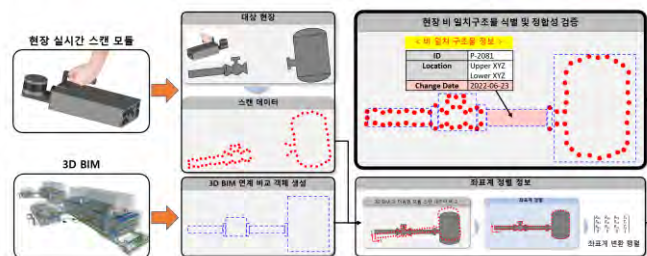
02 SLAM 기반 실시간 스캔정보 자동정합 및 위치추정 알고리즘 개발

- 실시간 점군 데이터 자동 정합 및 위치추정을 위한 라이다 기반 SLAM 알고리즘 개발
- 알고리즘 성능 향상을 위한 현장 특성을 고려한 특징점 추출 기능 최적화 적용



04 3D BIM 연계 현장 비 일치 구조물 정합성 검증 알고리즘 개발

- 정밀 스캔 데이터 좌표계 정렬 및 3D 모델 데이터 추출 알고리즘 개발
- 이동형 모듈 스캔 데이터 기반 3D BIM 모델과 현장 정합성 검증 알고리즘 개발



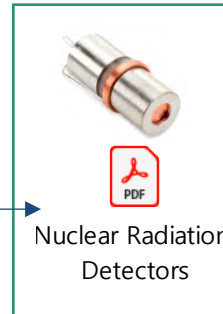
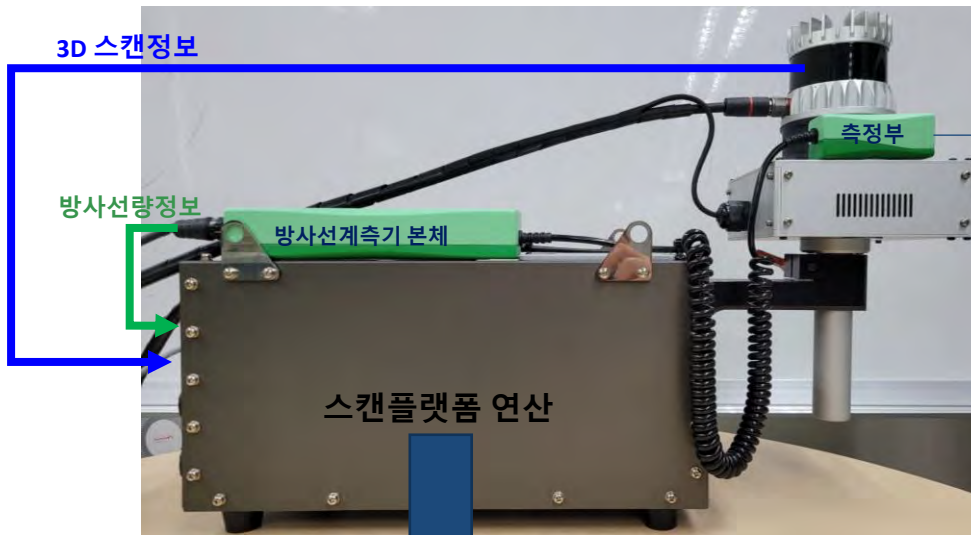
03 실시간 자기위치 기반 방사선/능 측정 알고리즘 개발

- 방사선(능) 계측기와 이동형 스캔 모듈 통합 H/W & S/W 인터페이스 개발
- SLAM 기반 실시간 자기위치 측위 기반 방사선(능) 측정 알고리즘 개발



03 1단계 연구수행 내용

>> 실시간 자기위치 기반 방사선/능 측정 알고리즘 개발



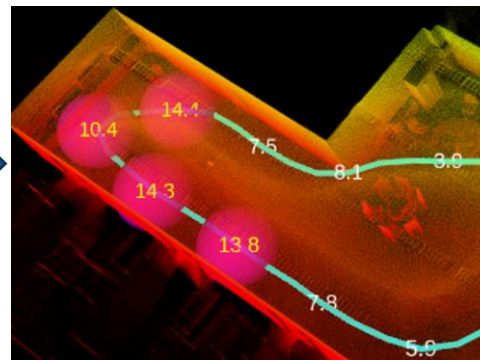
<Radiation Data Packet>

Byte Offset 0	Byte Offset 1	Byte Offset 2	Byte Offset 3
U	G	uSv Packet(100,000)	uSv Packet(10,000)
Byte Offset 4	Byte Offset 5	Byte Offset 6	Byte Offset 7
uSv Packet(1,000)	uSv Packet(100)	uSv Packet(10)	uSv Packet(1)
Byte Offset 8	Byte Offset 9	Byte Offset 10	Byte Offset 11
uSv Packet(0.1)	uSv Packet(0.01)	F	F

- * Nuclear Radiation Detector에서 방사선량 측정
- * 측정된 값은 계측기본체에서 연산처리
- * 연산처리정보를 데이터 패킷으로 변경
- * 데이터 패킷을 스캔플랫폼에 송신
- * 스캔플랫폼에서 데이터패킷을 위치좌표에 통합

- * 방사선량+이동좌표 통합(100msec)
- * 방사선량+이동좌표 디스플레이
- * 방사선량 허용치 초과시 경고(10 μ Sv)
- * 점군 맵핑
- * CSV파일 및 PCD파일 생성

<선량+위치+맵+경고>

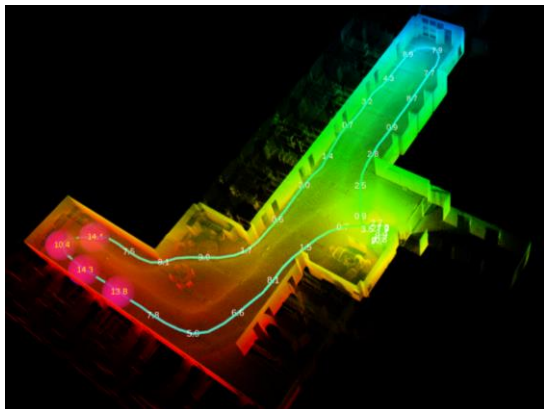


Time	X	Y	Z	Radiation
A	B	C	D	E
1 time_stamp	odom_X	odom_Y	odom_Z	Radioactivity
2 0.1991	0.12749755	-0.03287594	0.04797008	0
3 0.2987	0.24914488	-0.01760628	0.05988642	0.34999999
4 0.3975	0.41259712	0.00723213	0.02893353	3.11999989
5 0.497	0.55284442	0.02263655	-0.01210076	2.70000005
6 0.5976	0.67808027	0.02337625	-0.03448446	3.30999994
7 0.699	0.78934183	0.0148311	-0.01744437	3.55999994
8 0.8003	0.88528178	0.01506941	0.00363779	0.71999997
9 0.9003	0.98659439	0.00404939	-0.00027717	3.60999999
10 1.0002	1.09628943	0.00155442	-0.02890675	0.39999998
11 1.0996	1.22061786	0.00862343	-0.07116302	1.81999993
12 1.1989	1.36436612	-0.00612669	-0.08520673	0
13 1.2987	1.50185953	-0.0252535	-0.0703731	1.17999995
14 1.3983	1.619028	-0.00693613	-0.0651602	1.51999998
15 1.4973	1.72712998	0.01855486	-0.08130089	0.45999998
16 1.5969	1.84579094	0.03717417	-0.11395747	3.5
17 1.6978	1.97658751	0.04845185	-0.13741656	1.71999991
18 1.7991	2.10554753	0.04763551	-0.12007905	1.45999992

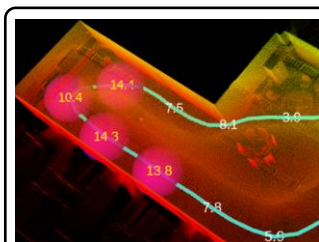
03 1단계 연구수행 내용

>> 실시간 자기위치 기반 3D 공간선량 지도 생성 알고리즘 개발

3차원 형상정보 및 위치기반 공간 선량 측정



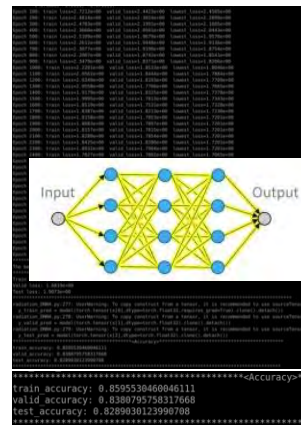
측정결과



3차원 이동좌표 기반 공간 선량

예측모델

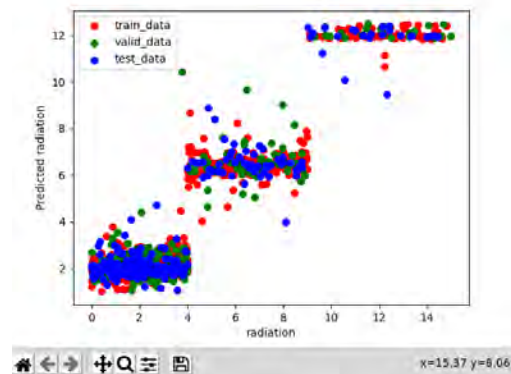
공간선량 예측 모델



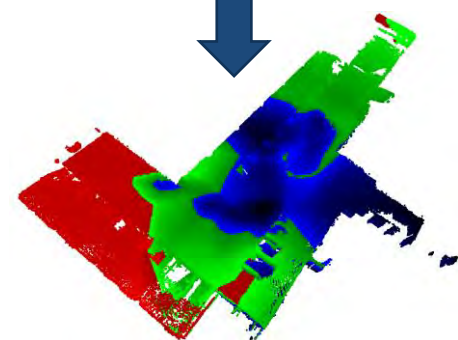
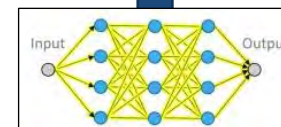
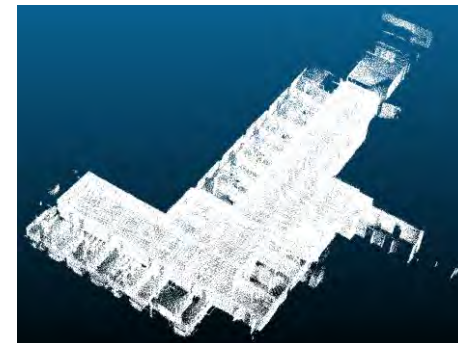
* Train 80%, Validation 20%, Test 20% data 분배

* Epoch 4000 & Accuracy 약 84% → 선량값의 랜덤생성으로 정확도 감소함(실제 계측치로 모델생성 예정)

* Train & validation Loss 그래프



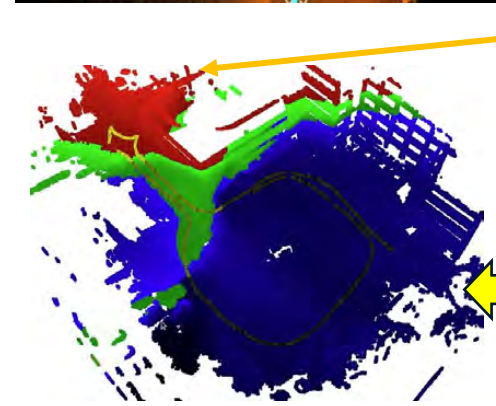
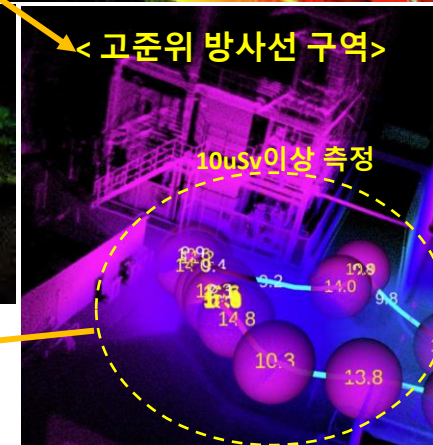
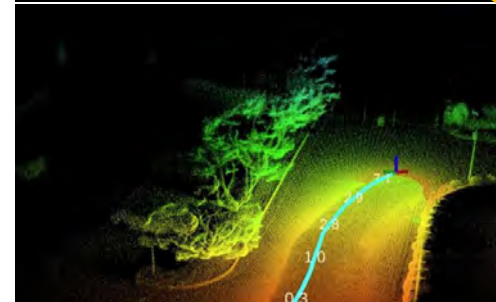
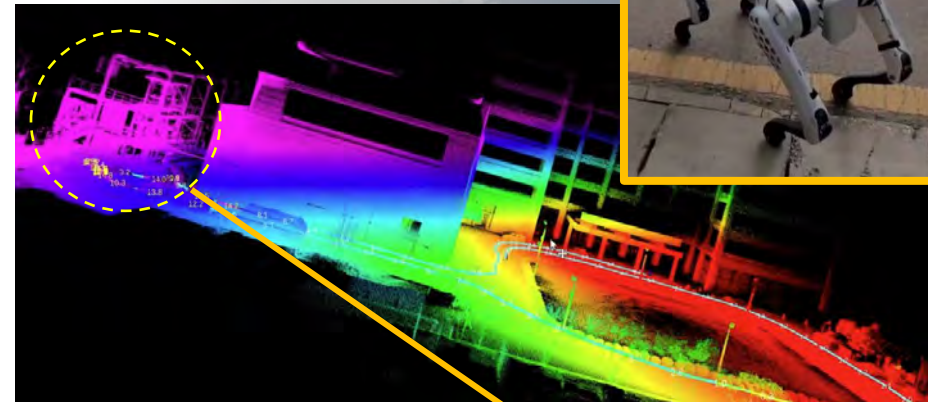
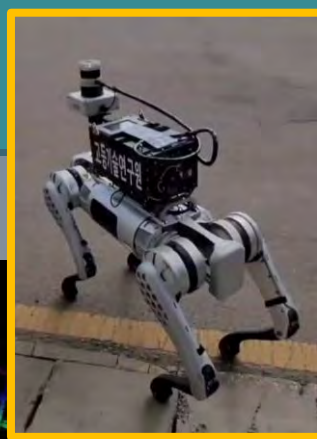
3차원 형상정보 스캔 데이터



3차원 공간선량 지도

03 1단계 연구수행 내용

>> 실시간 자기위치 기반 방사선/능 측정 3D 공간선량 지도 생성 시연 (로봇개 운영)



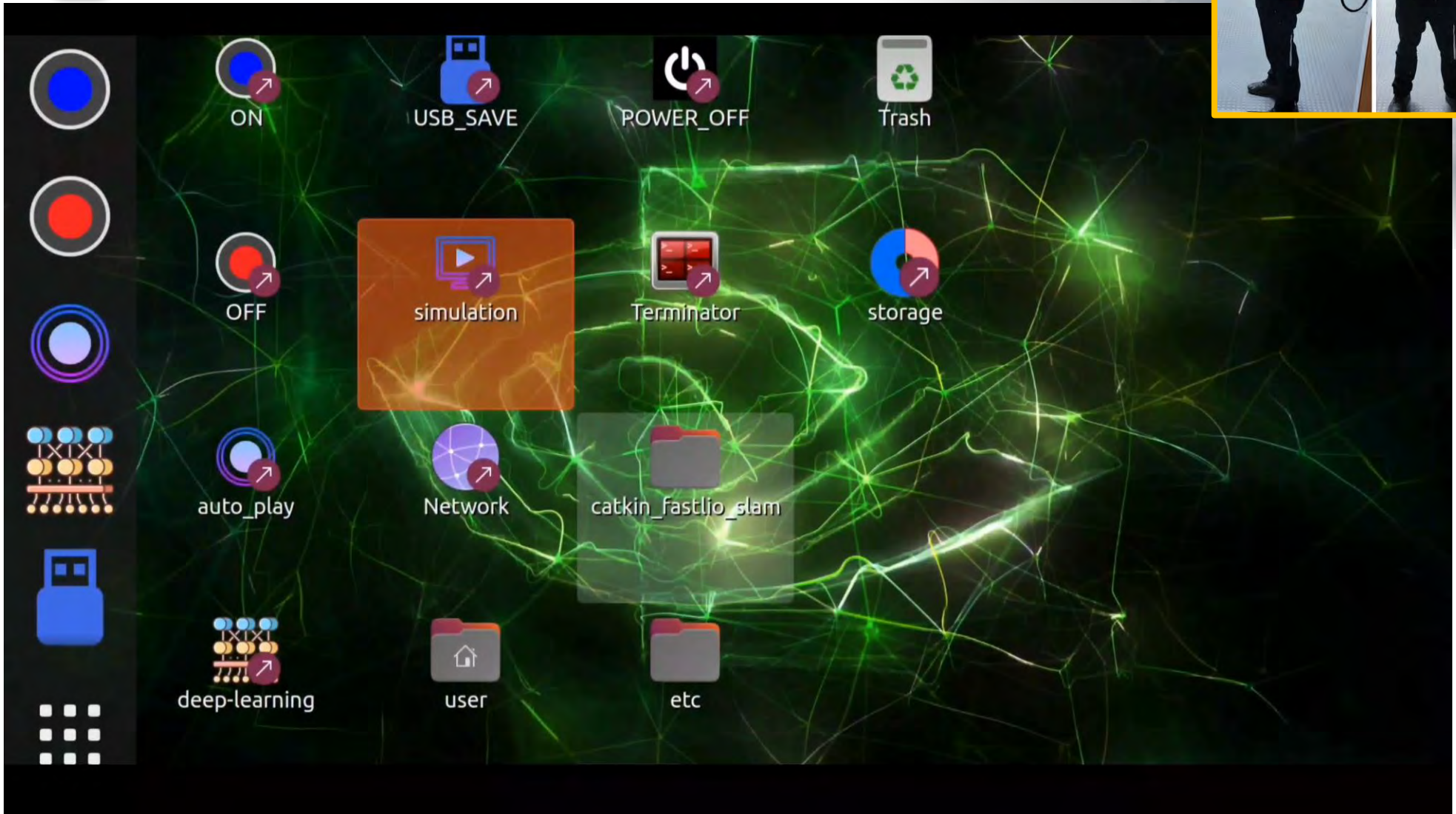
< 고준위 방사선 구역 >

10uSv 이상 측정

< 방사선 수치 예측 >

- Red명암: 10 uSv/h 이상
- Green명암: 4~10 uSv/h
- Blue명암: 0~4 uSv/h

>> 실시간 자기위치 기반 방사선/능 측정 3D 공간선량 지도 생성 알고리즘 시연 (작업자 운용)



03 1단계 연구수행 내용

>> SLAM 기반 실시간 3차원 공간정보 스캔 플랫폼 요소기술

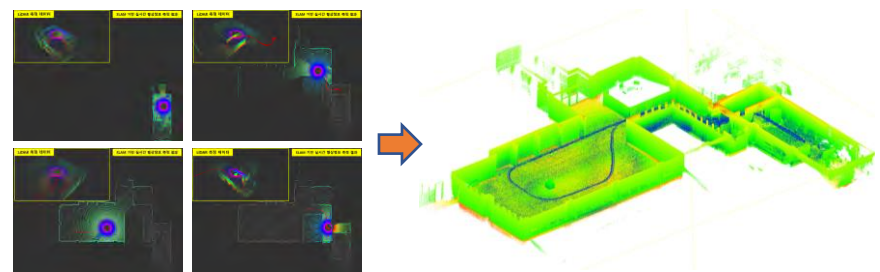
01 3차원 대면적 공간정보 이동형 스캔 모듈 개발

- 라이다 센서 기반 대면적 공간정보 실시간 3D 스캔 이동형 모듈 개발
- 작업자가 들고 이동하며 실시간으로 스캔하여 데이터 처리 하는 방식



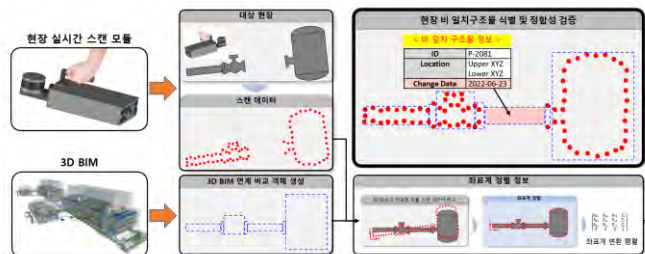
02 SLAM 기반 실시간 스캔정보 자동정합 및 위치추정 알고리즘 개발

- 실시간 점군 데이터 자동 정합 및 위치추정을 위한 라이다 기반 SLAM 알고리즘 개발
- 알고리즘 성능 향상을 위한 현장 특성을 고려한 특징점 추출 기능 최적화 적용



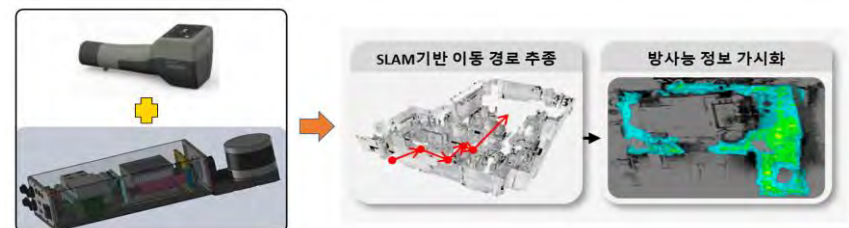
04 3D BIM 연계 현장 비 일치 구조물 정합성 검증 알고리즘 개발

- 정밀 스캔 데이터 좌표계 정렬 및 3D 모델 데이터 추출 알고리즘 개발
- 이동형 모듈 스캔 데이터 기반 3DBIM 모델과 현장 정합성 검증 알고리즘 개발



03 실시간 자기위치 기반 방사선/능 측정 알고리즘 개발

- 방사선(능) 계측기와 이동형 스캔 모듈 통합 H/W & S/W 인터페이스 개발
- SLAM 기반 실시간 자기위치 측위 기반 방사선(능) 측정 알고리즘 개발



03 1단계 연구수행 내용

>> BIM 기반 3D 형상정합성 검증 기술

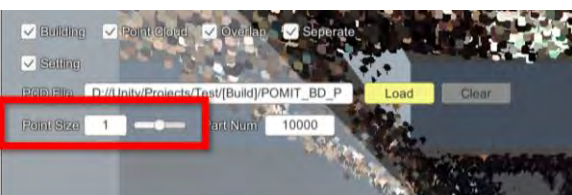


-Building : 건물 모델을 활성화.

-Point Cloud : 포인트 클라우드를 활성화.

-Overlap : 모델과 겹친 포인트를 활성화.

-Seperate : 모델과 겹치지 않은 포인트를 활성화



Size 1



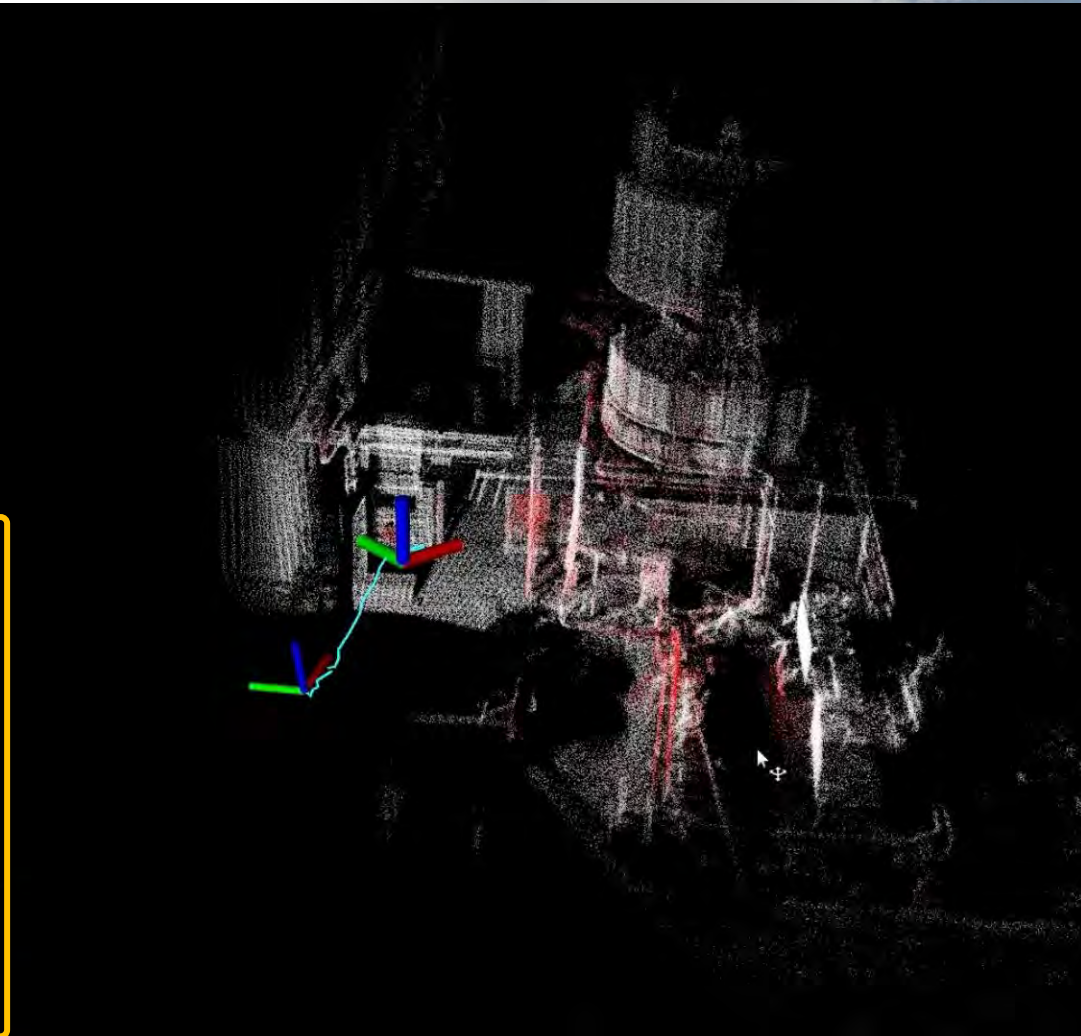
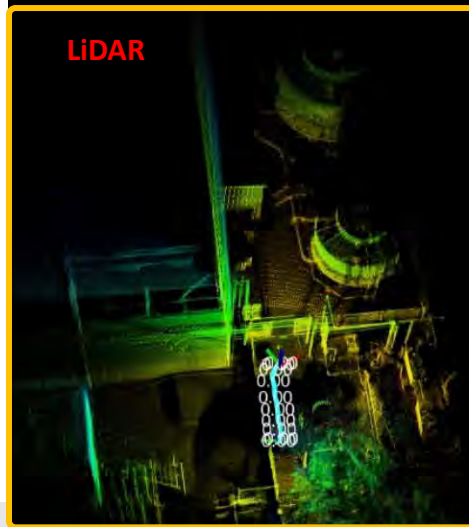
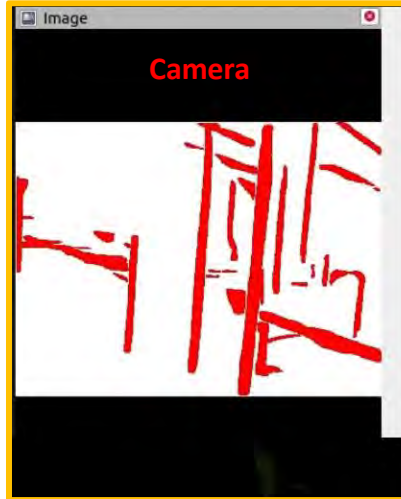
Size 0.1



03 1단계 연구수행 내용

>> 카메라 & LiDAR 융합 Image Segmentation 알고리즘 적용 3차원 객체인식 스캔기술

- ✓ 플랜트 디지털트윈 구축 기술에 활용 : 배관 인식 후 산업인공지능의 P&ID 인식 기술에서 추출한 설비 정보 연계하여 3D 모델 구축



CONTENTS

실시간 3D 공간선량 및 3D 표면선량 측정이 가능한 이동형 3차원 스캔 플랫폼



01. 연구원 소개

02. 연구배경

03. 1단계 연구수행내용

04. 1단계 연구결과

05. 추가연구

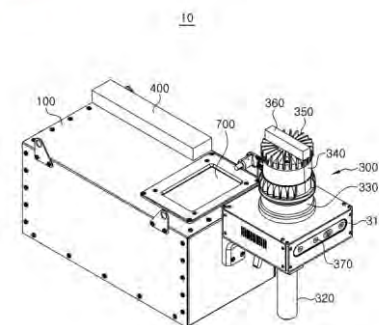
04 1단계 연구결과

>> 특허등록

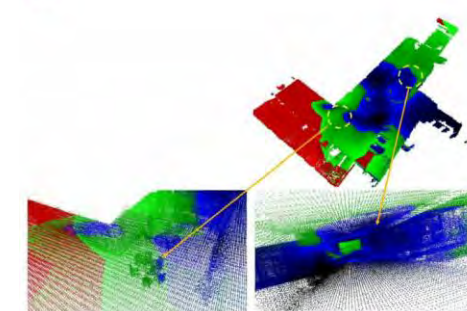


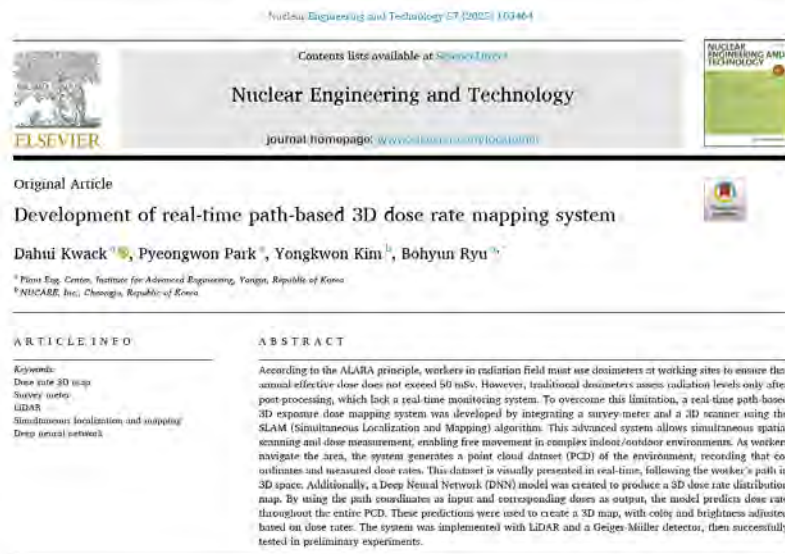
 (19) 대한민국특허청(KR) (12) 등록특허공보(B1)		(45) 공고일자 2023년11월24일 (11) 등록번호 10-2606441 (24) 등록일자 2023년11월22일	
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) G01T 7/00 (2006.01) G01T 1/02 (2006.01) G01T 1/28 (2006.01) (52) CPC특허분류 G01T 7/00 (2013.01) G01T 1/02 (2021.01) (21) 출원번호 10-2023-0079724 (22) 출원일자 2023년06월21일 심사청구일자 2023년06월21일 (56) 선행기술조사본인 JP2014145628 A* (뒷면에 계속)		(73) 특허권자 고동기술연구원연구조합 경기도 용인시 처인구 백암면 교안로51번길 175-28 한국전력기술 주식회사 경상북도 김천시 혁신로 200 (율곡동) (72) 발명자 박정원 경기도 용인시 수지구 손곡로 67 (동원동, 수전마을 우미 이노스빌) 유보현 서울특별시 성북구 동소로40길 46 (창의동, 꿈의숲 아이파크) (뒷면에 계속) (74) 대리인 제일특허법인(유)	
전체 청구항 수 : 총 5 항 (54) 발명의 명칭 방사선 측정장치 (57) 요약 본 발명은 방사선 측정장치에 관한 것이다. 구체적으로 본 발명의 일 실시예에 따르면, 이동개체에 배치되어 상기 이동개체에 의해 이동되는 본체; 상기 본체로부터 상기 이동개체가 이동하는 이동방향 측으로 연장되는 연장부; 상기 연장부에 배치되어 상기 이동개체가 이동하는 이동경로 상의 공간 및 방사선을 탐지하는 센서모듈; 상기 센서모듈에 의해 탐지된 공간의 지도를 형성하는 공간처리부; 상기 공간처리부에 의해 형성된 상기 지도에 상기 센서모듈에 의해 탐지된 방사선을 매핑시키는 방사선처리부; 및 상기 방사선이 매핑된 지도를 표시하는 디스플레이부를 포함하고, 상기 센서모듈은 상기 연장부에 분리 가능하도록 배치되고, 상기 이동개체에 의해 상기 연장부로부터 분리되어 상기 연장부보다 상기 이동방향 측에 배치되는, 방사선 측정장치가 제공될 수 있다.		심사관 : 한동기	

도면1



도면10





1. Introduction

In utilizing nuclear energy for social benefit, minimizing radiation hazards to protect workers is of paramount importance. The As Low As Reasonably Achievable (ALARA) principle, which stipulates that all exposure should be kept as low as reasonably achievable while considering social and economic factors, was introduced in 1977 by the International Commission on Radiological Protection (ICRP) [1]. According to the international regulations prescribed by the ICRP, the effective dose for radiation workers should not exceed 50 mSv per year and 100 mSv over five years. These regulations should be more strictly enforced, especially for workers in fields where high doses are expected, such as operational or nuclear decommissioning sites.

In the case of workers at an operating nuclear power plant, the accumulated exposure during working hours is generally evaluated by wearing personal dosimeter, such as a thermoluminescent dosimeter, glass dosimeter, or film badge. However, these dosimeters cannot monitor the exposure, which the workers received, in real time, as they require readout work by a professional reading institution. As an alternative, other radiation detectors are installed in hot spots where high doses are predicted in the operating nuclear power plant and record the

measured values. However, this approach does not provide continuous monitoring; it relies on periodic recordings of measured values, and there is a limitation in that the detectors have been located at the same places and the location of hot spots may change during each current maintenance (OH) period.

The lack of real-time monitoring becomes more problematic at the nuclear decommissioning site. As the dismantling of the reactor progresses, the structure of the site changes continuously, potentially leading to the direct leakage of radioactive materials as well as the movement of hot spots. Therefore, many researchers consider using a three-dimensional (3D) spatial scan technology with LiDAR to localize hotspots and create images [2–4]. However, these technologies were conducted in fixed position, requiring scanning at multiple points, and the scan data must be post-processed by experts. The time required for this work is in months, which is not suitable for a decommissioning site where structural changes are expected continuously. In other words, there is no adequate technology to minimize worker exposure while tracking and managing the constantly changing structure of the site.

Nuclear power plant accidents, such as the Fukushima disaster, could cause unexpected leakage of radioactive materials, posing risks of high-dose exposure in unforeseen areas. That is why the development of a

* Corresponding author: AI-DEX Center, Institute for Advanced Engineering, Yongin, Republic of Korea.
E-mail address: kwackd@iaae.ac.kr (D. Kwack).

<https://doi.org/10.1016/j.engetec.2025.103464>

Received 19 August 2024; Received in revised form 15 December 2024; Accepted 6 January 2025

Available online 5 February 2025

1739-5733/© 2025 Korean Nuclear Society, Published by Elsevier Korea LLC. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

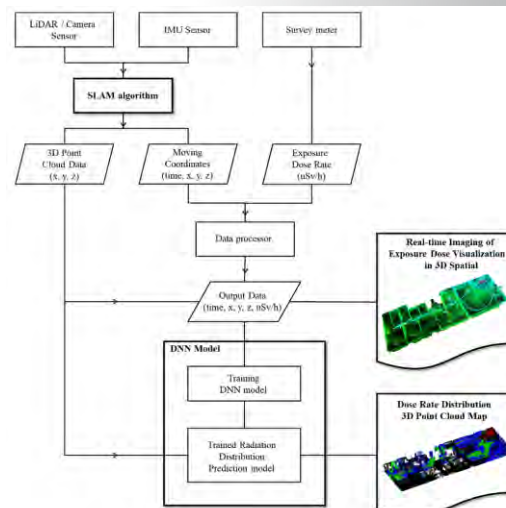


Fig. 1. Block diagram of the path-based 3D dose rate mapping system.

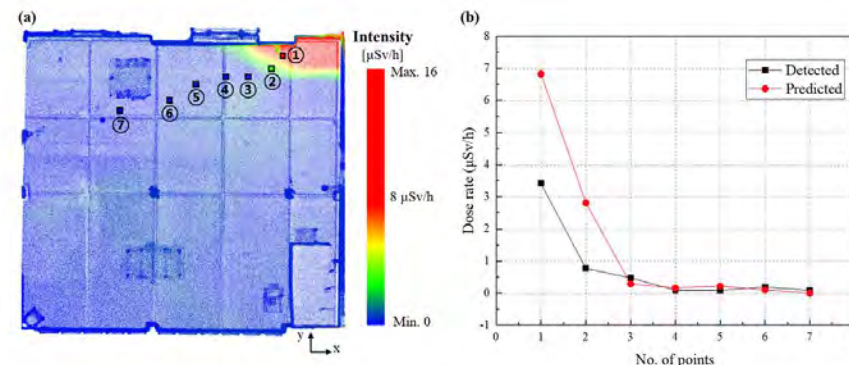


Fig. 10. Evaluation of generated 3D dose rate distribution map. (a) Shows the locations of extracted points from 3D map and (b) shows the detected dose rates by GM detector and predicted dose rates at the same x, y coordinates.

CONTENTS

실시간 3D 공간선량 및 3D 표면선량 측정이 가능한 이동형 3차원 스캔 플랫폼



- 01. 연구원 소개
- 02. 연구배경
- 03. 1단계 연구수행내용
- 04. 1단계 연구결과
- 05. 2단계 연구수행내용

>> 표면선량 계측 장비 연계 3차원 공간선량 지도 고도화**4-1 표면선량 측정기 연계 3차원 표면선량 측정 알고리즘 개발**

- ▶ 작업공간 분석을 통한 최적 콜리메이터 선정
- ▶ 표면선량 측정기와 라이다 융합 알고리즘 개발
- ▶ 3차원 표면선량 가시화 알고리즘 개발
- ▶ 표면선량기 연계 시제품 개선 수행

4-2 3차원 공간선량 지도 데이터 연계 모듈 개발

- ▶ 3차원 공간선량 디지털화를 위한 공간 격자화 알고리즘 개발
- ▶ 대상 환경 분석을 통한 최적의 공간 격자 사이즈 도출
- ▶ 데이터 연계를 위한 통신 프로토콜 개발
- ▶ 데이터 송수신을 위한 통신 인터페이스 개발

5-1 3차원 표면선량 연계 3차원 공간선량 지도 최적화

- ▶ 3차원 표면선량 기반 3차원 공간선량 바운더리 경계선 설정
- ▶ 표면선량 결과 연계 3차원 공간선량 생성 AI 모델 최적화
- ▶ 3차원 공간선량 및 표면선량 가시화 모듈 개발

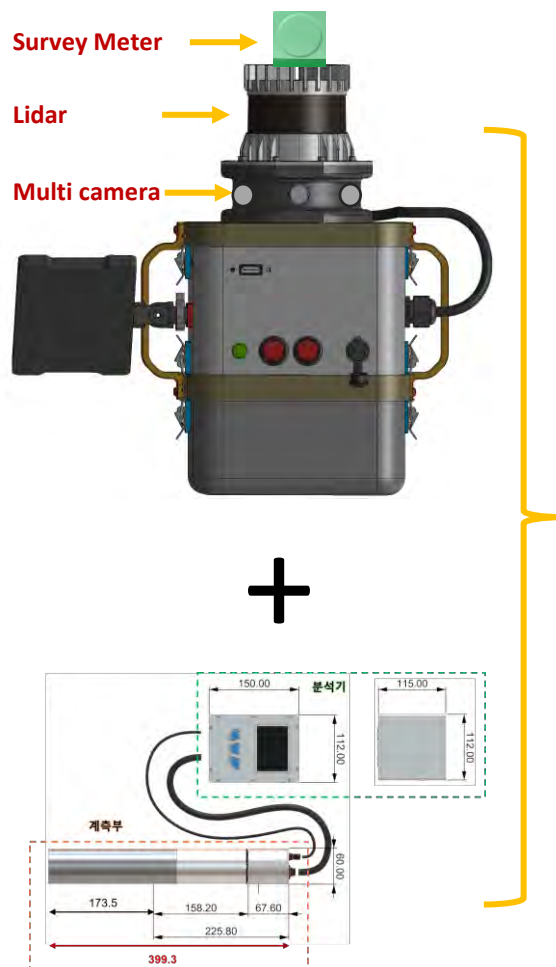
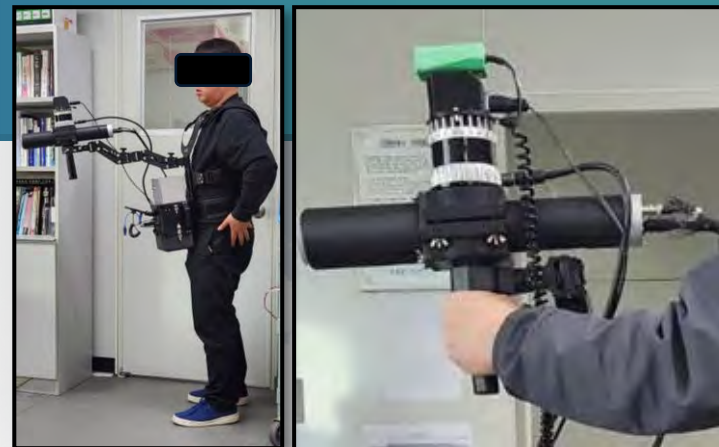
5-2 3차원 표면선량 측정기 연계 시제품 최적화

- ▶ 3차원 표면선량 측정기 연계 통신 프로토콜 개발
- ▶ 3차원 표면선량 측정기 연계 하드웨어 인터페이스 개발
- ▶ 표면선량 측정기 연계 시제품 설계 및 제작
- ▶ 2단계 시제품 최적화 수행

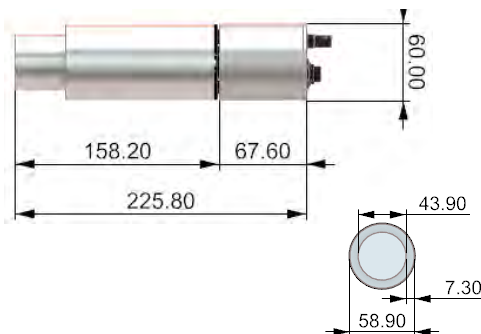
>> 표면선량 측정기 연계 3차원 표면선량 측정 알고리즘 개발

< 목적 >

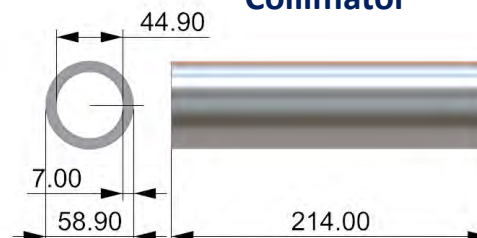
- 3차원 표면선량 측정
- 3D 공간선량 지도의 정확도 향상



Nal(Tl) scintillation detector



Collimator

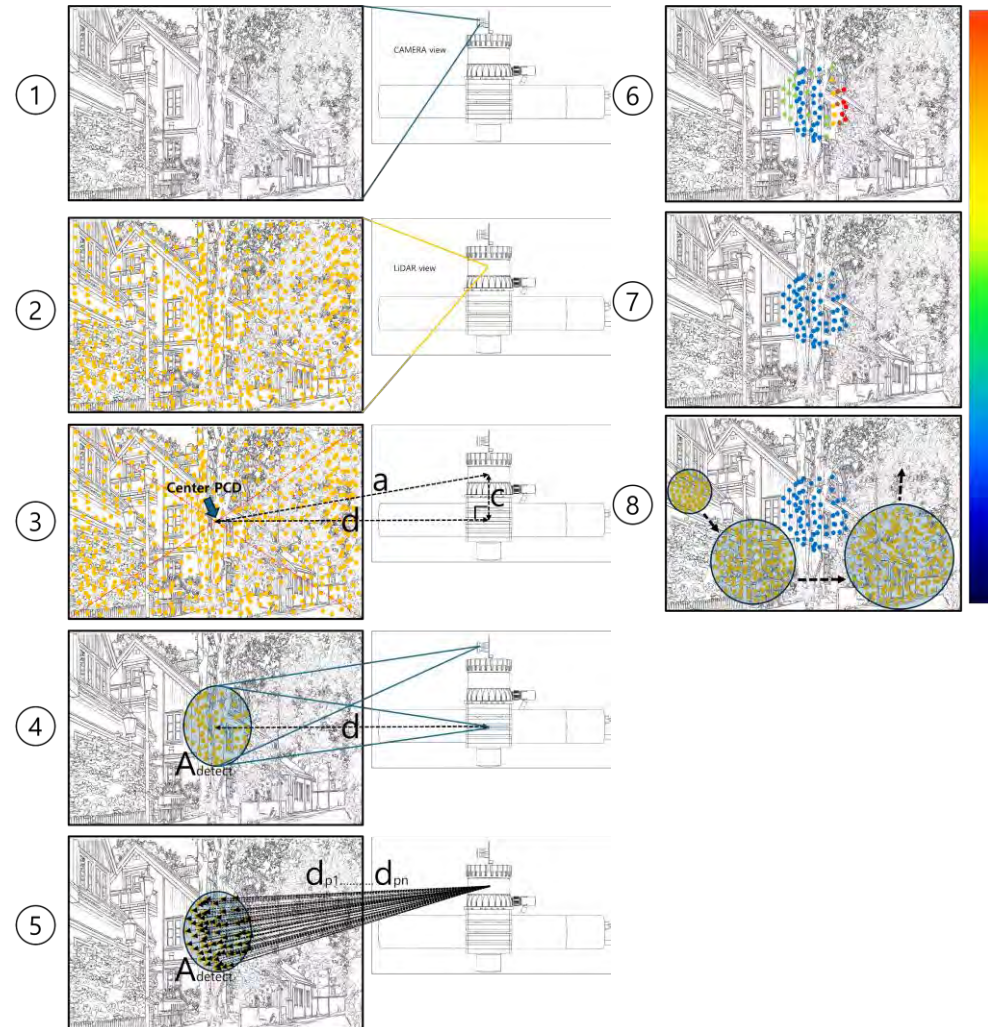
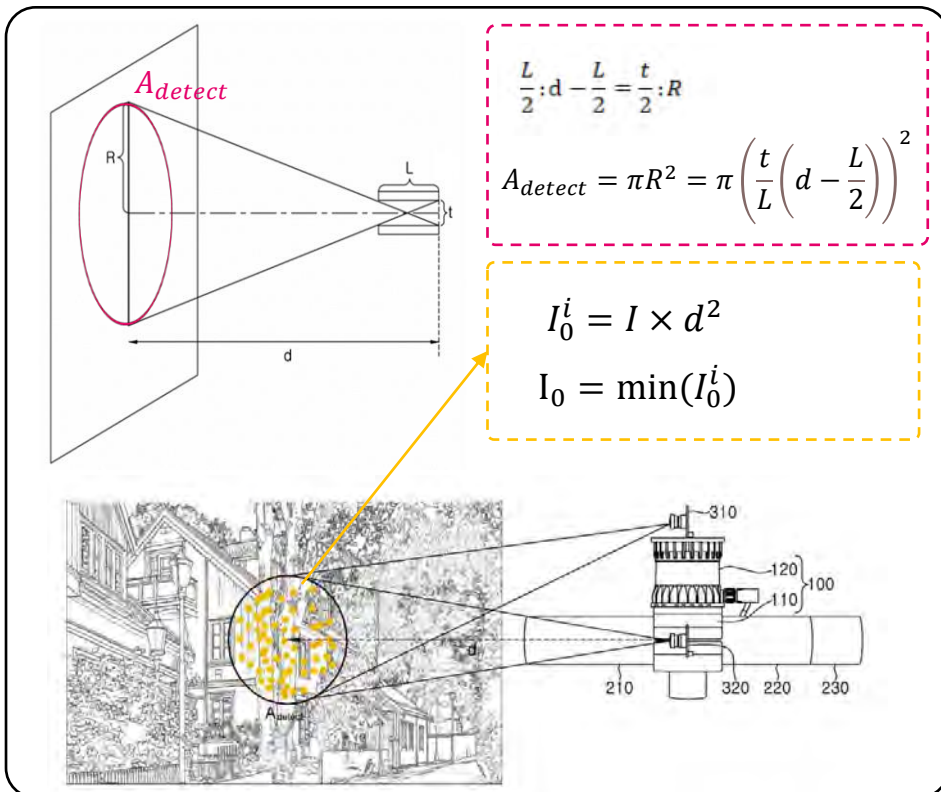


05 2단계 연구수행내용

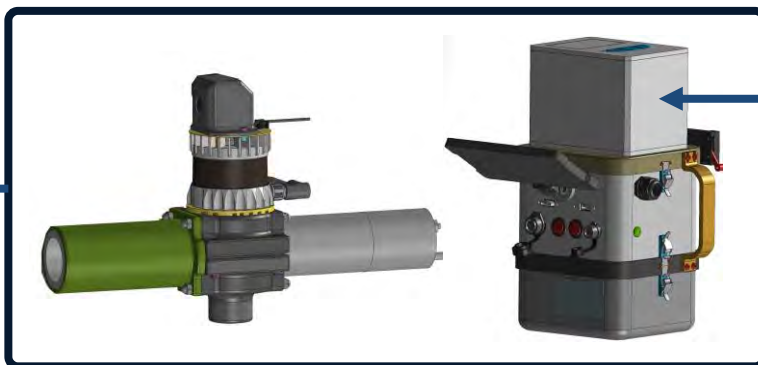
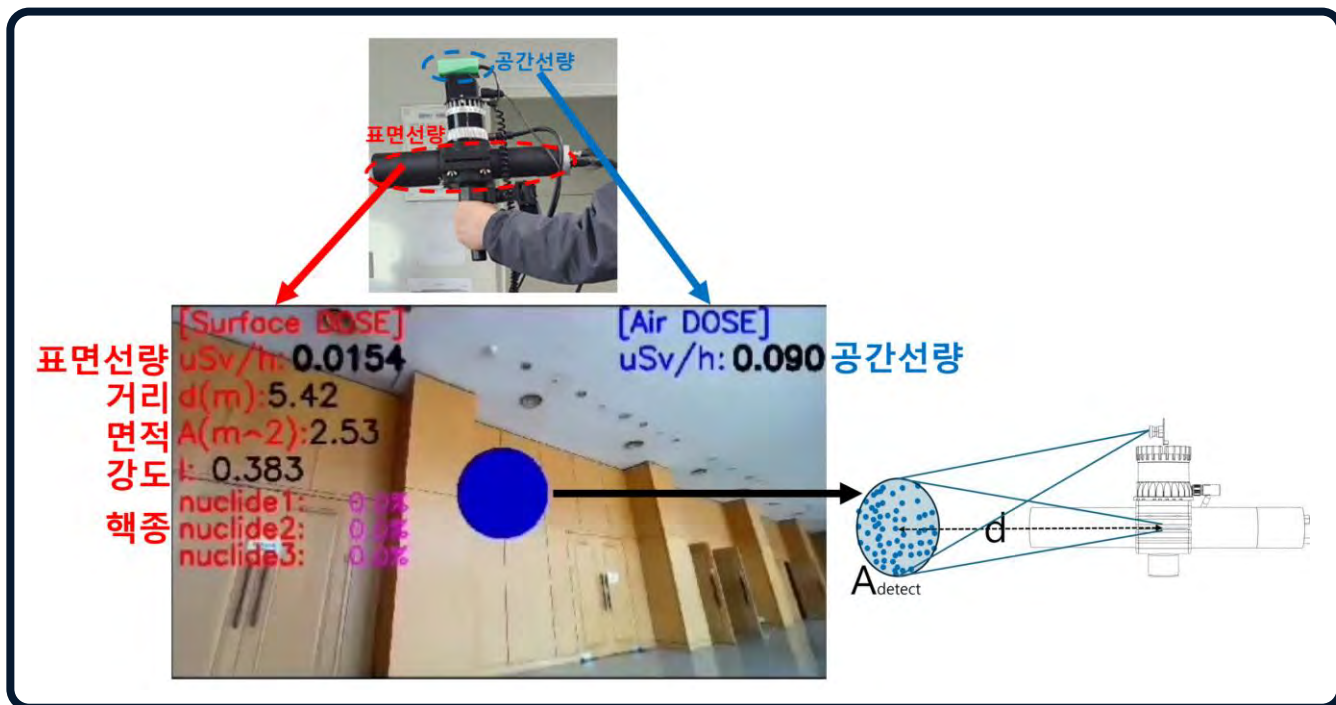
>> 표면선량 측정기 연계 3차원 표면선량 측정 알고리즘 개발

✓ 표면선량 3D PCD mapping 알고리즘 개발

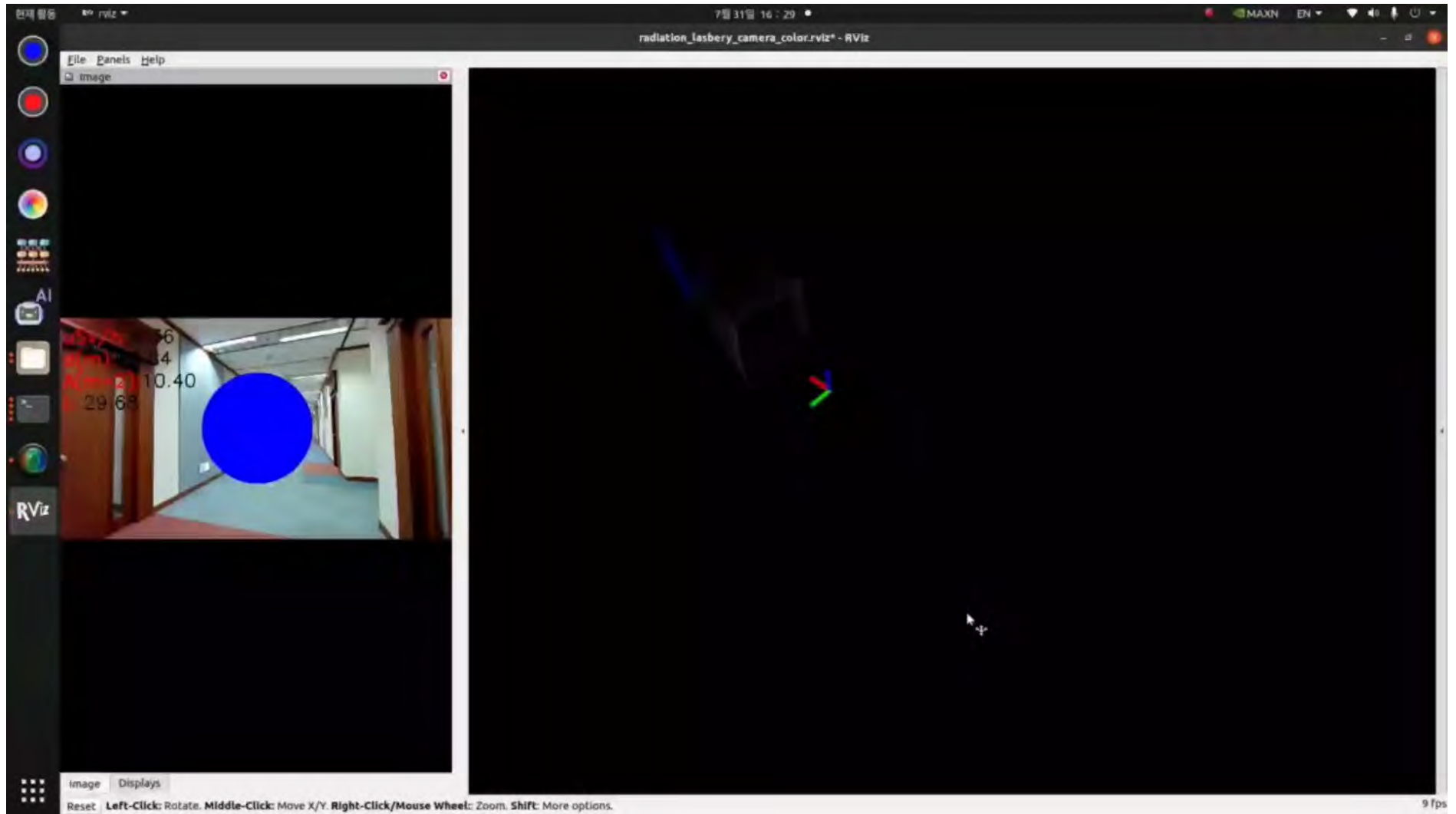
- Collimator로 제한한 유효측정범위 (A_{detect}) 산출
- 해당 점군에서의 표면선량률(I_0)은 측정값(I)에 거리 제곱을 곱하여 반영
- 이때 해당 범위 내 모든 점군에 대하여 표면선량률을 계산한 뒤, 그 중 최솟값을 대표값으로 설정하여 일괄 반영



>> 표면선량 측정기 연계 3차원 표면선량 측정 알고리즘 개발



>> 표면선량 측정기 연계 3차원 표면선량 측정 알고리즘 개발

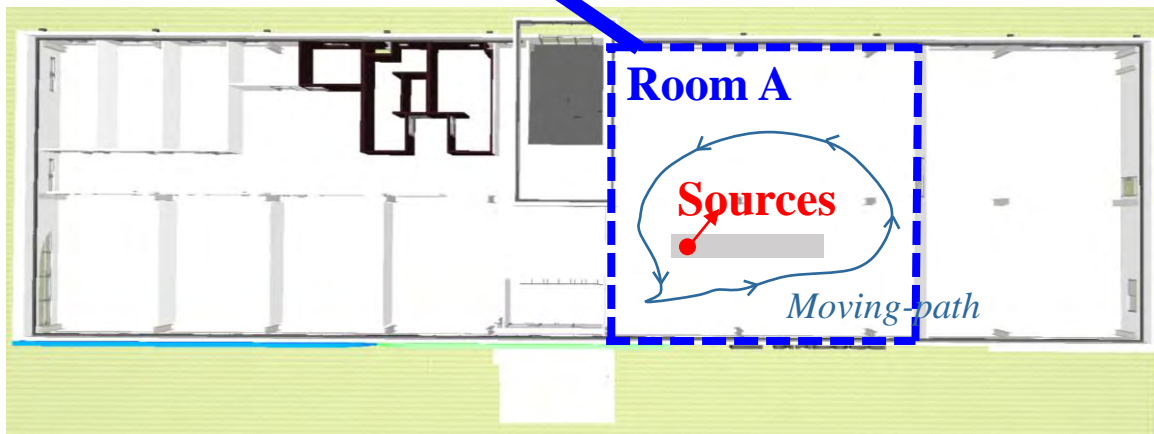
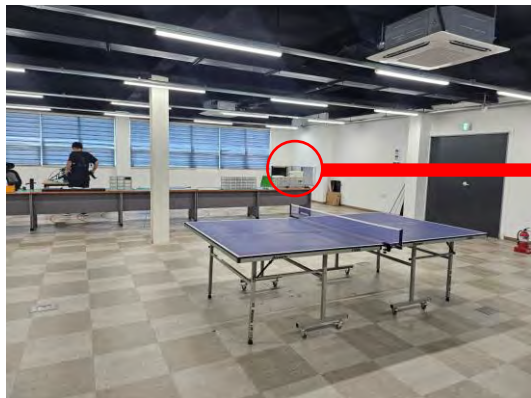


05 2단계 연구수행내용

>> 표면선량 측정기 연계 3차원 표면선량 측정 알고리즘 개발

✓ 실제 표면선량 측정 테스트 수행

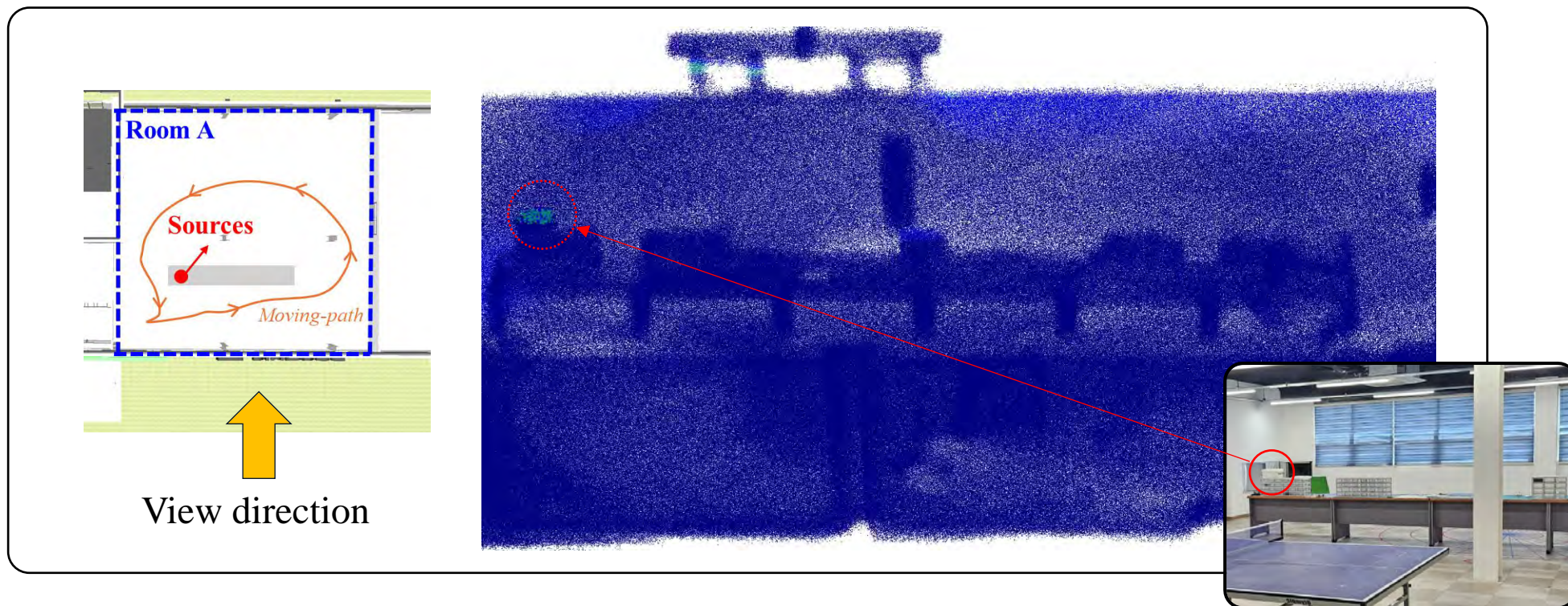
- 테스트에 사용한 선원은 계측 가능한 수준의 방사능을 달성하기 위해 감마 방출 점선원 등을 모아서 진행
- 책상 위 서랍장 위에 선원들을 담은 플라스틱 박스를 위치시키고 테스트 수행



>> 표면선량 측정기 연계 3차원 표면선량 측정 알고리즘 개발

✓ 실제 표면선량 측정 테스트 결과

- 선원들이 담긴 플라스틱 박스가 하이라이트 되어 측정되는 것을 확인
- 환산된 표면선량은 1 uSv/hr 이하로, 실제 대비 매우 낮게 평가됨.
- 선량계에 장착된 collimator의 FOV가 거리가 멀어짐에 따라 넓어져, 선원 뒷 편의 벽면도 선량이 높게 측정됨



>> 표면선량 계측 장비 연계 3차원 공간선량 지도 고도화

4-1 표면선량 측정기 연계 3차원 표면선량 측정 알고리즘 개발

- ▶ 작업공간 분석을 통한 최적 콜리메이터 선정
- ▶ 표면선량 측정기와 라이다 융합 알고리즘 개발
- ▶ 3차원 표면선량 가시화 알고리즘 개발
- ▶ 표면선량기 연계 시제품 개선 수행

4-2 3차원 공간선량 지도 데이터 연계 모듈 개발

- ▶ 3차원 공간선량 디지털화를 위한 공간 격자화 알고리즘 개발
- ▶ 대상 환경 분석을 통한 최적의 공간 격자 사이즈 도출
- ▶ 데이터 연계를 위한 통신 프로토콜 개발
- ▶ 데이터 송수신을 위한 통신 인터페이스 개발

5-1 3차원 표면선량 연계 3차원 공간선량 지도 최적화

- ▶ 3차원 표면선량 기반 3차원 공간선량 바운더리 경계선 설정
- ▶ 표면선량 결과 연계 3차원 공간선량 생성 AI 모델 최적화
- ▶ 3차원 공간선량 및 표면선량 가시화 모듈 개발

5-2 3차원 표면선량 측정기 연계 시제품 최적화

- ▶ 3차원 표면선량 측정기 연계 통신 프로토콜 개발
- ▶ 3차원 표면선량 측정기 연계 하드웨어 인터페이스 개발
- ▶ 표면선량 측정기 연계 시제품 설계 및 제작
- ▶ 2단계 시제품 최적화 수행

>> 3차원 공간선량 지도 데이터 연계 모듈 개발

- ✓ CUBE 형태의 간격자 기반 3차원 공간선량 지도 연계 프로토콜

2연구 - ALARA 의사결정 통합시스템

- VR-Dose 결과와 실 원전 데이터 비교
- 작업 별/시나리오 별 피폭 예측 활용

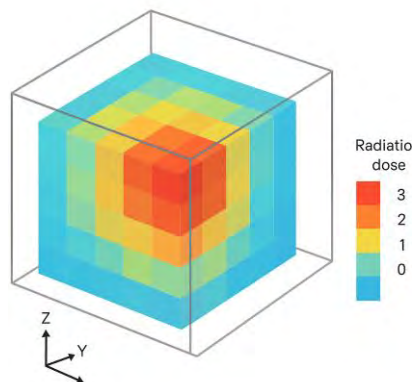
3연구 - 3D 실감몰입 훈련 시스템

- 실 원전 선량 데이터 VR 내 가시화
- 원전과 동일한 선량 환경에서 훈련 가능

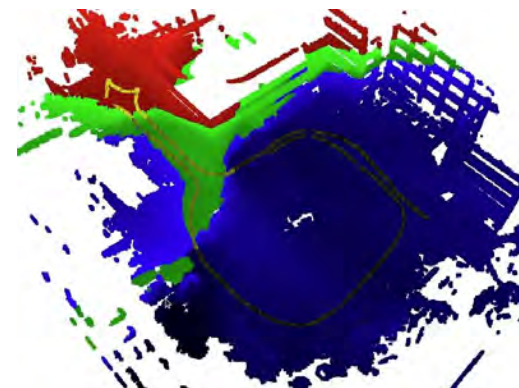
4연구 - 방사선 안전관리 시스템

- 실 원전 선량 데이터 기반 안전관리 가능
- 실시간 작업자 피폭 예측에 활용

격자화 된 3차원
공간 선량 데이터 제공



3D 공간선량 지도
(모든 위치 공간선량 확인가능)



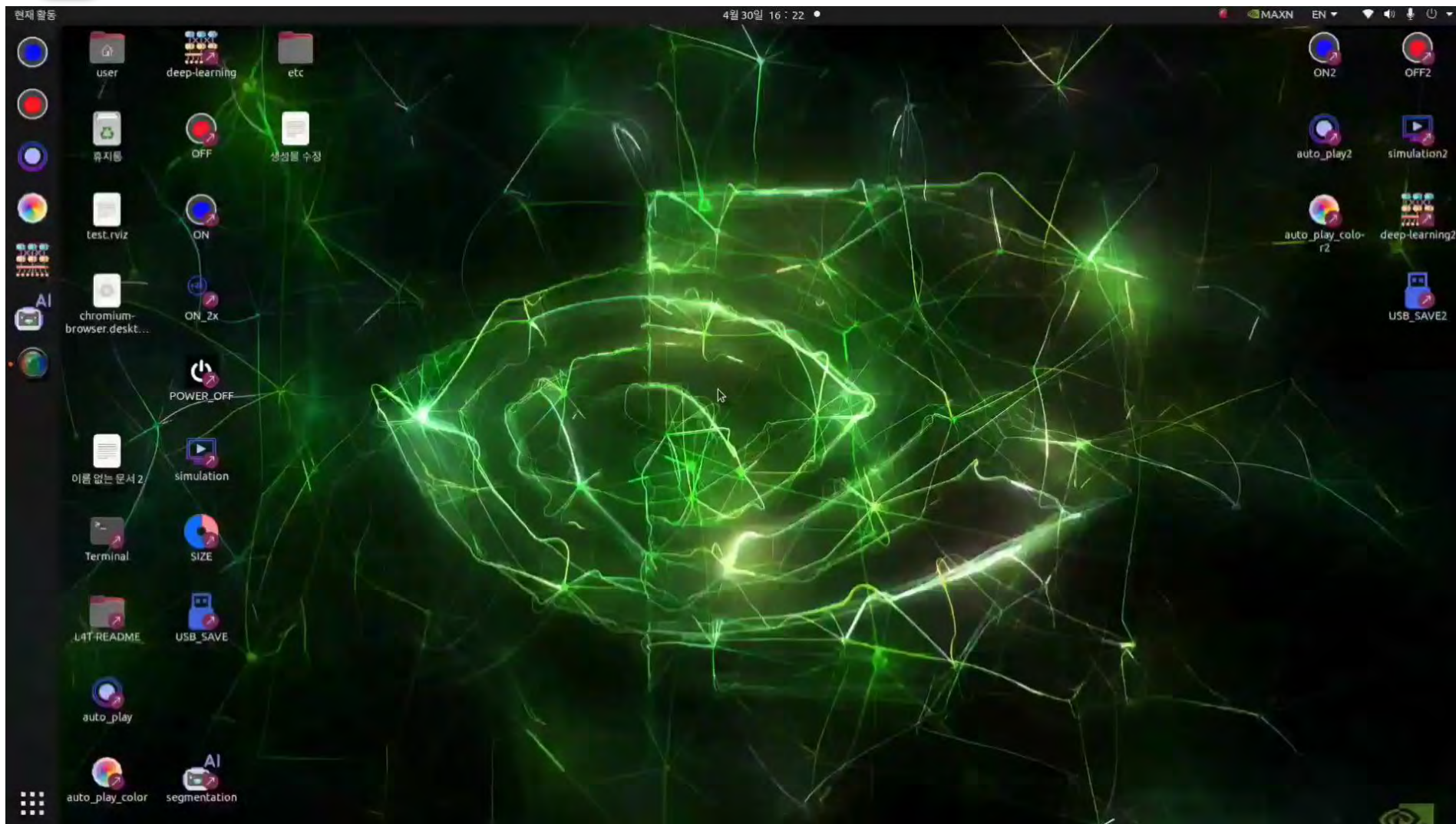
< 데이터 전달 방식 >

1. 통신으로 전달 (TCP/IP)
2. 파일로 전달 (CSV)

Red	명암: 10 uSv/h 이상
Green	명암: 4~10 uSv/h
Blue	명암: 0~4 uSv/h



3차원 공간선량 지도 데이터 연계 모듈 개발



Thank You for Attention

IAE 고등기술연구원

고부가가치 핵심기술 확보를 위한
첨단 복합기술 개발

