14CHUD-C061919-03

플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발 최종보고서

2015.6.26

국토교통부 국토교통과학기술진흥원

9 788972 078517 93540
ISBN 978-89-7207-851-7

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

국토교통기술촉진연구사업 14CHUD-C061919-03

발 간 등 록 번 호
11-1613000-000888-01

플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발

최종보고서

2015. 6. 26.

주관연구기관 / 중앙대학교 산학협력단

Infrastructure R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "**플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발**에 관한 연구"과제의 최종보고서로 제출합니다.

2015 . 06 . 26

주관연구기관명 : 중앙대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 김 창 완

연 구 원 : 손 봉 수

" : 김 창 민

" : 나 종 철

" : 손 효 주

" : 이 성 욱

" : 이 승 택

" : 이 주 혁

" : 임 우 람

" : 조 민 우

" : 황 나 혜

" : 김 시 창

" : 엄 재 철

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>14CHUD-C061919-03</td><td>해당단계 연구기간</td><td>2012. 04. 10~ 2015. 02. 09</td><td>단계구분</td><td>(해당단계) 2012. 04. 10~ 2015. 02. 09/ (총 단 계) 2012. 04. 10~ 2015. 02. 09</td></tr>
<tr><td>연구사업명</td><td colspan="5">건설교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>최상위과제명</td><td colspan="4">플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발</td></tr>
<tr><td>연구책임자</td><td>김 창 완</td><td>총연구기간 참여 연구원수</td><td>총 : 13명
내부: 13명
외부: 13명</td><td>총연구비</td><td>정부: 590,000천원
기업: 천원
계 : 590,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 소속부서명</td><td colspan="2">중앙대학교 산학협력단
공과대학 건축학부</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:</td><td colspan="3">상대국연구기관명:</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약 (연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td>333 페이지</td></tr>
<tr><td colspan="6">○ 본 연구과제의 최종목표는 공사 중이거나, 운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델을 구축하는 기술을 개발하는 것임.
○ 기존 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스는 90% 정도를 수작업에 의존하여 많은 인력과 시간이 소요됨. 본 연구과제에서는 기존 프로세스의 비효율성과 복잡성, 수작업 오류로 인한 정보 모델의 부정확성 등의 문제를 개선하는 것을 목표로 하여 수작업에 의한 정보 모델 구축 프로세스를 20% 이하로 획기적으로 단축시키는 프로세스를 제안·개발함.
○ 본 연구과제의 최종목표를 달성하기 위해 수행한 주요 연구내용은 다음과 같음.
- 플랜트 시설로부터 첨단 센서를 이용하여 획득한 3차원 As-Built 점군 데이터의 정합 및 개선 기술 개발
- 컴퓨터 비전 기술을 활용한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발
- 플랜트 데이터베이스를 기반으로 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색인어</td><td>한글</td><td colspan="4">플랜트, 3차원 As-Built 모델, 시공, 운영·유지, 플랜트 정보 모델, 레이저 스캐너</td></tr>
<tr><td>영어</td><td colspan="4">Plant, 3D As-Built Model, Construction, Operation and Maintenance, Plant Information Model, Laser Scanner</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 과제명

플랜트 시공 및 운영·유지 관리 효율화를 위한 자동화된 정보 모델 구축 프로세스 개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

1. 연구배경

○ 플랜트 정보 모델 (Plant Information Model)이란, 플랜트 시설을 구성하는 각종 배관, 밸브, 기기에 대한 3차원 기하학적 형상 정보를 가진 객체 모델에 개별 객체에 대한 정보를 포함하는 개념임. 이는 프로젝트를 전 단계 (설계, 조달, 시공 및 운영·유지 관리)에 걸쳐 효과적으로 관리하고 운영할 수 있도록 함으로써 프로젝트의 성공적 완수를 위한 필수적 도구로 인식되고 있음.

○ 기존 플랜트 정보 모델은 설계 단계에서 계획된 시설물의 3차원 기하학적 모델을 활용한다는 점에서 시공 및 운영·유지 관리 단계에서의 활용이 극히 제한됨. 이는 시공 단계에서의 설계 변경 등과 운영·유지 관리 단계에서의 개보수 및 증설로 인해 설계 단계에서 계획된 시설물과 시공된 (또는 운영·유지되고 있는) 시설물의 상황이 상이한 데에서 비롯함.

○ 따라서 플랜트 정보 모델을 프로젝트 전 단계에 걸쳐 효과적으로 사용하고 이를 통해 국내 건설업계의 경쟁력을 확보하기 위해서는 시공 및 운영·유지 관리 단계에서 플랜트 시설물의 현 상황 (As-Built)을 반영한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술의 확보가 필수적임.

○ 국내 건설업계에서의 공사 중이거나 시공된 플랜트 시설물에 대한 플랜트 정보 모델 구축 프로세스는 노동 집약적 특성을 가지고 있어 수십 명의 인원이 수개월 이상 작업해야 하는 등 고비용과 장시간 소요라는 문제점을 안고 있음.

○ 본 연구과제는 기존 상용 소프트웨어를 활용한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스의 비효율성과 복잡성, 수작업 오류로 인한 정보 모델의 부정확성 등의 문제를 개선하는 것을 목표로 하여 수작업에 의한 정보 모델 구축 프로세스를 획기적으로 단축시키는 프로세스를 제안함.

2. 연구목표

○ 본 연구과제의 최종목표는 공사 중이거나, 운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델을 구축하는 기술을 개발하는 것임.

○ 기존 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스는 90% 정도를 수작업에 의존하여 많은 인력과 시간이 소요됨. 본 연구과제에서는 기존 프로세스의 비효율성과 복잡성, 수작업 오류로 인한 정보 모델의 부정확성 등의 문제를 개선하는 것을 목표로 하여 수작업에 의한 정보 모델 구축 프로세스를 20% 이하로 획기적으로 단축시키는 프로세스를 제안·개발함.

○ 본 연구과제의 최종목표를 달성하기 위한 주요 연구목표는 다음과 같음.
- 플랜트 시설로부터 첨단 센서를 이용하여 획득한 3차원 As-Built 점군 데이터의 정합 및 개선 기술 개발
- 컴퓨터 비전 기술을 활용한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발
- 플랜트 데이터베이스를 기반으로 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발

Ⅲ. 연구개발 수행 내용 및 결과

1. 핵심성과 1: 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템

(1) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득

(가) 플랜트 시설에 관한 테스트베드 협의/선정
(나) 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립
(다) 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력
(라) 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득

(2) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발

(가) 데이터 특성에 적합한 3차원 점군 데이터 정합 기술 정립
(나) 플랜트 정보 모델 구축 업체와의 기술교류 및 협력
(다) 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발

(3) 플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발

(가) 데이터 특성에 적합한 이상치 제거 기술 정립
(나) 전문가 자문을 통한 이상치 제거 기술 검토
(다) 이상치 데이터 제거 기술 개발

(4) 운영 중인 플랜트 시설에서 획득한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선

(가) 운영 중인 플랜트 시설에 대한 테스트베드 협의 및 선정
(나) 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립
(다) 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득
(라) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선

(5) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 검증 및 보완
(가) 개발한 기술의 검증 및 보완을 위한 전략 체계 구축
(나) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 개선사항 도출 및 기술적 보완
(다) 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템 개발 및 등록

(6) 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 기술의 현장적용성 평가
(가) 테스트베드 적용 계획 수립
(나) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 현장적용성 평가 계획 수립
(다) 해당 기술의 테스트베드 적용 및 현장적용성 평가

2. 핵심성과 2: 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템

(1) 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터로부터 플랜트 배관에 대한 점군 분할을 위한 특성 파악
(가) 국내/외 플랜트 정보 모델 구축 관련 기술 수준 및 기술 동향 파악
(나) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 요구사항 분석
(다) 수요자 요구 반영을 위한 설문

(2) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발
(가) 데이터 특성에 적합한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 정립
(나) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발
(다) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

(3) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발
(가) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 요구사항 분석
(나) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
(다) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

(4) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발
(가) 플랜트 배관 파트별 특성 및 파트 간 연결 관계 분석
(나) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
(다) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

(5) 플랜트 배관 표면 모델 구축 기술 개발
(가) 플랜트 배관 파트별 파라메트릭 모델 자동 생성을 위한 매개 변수 정의
(나) 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
(다) 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

(6) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완
(가) 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축
(나) As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완
(다) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가

3. 핵심성과 3: As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템

(1) 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발

(가) 데이터 특성에 적합한 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 정립

(나) 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발

(다) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가

(2) 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발

(가) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 요구사항 분석

(나) 데이터 특성에 적합한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 정립

(다) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 개발

(3) 밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발

(가) 데이터 특성에 적합한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 정립

(나) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 개발

(4) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발

(가) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 요구사항 분석

(나) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

(다) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 및 테스트베드 적용

(라) 개선사항 반영을 통한 기술 개선 및 고도화

(5) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발

(가) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 요구사항 분석

(나) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

(다) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 및 테스트베드 적용

(라) 개선사항 반영을 통한 기술 개선 및 고도화

(6) 기하학적 원형 조합 기반 기기 형상 복원 기술 개발

(가) 플랜트 기기 종류별 구성 요소 정의

(나) 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

(다) 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토

(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

(7) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완

(가) 운영 중인 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축

(나) 자동화된 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완

(다) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

1. 질적 성과 달성

(1) 핵심성과 1: 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템
(가) 산학연간 기술지원 - 2건
(나) 전문가 의견 반영 실적 - 12건
(다) 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 8건
(라) 테스트베드 활용 건수 - 23회
(마) 현장 적용 건수 - 8건

(2) 핵심성과 2: 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템
(가) 전문가 의견 반영 실적 - 10건
(나) 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 3건
(다) 현장 적용 건수 - 9건
(라) 기술 동향 조사 실적 (국내/외) - 1건
(마) 수요자 요구 반영 실적 - 12건
(바) 플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가 - 1건

(3) 핵심성과 3: As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템
(가) 산학연간 기술지원 - 8건
(나) 전문가 의견 반영 실적 - 21건
(다) 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 2건
(라) 테스트베드 활용 건수 - 33회
(마) 현장 적용 건수 - 25건
(바) 플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가 - 1건
(사) 플랜트 정보 모델 구축 공정 단축율 - 60% 이상
(아) 플랜트 정보 모델 구축 인력 감축 효과 - 65% 이상
(자) 과제 수행 전과 비교한 기술 수준 향상 효과 - 100% 이상
(차) 선진국과의 기술 능력 격차 연수 - 0년

2. 양적 성과 달성

(1) SCI급 국제 학술지 논문 게재 - 3건

(2) 국제 학술회의 논문 발표 - 8건

(3) 특허 출원 및 등록 - 국내 등록 5건 (출원 5건 포함), 미국 출원 1건

(4) 소프트웨어 (S/W) 등록 - 3건

(5) 국제 협력 활성화 - 국제 회의 (워크샵) 개최 4회, 해외 기관과의 국제 협약 체결 4건

(6) 연구개발 결과 홍보 - 4건

(7) 인력 양성 배출 실적 - 석사 5명, 학사 2명

(8) 매뉴얼 개발 - 1건

(9) 국제 학술단체 수상 - 2건

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

1. 연구목표 달성도

번호	세부연구목표 (핵심성과)	달성내용	달성도(%)
1	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득	100
2		플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발	100
3		플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발	100
4		운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 플랜트 데이터 획득 및 개선	100
5		자동화된 3차원 플랜트 데이터 획득 및 개선 기술의 검증 및 보완	100
6		테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가	100
1	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템	플랜트 시설에 대한 전체 3차원 점군 데이터로부터 플랜트 배관에 대한 점군 분할을 위한 특성 파악	100
2		플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발	100
3		플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 개발	100
4		플랜트 배관의 중심축을 기반으로 종류 별 배관 분할	100
5		분할된 배관의 지름 측정 및 파라메트릭 모델링 기법을 이용한 표면 모델 구축 기술 개발	100
6		테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완	100
1	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발	100
2		개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발	100
3		플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발	100
4		플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 기기에 대한 점군 추출 기술 개발	100
5		개별 기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발	100
6		개별 기기의 구성 요소에 대한 모델 단위로의 점군 데이터 분할 및 모델 피팅 기술 개발	100
7		테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완	100

2. 기대효과

○ 기술적 파급효과

- 국내 건설 산업의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 확보
- 국내 건설 산업의 플랜트 프로젝트 시공 및 운영·유지 관리 기술의 세계적인 경쟁력 확보
- 특화된 정보화 기술의 개발로 신산업 창출

○ 사회경제적 파급효과
- 획기적인 플랜트 프로젝트 효율성 및 생산성 향상 기대
- 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 시장에서의 경쟁력 확보
- 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축을 통한 플랜트 운영·유지 관리와 개보수 및 증설 시장에서의 경쟁력 확보

○ 전략적 파급효과
- 국가 이미지 제고
- 건설 산업의 이미지 제고
- 전문 인력 양성

Ⅵ. 연구성과 활용계획

○ 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술의 확보는 시공 단계에서의 시공오차 관리뿐만 아니라, 공정 정보와의 연계를 통한 자동화된 진도 관리에도 활용 가능함. 준공 단계에서는 정확한 준공도면 작성 및 도면 관리에 활용 가능하며, 운영·유지 관리 단계에서는 플랜트 시설에 대한 공간 정보 제공과 더불어 수리 및 교체에 필요한 정보 제공을 가능케 함. 또한 플랜트 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 기존 시설물에 대한 현 상황 파악을 위한 도면을 제공하여 이를 바탕으로 한 경제적이고 효과적인 개보수 및 증설 계획 수립을 지원함. 이러한 자동화된 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술은 시공 및 운영·유지 관리, 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 획기적인 발전을 가져와 국내 건설업계의 세계적인 경쟁력 확보에 크게 이바지할 것으로 기대됨.

○ 최종성과물의 보급 및 확산에 참여할 수 있는 참여기업 확보
- 본 연구에서는 결과물을 바로 현업에 활용될 수 있도록 국내/외 플랜트 도급순위 상위 대형 건설사를 대상으로 개발된 기술 활용 관련 상호 협조체제를 구축하고, 현장 적용 및 검증을 위한 테스트베드 연구를 수행할 예정임.

○ 최종성과물의 보완 개발 단계별 특허 출원 및 등록
- 본 연구과제에서는 연구결과의 최종성과물을 바로 현업에 적용할 수 있도록 하는 실용연구에 초점을 맞추었으며, 이에 연구과제 종료 이후 주요 요소기술의 보완 개발이 완료되는 단계별로 국내/외 특허 출원을 계획함. 이를 통해 국내에서의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축에 대한 원천기술 확보가 가능할 것으로 기대됨.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Automated As-Built Plant Information Modeling for Plant Construction, Operation, and Maintenance

Ⅱ. Project Overview

1. Research Background

- The plant information model is a concept that includes three-dimensional (3D) geometric models of all of the components that comprise plant facilities, such as pipelines, valves, and equipment, and information about their properties, such as specifications, manufacturers, materials, ID numbers, and so on.
- The plant information model has been recognized as one of the essential tools for successful plant project management, and it facilitates effective management throughout the entire life cycle of a project (construction, operation, maintenance, and dismantling phases). For example, retrofitting, revamping, or expansion planning, as well as transport, fitting of new parts, and interference, can be checked using an As-Built plant information model.
- As the existing plant information model utilizes the three-dimensional geometry model of the facility planned in the design stage, utilization in the construction and management/maintenance stage is extremely limited. It originates from the change in design from the construction stage and renovation and extension in the management/maintenance stage to differ from the facility planned in the design stage and the facility constructed (or being managed/maintained).
- To effectively use the plant information model throughout the overall stages and to secure competitiveness in the domestic construction industry, it is essential to secure the three-dimensional as-built plant information modeling technology reflecting the current condition (as-built) of the plant facility in the construction and management/maintenance stages.
- In Korea, 90% of the as-built plant information modeling is currently being done manually; hence it tends to be laborious, time-consuming, costly, and error prone. In fact, it can take several months and several dozen workers to manually model an existing as-built plant facility. Therefore, to improve the technological and market competitiveness of the Korean construction industry, it is imperative that

technology be developed for nearly full automation of As-Built modeling of plant facilities that are under construction or in operation.

- The goal of this research project is to improve the problems of inefficiency in the three-dimensional as-built plant information modeling process using the existing commercial software, complexity and the inaccuracy of the information model due to the manual work errors. Therefore, this research proposed greatly reducing the information model construction process from manual work.

2. Research Objective

- The ultimate goal of this research was to improve the technological competitiveness of EPC (Engineering, Procurement and Construction) firms with a construction and maintenance fields and, to secure plant industry's leading competitiveness through the development of automated As-Built plant information modeling technology.
- The main objective of this research was to develop an almost fully automated As-Built information modeling system for plant facilities that are under construction or in operation. This research aimed to reduce inefficiencies and complexities that are due to the inaccuracy of the production model as well as those resulting from manual processes used in plant information modeling. Specifically, this research proposed to develop an approach that reduces the use of manual processes by 80%. To state it in more detail, the objective was threefold:
  - To develop a registration and refinement process of 3D point clouds for a plant facility that has been acquired from advanced sensor technology;
  - To develop a 3D geometric model of a cylindrical formed plant components and utilities by using computer vision technology; and
  - To develop As-Built plant information modeling technology using a semantic relationship modeling technique.
- In order to obtain a complete 3D As-Built point clouds of plant facilities, it is necessary to perform multiple scans from different locations and register them into the common coordinate system. In addition, the registered 3D point clouds may contain outliers that indicates the necessity of a refinement process to remove outliers. Therefore, an efficient 3D point clouds registration and refinement process, including coarse registration, fine registration, data reduction, and outlier removal, was proposed. Then, to automatically create As-Built plant information models from 3D As-Built point clouds of plant facilities, a plant information modeling process using a 3D geometric modeling and a semantic relationship modeling techniques. A parametric modeling method and a geometric fitting algorithm for matching and retrieving were applied to create a surface model of cylindrical formed plant components and utilities. To create As-Built plant information models,

a semantic relationship between geometric models needs to be defined. In addition, a model of plant components and utilities that has not been created due to error and loss of acquired 3D point clouds need to be addressed in conjunction with a definition of a semantic relationship. Lastly, the proposed method was evaluated and tested in field experiments.

Ⅲ. Project Details and Results

1. Objective 1: Develop a Process for Use of Advanced Sensor Technology to Register and Refine 3D Point Clouds Representing Structures at a Plant Facility

(1) Acquiring 3D point clouds from various locations for the complete 3D data acquisition for the plant facility

(A) Testbeds discussion/selection for the plant facility

(B) Establishment of data acquisition plan within the plant facility

(C) Technology exchange and cooperation with the 3D scanning company

(D) Acquisition of one data through the testbeds

(2) Development of the coarse and fine registration technologies

(A) Establishment of 3D point clouds registration technology appropriate to the data characteristics

(B) Technology exchange and cooperation with the plant information modeling company

(C) Development of 3D point clouds registration technology

(3) Development of the data reduction and outlier removal technologies

(A) Establishment of outlier removal technology appropriate for the data characteristics

(B) Outlier removal technology review through expert consultation

(C) Development of outlier data removal technology

(4) Registration, data reduction, and outlier removal of the 3D point clouds acquired from the operating plant facility

(A) Testbeds discussion and selection for the operating plant facility

(B) Establishment of data acquisition plan within the plant facility

(C) Acquisition of 3D point clouds from the testbeds

(D) Registration, data reduction, and outlier removal of the 3D point clouds

(5) Verification and modification of the registration, data reduction, and outlier removal technologies

(A) Development of strategy for the verification and modification of the developed technologies

(B) Derivation of improvements and technical modification for the developed technologies

(C) Development and registration of the 3D point clouds registration and refinement system for the plant facility

(6) Evaluation of the applicability of the developed technology to the testbeds

(A) Establishment of the testbeds application plan

(B) Establishment of the field applicability evaluation plan for the 3D point clouds registration and refinement system

(C) Testbeds application and field applicability evaluation for the developed system

2. Objective 2: Develop an As-Built 3D Information Model of Cylindrically Shaped Plant Pipelines Using Computer Vision Technology

(1) Identifying the characteristics for the 3D point cloud extraction for all pipelines from the 3D data of the plant facility

(A) Identify technology standard and trend related to domestic / foreign plant information modeling

(B) Analysis of technological requirements for the 3D point cloud extraction for all pipelines from the 3D data of the plant facility

(C) Survey for reflecting consumer requests

(2) Development of the 3D point cloud extraction technology for all pipelines

(A) Establishment of the 3D point cloud extraction technology for all pipelines appropriate for the data characteristics

(B) Development of the 3D point cloud extraction technology for all pipelines

(C) Evaluation and modification of developed technology through the testbeds

(3) Development of the skeletonization technology of all pipelines

(A) Analysis of technological requirements for the skeletonization technology

(B) Establishment of the development framework for the skeletonization technology

(C) Technology review of the skeletonization technology through technology development and consultation

(D) Evaluation and modification of developed technology through the testbeds

(4) Development of the piping part recognition technology

(A) Analysis of characteristics per part and connection relation between parts for the pipelines

(B) Establishment of development framework for the piping part recognition technology

(C) Technology review of the piping part recognition technology through development and consultation

(D) Evaluation and modification of developed technology through the testbeds

(5) Development of the parametric modeling technology of for each type of pipeline

(A) Definition of parameters for the automated parametric modeling for each piping part

(B) Establishment of the development framework for the surface modeling technology of each piping part

(C) Technology review of the surface modeling technology for each piping part through development and consultation

(D) Evaluation and modification of developed technology through the testbeds

(6) Experimental validation and modification of the developed technology

(A) As-built plant piping information modeling for the plant facility

(B) Verification and modification of the as-built plant piping information modeling technology

(C) Analysis and evaluation of technological validity based on the testbeds and field application result

3. Objective 3: Develop an As-Built 3D Information Model of Valves, Control Devices, and Equipment Based on a Plant Database

(1) Development of the 3D point cloud extraction technology for valves and control devices

(A) Establishment of the 3D point cloud extraction technology for the plant valves and control devices appropriate for the data characteristics

(B) 3D point cloud extraction technology development for the plant valves and control devices

(C) Evaluation of developed technology through the testbeds

(2) Development of the matching and retrieving technology based on the plant database for valves and control devices

(A) Analysis of technological requirements of the matching and retrieving technology based on the plant database for valves and control devices

(B) Establishment of the matching and retrieving technology appropriate for the data characteristics based on the plant database

(C) Development of the matching and retrieving technology appropriate for the data characteristics based on the plant database

(3) Development of the fitting technology for valve and control device modeling

(A) Establishment of the fitting technology appropriate for the data characteristics based on the plant database

(B) Development of the fitting technology appropriate for the data characteristics based on the plant database

(4) Development of the 3D point cloud extraction technology for equipment

(A) Analysis of technological requirements of the 3D point cloud extraction technology for equipment

(B) Establishment of technology development framework of the 3D point cloud extraction technology for equipment

(C) Development of the 3D point cloud extraction technology for equipment and testbeds application

(D) Technology improvement and sophistication by reflecting the improvements

(5) Development of the matching and retrieving technology based on the plant database for equipment

(A) Analysis of technological requirements for the matching and retrieving technology based on the plant database

(B) Establishment of development framework of the matching and retrieving technology for equipment

(C) Development of the matching and retrieving technology and testbeds application

(D) Technology improvement and sophistication by reflecting the improvements

(6) Development of the 3D geometry recovery technology for equipment based on primitive combination

(A) Definition of components for each plant equipment type

(B) Establishment of development framework of the 3D geometry recovery technology for equipment based on primitive combination

(C) Technology review of the 3D geometry recovery technology for equipment based on primitive combination through technology consultation

(D) Evaluation and modification of one developed technology through the testbeds

(7) Experimental validation and modification of the developed technology

(A) Valves, control devices, and equipment modeling for the plant facility

(B) Verification and modification of the automated as-built plant valves, control devices, and equipment modeling technology

(C) Analysis and evaluation of the technological validity based on the testbeds and field application result

Ⅳ. Achievement and Performance

1. Qualitative Performance

(1) Objective 1: Develop a process for use of advanced sensor technology to register and refine 3D point clouds representing structures at a plant facility

(A) Technology Support through Academy-Industry Cooperation - 1 case

(B) Performance of Reflecting Expert Opinion - 12 cases

(C) Performance of Reflecting the Testbeds Application and Validation Result - 8 cases

(D) Testbeds Utilization - 23 cases

(E) Field Application - 8 cases

(2) Develop an As-Built 3D information model of cylindrically shaped plant pipelines using computer vision technology

(A) Performance of Reflecting Expert Opinion - 10 cases

(B) Performance of Reflecting the Testbeds Application and Validation Result - 3 cases

(C) Field Application - 9 cases

(D) Analysis of Technology Development Trend (Domestic/Foreign) - 1 case

(E) Performance of Reflecting Expected Consumer Group - 12 cases

(F) Applicability Evaluation of the Developed Technology by Plant Expert - 1 case

(3) Objective 3: Develop an As-Built 3D information model of valves, control devices, and equipment based on a plant database

(A) Technology Support through Academy-Industry Cooperation - 8 case

(B) Performance of Reflecting Expert Opinion - 21 cases

(C) Performance of Reflecting the Testbeds Application and Validation Result - 2 cases

(D) Testbeds Utilization - 33 cases

(E) Field Application - 25 cases

(F) Applicability Evaluation of the Developed Technology by Plant Expert - 1 case

(G) Plant Information Modeling Process Improvement - above 60%

(H) Manpower Reduction Expectation - above 65%

(I) Technology Improvement Effect - above 100%

(J) Technology Gap Reduction Effect - 0 year-gap

2. Quantitative Performance

(1) International Journal (SCI) Publication - 3 cases

(2) Presentation at the International Symposium - 8 cases

(3) Patent Application/Registration - Domestic 5 cases (including 5 cases of applications), International (U.S.) Application 1 case

(4) Software Registration - 3 cases

(5) Internationalization/Cooperation - International Research Meeting (or Workshop) 4 cases, International Agreement (Memorandum of Understanding, MOU) 4 cases

(6) Public Relations (PR) Related to Research Progress and Results - 4 cases

(7) Manpower Training - Master's Degree 5 cases, Bachelor's Degree 2 cases

(8) Manual Development - 1 case

(9) International Academic Society Awards - 2 cases

V. Achievement of Research Goal and Expected Effects

1. Achiement of Research Goal

No.	Main Objective	Details and Results	Rate (%)
1	Develop a Process for Use of Advanced Sensor Technology to Register and Refine 3D Point Clouds Representing Structures at a Plant Facility	Acquiring 3D point clouds from various locations for the complete 3D data acquisition for the plant facility	100
2		Development of the coarse and fine registration technologies	100
3		Development of the data reduction and outlier removal technologies	100
4		Registration, data reduction, and outlier removal of the 3D point clouds acquired from the operating plant facility	100
5		Verification and modification of the registration, data reduction, and outlier removal technologies	100
6		Evaluation of the applicability of the developed technology to the testbeds	100
1	Develop an As-Built 3D Information Model of Cylindrically Shaped Plant Pipelines Using Computer Vision Technology	Identifying the characteristics for the 3D point cloud extraction for all pipelines from the 3D data of the plant facility	100
2		Development of the 3D point cloud extraction technology for all pipelines	100
3		Development of the skeletonization technology of all pipelines	100
4		Development of the piping part recognition technology	100
5		Development of the parametric modeling technology of for each type of pipeline	100
6		Experimental validation and modification of the developed technology	100
1	Develop an As-Built 3D Information Model of Valves, Control Devices, and Equipment Based on a Plant Database	Development of the 3D point cloud extraction technology for valves and control devices	100
2		Development of the matching and retrieving technology based on the plant database for valves and control devices	100
3		Development of the fitting technology for valve and control device modeling	100
4		Development of the 3D point cloud extraction technology for equipment	100
5		Development of the matching and retrieving technology based on the plant database for equipment	100
6		Development of the 3D geometry recovery technology for equipment based on primitive combination	100
7		Experimental validation and modification of the developed technology	100

2. Expected Effect

○ Current method of creating a 3D as-built model of an existing facility from 3D point clouds is laborious, time-consuming, costly and, error-prone. Thus, the results of proposed As-Built modeling method of plant facilities will contribute to the digitization and informatization of construction process and the development of application technology that can reduce duration and cost of the project, and enhance safety, productivity, and maintenance capability by automatically create a plant information model using 3D point clouds acquired from the plant facilities without as-planned drawings of facilities. Expected contributions are as follows:

○ Technological Contribution
- Securing 3D as-built plant information modeling technology of the domestic construction industry
- Securing global competitiveness of the plant project construction and management/maintenance technology for the domestic construction industry
- Creation of new industry through specialized information technology development

○ Socio-Economic Contribution
- Epoch-making plant project efficiency and productivity improvement expected
- Securing competitiveness in the 3D as-built plant information model construction market
- Securing competitiveness in the plant management/maintenance and renovation/extension market through 3D as-built plant information modeling

○ Strategic Ripple Effect
- Improvement of national image
- Improvement of construction industry image
- Professional manpower training

Ⅵ. Application Plan of the Research Result

○ Securing 3D as-built plant information modeling technology not only enables construction error management in the construction stage, but also can be utilized in automated progress management through linkage to the process information. This automated 3D as-built plant information modeling technology brings epoch-making improvement when performing construction, management/maintenance, renovation and expansion project. It is expected to contribute greatly on securing global competitiveness for the domestic construction industry.
- In the as-built stage, it can be utilized for accurate as-built drawing preparation and drawing management, and in the management/maintenance stage, it provides spacial information on the plant facility and also the information required for

repair and exchange.

- Also, in performing the plant renovation and expansion project, the drawing for identifying the current condition of the existing facility is provided, and based on this, it supports the establishment of economic and effective renovation and expansion plan.

○ Securing companies to participate in the supply and spreading of the final result

- In this research, to apply the result immediately to the work-site, mutual cooperation system related to the application of the development technology will be constructed to the large-sized domestic/foreign upper plant contract ranked construction companies, and the test bed research for the field application and verification will be performed.

○ Patent application and registration for each supplementary development stage of the final result

- In this research project, the focus was set on the practical research to enable the research result to be immediately applied to the work-site. Therefore, after the research project is finished, domestic/foreign patent application is planned for each stage of completing the supplementary development of the main element technology. Through this, it is expected that securing the source technology for the three-dimensional As-Built plant information model construction domestically will be possible.

CONTENTS

Chapter 1 Overview of R&D Project ····· 27

Section 1 Final goal and necessity of the R&D ····· 27
Section 2 Key performance details of the R&D ····· 33
Section 3 Domestic/foreign technology development status of the relevant field · 38
Section 4 Portion of the R&D result in the relevant field ····· 50

Chapter 2 R&D Details and Results ····· 53

Section 1 Summary of R&D results ····· 53
Section 2 Main contents of the R&D - Objective 1 ····· 60
Section 3 Main contents of the R&D - Objective 2 ····· 123
Section 4 Main contents of the R&D - Objective 3 ····· 231

Chapter 3 Achievement of the Research Goal ····· 287

Section 1 Achievement of the R&D goal ····· 287
Section 2 Achievement of the R&D performance indicator ····· 293

Chapter 4 Final Research Performance and Applications ····· 299

Section 1 Qualitative research result for each objective ····· 299
Section 2 Quantitative research result ····· 314

Chapter 5 Research Result Application Plan and Necessity of Additional Research ····· 321

Section 1 Future Application Plan of the Research Result ····· 321
Section 2 Necessity of Additional Research ····· 324

Reference ····· 327

[Appendix 1] Annual Performance · Plan (In 3rd-Year Agreement)

[Appendix 2] Final Evaluation Review Document

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ····· 27

제1절 연구개발 최종목표 및 필요성 ····· 27
제2절 연구개발 핵심성과 설명 ····· 33
제3절 관련분야의 국내/외 기술개발 현황 ····· 38
제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치 ····· 50

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 53

제1절 연구개발결과 요약 ····· 53
제2절 연구개발 주요내용 - 핵심성과 1 ····· 60
제3절 연구개발 주요내용 - 핵심성과 2 ····· 123
제4절 연구개발 주요내용 - 핵심성과 3 ····· 231

제3장 연구목표 달성도 ····· 287

제1절 연구개발 목표 달성도 ····· 287
제2절 연구개발 성과지표 달성도 ····· 293

제4장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 299

제1절 핵심성과별 질적연구성과 ····· 299
제2절 양적연구성과 ····· 314

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 321

제1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 321
제2절 추가연구 필요성 ····· 324

참고문헌 ····· 327

[별첨 1] 연차실적・계획서 (3차년도 협약 시)

[별첨 2] 최종평가 검토자료 ([별권 01], [별권 02] 포함)

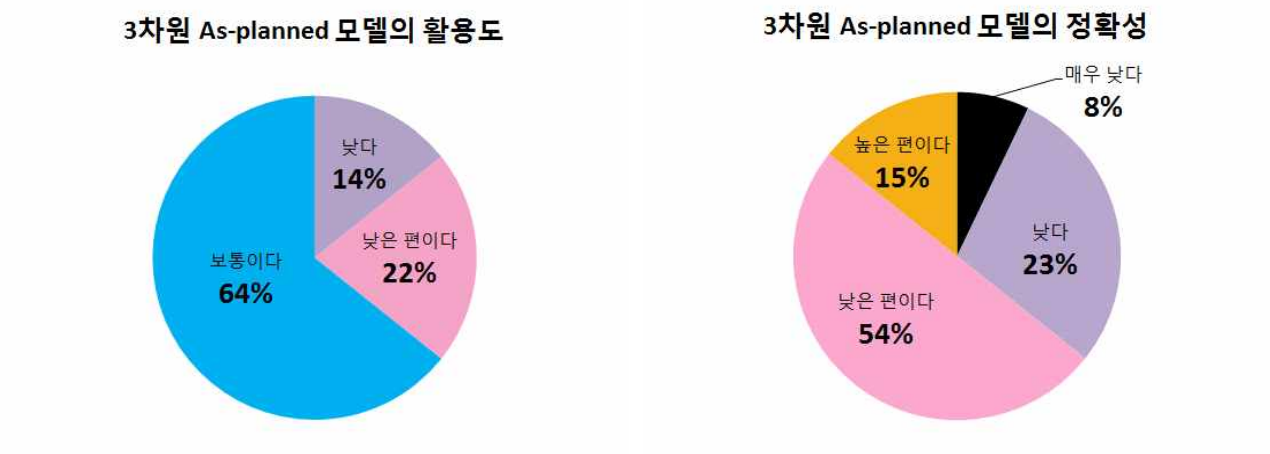
제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발 최종목표 및 필요성

1. 연구개발 최종목표

○ 플랜트 정보 모델 (Plant Information Model)이란, 플랜트 시설을 구성하는 각종 배관, 밸브, 기기에 대한 3차원 기하학적 형상 정보를 가진 객체 모델에 개별 객체에 대한 정보를 포함하는 개념임. 이는 프로젝트를 전 단계 (설계, 조달, 시공 및 운영·유지 관리)에 걸쳐 효과적으로 관리하고 운영할 수 있도록 함으로써 프로젝트의 성공적 완수를 위한 필수적 도구로 인식되고 있음.

○ 기존 플랜트 정보 모델은 설계 단계에서 계획된 시설물의 3차원 기하학적 모델을 활용한다는 점에서 시공 및 운영·유지 관리 단계에서의 활용이 극히 제한됨. <그림 1-1-1>은 플랜트 정보 모델의 수요자인 플랜트 운영자 14명을 대상으로 3차원 As-Planned 모델의 활용도 및 정확성에 대한 설문 결과를 나타냄. 응답자의 36%가 활용도가 낮다고 답변하였으며, 활용도가 높다고 답변한 사람은 전무함. 또한 응답자의 85%가 모델의 정확성이 낮다고 응답함. 이는 시공 단계에서의 설계 변경 등과 운영·유지 관리 단계에서의 개보수 및 증설로 인해 설계 단계에서 계획된 시설물과 시공된 (또는 운영·유지되고 있는) 시설물의 상황이 상이한 데에서 비롯함.



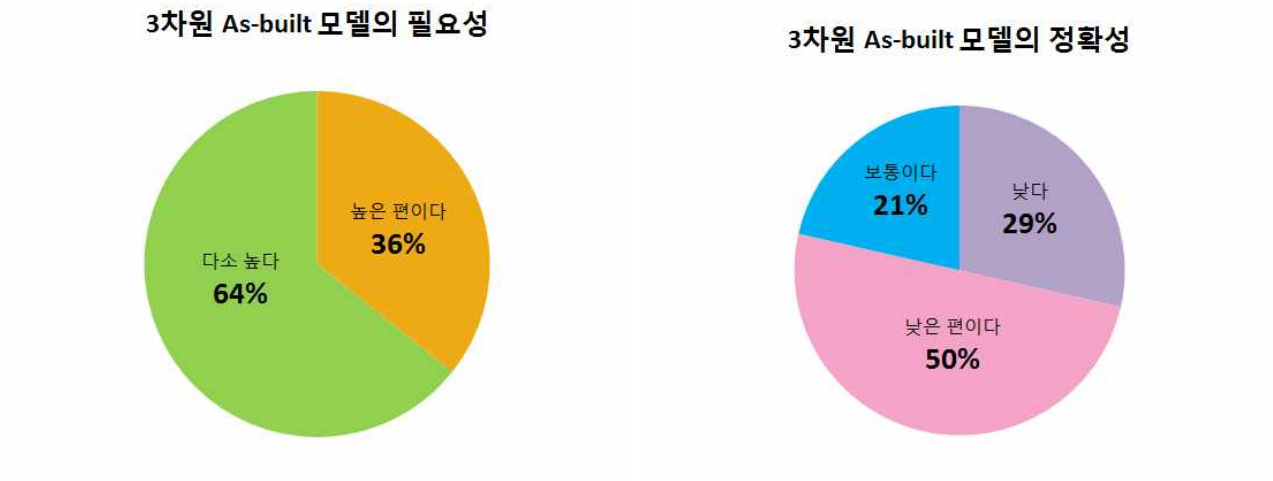
<그림 1-1-1> 3차원 As-Planned 모델의 활용도 및 정확성에 대한 설문 결과

○ 따라서 플랜트 정보 모델을 프로젝트 전 단계에 걸쳐 효과적으로 사용하고 이를 통해 국내 건설업계의 경쟁력을 확보하기 위해서는 시공 및 운영·유지 관리 단계에서 플랜트 시설물의 현 상황 (As-Built)을 반영한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델[1] 구축 기술의 확보가 필수적임.

---

1) "현 상황 (As-Built)을 반영한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델"이란, 플랜트 시설의 완공된 상태를 도면화 하는 작업으로 플랜트 시설의 주요 구성 요소인 배관, 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 위치 및 형상을 그대로 반영한 3차원 정보 모델을 의미함.

○ 그림 <1-1-2>는 플랜트 정보 모델의 수요자인 플랜트 운영자 14명을 대상으로 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 정확성에 대한 설문 결과를 나타냄. 응답자 전원이 필요하다고 답변한데 반해, 응답자의 79%가 As-Built 모델의 정확성이 낮은 것으로 답변함.



<그림 1-1-2> 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 정확성에 대한 설문 결과

○ 다음 <표 1-1-1>은 상용 소프트웨어를 활용한 기존 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스와 본 연구에서 제안된 프로세스의 자동화 범위를 비교하여 나타낸 것임. 기존 상용 소프트웨어를 활용한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스는 주로 수작업에 의존하는 노동집약적인 문제점을 안고 있음. 이러한 노동집약적인 프로세스는 3차원 As-Built 정보 모델의 정확성에도 부정적인 영향을 미침.

<표 1-1-1> 기존 프로세스와 제안된 프로세스와의 비교 (자동화 범위)

프로세스	기존 프로세스	제안된 프로세스
3차원 점군 데이터 획득	수동	수동
3차원 점군 데이터 정합	수동	자동
3차원 점군 데이터 개선	수동	자동
배관 형태의 점군 선택	수동	자동
배관 모델 생성	수동	자동
	자동	
밸브 형태의 점군 선택	수동	수동
		자동
밸브 모델 선택	수동	수동
		자동
밸브 안착	수동	자동
기기 형태의 점군 선택	수동	수동
기기 모델 선택	수동	자동
	자동	
기기 안착	수동	자동

○ 국내 건설업계에서의 공사 중이거나 시공된 플랜트 시설물에 대한 플랜트 정보 모델 구축 프로세스는 노동 집약적 특성을 가지고 있어 수십 명의 인원이 수개월 이상 작업해야 하는 등 고비용과 장시간 소요라는 문제점을 안고 있음.

○ Autodesk사의 AutoCAD Plant 3D 등의 상용 소프트웨어를 활용한 기존 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스와 제안된 프로세스와의 비교를 도식화하면 다음 <그림 1-1-3>과 같음.

○ <그림 1-1-3(좌)>는 Autodesk사의 AutoCAD Plant 3D 등의 상용 소프트웨어를 활용한 기존 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스를 나타냄. 이는 주요 정보 모델 구축 프로세스의 90% 정도를 수작업에 의존하여 고비용과 장시간이 소요됨. <그림 1-1-3(우)>는 본 연구과제에서 개발을 추진해온 프로세스를 나타내며, 수작업에 의한 정보 모델 구축 프로세스를 20% 이하로 획기적으로 단축시키고자 함.

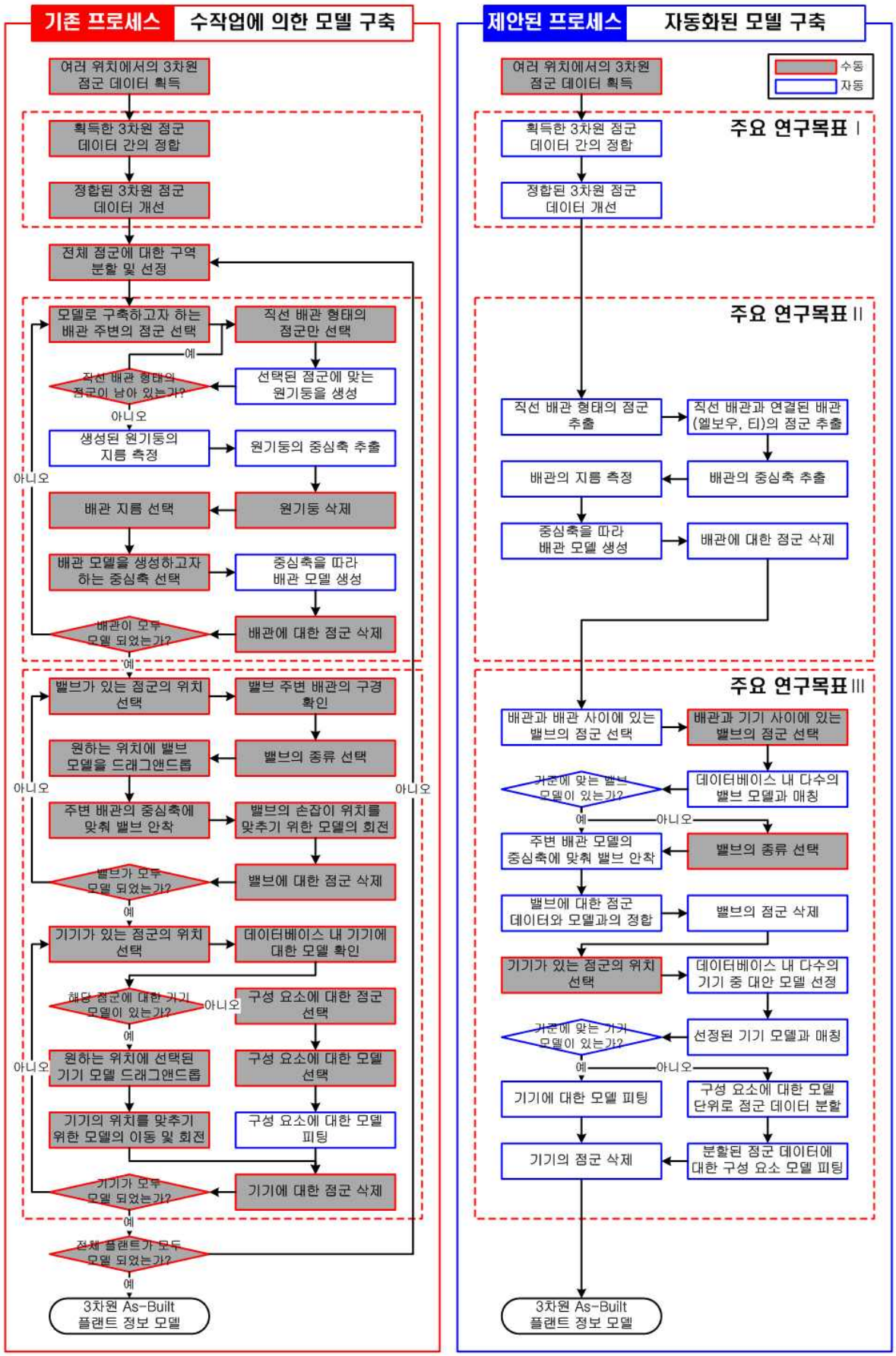
○ 본 연구과제의 최종목표는 공사 중이거나, 운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델을 구축하는 기술을 개발하는 것임. 이를 달성하기 위한 연구목표는 1) 플랜트 시설에서 첨단 센서를 이용하여 획득한 3차원 As-Built 점군 데이터의 정합 및 개선 기술을 개발하는 것, 2) 컴퓨터 비전 기술을 활용한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술을 개발하는 것, 3) 플랜트 데이터베이스 기반 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술을 개발하는 것임.

○ 본 연구과제는 기존 상용 소프트웨어를 활용한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스의 비효율성과 복잡성, 수작업 오류로 인한 정보 모델의 부정확성 등의 문제를 개선하는 것을 목표로 하여 수작업에 의한 정보 모델 구축 프로세스를 획기적으로 단축시키는 프로세스를 제안함.

○ 제안된 프로세스를 통해 밸브 형태의 점군 선택, 밸브 모델 선택, 기기 형태의 점군 선택을 제외한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스의 자동화를 지원하고자 함. 밸브 형태의 점군 선택, 밸브의 모델 선택, 기기 형태의 점군 영역 선택 프로세스는 플랜트 시설의 가장 많은 부분을 차지하는 배관에 대한 점군 데이터를 우선적으로 추출한 이후 수행하도록 함으로써 간단한 조작으로 수행 가능할 것으로 예상됨.

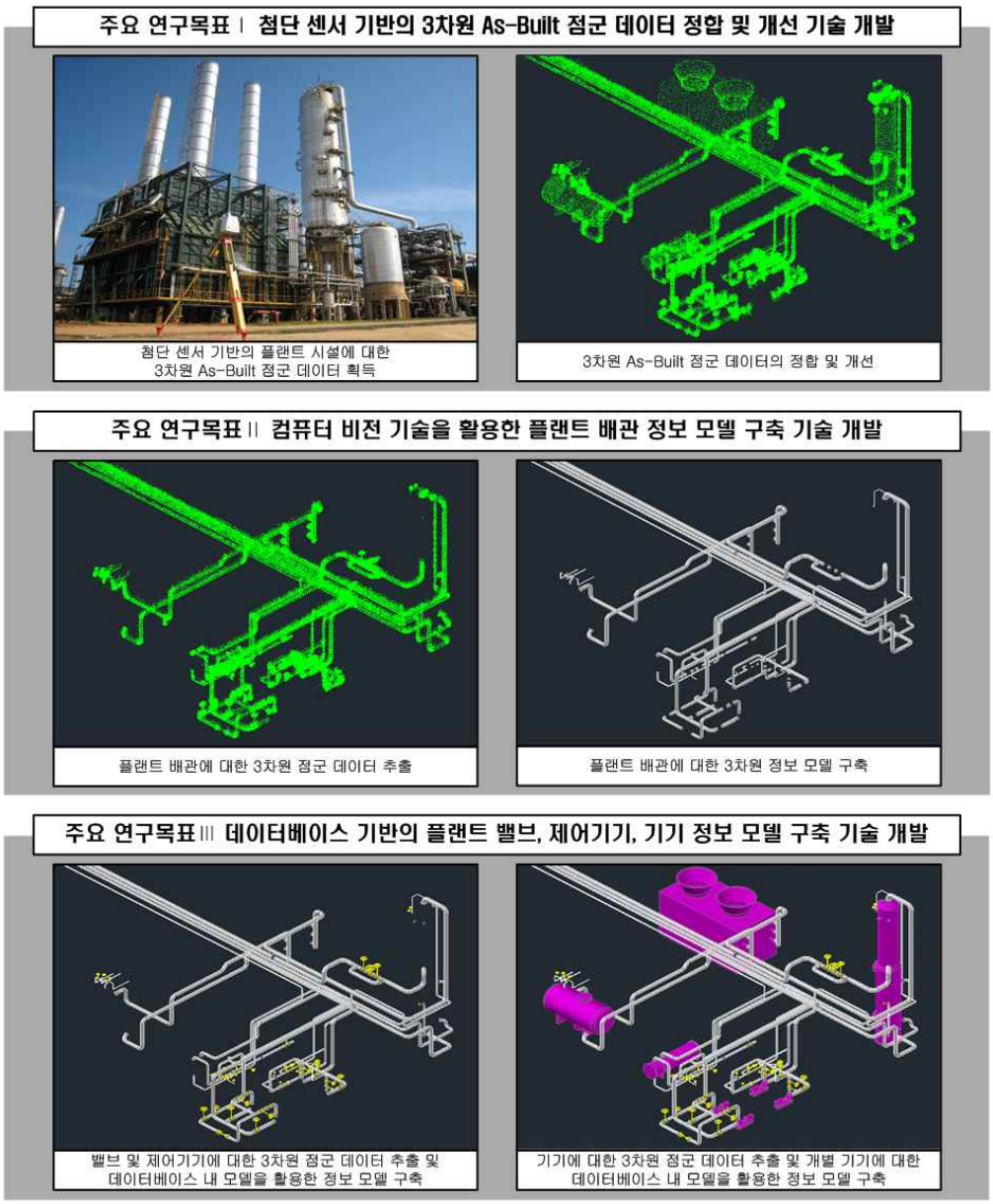
○ 이러한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술의 확보를 통해 시공 단계에서 공사 진척 상황을 3차원 기하학적 모델로 구축 할 수 있음. 구축된 3차원 기하학적 모델은 공정 정보와의 연계를 통해 자동화된 진도 관리에 활용될 수 있어 효과적인 시공 관리가 가능함.

○ 또한 플랜트 개보수 및 증설 (Renovation and Expansion) 프로젝트의 수행 시, 기존 시설물에 대한 3차원 기하학적 형상 정보 제공을 통해 정확한 도면 생성 또는 설계가 가능함. 특히 최근 들어 개보수 및 증설 시장이 플랜트 시장에서 차지하고 있는 비중이 점차 확대됨에 따라 이에 대한 중요성 역시 더욱 커질 것으로 예상됨.



<그림 1-1-3> 기존 프로세스와 제안된 프로세스와의 비교

○ 다음 <그림 1-1-4>는 본 연구과제의 최종목표를 달성하기 위한 주요 연구목표별 연구결과를 나타냄.



<그림 1-1-4> 최종목표 달성을 위한 기술 개발 전략 및 결과

2. 연구개발 필요성

○ 첨단 기술을 접목한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술의 개발 필요
- 해외 플랜트 시장은 우리나라의 주요 수출시장이며 향후 지속적으로 확대될 것으로 예상됨. 이러한 국제적 흐름에 능동적으로 대응하기 위해서는 첨단 기술을 접목한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 개발이 필요함.

가. 기술적 측면

○ 국내 건설 산업의 플랜트 프로젝트 시공 및 운영·유지 관리 국제경쟁력 취약
- 경쟁력의 핵심인 엔지니어링 능력이 부족하며, 특히 시공 및 운영·유지 관리에 필요한 소프트웨어 분야의 기술력과 R&D 투자가 부족함.

○ 국내 건설 산업의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 확보 가능
- 시공 단계에서는 공정별 작업물량 파악, 지연공정 파악 등이 가능한 모니터링 시스템 등 다양한 활용이 가능함. 플랜트 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 효율적인 개보수 및 증설 프로젝트 계획 수립 및 시공이 가능하며, 운영·유지 관리 시 효율적 관리와 의사결정 시스템 구축이 가능함.

○ 플랜트 정보 모델 구축 기술 주도국으로써 위치 확보
- 현재 미국 소프트웨어 회사들이 주도하고 있는 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 소프트웨어 시장을 공략함.
- 기존 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 소프트웨어의 수준이 일부 프로세스를 자동화하는데 그치고 있기 때문에, 집중 투자를 통해 플랜트 정보 모델 구축 기술 주도국으로의 도약이 가능함.

○ 특화된 정보화 기술의 개발로 세계 건설 산업에서의 경쟁력 확보 가능
- 공사 중이거나 시공된 플랜트 시설물에 대한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 개발을 통해 시공 및 운영·유지 관리의 획기적인 발전을 도모하며, 나아가 국내 건설업계의 세계적인 경쟁력 확보를 가능하게 함.

나. 경제산업적 측면

○ 플랜트 시설물의 현 상황에 대한 정보 모델 구축 기술 개발 필요
- 국내 건설업계의 취약 분야인 시공 및 운영·유지 관리를 개선하여 해외 플랜트 시장에서의 경쟁력을 확보하기 위해서는 시공 시 설계변경이나 운영·유지 시 개보수 및 증설 등을 통해 변경된 상황을 3차원 모델로 구축할 수 있는 기술의 확보가 필요함.

○ 플랜트 운영·유지 관리와 개보수 및 증설 시장에서의 경쟁력 확보 가능
- 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델과 P&ID (Piping and Instrumentation Diagram)과의 연계를 통해 교체가 필요한 부품 또는 기기에 대한 형상 정보의 파악 및 신속한 교체를 통해 유지관리에 소요되는 시간의 감소가 가능함.
- 플랜트의 개보수 및 증설에 필요한 플랜트의 As-Built 도면을 정확히 생성함으로써 부정확한 As-Built 도면으로부터 발생할 수 있는 설계 변경과 재시공을 미연에 방지하는 것이 가능할 것으로 기대됨.

○ 획기적인 플랜트 프로젝트 효율성 및 생산성 향상 기대
- 미국 FIATECH (Fully Integrated and Automated Technologies for Construction) 연구소에 따르면, 건설 프로젝트에서 정보 모델의 활용은 공사 일정의 단축은 물론 공사금액의 약 8%, 시설물의 수리·보수비용의 약 5~15%의 절감을 가능케 함.

- 기존의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스는 노동집약적인 프로세스에 의해 고비용과 장시간 소요라는 문제점을 안고 있음. 실제로 국내 A사의 해외 플랜트 증설 계획 수립을 위해 알제리에 위치한 As-Built 플랜트 모델을 구축하는데 3개월이라는 많은 시간과 인력이 소요됨.

다. 사회문화적 측면

○ 건설 산업의 이미지 제고
- 다수의 전문 인력이 요구되는 기존의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스를 자동화함으로써 인력, 시간, 비용의 절감이 가능함. 따라서 전문 인력 수급 문제의 해결 및 업무의 생산성 향상이 가능함.
- 고부가가치 핵심기술 연구개발을 통해 건설 산업의 산업적 위상을 높일 수 있으며, 궁극적으로는 산업에 대한 이미지를 첨단 산업으로 경상 시킬 수 있음.

제2절 연구개발 핵심성과 설명

1. 연구개발 핵심성과 리스트

○ 본 연구과제의 연구개발 핵심성과 리스트는 다음 <표 1-2-1>과 같음.

<표 1-2-1> 연구개발 핵심성과 리스트

연번	핵심성과명	핵심성과 설명	성과유형	성과달성 책임	해당연차
1	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 프로그램	소프트웨어	중앙대학교 산학협력단	1차년도, 2차년도
2	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 프로그램	소프트웨어	중앙대학교 산학협력단	1차년도, 2차년도, 3차년도
3	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 데이터베이스	소프트웨어	중앙대학교 산학협력단	1차년도, 2차년도, 3차년도

2. 핵심성과별 세부설명

가. 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템

○ 연구개발을 통해 개발 완료한 핵심성과 "플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템"에 대한 세부설명은 다음 <표 1-2-2>와 같음.

<표 1-2-2> 핵심성과별 세부설명 (1) (다음 페이지에 계속)

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="6">설명</th></tr>
<tr><td colspan="2">관련 그림/사진</td><td colspan="6">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="6">▪ 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템은 여러 위치에서 획득한 3차원 점군 데이터 간의 정합 및 이상치 데이터 제거를 통한 3차원 점군 데이터 개선 기능을 포함하는 소프트웨어를 나타냄.</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">▪ 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템은 대규모의 복잡한 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위해 필수적으로 요구되는 기술임.</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="6">▪ 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템 개발을 통해 3차원 센서로부터 획득한 점군 데이터의 자동화된 정합 및 개선에 활용하고자 함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">▪ 플랜트 시설과 같은 야외 환경에서 획득되는 점군 데이터는 노이즈와 같은 이상치를 포함할 가능성이 높을 뿐만 아니라, 데이터 간 밀도 차이가 존재할 수 있으며, 복잡한 환경으로 인해 일부 데이터가 유실될 수 있기 때문에 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 시스템은 이러한 환경에서도 자동으로 정합이 가능하여야 함.
▪ 플랜트 시설에서 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 3차원 점군 데이터 내에는 모델 하고자 하는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 데이터뿐만 아니라, 이상치 데이터를 포함하기 때문에 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 개선 시스템은 배관, 기기, 밸브, 구조물 등에 대한 데이터가 갖는 특성과 이상치 데이터가 갖는 특성 간의 차이를 이용하여 자동으로 이상치를 제거할 수 있어야 함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">김 창 완 (중앙대학교 산학협력단)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'12.04 ~ '14.02 (1년 11개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">▪ 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발 결과
▪ 플랜트 시설에서 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발 결과</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">▪ 운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 플랜트 데이터 정합 및 개선 결과
▪ 자동화된 3차원 플랜트 데이터 정합 및 개선 기술의 검증 및 보완 결과
▪ 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가 결과</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>국외 1</td><td>-</td><td>학술단체 수상1</td></tr>
</table>

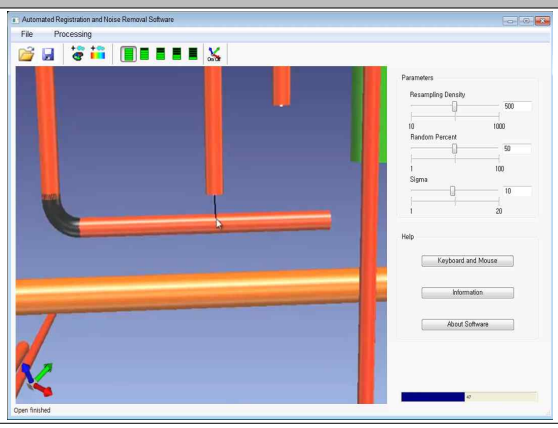
<표 1-2-2> 핵심성과별 세부설명 (1) (이전 페이지에 이어)

구분		설명					
핵심성과	양적성과	2차년도	특허	SCI 논문	학술회의 발표	S/W	기타
			출원 1	국외 1	국외 1	등록 1	-
		3차년도	특허	SCI 논문	학술회의 발표	S/W	기타
			-	-	-	-	-
		계	특허	SCI 논문	학술회의 발표	S/W	기타
			출원 1	국외 1	국외 2	등록 1	학술단체 수상1
성과 활용계획		▪ 기존 상용소프트웨어를 활용한 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 프로세스는 수작업에 의존하는 노동집약적인 문제점을 안고 있음. 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템 개발을 통해 점군 데이터 정합 및 개선 프로세스의 자동화를 지원하고자 함.					

나. 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템

○ 연구개발을 통해 개발 완료한 핵심성과 "자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템"에 대한 세부설명은 다음 <표 1-2-3>과 같음.

<표 1-2-3> 핵심성과별 세부설명 (2) (다음 페이지에 계속)

구분	설명
관련 그림/사진	
정의	▪ 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템은 획득된 점군 데이터로부터 배관 점군 데이터 추출, 종류별 배관 분할, 배관 표면 모델 구축 기능을 포함하는 소프트웨어를 나타냄.
설정사유	▪ 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 기존 3차원 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 프로세스의 수작업 오류로 인한 정보 모델의 부정확성 등의 문제를 개선하기 위해 필수적으로 요구되는 기술임.
목적	▪ 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 개발을 통해 획득된 점군 데이터로부터 자동화된 3차원 배관 정보 모델 구축에 활용하고자 함.
성능목표	▪ 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템은 수작업에 의한 플랜트 배관 정보 모델 구축 프로세스를 자동화함으로써 ± 5%의 절대 오차 범위 내에서 정확한 플랜트 배관 정보 모델 구축이 가능하여야 함.

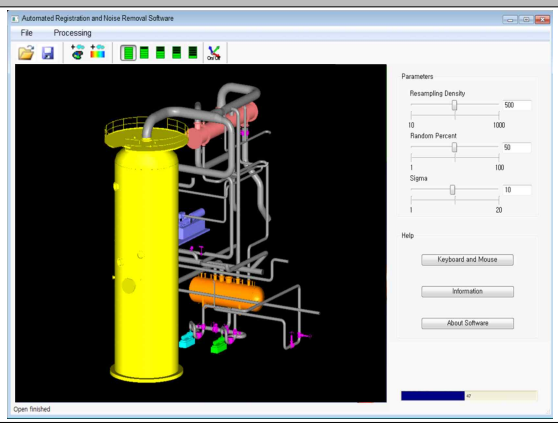
<표 1-2-3> 핵심성과별 세부설명 (2) (이전 페이지에 이어)

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="6">설명</th></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성
책임자
(소속기관)</td><td colspan="6">김 창 완 (중앙대학교 산학협력단)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’12.04 ~ ’15.02 (2년 10개월, 3년차)</td></tr>
<tr><td rowspan="11">핵
심
성
과</td><td rowspan="3">달성
확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">▪ 플랜트 시설에 대한 전체 3차원 점군 데이터 분할 기술 개발 결과
▪ 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발 결과</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">▪ 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 개발 결과
▪ 플랜트 배관의 중심축을 기반으로 종류 별 배관 분할 기술 개발 결과
▪ 분할된 배관의 지름 측정 및 파라메트릭 모델링 기법을 이용한 표면 모델 구축 기술 개발 결과</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">▪ 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 결과
▪ As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완 결과
▪ 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가 결과</td></tr>
<tr><td rowspan="8">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td>-</td><td>국외 1</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>등록 1</td><td>국외 1</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td>국외 1</td><td>국외 1</td><td>등록 1</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원2, 등록 1</td><td>국외 2</td><td>국외 2</td><td>등록 1</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과
활용계획</td><td colspan="6">▪ 기존 상용소프트웨어를 활용한 플랜트 시설의 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 프로세스는 수작업에 의존하는 노동집약적인 문제점을 안고 있음. As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 개발을 통해 수작업에 의한 플랜트 배관 정보 모델 구축 프로세스를 자동화하고자 함.
▪ 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 개발은 운영·유지 관리 단계에서의 플랜트 시설에 대한 공간 정보 제공과 더불어 수리 및 교체에 필요한 정보 제공을 가능케 할 뿐만 아니라, 플랜트 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 기존 시설물에 대한 현 상황 파악을 위한 도면을 제공하여 이를 바탕으로 한 경제적이고 효과적인 개보수 및 증설 계획 수립 지원을 가능케 함.</td></tr>
</table>

다. As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템

○ 연구개발을 통해 개발 완료한 핵심성과 "As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템"에 대한 세부설명은 다음 <표 1-2-4>와 같음.

<표 1-2-4> 핵심성과별 세부설명 (3) (다음 페이지에 계속)

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="2">설명</th></tr>
<tr><td colspan="2">관련 그림/사진</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="2">▪ As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템은 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축에 활용되는 데이터베이스를 나타냄.</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="2">▪ As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템은 기존 3차원 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 프로세스의 높은 비효율성, 복잡성 등의 문제를 개선하기 위해 필수적으로 요구되는 기술임.</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="2">▪ As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템 개발을 통해 획득된 점군 데이터로부터 효과적인 3차원 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축에 활용하고자 함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="2">▪ As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템 활용을 통해 수작업에 의한 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 프로세스를 30% 이하로 단축시킬 수 있어야 함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="2">김 창 완 (중앙대학교 산학협력단)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="2">'12.04 ~ '15.02 (2년 10개월, 3년차)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td rowspan="3">달성 확인방법</td><td>1차년도</td><td>▪ 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술, 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술, 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발 결과</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>▪ 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 기기에 대한 점군 추출 기술, 개별 기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술, 개별 기기의 구성 요소에 대한 모델 단위로의 점군 데이터 분할 및 모델 피팅 기술 개발 결과</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>▪ 운영 중인 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축, 자동화된 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완, 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가 결과</td></tr>
</table>

<표 1-2-4> 핵심성과별 세부설명 (3) (이전 페이지에 이어)

구분		설명					
핵심성과	양적성과	1차년도	특허	SCI 논문	학술회의 발표	S/W	기타
			-	-	-	-	-
		2차년도	특허	SCI 논문	학술회의 발표	S/W	기타
			출원 1	-	국외 1	등록 1	-
		3차년도	특허	SCI 논문	학술회의 발표	S/W	기타
			출원 1	국외 1	국외 1	-	매뉴얼 개발 1
		계	특허	SCI 논문	학술회의 발표	S/W	기타
			출원 2	국외 1	국외 2	등록 1	매뉴얼 개발 1
성과 활용계획		▪ 기존 상용소프트웨어를 활용한 플랜트 시설의 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 프로세스는 수작업에 의존하는 노동집약적인 문제점을 안고 있음. ▪ As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템 개발을 통해 수작업에 의한 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 프로세스를 자동화하고자 함.					

제3절 관련분야의 국내/외 기술개발 현황

1. 국내 기술개발 현황

가. 국내 시장 현황 및 예측

○ 국내 EPC (Engineering, Procurement, Construction) 업체의 국내 도급공사 매출액 중 플랜트 공사가 차지하는 비중이 큼

○ 국내에서 플랜트 사업을 추진 중이며 해외건설 수주 실적으로 상위 10개사에 속하는 기업(GS건설, SK건설, 현대건설, 삼성물산, 대림산업, 한화건설, 현대엔지니어링, 삼성엔지니어링, 두산중공업, STX중공업)의 최근 5년 간 연간 보고서에 따르면, 2010년에는 약 11조 3,776억 원 규모로 평균 1조 1,040억 원의 국내 플랜트 공사가 진행되었음. 2014년에는 3/4분기를 기준으로 약 9조 6,615억 원 규모로 평균 9,602억의 플랜트 공사가 진행 중이며, 2010년 대비 약 90%를 차지함. 최근 5년간 국내 플랜트 공사 매출액은 꾸준히 증가하고 있음 (<표 1-3-1> 참조).

<표 1-3-1> 기업별 국내 도급공사 플랜트 매출액

[단위 : 억 원]

기업명	국내 도급공사 플랜트 매출액				
	2010	2011	2012	2013	2014
GS건설	19,750	7,973	8,122	4,865	2,535
SK건설	9,241	16,613	17,359	26,372	20,314
현대건설	12,504	10,574	15,125	14,897	8,116
삼성물산	25,257	31,289	38,864	31,615	21,123
대림산업	7,534	21,714	40,740	41,412	5,634
한화건설	1,732	1,908	5,401	3,516	1,177
두산중공업	13,400	11,667	15,817	17,931	12,324
STX중공업	39	233	479	1,496	1,818
현대엔지니어링	3,119	3,333	2,624	2,459	5,961
삼성엔지니어링	17,829	24,373	22,343	22,795	17,015
합 계	110,405	129,677	166,874	167,358	96,017
평 균	11,040	12,968	16,687	16,736	9,602

※ 2014년의 경우, 3/4분기 보고서에 제시된 당해 연도 누적 매출액

○ 2014년에는 3/4분기를 기준으로 10개 기업의 플랜트 공사 매출액은 전체 국내 도급공사 매출액 대비 27.44%를 차지함. 최근 5년간 국내 도급공사 매출액 대비 플랜트 공사 매출액은 30% 이상으로 꾸준히 유지 하고 있음 (<표 1-3-2> 참조).

<표 1-3-2> 연도별 국내 도급공사 전체 매출액 대비 플랜트 매출액 비율

[단위 : %]

	국내 도급공사 전체 매출액 대비 플랜트 매출액 비율				
	2010	2011	2012	2013	2014
비율	30.42	32.18	36.49	35.11	27.44

※ 2014년의 경우, 3/4분기 보고서에 제시된 당해 연도 누적 매출액 비율

○ 이들 10개 기업의 국내 도급공사 플랜트 수주금액 중 플랜트 개보수 및 증설공사에 대한 수주금액을 조사한 결과, 2010년에는 약 1조 1,995억 원 규모로 플랜트 수주금액 대비 25%를 차지함. 2014년에는 3/4분기를 기준으로 약 496억 원 규모의 플랜트 개보수 및 증설공사가 수주되었음 (<표 1-3-3> 참조). 이러한 플랜트 개보수 및 증설공사에 대한 시장 규모는 앞으로도 계속 유지 될 것으로 예상됨.

<표 1-3-3> 국내 도급공사 플랜트 수주금액 대비 개보수 및 증설공사 매출액

[단위 : 억 원]

기업명	국내 도급공사 플랜트 개보수 및 증설 수주금액 (플랜트 수주금액 대비 %)				
	2010	2011	2012	2013	2014
GS건설	2751 (14)	938 (12)	455 (6)	809 (17)	-
SK건설	1059 (11)	-	-	-	-
현대건설	-	-	-	184 (1)	133 (2)
삼성물산	4452 (18)	-	-	-	-
대림산업	-	-	-	-	-
한화건설	124 (7)	389 (20)	533 (10)	-	-
현대엔지니어링	-	-	-	-	-
삼성엔지니어링	2703 (15)	1376 (6)	-	-	-
두산중공업	906 (7)	-	-	488 (3)	363 (3)
STX중공업	-	-	-	-	-

※ 2014년의 경우, 3/4분기 보고서에 제시된 당해 연도 누적 수주금액

○ 다음 <표 1-3-4>에는 국내 시장 현황 및 예측에 관한 주요 기사를 발췌하여 요약함.

<표 1-3-4> 국내 시장 현황 및 예측 관련 주요 기사 (다음 페이지에 계속)

제목	내용 (일부 발췌)
중견사는 증설·개량 포함 유지관리 (Maintenance) 사업 확대	"위기극복을 위한 건설업계의 다양한 시도가 이어지고 있는 가운데, 운영 및 유지관리 분야가 최고의 유망사업군으로 떠올라, 시선을 끌고 있다. 단순히 시공에만 머물지 않고, 증설 및 개량을 포함해 시공사가 직접 운영·관리업무까지 수행하면서 새로운 매출과 수익을 창출해 나가겠다는 것이다. (중략) 업계가 말하는 M사업은 중소 시설물유지관리업체 중심으로 이미 시장이 형성돼 있는 기존 주택이나 건축물 등을 관리하는 업종과는 거리가 있다. 경비 및 관리비를 받는 수준이 아니라, 증설 및 개량, 보수공사 등을 포함해 시설에서 생산되는 제품의 유통, 판매까지 포괄하는 종합적인 운영사업이다. (중략) 이밖에도 몇몇 건설사들은 노후 환경인프라를 개보수하고 이후 운영까지 책임지는 사업을 발굴, 내년 민간제안 방식으로 추진해 나갈 방침이다 (건설경제신문, 2013)."
삼성ENG 알제리 3조원 초대형 공사 수주	"삼성엔지니어링이 북아프리카 알제리에서 3조원이 넘는 규모의 초대형 정유 플랜트 공사를 수주하는 쾌거를 올렸다. (중략) 이 공사는 지중해 연안인 스키다 지역에 있는 정유 플랜트를 개보수 및 신설하는 것으로 공사기간은 총 36개월이다. 삼성엔지니어링은 앞으로 기존 스키다 정유 시설 개보수를 통해 정유 정제능력을 하루 30만 배럴에서 33만 배럴로 증산하고, 연 70만t의 아이소머레이트와 22만t의 파라자일렌, 20만t의 벤젠 생산능력을 갖춘 플랜트를 신설하게 된다 (연합뉴스, 2009)."
SK건설, 태국 '아로마틱 플랜트' 증설공사 수주	"앞서 SK건설은 올해 초 그룹내 정유·석유화학 계열회사들의 기술력과 플랜트 운영경험을 살려 플랜트 운영 및 유지보수 (O&M), 기술 컨설팅, 현대화 공사 등 고객맞춤형 서비스를 전담하는 GPS 본부를 신설했다 (데일리안, 2013)."

<표 1-3-4> 국내 시장 현황 및 예측 관련 주요 기사 (이전 페이지에 이어)

제목	내용 (일부 발췌)
'블랙아웃 공포'에 두산重은 빛 보나	"정부가 이미 원자력, 화력, LNG발전소 추가 건설을 밝힌 바 있으나 노후 발전소에 대한 개보수 등 중단기적으로도 더 적극적인 전력 확보방안이 요구되고 있다. (중략) 13일 두산중공업에 따르면 회사는 원자력발전소, 석탄화력발전소, 복합화력발소 등 발전플랜트를 설계에서 기자재 공급, 건설, 서비스까지 EPC 형태로 사업을 수행하고 있다. 또, 원자로, 터빈, 발전기 등 발전소 내 각종 중요 설비도 직접 제작하고 발전설비의 개보수, 성능향상 서비스, 정밀진단·수명평가 서비스 사업도 병행하고 있다 (연합인포맥스, 2013)."
현대건설, 9.9억달러 발전 담수플랜트 수주	"현대건설 컨소시엄이 아랍에미리트 (UAE)에서 9억8799만 달러 규모의 민자 발전·담수 플랜트 사업을 수주했다. (중략) 이 사업은 아랍에미리트 수도 아부다비에서 남서쪽으로 약 110㎞ 떨어진 미르파 지역 기존 플랜트를 개보수하고 총 1600MW급 발전설비와 하루 생산량 5250만 갤런 규모의 담수 플랜트를 건설하는 것이다 (건설경제, 2014)."
1.5억달러 규모 이라크 가스터빈 발전플랜트 수주	"STX중공업은 엔지니어링, 기자재 조달 및 시공을 일괄도급 방식 (Lump-Sum Turn-Key)으로 수행할 예정이며, 전체 건설 기간은 18개월로 2014년 6월 완공 예정이다. 또한 STX중공업은 가스터빈 발전플랜트 완공 후 1년 동안 발전소의 운영 및 유지보수를 책임지게 된다 (이광훈, 2012)."

나. 국내 주요 관련 업체

○ 본 제안과제와 관련된 국내 주요 관련 업체로는 (주)드림티엔에스, (주)인트라테크, (주)포미트, 위프코(주), (주)하이테크 엔지니어링 등이 있음. 이들 업체 중 (주)드림티엔에스만 자체적으로 소프트웨어를 개발하여 2013년부터 사용하고 있으며, 나머지 업체에서는 Intergraph Corp.의 Smart 3D™ for Plants, Leica Geosystems Ltd.의 Cyclone, AVEVA Group PLC의 Laser Modeller™ 등의 소프트웨어를 라이센스하여 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축에 사용하고 있음 (<표 1-3-5> 참조). 그러나 대부분의 정보 모델 구축 프로세스는 여전히 수작업에 의존하고 있음.

<표 1-3-5> 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 관련 국내 주요 업체

업체명	국가	개발업체명	소프트웨어
(주)드림티엔에스	대한민국	(주)드림티엔에스	PointShape™
(주)인트라테크	미국	Intergraph Corp.	Smart 3D™ for Plants
(주)포미트	미국	Intergraph Corp.	Smart 3D™ for Plants
삼인정보시스템(주)	미국	Intergraph Corp.	Smart 3D™ for Plants
위프코(주)	스위스	Leica Geosystems Ltd.	Cyclone
(주)포디게이트	스위스	Leica Geosystems Ltd.	Cyclone
(주)지오디지털	일본	Pentax Ricoh Imaging Company Ltd.	LaserControl
(주)이즈소프트	일본	Armonicos Co., Ltd.	Class NK-PEERLESS
(주)하이테크 엔지니어링	영국	AVEVA Group PLC	Laser Modeller™

다. 국내 전문가 및 연구기관 현황

○ 다음 <표 1-3-6>은 본 제안과제와 관련된 국내 전문가 및 연구기관 현황을 나타냄. 3차원 플랜트 정보 모델 활용 기술 개발 및 3차원 As-Built 모델 구축 기술 개발 관련 국내 전문가 및 연구기관의 기술 수준은 선진국 대비 50~80%에 머무르는 수준이며, 3차원 As-Built 플랜트 모델 구축 관련 국내 전문가는 두 명에 불과함. 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 관련 국내 전문가 및 연구기관은 전무한 실정임.

<표 1-3-6> 국내 전문가 및 연구기관 현황

기술분야	전문가	소속기관	기술개발현황	수준 (국외대비)
3차원 플랜트 정보 모델 활용 기술	강 인 석	경상대학교	3차원 플랜트 프로젝트관리의 공정시각화	50%
	심 창 수	중앙대학교	사회간접자본시설을 위한 BIM 가이드라인	50%
3차원 As-Built 모델 구축 기술	김 창 완	중앙대학교	장비 작업환경 모델 구축 및 구조물의 As-Built 모델 구축	80%
	권 순 욱	성균관대학교	인지능력기반의 객체 인식 및 작업환경 모델 구축	80%
	채 명 진	한국건설기술연구원	이미지 맵핑 및 3차원 객체 인식 (패턴인식)	80%
3차원 As-Built 플랜트 모델 구축 기술	채 영 호	중앙대학교	3D 스캔 point cloud 기반 플랜트 재구성 및 설계관리 시스템	-
	안 성 준	성균관대학교	실린더 피팅 기반의 배관 모델 구축	80%

2. 국외 기술개발 현황

가. 국외 시장 현황 및 예측

○ 세계적으로도 플랜트 개보수 및 증설공사에 대한 수요는 증가하고 있는 추세임. <표 1-3-7>은 전세계 석유화학 플랜트 증설 현황을 나타냄. 2005년부터 2006년까지 증가추세를 감안하면 2005년에 454개였던 플랜트 증설 프로젝트가 2010년에는 771개로 2005년 대비 약 70% 증가했을 것으로 추산됨.

<표 1-3-7> 석유화학 플랜트 증설 현황 (한화증권, 2006)

지역	2005	2006	2007	2008	2009	2010
중동	114	105	98	295	688	489
아시아	196	199	346	166	418	125
북미	69	57	29	3	0	0
서유럽	13	25	19	41	25	25
기타	62	135	11	12	30	133
세계	454	521	503	517	1,161	771

나. 세계시장을 선도하는 주요 업체

○ 다음 <표 1-3-8>은 3차원 레이저 스캐너 개발업체를 나타낸 표이며, 각 업체 별로 제공하는 소프트웨어와 그 특성을 나타냄. 다수의 업체에서는 3차원 점군 데이터의 열람만이 가능한 제한적인 기능을 제공하고 있으며, 일부 모델링이 가능한 소프트웨어를 제공하는 업체에서도 모델링 과정이 수작업을 통해 이루어지는 한계가 있음.

<표 1-3-8> 3차원 레이저 스캐너 개발업체 및 각 업체별 제공 소프트웨어 기능

업체명 국가	제품군	소프트웨어 최신버전	소프트웨어 기능
Leica Geosystems AG 스위스	광대역 스캐너	Cyclone v8.1	3차원 점군 데이터로부터 수작업을 통해 특정 구성요소에 속하는 점군 데이터를 선택하여 선택된 점군에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공
Trimble Navigation, Ltd. 미국	광대역 스캐너	Trimble Real Works v9.0	3차원 점군 데이터로부터 수작업을 통해 특정 구성요소에 속하는 점군 데이터를 선택하여 선택된 점군에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공
DAVID Group 독일	광대역 스캐너	DAVID Laserscanner 3 v3.10.4	3차원 점군 데이터로부터 수작업을 통한 3차원 표면 모델 구축 기능을 제공
Topcon Positioning System, Inc. 미국	광대역 스캐너	ScanMaster v3.0	3차원 점군 데이터로부터 수작업을 통한 삼각 메쉬 모델 구축 기능을 제공
Faro Technologies, Inc. 미국	광대역 스캐너	SCENE v5.2	3차원 점군 데이터를 불러들여 열람 가능
RIEGL Laser Measurement Systems 독일	광대역 스캐너	RiSCAN PRO v2.0	3차원 점군 데이터를 불러들여 열람 가능
Kreon Technologies 프랑스	광대역 스캐너	Polygonia v1.7.4.4	3차원 점군 데이터를 불러들여 열람 가능
Creaform, Inc. 캐나다	Hand-held 스캐너	Geomagic Studio v2013	3차원 점군 데이터로부터 수작업을 통한 3차원 표면 모델 구축 기능을 제공
Mantis Vision 이스라엘	Hand-held 스캐너	MVP-3 Production Software -	3차원 점군 데이터로부터 수작업을 통한 3차원 표면 모델 구축 기능을 제공
Dot Product LLC 미국	Hand-held 스캐너	Phi.3D v2.0	3차원 점군 데이터를 불러들여 열람 가능

○ 다음 <표 1-3-9>는 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 업체를 나타낸 표이며, 각 업체별로 제공하는 서비스를 나타냄. 레이저 스캐너 개발업체가 제공하는 소프트웨어와 마찬가지로, 해당 업체들의 소프트웨어 역시 점군데이터로부터 제한적인 자동화된 정보 모델링 구축 기능을 제공하고 있음. 이러한 업체들은 모두가 미국, 영국, 독일 등의 외국 기업으로, 이로 인해 3차원 플랜트 정보 모델링 시장에서 외화의 유출이 불가피한 실정임.

<표 1-3-9> 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 업체 및 업체별 제공 서비스

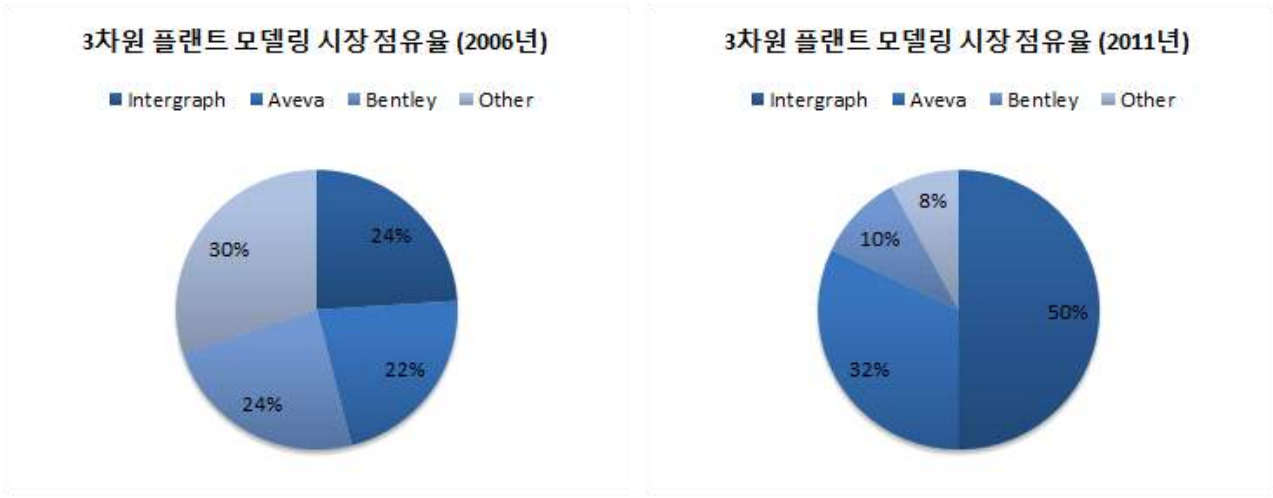
업체명 국가	소프트웨어 최신버전	업체별 제공 서비스
Autodesk, Inc. 미국	AutoCAD Plant 3D v2015	3차원 플랜트 점군 데이터로부터 수작업을 통해 특정 구성요소에 속하는 점군 데이터를 선택하여 선택된 점군에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공
AVEVA Group PLC 영국	Laser Modeller™ v12	3차원 플랜트 점군 데이터부터 수작업을 통해 점군 데이터를 선택하여 선택된 점군들에 대한 수동적인 정보 모델 구축 기능을 제공
Bentley Systems, Inc. 미국	OpenPlant Modeler v8.i	3차원 플랜트 점군 데이터부터 수작업을 통해 배관에 해당하는 점군 데이터를 선택하여 선택된 점군에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공
ClearEdge3D, Inc. 미국	EdgeWise Plant v4.6	3차원 플랜트 점군 데이터부터 자동으로 특정 구성요소 (면, 원기둥)에 속하는 점군에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공
Intergraph Corp. 미국	Smart 3D™ for Plants v2014	3차원 플랜트 점군 데이터부터 수작업을 통해 특정 구성요소에 대한 점군 데이터를 선택하여 선택된 점군에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공
Kubit 독일	PointSense Plant v15.0	3차원 플랜트 점군 데이터부터 수작업을 통해 배관에 해당하는 점군 데이터를 선택하여 배관에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공

○ <표 1-3-10>의 업체들은 플랜트 시설을 대상으로, 3차원 플랜트 모델링에 관한 용역을 수행하는 업체로, 각 업체별 제공 서비스를 함께 나타내고 있음. 4,000㎡ 넓이의 5층 규모 플랜트를 대상으로 3차원 모델링을 의뢰하였을 때, 모델링 수준에 따라 금액을 차등 적용하여 최대 40,000달러를 필요로 함. 3차원 점군 데이터 획득에 요구되는 평균 금액은 약 2,500달러/일이며, 이후 데이터 처리에는 시간당 평균 50달러~100달러를 필요로 함. 따라서 3차원 플랜트 모델링에 대한 국산 기술을 개발함을 통해 플랜트 모델링에 필요로 하는 막대한 외화의 유출을 막고, 3차원 플랜트 모델링의 원천기술을 확보함과 동시에 새로운 내수시장을 개척하여 경제적 효과 또한 기대할 수 있을 것임.

<표 1-3-10> 전 세계의 플랜트 시설을 대상으로 한 3차원 플랜트 모델링 용역업체

업체명	국가	업체별 제공 서비스		
		3차원 스캐닝	3차원 모델링	2차원 CAD 도면 작성
Rapid3D	캐나다	○	○	○
NVision, Inc.	미국	○	○	○
Arrival3D	미국	○	○	○
OR3D, Ltd.	미국	○	○	
3Deling, Ltd.	폴란드	○	○	
M-7 Technologies, Pte. Ltd.	미국	○	○	
3D Engineering Solutions, Inc.	미국	○	○	

○ <그림 1-3-1>에서 보는 바와 같이 3차원 플랜트 모델링 시장은 소수의 관련 업체들이 높은 점유율을 유지하고 있으며, 2011년 기준 상위 3개 업체 (Intergraph Corp., AVEVA Group PLC, Bentley Systems, Inc.)가 90%가 넘는 시장 점유율을 보유하여 사실상 과점화되어 있는 실정임.



<그림 1-3-1> 3차원 플랜트 모델링 시장 점유율 (2006년, 2011년)

3. 특허 동향

○ 본 연구개발과제와 관련이 있는 특허 분석을 위해 국가과학기술정보센터 특허검색 (http://ndsl.kr)을 이용하여 1990년부터 2014년까지 전 세계에 공개된 특허를 검색함.

○ 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축과 관련한 특허 검색을 위해 사용된 키워드는 다음과 같음.

- 3차원 + 배관 + 검출/
  (3D (또는 Three-Dimensional) + Pipe + Detection)
- 3차원 데이터 + 객체 + 추출/

(3D (또는 Three-Dimensional) Data + Object + Extraction)
- 3차원 + 레이저 스캐너 + 모델/
(3D (또는 Three-Dimensional) + Laser scanner + Model)
- 3차원 + 레이저 + 객체 + 모델/
(3D (또는 Three-Dimensional) + Laser + Object + Model)
- 3차원 + 레이저 + 스캔 + 설비/
(3D (또는 Three-Dimensional) + Laser + Scan + Facility)
- 3차원 + 플랜트 + 모델/
(3D (또는 Three-Dimensional) + Plant + Model)

○ 특허 검색 결과는 국내 특허와 해외 특허로 구분하여 나타내었으며, 국내 특허 목록은 다음 <표 1-3-11>과 같음.

<표 1-3-11> 국내 특허 검색 결과 (다음 페이지에 계속)

번호	발명의 명칭	국가	등록번호 (등록연도 기준 내림차순 정렬)
1	3차원 스캐닝 데이터를 이용한 3차원 산업 객체 모델링 방법 및 장치	대한민국	10-1500911 (본 과제 달성 성과)
2	3차원 스캐닝 데이터를 이용한 배관 모델링 방법 및 장치	대한민국	10-1493659 (본 과제 달성 성과)
3	항공촬영정보를 활용한 지아이에스(GIS) 수치지도 갱신 시스템	대한민국	10-1428546
4	3차원 데이터로부터 검출 대상체를 추출하는 장치 및 방법	대한민국	10-1419334 (본 과제 달성 성과)
5	3차원 데이터로부터 특정 객체를 추출하는 시스템 및 방법.	대한민국	10-1364375 (본 과제 달성 성과)
6	3차원 데이터로부터 3차원 산업 모델을 구축하는 시스템 및 방법	대한민국	10-1388749 (본 과제 달성 성과)
7	3차원 3D 스캐너를 활용한 최적의 공간정보 분석 시스템	대한민국	10-1409802
8	레이저 스캐너를 이용한 플랜트 구조물의 품질 및 시공성 검사방법	대한민국	-
9	3차원 데이터로부터 검출 대상체를 추출하는 장치 및 방법	대한민국	10-1419334
10	도화성과 정밀도 향상을 위한 기준점 정보의 영상도화기내 실시간 합성 표출 시스템	대한민국	10-1225757
11	3D 플랜트 구축 공정 시뮬레이션 시스템 및 그 방법	대한민국	10-1283667
12	가상 공장용 데이터 모델 생성 방법 및 가상 공장용 데이터 모델 미들웨어 시스템	대한민국	10-1222051
13	지리정보 구축시스템	대한민국	10-1229297
14	GPS/INS/영상AT를 통합한 라이다 지오레퍼린싱 장치 및 방법	대한민국	10-1192825
15	비주얼 배관공정 관리시스템	대한민국	10-1179800
16	CAD 시스템, 그 제어 방법 및 제어 프로그램을 기록한 기록 매체	대한민국	10-0969613
17	3차원 레이저스캔 기술을 응용한 웹기반 발전설비 통합관리 방법	대한민국	-

<표 1-3-11> 국내 특허 검색 결과 (이전 페이지에 이어)

번호	발명의 명칭	국가	등록번호 (등록연도 기준 내림차순 정렬)
18	이미지 NAVIGATION을 이용한 인터넷 기반의 완성도면 관리 시스템	대한민국	-
19	이동형 사진측량 시스템에서의 레이저 스캐너와 카메라 영상정보를 이용한 3차원 모델링 방법	대한민국	10-0800554
20	에지 적응형 스테레오/다시점 영상 정합 장치 및 그 방법	대한민국	10-0793076
21	차폐영역 검출을 이용한 양안 또는 다시점 스테레오 정합 장치 및 그 방법	대한민국	10-0745691
22	3차원 데이터 변환 방법	대한민국	10-0740235
23	플랜트엔지니어링 및 조선분야의 시공 또는 설치를 위한 3차원 모델 데이터의 2차원 도면 자동 작성 방법	대한민국	10-0786285
24	회전을 고려한 3차원 배관 변위 측정 장치	대한민국	10-0655053
25	2차원 그래픽도면을 이용한 3차원 그래픽데이타 제작시스템 및 그 제작방법	대한민국	10-0486670
26	통합 3차원 플랜트 엔지니어링 리뷰시스템과 그 리뷰방법	대한민국	-
27	시시디 라인카메라를 이용한 3차원 지형,지물 모형의 텍스쳐 매핑 방법	대한민국	10-0445428
28	모바일 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 3차원 지형지물 추출 및 분류 시스템 및 그 방법	대한민국	-
29	3차원 배관 변위 측정 장치	대한민국	10-0361898
30	3차원 공간 도설물의 형상 측정 장치	대한민국	10-0033149

○ 해외 특허 목록은 다음 <표 1-3-12>와 같음.

<표 1-3-12> 해외 특허 검색 결과 (다음 페이지에 계속)

번호	발명의 명칭	국가	등록번호 (등록연도 기준 내림차순 정렬)
1	System and Method for 3D Reconstruction of As-Built Industrial Model from 3D Data	미국	(본 과제 달성 성과)
2	Method and Apparatus for Detection of Foreign Object Debris	국제	-
3	Coordinate Geometry Augmented Reality Process	미국	-
4	Method for Generating an Interactive Interface for Displaying Data	유럽	-
5	3d Scanning Laser Systems and Methods for Determining Surface Geometry of an Immersed Object in a Transparent Cylindrical Glass Tank	미국	-
6	Co-registration - Simultaneous Alignment and Modeling of Articulated 3D Shapes	국제	-

<표 1-3-12> 해외 특허 검색 결과 (이전 페이지에 이어)

번호	발명의 명칭	국가	등록번호 (등록연도 기준 내림차순 정렬)
7	3D Scanning Laser Systems and Methods for Determining Surface Geometry of an Immersed Object in a Transparent Cylindrical Glass Tank	국제	-
8	Object Recognizing Robot System	일본	-
9	Scanning Apparatus and Method	미국	US-RE43895
10	CAD Modeling System and Method	유럽	-
11	Recursive 3D Model Optimization	미국	US-7657081
12	Three-Dimensional Shape Measuring Method and ITS Equipment	국제	-
13	Scanning Apparatus and Method	미국	US-7313264
14	Image-Directed Active Range Finding System	국제	-
15	System and Method for Computer Modeling of 3D Objects and 2D Images by Mesh Constructions that Incorporate Non-Spatial Data such as Color or Texture	미국	US-6208347
16	Image-Directed Active Range Finding System	미국	US-5889582
17	Portable 3-D Scanning System and Method for Rapid Shape Digitizing and Adaptive Mesh Generation	미국	US-5870220
18	Open-Ditch Pipeline As-Built Process	미국	-
19	Method for Comparison of 3D Computer Model and As-Built Situation of an Industrial Plant	미국	US-8315425
20	System and Method for Producing an Assembly by Directly Implementing Three-Dimensional Computer-Aided Design Component Definitions	미국	US-6922599

○ 조사 결과, 본 연구개발과제를 통해 등록 또는 출원된 특허는 총 6건으로 나타남. 이 밖에 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터로부터 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델을 구축하고 이를 활용하는 측면에서 유사한 사례 (출원명: 3차원 레이저스캔 기술을 응용한 웹기반 발전설비 통합관리 방법, 출원번호: 2008-0138162, 국적: 한국)가 있으나, 이는 수작업을 통해 3차원 점군 데이터로부터 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델을 구축하고 이를 활용하고자 한 점에서 본 연구개발과제에서 지향하는 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축의 자동화와는 무관한 것으로 파악됨.

○ 또한, 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터를 3차원 CAD 모델과 상호 비교하여 설계 치수 및 형상의 일치성 여부를 파악하는 사례 (출원명: 레이저 스캐너를 이용한 플랜트 구조물의 품질 및 시공성 검사방법, 출원번호: 2012-0105609, 국적: 한국)가 있음. 그러나 이는 플랜트 시설의 형상정보에만 의존한 것으로, 본 연구개발과제에서 개발한 플랜트 배관 정보모델 구축에 비해 그 활용성이 확연히 제한적인 기술임.

4. 종합 결론

○ 시공 및 운영·유지 관리를 위한 플랜트 정보 모델 활용 기술

- 플랜트의 3차원 기하학적 형상 정보를 가진 객체 모델에 개별 객체에 대한 정보를 포함한 플랜트 정보 모델의 활용에 관한 연구가 수행됨 (강인석 등, 2006; 강인석 등, 2007).
- 강인석 등 (2006)에서는 3차원 플랜트 모델과 공정과의 연계를 통한 4차원 모델 구축을 통하여 플랜트 정보를 시각화 함. 구축된 4차원 플랜트 정보 모델은 시공성 분석 및 검토, 간섭 체크 등 설계 오류 검증을 통한 시공 오류 감소를 위해 사용됨.
- 강인석 등 (2007)에서는 기존 4차원 플랜트 모델에 자원 및 비용정보를 연계한 n차원 플랜트 정보 모델의 구축 방안을 제안함. n차원 플랜트 정보 모델은 공정 시나리오 기반의 시뮬레이션 분석을 통해 최적의 비용 및 자원의 투입량을 예측하고 프로젝트관리 업무에 효과적으로 적용할 수 있도록 기능을 구성함. 이를 통하여 최적 일정계획 수립과 자원 및 비용정보의 효율적인 시각화가 가능함.
- 기존 연구는 플랜트 정보 모델을 시공성 분석 및 검토, 간섭 체크 등 설계 단계에서 플랜트 관리에 활용 가능함을 보여줌. 그러나 설계 단계에서 구축된 플랜트 정보 모델은 플랜트의 현 상황을 반영하지 못하기 때문에 그 활용이 설계 단계에만 국한되어 있음. 플랜트 정보 모델의 활용을 설계 단계뿐만 아니라 시공 및 운영·유지 관리 단계까지 확장하기 위해서는 현 상황을 반영할 수 있는 플랜트 정보 모델의 구축이 필요하나, 이에 대한 연구가 전무함.

○ 건설 산업에서의 3차원 As-Built 모델 구축 기술

- 첨단 센서 기술의 발전에 따라, 이를 활용하여 건설 현장에 대한 3차원 As-Built 모델을 구축하기 위한 연구가 수행됨 (Kim 등, 2006; Bosche, 2010; Son과 Kim, 2010; Son 등, 2010). 이러한 연구는 구조체에 대한 3차원 As-Built 모델을 구축하는 연구와 건설 중장비의 작업 환경 모델을 구축하는 연구로 구분됨.
- 구조체에 대한 3차원 As-Built 모델을 구축하는 연구는 공사 진도를 관리하기 위한 목적으로 수행됨. 이를 위해 레이저 스캐너 또는 스테레오 비전 시스템과 같은 첨단 센서를 이용하여 공사 중인 구조체에 대한 3차원 As-Built 점군 데이터를 획득하고, 3차원 As-Planned 모델을 활용하여 이를 3차원 As-Built 모델로 구축함 (Bosche, 2010; Son과 Kim, 2010).
- 건설 중장비의 작업 환경 모델을 구축하는 연구는 건설 중장비 자동화를 위한 목적으로 수행됨. 이를 위해 레이저 레인지 파인더 또는 플래시 레이다와 같은 첨단 센서를 이용하여 중장비의 작업 환경에 대한 3차원 점군 데이터를 획득하고, 이로부터 물체를 인식하고 이를 바탕으로 개략적인 3차원 모델로 구축함 (Kim 등, 2006; Son 등, 2010).
- 이와 같이, 건설 산업에서는 다양한 첨단 센서를 이용하여 공사 중인 구조체 또는 건설 중장비의 작업 환경에 대한 3차원 As-Built 모델을 구축하고, 이를 자동화된 공사 진도 관리 또는 중장비 자동화에 효과적으로 활용할 수 있음을 보여줌. 하지만 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델을 구축하기 위한 연구는 전무한 실정임.

○ 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술

- 플랜트 시설의 3차원 As-Built 정보 모델 구축을 위해서는 현장 실측을 필요로 하며, 최근 첨단 센서 기술의 발전으로 플랜트 시설에 대한 정확한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득이 가능해짐. 이에 첨단 센서를 활용하여 획득한 플랜트 시설의 3차원 As-Built 점군 데이터를 이용하여 3차원 As-Built 플랜트 기하학적 모델을 구축하기 위한 연구가 수행됨 (Rabbani와 Van den Heuvel, 2005; Sternberg와 Kersten, 2007; Masuda와 Tanaka, 2010; Kawashima 등, 2011).
- Rabbani와 van den Heuvel (2005)에서는 플랜트 시설에 대한 3차원 As-Built 모델 구축 시, 수작업에 의한 실측을 최소화하기 위해 레이저 스캐너를 이용하여 3차원 As-Built 점군 데이터를 획득함. 이를 바탕으로 실린더 형태를 가진 배관 또는 기기만을 3차원 기하학적 모델로 구축함.
- Sterngerg와 Kersten (2007)에 따르면 상용 소프트웨어를 이용하여 3차원 As-Built 점군 데이터를 정합하고, 이를 모델로 구축하기 위해 소요되는 시간은 3차원 As-Built 점군 데이터를 획득하는 데 소요되는 시간의 10배에 달함. 또한 단일 플랜트 시설을 대상으로 3차원 As-Built 점군 데이터를 획득하고 모델로 구축하기까지 수억 원의 비용이 요구됨. 이는 레이저 스캐너로부터 획득한 3차원 As-Built 점군 데이터를 정합하고, 정합된 데이터로부터 As-Built 플랜트 모델을 구축하기 위한 효율적이고, 자동화된 방법의 개발이 필수임을 시사함.
- 플랜트 산업에서 수행되었던 기존 연구들은 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 높은 정확도의 3차원 As-Built 점군 데이터를 플랜트 시설의 3차원 As-Built 기하학적 모델 구축에 효과적으로 활용 가능함을 보여줌.
- 하지만 기존 연구들은 실린더, 기하학적 원형과 같은 단순한 형태를 가진 배관 또는 기기에 대한 제한적인 3차원 기하학적 모델을 구축하는 데에만 제한 되어 있어 플랜트 시설에 대한 완성도 높은 3차원 As-Built 정보 모델을 구축하기 위한 연구는 부족한 실정임. 뿐만 아니라, 3차원 As-Built 모델을 구축하는 프로세스가 대부분 수작업에 의존하는 실정에서 이를 자동화하기 위한 연구는 전무한 실정임.

제4절 연구개발결과가 관련분야에서 차지하는 위치

1. 연구개발 과제 시작 전 국내 기술개발 수준

○ 시공 및 운영·유지 관리를 위한 플랜트 정보 모델 활용 기술

- 플랜트의 3차원 기하학적 형상 정보를 가진 객체 모델에 개별 객체에 대한 정보를 포함한 플랜트 정보 모델을 활용하고자 하는 시도가 있었으나, 설계 단계에서 구축된 플랜트 정보 모델이 플랜트의 현 상황을 반영하지 못하기 때문에 그 활용이 설계 단계에만 국한되어 있음. 시공 및 운영·유지 관리 단계에서의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델의 필요성은 인지하고 있으나, 국내에서의 시공 및 운영·유지 관리를 위한 현 상황을 반영할 수 있는 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델의 활용 기술 개발은 전무한 실정임.

○ 건설 산업에서의 3차원 As-Built 모델 구축 기술
- 첨단 센서 기술의 발전에 따라 건설 산업에서는 이를 활용하여 공사 중인 구조체 또는 건설 중장비의 작업 환경에 대한 3차원 As-Built 모델을 구축하고, 이를 자동화된 공사 진도 관리 또는 중장비 자동화에 효과적으로 활용할 수 있음을 보여줌. 하지만 국내에서의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델을 구축하기 위한 기술 개발은 전무한 실정임.

○ 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술
- 플랜트의 3차원 As-Built 기하학적 모델을 구축하기 위해 플랜트 시설로부터 레이저 스캐너를 이용하여 3차원 As-Built 점군 데이터를 획득하고, 이를 바탕으로 플랜트 시설에 대한 3차원 As-Built 기하학적 모델을 구축하기 위한 연구가 다수 수행됨. 기존 연구들은 레이저 스캐너를 사용하여 획득한 높은 정확도의 3차원 As-Built 점군 데이터를 플랜트 시설의 3차원 As-Built 기하학적 모델 구축에 효과적으로 활용할 수 있음을 보여줌.
- 하지만 실제로는 일부 프로세스만이 자동화되었으며, 대부분의 프로세스가 여전히 수작업에 의존하고 있어 고비용과 장시간이 소요됨. 뿐만 아니라, 기존 연구에서는 3차원 기하학적 모델의 구축에만 초점을 맞추어 진행되었기에 플랜트 정보 모델의 개념을 적용한 기술 개발은 전무한 실정임.

2. 연구개발 과제 시작 전과 비교한 기술개발 수준

○ 본 연구개발 과제를 통해 개발 완료한 핵심기술별 과제 시작 전과 비교한 기술수준 향상 효과 및 기술격차 축소 효과를 평가하기 위해 플랜트 정보 모델을 활용하는 실무자 21명을 대상으로 설문을 실시함. 각 항목의 평균 점수에 따르면 설문에 참여한 플랜트 실무자들은 개발한 핵심기술별 과제 시작 전과 비교한 기술수준 향상 효과 기술격차 축소 효과가 매우 높은 것으로 평가함 (<표 1-4-1> 참조).

<표 1-4-1> 과제 시작 전과 비교한 개발 기술에 대한 평가

핵심성과명	기술수준 향상 효과 평균 (1: 전혀 향상이 없다~ 7: 매우 향상 되었다)	기술격차 축소 효과 평균 (1: 전혀 축소가 없다~ 7: 매우 축소 되었다)
플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	5.95	5.81
자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템	6.29	5.95
As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	6.24	6.05

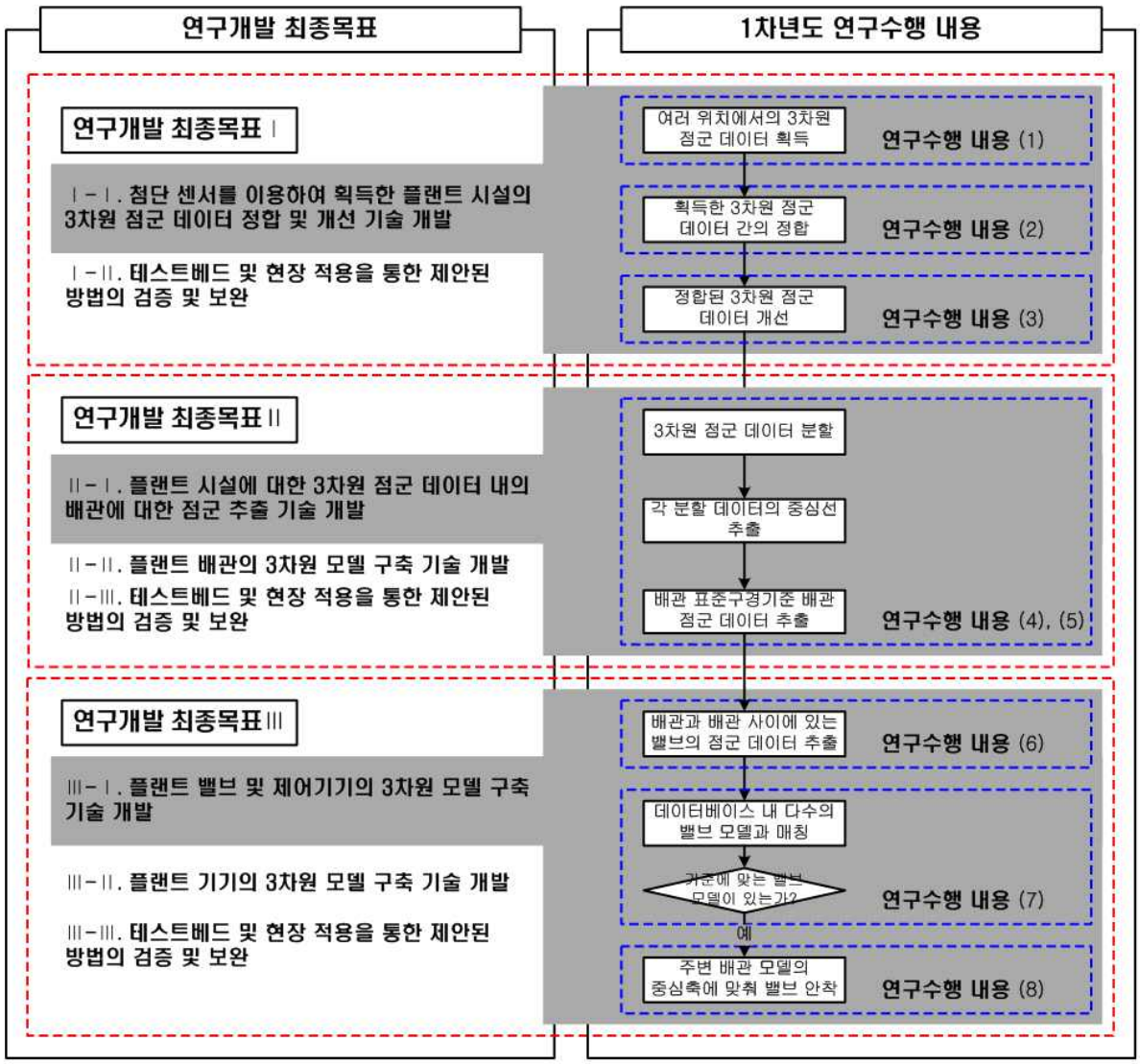
제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 연구개발결과 요약

1. 연차별 연구목표 및 내용

가. 1차년도

○ 본 연구과제의 최종목표를 달성하기 위해 설정한 1차년도 연구목표 및 내용은 다음 <그림 2-1-1>과 같은 연계성을 가짐.



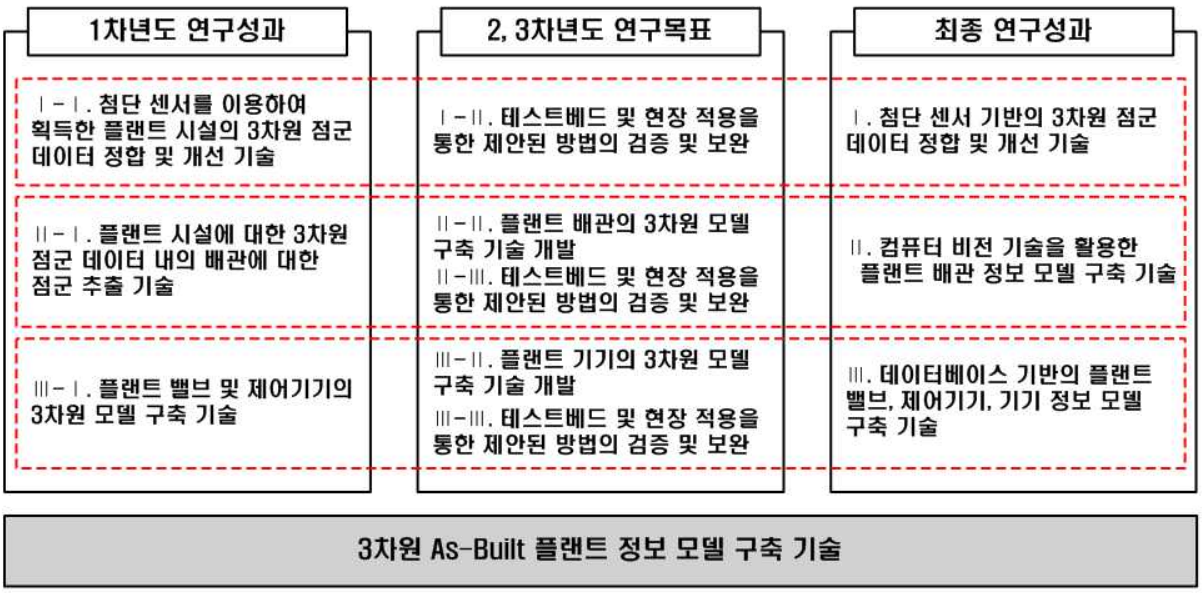
<그림 2-1-1> 최종목표와 1차년도 연구목표 및 내용의 연계성

○ 상기 <그림 2-1-1>에 도식화된 1차년도 연구목표 및 내용을 요약하여 기술하면 다음 <표 2-1-1>과 같음.

<표 2-1-1> 1차년도 연구목표 및 내용

핵심성과	연구목표	주요 연구내용
Ⅰ. 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발	Ⅰ-Ⅰ. 첨단 센서를 이용하여 획득한 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발	(1) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득
		(2) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
		(3) 플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발
Ⅱ. 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발	Ⅱ-Ⅰ. 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터 내의 배관에 대한 점군 추출 기술 개발	(1) 플랜트 시설에 대한 전체 3차원 점군 데이터로부터 플랜트 배관에 대한 점군 분할을 위한 특성 파악
		(2) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발
Ⅲ. 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발	Ⅲ-Ⅰ. 플랜트 밸브 및 제어기기의 3차원 모델 구축 기술 개발	(1) 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발
		(2) 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발
		(3) 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발

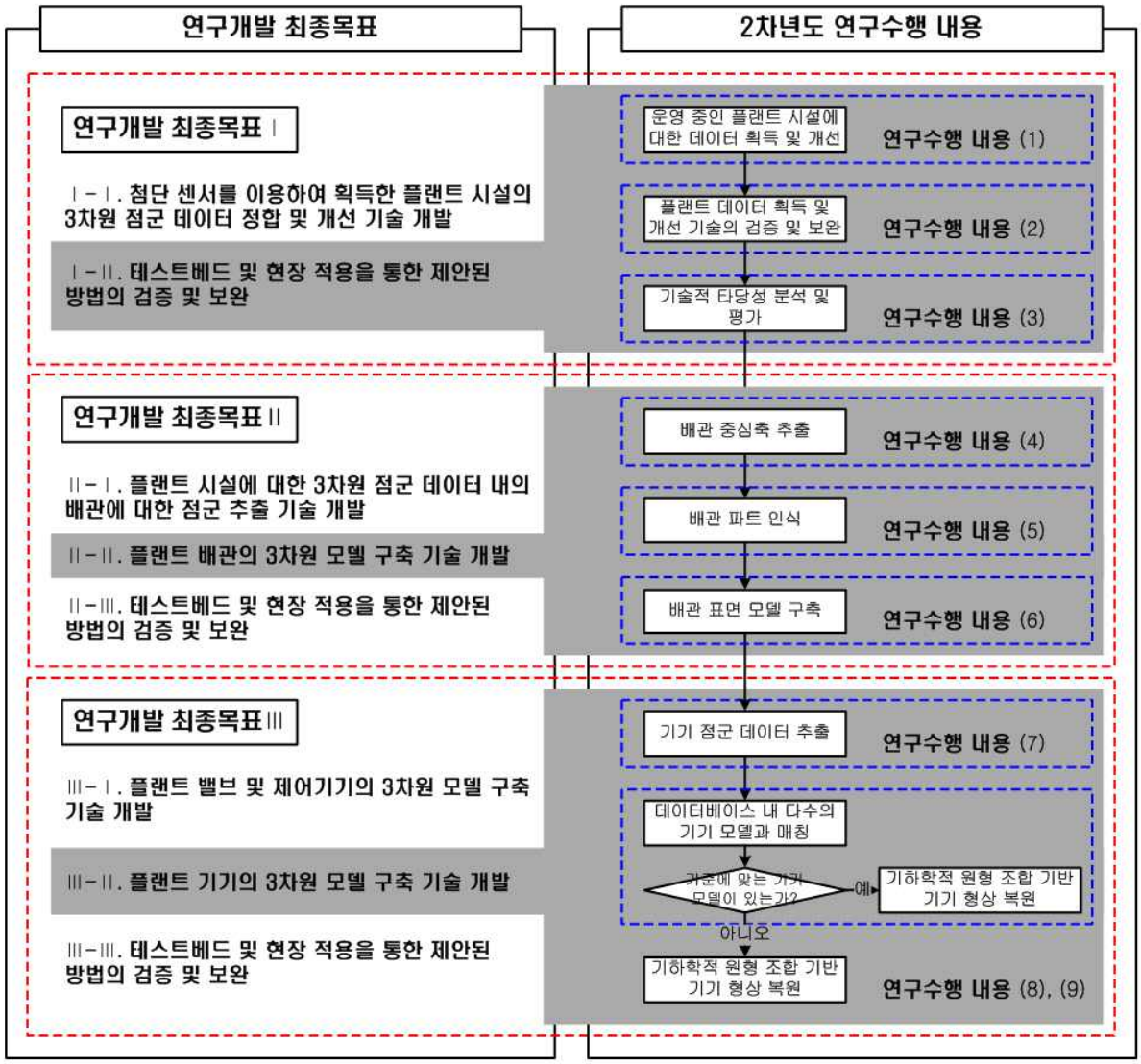
○ 다음 <그림 2-1-2>는 1차년도 연구성과와 2, 3차년도 연구목표 및 최종 연구성과와의 연계성을 나타냄. 1차년도 연구기간동안 본 연구과제를 통해 개발된 연구성과는 다음과 같이 2, 3차년도 연구목표와 연계되어 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 개발이라는 연구의 최종목표를 달성하는데 활용됨.



<그림 2-1-2> 최종목표와 1차년도 연구목표 및 내용의 연계성

나. 2차년도

○ 본 연구과제의 최종목표를 달성하기 위해 설정한 2차년도 연구목표 및 내용은 다음 <그림 2-1-3>과 같은 연계성을 가짐.



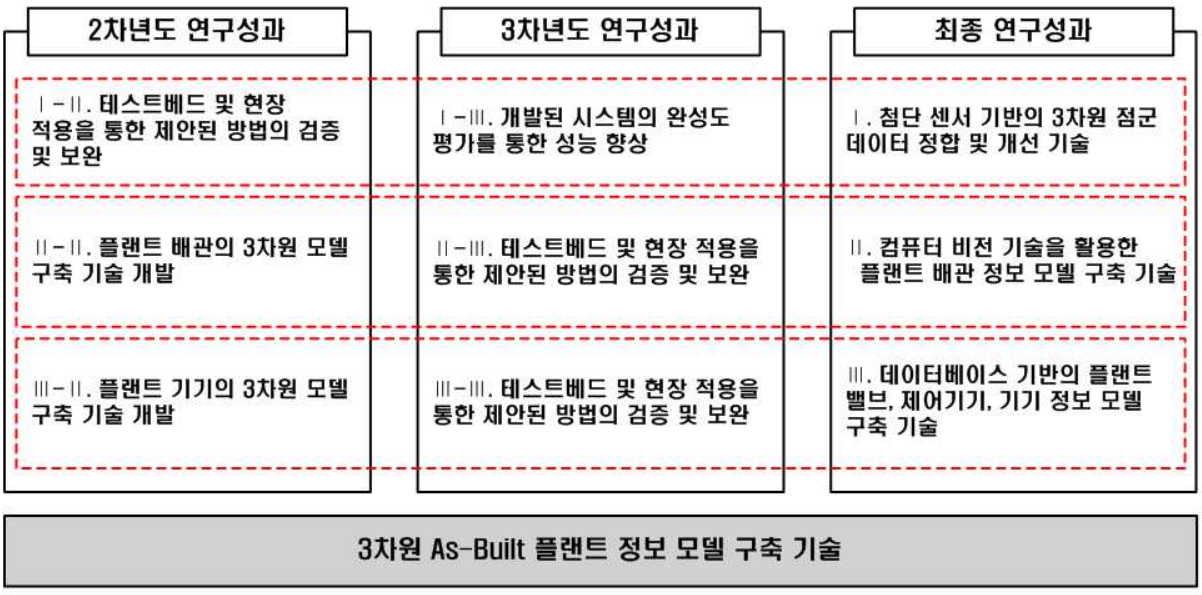
<그림 2-1-3> 최종목표와 2차년도 연구목표 및 내용의 연계성

○ 상기 <그림 2-1-3>에 도식화된 2차년도 연구목표 및 내용을 요약하여 기술하면 다음 <표 2-1-2>와 같음.

<표 2-1-2> 2차년도 연구목표 및 내용

핵심성과	연구목표	주요 연구내용
Ⅰ. 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발	Ⅰ-Ⅱ. 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완	(4) 운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 플랜트 데이터 획득 및 개선
		(5) 자동화된 3차원 플랜트 데이터 획득 및 개선 기술의 검증 및 보완
		(6) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가
Ⅱ. 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발	Ⅱ-Ⅱ. 플랜트 배관의 3차원 모델 구축 기술 개발	(3) 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 개발
		(4) 플랜트 배관의 중심축을 기반으로 종류 별 배관 분할
		(5) 분할된 배관의 지름 측정 및 파라메트릭 모델링 기법을 이용한 표면 모델 구축 기술 개발
Ⅲ. 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발	Ⅲ-Ⅱ. 플랜트 기기의 3차원 모델 구축 기술 개발	(4) 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 기기에 대한 점군 추출 기술 개발
		(5) 개별 기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발
		(6) 개별 기기의 구성 요소에 대한 모델 단위로의 점군 데이터 분할 및 모델 피팅 기술 개발

○ 다음 <그림 2-1-4>는 2차년도 연구성과와 3차년도 연구목표 및 최종 연구성과와의 연계성을 나타냄. 2차년도 연구기간동안 본 연구과제를 통해 개발된 연구성과는 다음과 같이 3차년도 연구목표와 연계되어 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 개발이라는 연구의 최종목표를 달성하는데 활용됨.



<그림 2-1-4> 최종목표와 2차년도 연구목표 및 내용의 연계성

다. 3차년도

○ 3차년도 연구목표 및 내용을 요약하여 기술하면 다음 <표 2-1-3>과 같음.

<표 2-1-3> 3차년도 연구목표 및 내용

핵심성과	연구목표	주요 연구내용
Ⅱ. 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발	Ⅱ-Ⅲ. 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 (6)	(가) 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축
		(나) As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완
		(다) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가
Ⅲ. 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발	Ⅲ-Ⅲ.테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 (7)	(가) 운영 중인 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축
		(나) 자동화된 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완
		(다) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가

2. 핵심성과별 연구수행 내용 및 결과

가. 핵심성과 1: 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발

○ 본 연구과제의 핵심성과 1에 대한 연차별 연구수행 내용 및 결과를 요약하면 다음 <표 2-1-4>와 같음.

<표 2-1-4> 핵심성과 1에 대한 연차별 연구수행 내용 및 결과 (다음 페이지에 계속)

연차	연구수행 내용	연구 결과
1차년도	(1) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득	(가) 플랜트 시설에 관한 테스트베드 협의/선정
		(나) 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립
		(다) 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력
		(라) 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득
	(2) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발	(가) 데이터 특성에 적합한 3차원 점군 데이터 정합 기술 정립
		(나) 플랜트 정보 모델 구축 업체와의 기술교류 및 협력
		(다) 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
	(3) 플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발	(가) 데이터 특성에 적합한 이상치 제거 기술 정립
		(나) 전문가 자문을 통한 이상치 제거 기술 검토
		(다) 이상치 데이터 제거 기술 개발

<표 2-1-4> 핵심성과 1에 대한 연차별 연구수행 내용 및 결과 (이전 페이지에 이어)

연차	연구수행 내용	연구 결과
2차년도	(4) 운영 중인 플랜트 시설에서 획득한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선	(가) 운영 중인 플랜트 시설에 대한 테스트베드 협의 및 선정
		(나) 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립
		(다) 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득
		(라) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선
	(5) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 검증 및 보완	(가) 개발한 기술의 검증 및 보완을 위한 전략 체계 구축
		(나) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 개선사항 도출 및 기술적 보완
		(다) 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템 개발 및 등록
	(6) 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 기술의 현장적용성 평가	(가) 테스트베드 적용 계획 수립
		(나) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 현장적용성 평가 계획 수립
		(다) 해당 기술의 테스트베드 적용 및 현장적용성 평가

나. 핵심성과 2: 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발

○ 본 연구과제의 핵심성과 2에 대한 연차별 연구수행 내용 및 결과를 요약하면 다음 <표 2-1-5>와 같음.

<표 2-1-5> 핵심성과 2에 대한 연차별 연구수행 내용 및 결과 (다음 페이지에 계속)

연차	연구수행 내용	연구 결과
1차년도	(1) 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터로부터 플랜트 배관에 대한 점군 분할을 위한 특성 파악	(가) 국내/외 플랜트 정보 모델 구축 관련 기술 수준 및 기술 동향 파악
		(나) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 요구사항 분석
		(다) 수요자 요구 반영을 위한 설문
	(2) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발	(가) 데이터 특성에 적합한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 정립
		(나) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발
		(다) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완
2차년도	(3) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발	(가) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 요구사항 분석
		(나) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
		(다) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
		(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

<표 2-1-5> 핵심성과 2에 대한 연차별 연구수행 내용 및 결과 (이전 페이지에 이어)

연차	연구수행 내용	연구 결과
2차년도	(4) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발	(가) 플랜트 배관 파트별 특성 및 파트 간 연결 관계 분석
		(나) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
		(다) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
		(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완
	(5) 플랜트 배관 표면 모델 구축 기술 개발	(가) 플랜트 배관 파트별 파라메트릭 모델 자동 생성을 위한 매개 변수 정의
		(나) 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
		(다) 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
		(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완
3차년도	(6) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완	(가) 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축
		(나) As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완
		(다) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가

다. 핵심성과 3: 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발

○ 본 연구과제의 핵심성과 3에 대한 연차별 연구수행 내용 및 결과를 요약하면 다음 <표 2-1-6>과 같음.

<표 2-1-6> 핵심성과 3에 대한 연차별 연구수행 내용 및 결과 (다음 페이지에 계속)

연차	연구수행 내용	연구 결과
1차년도	(1) 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발	(가) 데이터 특성에 적합한 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 정립
		(나) 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발
		(다) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가
	(2) 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발	(가) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 요구사항 분석
		(나) 데이터 특성에 적합한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 정립
		(다) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 개발

<표 2-1-6> 핵심성과 3에 대한 연차별 연구수행 내용 및 결과 (이전 페이지에 이어)

연차	연구수행 내용	연구 결과
1차년도	(3) 밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발	(가) 데이터 특성에 적합한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 정립
		(나) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 개발
2차년도	(4) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발	(가) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 요구사항 분석
		(나) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
		(다) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 및 테스트베드 적용
		(라) 개선사항 반영을 통한 기술 개선 및 고도화
	(5) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발	(가) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 요구사항 분석
		(나) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
		(다) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 및 테스트베드 적용
		(라) 개선사항 반영을 통한 기술 개선 및 고도화
	(6) 기하학적 원형 조합 기반 기기 형상 복원 기술 개발	(가) 플랜트 기기 종류별 구성 요소 정의
		(나) 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
		(다) 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
		(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완
3차년도	(7) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완	(가) 운영 중인 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축
		(나) 자동화된 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완
		(다) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가

제2절 연구개발 주요내용 - 핵심성과 1

1. 세부 연구목표와 주요 연구수행 내용

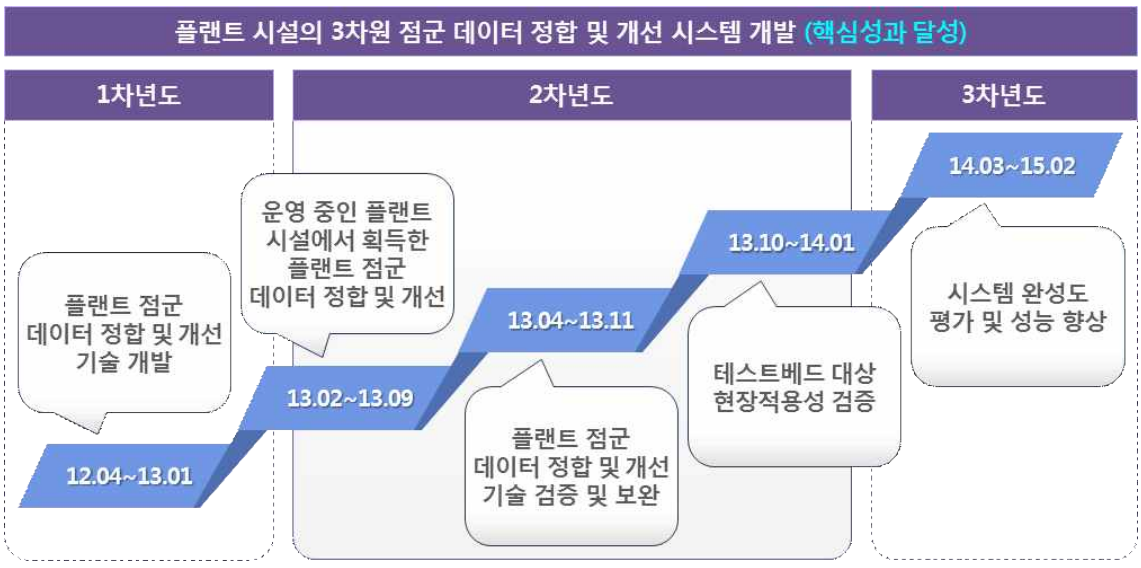
○ “핵심성과 1: 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발”에 관한 연차별 세부 연구목표와 주요 연구수행 내용을 요약하면 다음 <표 2-2-1>과 같음.

<표 2-2-1> 핵심성과 1의 연차별 세부 연구목표와 주요 연구수행 내용

연차	세부 연구목표	주요 연구수행 내용
1차년도	Ⅰ-Ⅰ. 첨단 센서를 이용하여 획득한 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발	(1) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득
		(2) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
		(3) 플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발
2차년도	Ⅰ-Ⅱ. 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완	(4) 운영 중인 플랜트 시설에서 획득한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선
		(5) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 검증 및 보완
		(6) 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 기술의 현장적용성 평가

2. 기술 개발을 위한 단계적 접근

○ 1차년도에는 플랜트 시설에서 획득한 3차원 As-Built 플랜트 점군 데이터 (이하 "플랜트 점군 데이터"라 함)를 자동으로 정합하고 이상치 제거를 통해 정합된 점군 데이터를 개선하는 기술을 성공적으로 개발함. 2차년도에는 1차년도 기술 개발 성과를 토대로 기존 기술의 검증과 고도화를 추진함. 이를 통해 **핵심성과**인 **"플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템" 개발**을 **완료**함. 3차년도에는 개발된 시스템의 완성도 평가를 기반으로 성능 향상을 추구함 (<그림 2-2-1> 참조).



<그림 2-2-1> 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템 개발을 위한 단계적 접근

3. 상세 연구 내용 및 결과

(1) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득

○ 대규모의 복잡한 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위해서는 여러 위치에서의 데이터 획득이 필수적임. 본 연구에서는 이를 위해 본 연구과제에 적합한 플랜트 시설을 테스트베드로 협의/선정함. 선정된 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득을 위해 테스트베드 대상 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획을 수립하였으며, 플랜트 시설의 효과적인 점군 데이터 획득을 위해 국내 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력을 추진함. 수립된 데이터 획득 계획 및 국내 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력 추진 결과를 바탕으로 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득을 수행함. 상세 연구수행내용 및 결과는 다음과 같음.

(가) 플랜트 시설에 관한 테스트베드 협의/선정

○ 테스트베드 선정 시 요구사항

- 본 연구에서는 공사 중이거나, 운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 개발을 목표로 함. 이에 총 연구기간 (2012년 04월 10일~2015년 02월 09일) 중에 공사가 완료되어 운영될 예정에 있는 플랜트 현장을 테스트베드로 활용하고자 함. 공사 기간 및 운영 기간 동안 여러 차례에 걸쳐 테스트베드를 방문하여 플랜트 시설의 점군 데이터를 획득하는 실험을 수행하고, 이를 이용하여 개발 기술을 적용 및 평가함으로써 개발 기술을 지속적으로 보완할 수 있도록 국내에 위치한 플랜트 현장을 테스트베드로 선정하고자 함.

○ 공사 중인 국내 플랜트 현장 현황 및 공정정보 파악

- 테스트베드 선정을 위해 국내 건설업체의 플랜트 사업보고서를 분석하여 플랜트 수주상황에 제시된 계약일과 완공예정일을 기반으로 총 연구기간 중에 공사가 완료되어 운영될 예정에 있는 국내 플랜트 현장에 대한 현황을 파악함. 다음 <표 2-2-2>는 연구시작일 (2012년 04월 10일)을 기준으로 공사 중인 국내 플랜트 현장에 대한 현황을 나타냄.

<표 2-2-2> 공사 중인 국내 플랜트 현장 현황 (다음 페이지에 계속)

건설업체	프로젝트명	계약일	완공예정일
GS건설	LG MMA Project	2011.08	2013.03
	LG화학 4AA Project	2011.03	2012.06
	No. 2 CA/EDC Project	2011.01	2013.07
	No.2 CA/EDC Plant Project	2011.01	2012.07
GS건설	인천국제공항 3단계급유 저장시설 증설공사	2011.08	2013.08
	LG화학 오창2산업단지 SRS2공장 신축공사	2011.08	2012.06
	부곡3호기 복합화력 건설공사	2011.01	2013.08

<표 2-2-2> 공사 중인 국내 플랜트 현장 현황 (이전 페이지에 이어)

건설업체	프로젝트명	계약일	완공예정일
현대건설	삼척그린파워	2011.09	2016.03
	현대그린파워 화력발전소	2011.07	2014.05
	현대제철 일관제철소 3기고로 건설공사	2011.06	2013.12
현대엔지니어링	2D-Project	2011.04	2012.12
	Pariscroissant 4th Plant	2011.06	2013.05
삼성물산	SR-Project	2011.06	2013.07
	EDISON PJT	2011.05	2012.12
삼성엔지니어링	SMD A3 Project	2011.02	2012.06
	현대제철 당진 일관제철소 3기 가스설비	2011.03	2013.11
	삼성바이오로직스 EDISON PJT PKG #2	2011.06	2012.12
대우건설	영흥화력 5,6 탈황설비	2011.08	2014.12
	S-Oil 원유하역시설	2011.08	2013.06
	당진제철화력발전소 5~8호기	2011.06	2014.05
포스코건설	R2 복합화력발전소	2011.10	2014.07
	포항제철소 #16산소설비 신설	2011.08	2014.07
	광양제철소 5고로 1차개수 (EP)	2011.06	2013.11
	포항제철소 3FINEX 신설 본체설비	2011.03	2013.06
	광양제철소 4열연 신설사업 열연설비 FMStand	2011.03	2014.01
	광양제철소 1고로 2차개수 (EP)	2011.03	2013.07
SK건설	Nexlene Project	2011.07	2013.09
	SKYVAX Project	2011.07	2012.07
	Asia Polymer Catalyst Facility Project	2011.01	2012.12

- 전문가 자문을 통해 본 연구과제의 테스트베드로 활용하기에 적합할 것으로 판단되는 네 곳의 플랜트 현장을 선정하였으며, 다음 <표 2-2-3>과 같이 각 현장 별 공정 상황을 파악함. 이 중 GS건설 LG MMA Project 현장은 공정 진행률이 약 10%로 1차년도 연구기간 중에 테스트베드로 활용하기에는 부적합한 것으로 판단함. 이에 GS건설 LG MMA Project 현장의 경우, 해당 현장의 공정 진행률이 약 50%를 넘는 2차년도 이후에 다시 테스트베드 활용에 대한 적합성을 평가하고자 함.

<표 2-2-3> 테스트베드 후보 플랜트 현장에 대한 공정정보

대상	현장 공무담당자 소속/직급	공정 진행률	공정 진행 상황
GS건설 LG MMA Project	- -	약 10%	기초 공사 착수 (기기 및 배관 등에 대한 설치 이전)
GS건설 LG화학 4AA Project	황성록 GS건설/과장	약 99%	약 99%의 기기, 배관, 밸브 및 제어기기 설치 완료 후 시운전 상태
GS건설 VGOFCC Project	주정석 GS건설/차장	약 61%	약 61%의 기기, 배관, 밸브 및 제어기기 설치 완료
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	박한준 GS건설/차장	약 50%	대형기기 설치 완료 후 배관 공사 착수

○ 테스트베드 후보 플랜트 현장의 적합성 평가를 위한 사전 답사

- GS건설 LG MMA Project 현장을 제외한 세 곳의 테스트베드 후보 플랜트 현장 중 본 연구과제에서 개발될 기술을 적용하여 현장적용성을 검증하는데 가장 적합한 현장을 선정하기 위해 다음 <표 2-2-4>와 같이 이틀에 걸친 사전 답사를 실시함.
- 대부분의 플랜트 현장은 국가기간시설의 일부로 외부 방문객 출입에 대한 보안이 철저함. 이에 원활한 현장 방문을 위해 사전에 현장 관계자와의 협의를 거쳤으며, 사전 답사 당시에는 현장 관계자와의 효율적인 업무 협의를 위해 GS건설 본사에 소속된 박찬정 (상무)와 전영준 (차장)을 동반하도록 계획함.

<표 2-2-4> 테스트베드 적합성 평가를 위한 사전 답사

대상	사전 답사 일시 (시간)	인원	현장 관계자 소속/지급	비고
GS건설 VGOFCC Project	2012.06.01 (14:00~18:00)	5	주정석 GS건설/차장	박찬정 (GS건설/상무) 동반 전영준 (GS건설/차장) 동반
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.06.08 (13:00~15:30)	5	박한준 GS건설/차장	
GS건설 LG화학 4AA Project	2012.06.08 (15:30~18:00)	5	오경수 GS건설/사원	

- 다음 <표 2-2-5>와 <표 2-2-6>은 2012년 06월 01일과 2012년 06월 08일에 실시된 세 곳의 테스트베드 후보 플랜트 현장에 대한 사전 답사 상세 일정을 나타냄. 사전 답사 일정은 해당 현장에 대해 총 연구기간 동안 지속적인 활용 가능 여부를 협의하기 위한 현장 관계자와의 회의, 테스트베드 활용에 대한 적합성을 평가하기 위한 현장 답사로 이루어짐.

<표 2-2-5> GS건설 VGOFCC Project 현장 사전 답사 상세 일정

시간	일정
12:20~13:15	김포공항에서 여수공항으로 이동
13:15~14:00	여수공항에서 GS건설 VGOFCC Project 현장으로 이동
14:00~15:30	GS건설 VGOFCC Project 현장 관계자와의 회의
15:30~18:00	GS건설 VGOFCC Project 현장 답사
18:00~20:50	GS건설 VGOFCC Project 현장 관계자와의 저녁식사 및 여수공항으로 이동
20:50~21:45	여수공항에서 김포공항으로 이동

<표 2-2-6> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장과 LG화학 4AA Project 현장 사전 답사 상세 일정

시간	일정
08:55~11:57	서울역에서 여수EXPO역으로 이동
11:57~13:00	여수EXPO역에서 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장으로 이동
13:00~14:00	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 관계자와의 회의
14:00~15:30	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 답사
15:30~15:45	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에서 LG화학 4AA Project 현장으로 이동
15:45~16:30	GS건설 LG화학 4AA Project 현장 관계자와의 회의
16:30~18:00	GS건설 LG화학 4AA Project 현장 답사
18:00~20:50	현장 관계자와의 저녁식사 및 여수EXPO역으로 이동
20:50~21:45	여수EXPO역에서 서울역으로 이동

- <그림 2-2-2>~<그림 2-2-4>는 각각 세 곳의 테스트베드 후보 플랜트 현장에 대한 사전 답사 당시 현장 사진과 현장 관계자와의 협의 사진을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-2> GS건설 VGOFCC Project 현장 사전 답사 (a) 현장 사진, (b) 현장 관계자와의 협의 (2012년 06월 01일 당시)




(a) (b)

<그림 2-2-3> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 사전 답사 (a) 현장 사진, (b) 현장 관계자와의 협의 (2012년 06월 08일 당시)




(a) (b)

<그림 2-2-4> GS건설 LG화학 4AA Project 현장 사전 답사 (a) 현장 사진, (b) 현장 관계자와의 협의 (2012년 06월 08일 당시)

○ 사전 답사 결과를 바탕으로 한 테스트베드 선정

- 세 곳의 테스트베드 후보 플랜트 현장에 대한 사전 답사 결과, 시운전중인 GS건설 LG화학 4AA Project 현장의 경우, 공정 진행률이 약 99%로 1차년도 연구기간 중에 공사중인 플랜트 시설에 대한 데이터 획득이 불가함을 파악함. 뿐만 아니라, 시운전 과정에서의 안전성 문제로 인해 현장 접근이 위험하여 플랜트 시설의 As-Built 3차원 점군 데이터 획득이 어려워 테스트베드 대상으로 활용하기에는 부적합한 것으로 판단함. 이에 GS건설 VGOFCC Project 현장과 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 테스트베드로 선정하고, 현장 관계자와의 협의를 마침.

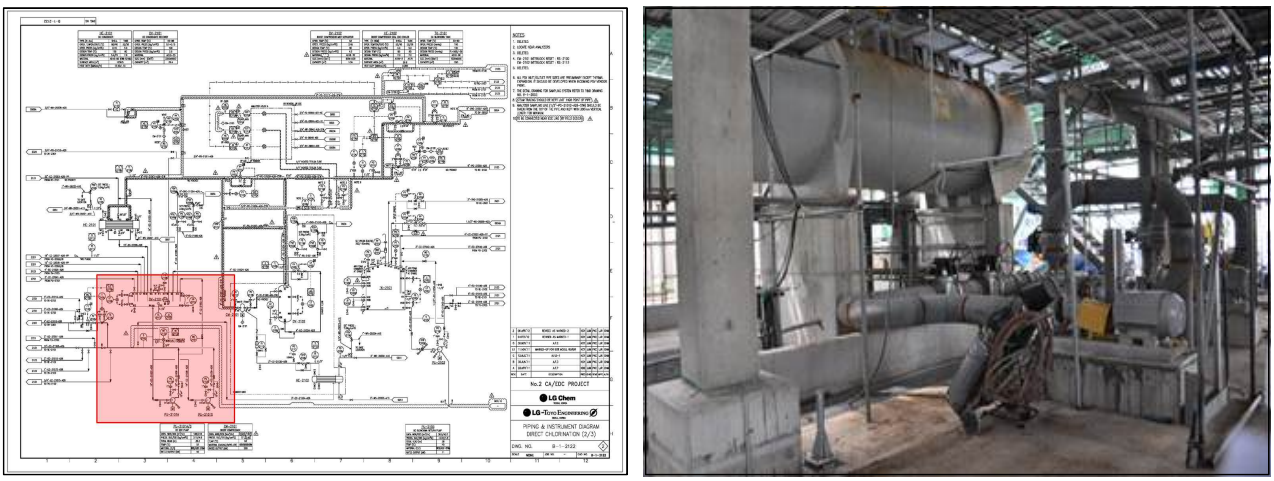
(나) 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립

○ 데이터 획득 계획 수립의 중요성

- 개발 기술의 현장적용성을 검증하기 위해서는 대규모의 플랜트 시설 내, 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계가 파악될 수 있도록 하는 데이터 획득이 필요함. 뿐만 아니라, 플랜트 시설은 다수의 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 등이 복잡하게 얽혀있는 특성이 있어 단일 위치에서 데이터 획득 시, 서로 다른 배관, 밸브 및 제거기기, 기기 등에 의한 가림현상이 발생함. 이에 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위해서는 여러 위치에서의 데이터 획득이 필수적이며, 이를 위한 사전 계획 수립이 요구됨.

○ 데이터 획득 계획 수립 방법 및 절차

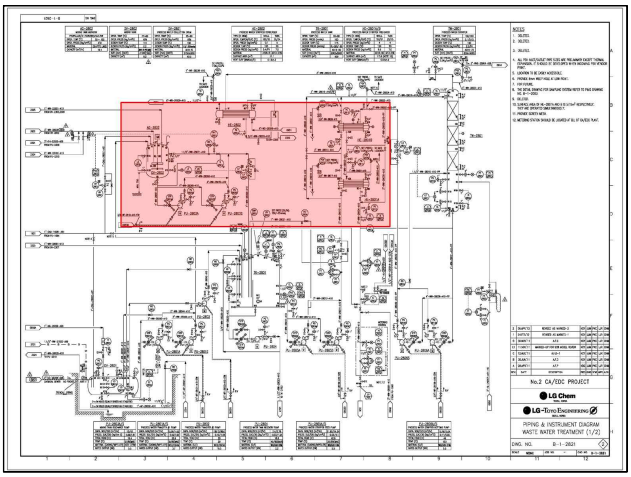
- 데이터 획득 시, 대규모의 플랜트 시설 내에 존재하는 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 포함하기 위해 본 연구에서는 공정배관계장도 (Piping and Instrument Diagram, P&ID)를 분석함. 공정배관계장도에는 플랜트 시설 내에 존재하는 모든 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 등이 생략되지 않고 기입되어 있어 이를 활용하여 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 파악함으로써 데이터 획득 대상을 선정하고, 데이터 획득 계획을 수립함. 다음 <그림 2-2-5>와 <그림 2-2-6>은 각각 테스트베드 대상 현장인 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 공정배관계장도와 공정배관계장도 내의 일부 영역에 대한 실제 현장 사진을 예시로 나타낸 것임. 다음 <그림 2-2-5(a)>는 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-2-5(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색 상자로 표시된 영역에 포함된 기기, 배관에 대한 실제 현장 사진을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-5> (a) GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 공정배관계장도 예시 1, (b) 공정배관계장도 예시 1 내 붉은색 상자로 표시된 영역에 대한 실제 현장 사진

- 다음 <그림 2-2-6(a)>는 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-2-6(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색 상자로 표시된 영역에 포함된 기기, 배관에 대한 실제 현장 사진을 나타냄.




(a) (b)

<그림 2-2-6> (a) GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 공정배관계장도 예시 2, (b) 공정배관계장도 예시 2 내 붉은색 상자로 표시된 영역에 대한 실제 현장 사진

- 특정 위치에서의 데이터 획득 시, 물체 간의 가림현상을 최소화하기 위해 GS건설 VGOFCC Project 현장과 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 답사 시 획득한 사진을 활용하여 다수의 데이터 획득 위치를 선정함.

○ 데이터 획득 계획 수립 결과

- 다음 <표 2-2-7>은 두 곳의 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득 일정 계획, 인원 투입 계획, 다수의 데이터 획득 위치 선정 결과 등을 나타냄. 이를 통해 GS건설 VGOFCC Project 현장과 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대해 각각 1차례 (총 10곳), 7차례 (총 285곳)에 걸친 데이터 획득 계획을 수립함.
- 데이터 획득 초기에는 세 차례에 걸쳐 국내 3차원 스캐닝 전문 업체인 위프코(주)에 소속된 김기영 (대리)와 유성 (사원)을 동반하여 레이저 스캐너 사용 교육 뿐만 아니라, 대규모 플랜트 시설에 대한 효과적인 데이터 획득 방안을 교류하도록 계획함.

<표 2-2-7> 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득 계획

일정 계획 (소요 시간)	대상	인원	데이터 획득 위치	비고
2012.07.09 (09:00~13:30)	GS건설 VGOFCC Project	7	10	김기영 (위프코(주)/대리) 동반 유성 (위프코(주)/사원) 동반
2012.07.09 (13:30~18:00)	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	7	31	
2012.08.31 (10:00~17:00)	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	4	59	
2012.11.20 (10:00~17:00)	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	3	29	
2012.11.21 (10:00~17:00)	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	3	28	
2012.11.22 (10:00~17:00)	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	3	59	
2012.11.23 (10:00~17:00)	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	3	58	
2012.11.29 (10:00~17:00)	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	3	21	

(다) 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력

○ 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력의 중요성

- 레이저 스캐너는 데이터를 획득하고자 하는 대상물의 위치 및 공간 정보에 대한 3차원 점군 데이터를 정확하게 획득할 수 있는 장비로서 최근 다양한 분야에서의 활용이 증가되고 있음. 이에 따라, 전문적으로 다양한 분야별 대상물에 대한 점군 데이터 획득을 수행하는 3차원 스캐닝 용역 업체가 함께 증가하는 추세에 있음. 본 연구에서는 대규모의 복잡한 플랜트 시설에 대한 효과적인 점군 데이터 획득을 위해 해당 기술을 보유하고 있는 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력을 통한 대규모 시설에 대한 데이터 획득 기술 노하우 공유가 필수적임.

○ 국내 3차원 스캐닝 업체 현황 파악

- 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력을 위해 기존 문헌 및 검색엔진을 통해 다음 <표 2-2-8>과 같이 국내 3차원 스캐닝 업체 현황을 파악함.

<표 2-2-8> 국내 3차원 스캐닝 업체 현황

업체명	연락처	담당자/직급
위프코(주)	031-719-6077	김시로/실장
(주)코세코	010-7168-6240	황주현/대리
인트라테크	070-7725-0455	신보리/이사
(주)드림티엔에스	031-713-8460	최성제/팀장
엘엔비테크(주)	031-733-3964	임형철/과장
동산코퍼레이션	031-422-8250	최기현/팀장
(주)포디게이트	02-542-3995	-

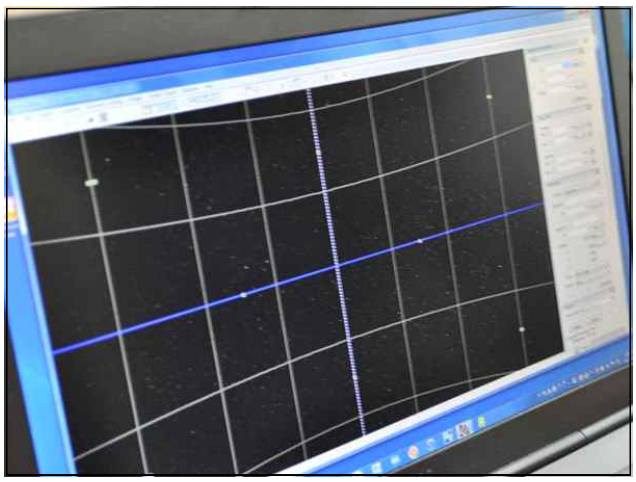
○ 국내 3차원 스캐닝 업체 선정을 위한 기술교류 및 협력 합의

- 국내 3차원 스캐닝 업체와의 협의를 거쳐 플랜트 시설의 As-Built 3차원 점군 데이터 획득에 가장 적합한 Leica Geosystems사의 Leica ScanStation C10을 보유하고 있는 위프코(주)와 (주)코세코와의 기술교류 및 협력을 결정함.

○ 플랜트 시설의 점군 데이터 획득을 위한 기술교류 및 협력 현황

- 테스트베드를 대상으로 한 효과적인 점군 데이터 획득을 위해 선정된 두 곳의 국내 3차원 스캐닝 업체 (위프코(주), (주)코세코)와의 다섯 차례에 걸친 점군 데이터 획득 기술 노하우 공유 및 현장/실내 교육을 수행함. 다음 <표 2-2-9>는 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력 추진 내용을 나타냄.

<표 2-2-9> 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력 추진 내용 (다음 페이지에 계속)

업체명	일시	교류 및 협력 내용 담당자/직급	사진
위프코(주)	2012.07.09	▪ 플랜트 시설 내 스캔 위치 선정에 대한 노하우 ▪ 플랜트 시설 내 스캐너 설치에 대한 노하우 ▪ 상황에 따른 스캔 밀도 선정 노하우 김기영/대리 유성/사원	 야외 현장 스캔 교육
위프코(주)	2012.08.31	▪ 스캐너 조작 노하우 ▪ 스캐너 수평 조절 노하우 ▪ 기타 스캐너 설정에 대한 노하우 김기영/대리 유성/사원	 스캐너 조작 교육 (야외)
(주)코세코	2012.11.19	▪ Cyclone 개요 ▪ Cyclone 설치 방법 ▪ Cyclone 기능 ▪ 데이터베이스 생성 방법 ▪ 프로젝트 생성 방법 황주현/대리	 Cyclone 메인 화면

<표 2-2-9> 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력 추진 내용 (이전 페이지에 이어)

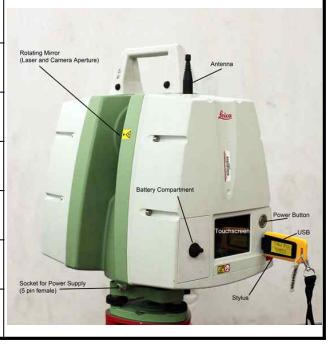
업체명	일시	교류 및 협력 내용 담당자/직급	사진
(주)코세코	2012.11.24	▪ 수평 조절 방법 ▪ 수평 확인 방법 ▪ 레이저 스캐너 연결 방법 황주현/대리	 스캐너 정밀 조작 교육 (실내)
(주)코세코	2012.11.28	▪ 스캔 해상도 설정 방법 ▪ 스캐닝 노하우 ▪ 이미지 해상도 설정 ▪ 이미지 노출 설정 방법 ▪ 이미지 획득 노하우 황주현/대리	 Cyclone 프로그램 사용 교육

(라) 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득

○ 데이터 획득 시 사용된 장비 사양

- 테스트베드를 대상으로 한 효과적인 점군 데이터 획득을 위해 선정된 국내 3차원 스캐닝 업체 (위프코(주), (주)코세코)와의 기술교류 및 협력 추진 결과, Leica Geosystems사의 Leica ScanStation C10이 대규모 플랜트 시설의 As-Built 3차원 점군 데이터 획득에 가장 적합한 것으로 나타남. 다음 <표 2-2-10>은 Leica ScanStation C10의 주요 사양을 나타냄.

<표 2-2-10> Leica ScanStation C10의 주요 사양

특징	주요 사양	사진
정확성	6 mm (위치)/ 4 mm (거리)	
획득 거리	300 m (90%)/ 134 m (18%)	
스캔 속도	초당 최대 50,000 포인트	
스캔 범위	360°(수평)/ 270°(수직)	
내장 카메라	360°× 270°돔형	
크기	238 mm × 358 mm × 395 mm	
무게	13kg	

- 선정된 두 곳의 테스트베드와 3차원 스캐닝 업체와의 일정 협의를 통해 총 여덟 차례에 걸친 데이터 획득을 수행하였으며, 다음 <그림 2-2-7>은 Leica ScanStation C10을 이용한 데이터 획득 사진을 나타냄.



(a)



(b)

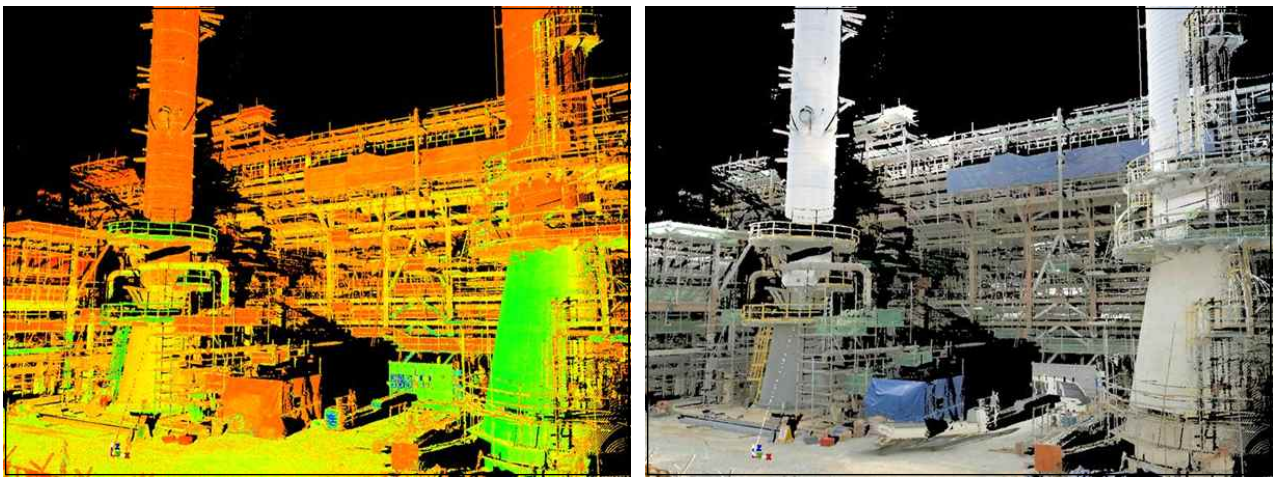
<그림 2-2-7> Leica ScanStation C10을 이용한 데이터 획득 사진 (a) GS건설 VGOFCC Project 현장, (b) GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 (2012년 07월 09일 당시)

○ GS건설 VGOFCC Project 현장을 대상으로 한 데이터 획득 현황

- GS건설 VGOFCC Project 현장을 대상으로 한 데이터 획득은 2012년 07월 09일 수행되었으며, 총 10곳의 위치에서 데이터 획득이 이루어짐.
- 다음 <표 2-2-11>은 2012년 07월 09일에 실시된 GS건설 VGOFCC Project 현장에 대한 데이터 획득 상세 일정을 나타내며, 다음 <그림 2-2-8>은 획득된 점군 데이터와 색상 값을 입힌 3차원 점군 데이터의 일부를 예시로 나타냄.

<표 2-2-11> GS건설 VGOFCC Project 현장을 대상으로 한 데이터 획득 일정

시간	일정
07:15~08:10	김포공항에서 여수공항으로 이동
08:10~09:00	여수공항에서 GS건설 VGOFCC Project 현장으로 이동
09:00~10:00	GS건설 VGOFCC Project 현장 도착 및 스캔 위치 선정
10:00~13:30	GS건설 VGOFCC Project 현장 레이저 스캔 실시
13:30~13:45	GS건설 VGOFCC Project 현장에서 No. 2 CA/EDC Project 현장으로 이동



(a) (b)

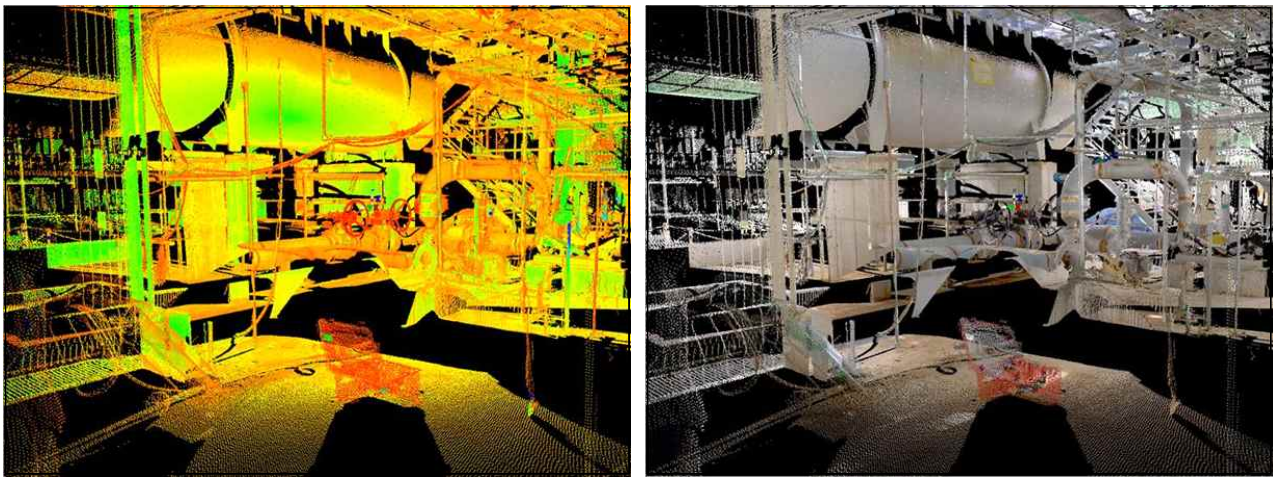
<그림 2-2-8> GS건설 VGOFCC Project 현장에 대한 데이터 획득 결과 (a) 3차원 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 3차원 점군 데이터 일부

○ GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 데이터 획득 현황

- GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 데이터 획득은 2012년 07월 09일, 2012년 08월 31일, 2012년 11월 20일~23일, 2012년 11월 29일에 걸쳐 총 일곱 차례에 수행되었으며, 총 285곳의 위치에서 데이터 획득이 이루어짐.
- 다음 <표 2-2-12>는 2012년 07월 09일에 실시된 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 데이터 획득 상세 일정을 나타내며, 다음 <그림 2-2-9>는 획득된 점군 데이터와 색상 값을 입힌 3차원 점군 데이터의 일부를 예시로 나타냄.

<표 2-2-12> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 1차 데이터 획득 일정

시간	일정
13:30~13:45	GS건설 VGOFCC Project 현장에서 No. 2 CA/EDC Project 현장으로 이동
13:45~14:45	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 도착 및 스캔 위치 선정
14:45~18:00	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 레이저 스캔 실시
18:00~20:50	현장 관계자와의 저녁식사 및 여수공항으로 이동
20:50~21:45	여수공항에서 김포공항으로 이동



(a) (b)

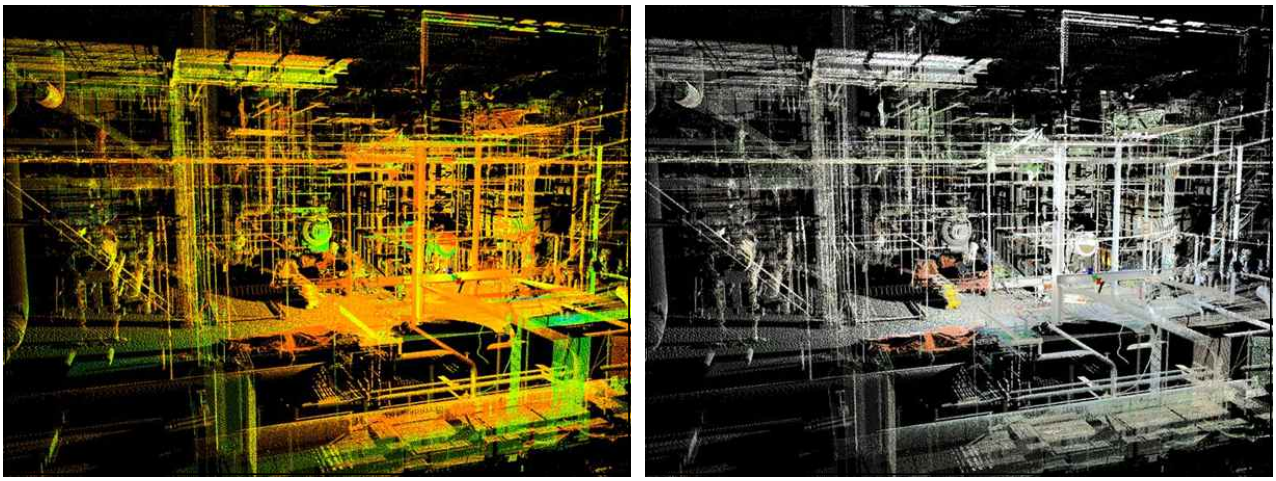
<그림 2-2-9> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 1차 데이터 획득 결과 예시
(a) 3차원 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 3차원 점군 데이터 일부

- 다음 <표 2-2-13>은 2012년 08월 31일에 실시된 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 2차 데이터 획득 상세 일정을 나타냄.

<표 2-2-13> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 2차 데이터 획득 일정

시간	일정
07:15~08:10	김포공항에서 여수공항으로 이동
08:10~09:00	여수공항에서 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장으로 이동
09:00~10:00	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 도착 및 스캔 위치 선정
10:00~18:00	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 레이저 스캔 실시
18:00~20:50	현장 관계자와의 저녁식사 및 여수공항으로 이동
20:50~21:45	여수공항에서 김포공항으로 이동

- 다음 <그림 2-2-10>은 획득된 점군 데이터와 색상 값을 입힌 3차원 점군 데이터의 일부를 예시로 나타냄.



(a) (b)

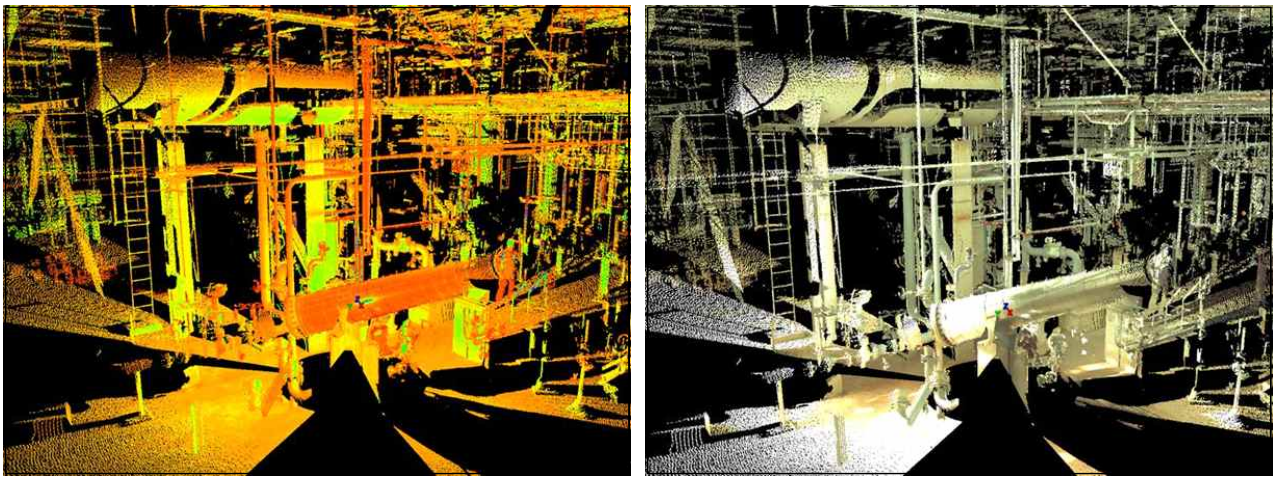
<그림 2-2-10> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 2차 데이터 획득 결과 예시
(a) 3차원 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 3차원 점군 데이터 일부

- 다음 <표 2-2-14>는 2012년 11월 20일부터 2012년 11월 23일까지 실시된 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 3~6차 데이터 획득 상세 일정을 나타냄.

<표 2-2-14> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 3~6차 데이터 획득 일정

구분	시간	일정
3차	05:20~08:55	용산역에서 여수EXPO역으로 이동
4차	05:20~08:55	용산역에서 여수EXPO역으로 이동
5차	07:15~08:10	김포공항에서 여수공항으로 이동
6차	07:15~08:10	김포공항에서 여수공항으로 이동
3차	08:55~09:30	여수EXPO역에서 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장으로 이동
4차	08:55~09:30	여수EXPO역에서 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장으로 이동
5차	08:10~09:00	여수공항에서 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장으로 이동
6차	08:10~09:00	여수공항에서 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장으로 이동
동일	09:30~10:00	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 도착 및 스캔 위치 선정
동일	10:00~18:00	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 레이저 스캔 실시
3차	18:00~20:50	현장 관계자와의 저녁식사 및 여수EXPO역으로 이동
4차	18:00~20:50	현장 관계자와의 저녁식사 및 여수공항으로 이동
5차	18:00~20:50	현장 관계자와의 저녁식사 및 여수공항으로 이동
6차	18:00~20:50	현장 관계자와의 저녁식사 및 여수EXPO역으로 이동
3차	21:00~00:32	여수EXPO역에서 용산역으로 이동
4차	20:50~21:45	여수공항에서 김포공항으로 이동
5차	20:50~21:45	여수공항에서 김포공항으로 이동
6차	21:00~00:32	여수EXPO역에서 용산역으로 이동

- 다음 <그림 2-2-11>은 획득된 점군 데이터와 색상 값을 입힌 3차원 점군 데이터의 일부를 예시로 나타냄.



(a) (b)

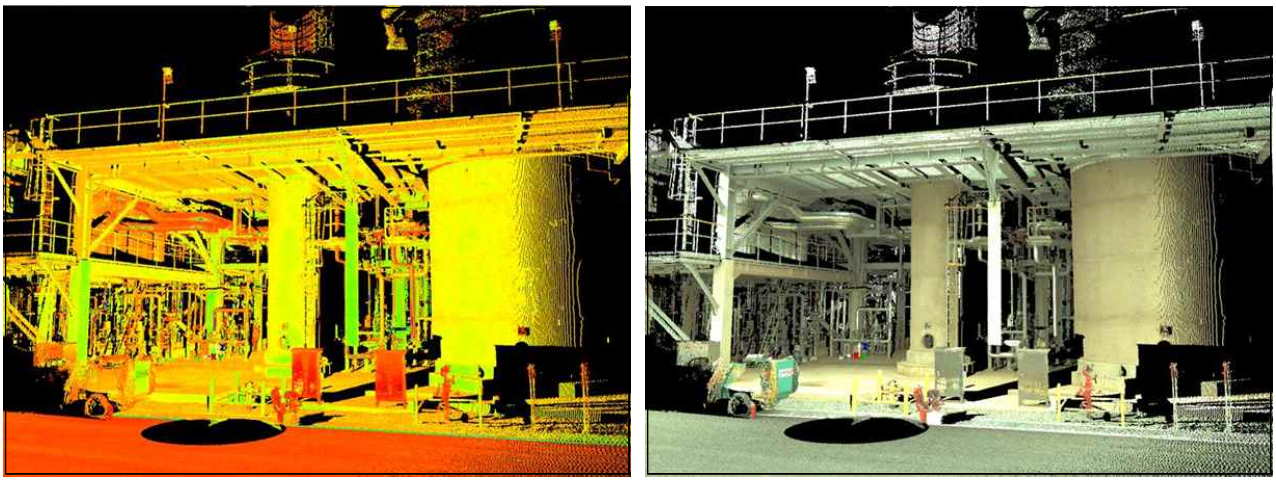
<그림 2-2-11> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 3~6차 데이터 획득 결과 예시 (a) 3차원 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 3차원 점군 데이터 일부

- 다음 <표 2-2-15>는 2012년 11월 29일에 실시된 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 7차 데이터 획득 상세 일정을 나타냄.

<표 2-2-15> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 7차 데이터 획득 일정

시간	일정
07:15~08:10	김포공항에서 여수공항으로 이동
08:10~09:00	여수공항에서 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장으로 이동
09:00~10:00	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 도착 및 스캔 위치 선정
10:00~18:00	GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장 레이저 스캔 실시
18:00~20:50	현장 관계자와의 저녁식사 및 여수공항으로 이동
20:50~21:45	여수공항에서 김포공항으로 이동

- 다음 <그림 2-2-12>는 획득된 점군 데이터와 색상 값을 입힌 3차원 점군 데이터의 일부를 예시로 나타냄.



(a) (b)

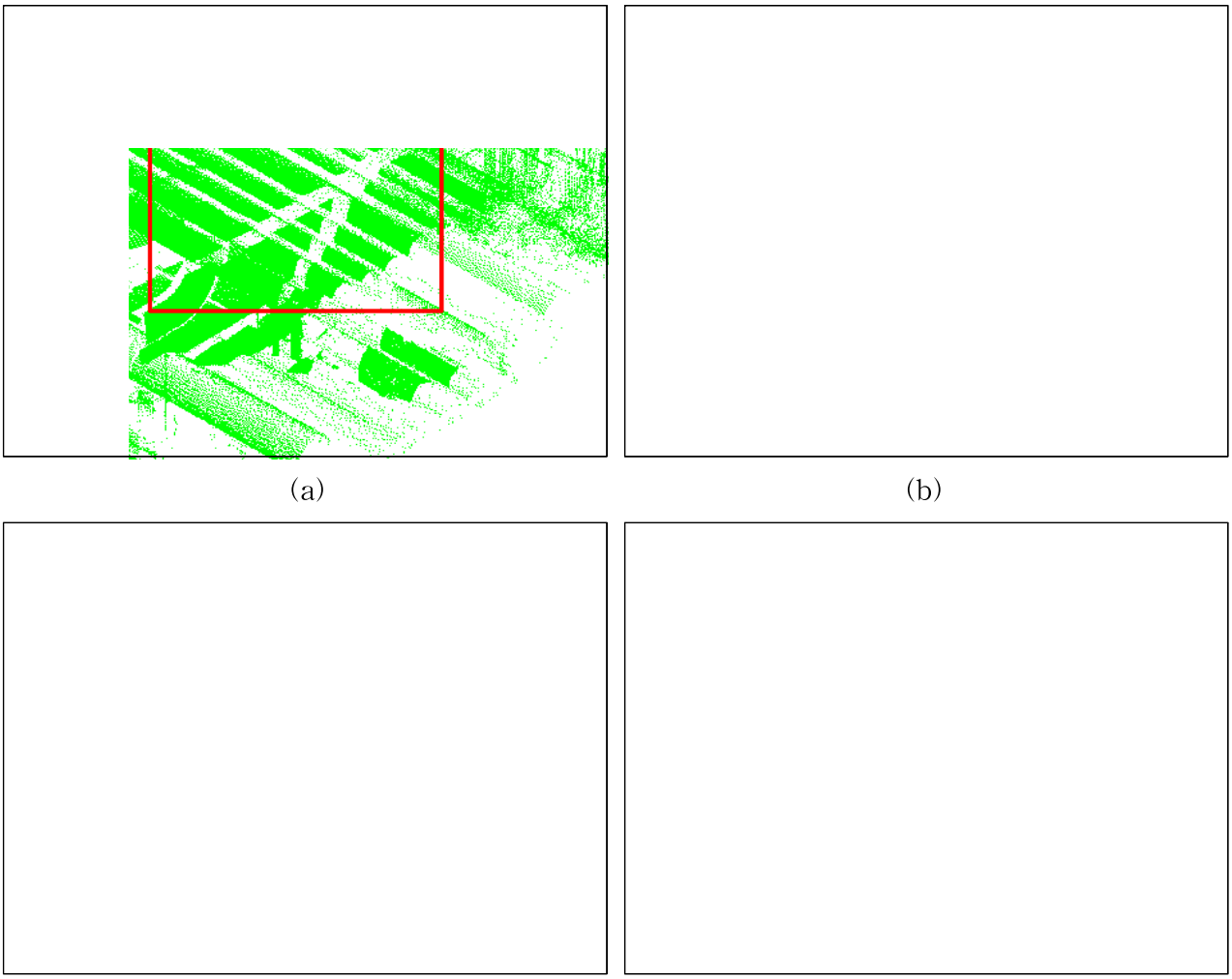
<그림 2-2-12> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 7차 데이터 획득 결과 예시
(a) 3차원 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 3차원 점군 데이터 일부

(2) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발

○ 대규모의 복잡한 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위해서는 여러 위치에서 획득한 데이터 간의 정합이 필수적임. 하지만 플랜트 시설과 같은 야외 환경에서 획득되는 3차원 점군 데이터는 노이즈와 같은 이상치를 포함할 가능성이 높을 뿐만 아니라, 복잡한 환경으로 인해 일부 데이터가 유실될 수 있기 때문에 이러한 점군 데이터에서도 정확한 정합이 가능한 방법이 요구됨. 본 연구에서는 이를 위해 본 연구과제에 적합한 3차원 점군 데이터 정합 기술을 정립하고, 플랜트 시설의 효과적인 점군 데이터 정합을 위해 국내 플랜트 정보 모델 구축 업체와의 기술교류 및 협력을 추진함. 정립된 3차원 점군 데이터 정합 기술 및 국내 플랜트 정보 모델 구축 업체와의 기술교류 및 협력 추진 결과를 바탕으로 점군 데이터 정합 기술 개발을 완료함. 상세 연구수행내용 및 결과는 다음과 같음.

(가) 데이터 특성에 적합한 3차원 점군 데이터 정합 기술 정립

○ 테스트베드를 대상으로 획득한 단일 점군 데이터의 특성 파악
- 다음 <그림 2-2-13>은 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에서 획득한 점군 데이터의 일부를 나타냄. 플랜트 시설 내의 개별 위치에서 획득한 3차원 As-Built 점군 데이터의 특성을 파악하기 위해 이를 분석한 결과, 1) 가림현상, 2) 노이즈, 3) 밀도 차이라는 특성을 지님.



(a) (b)

(c) (d)

<그림 2-2-13> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에서 획득한 점군 데이터 일부
(a) 가림현상, (b) 노이즈, (c) 밀도 차이, (d) 밀도 차이

○ 데이터 특성을 고려한 점군 데이터 정합 기술 개발 관련 문헌 분석

- 점군 데이터 내에 1) 가림현상, 2) 노이즈, 3) 밀도 차이가 존재하는 환경에서 효과적인 점군 데이터 간의 정합 기술 개발을 위해 정합 기술의 장·단점 분석을 위한 문헌 분석을 수행함. 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발 관련 문헌 분석 결과는 초기 정합 기술과 최종 정합 기술로 구분하여 다음 <표 2-2-16>과 <표 2-2-17>에 각각 요약함.
- 대표적인 초기 정합 방법으로는 불변 특징 매칭 방법, 전체 탐색 방법, 주성분 분석 기반 방법이 있음 (Mian 등, 2005). 불변 특징 매칭 방법은 획득된 점군 데이터 내에 명확한 특징이 없거나, 많은 이상치가 존재하는 경우 정합 결과의 정확도가 떨어지는 단점이 존재함 (Chen 등, 1999; Sakakubara 등, 2007). 전체 탐색 방법의 경우 이상치가 존재하는 점군 데이터에도 정확한 정합이 가능하나, 많은 시간이 소요되기 때문에 플랜트 시설과 같은 대규모 현장으로부터 획득한 점군 데이터의 정합에는 적합하지 않음 (Ayyagari 등, 2005; Salvi 등, 2007). 주성분 분석 기반 방법의 경우 광범위한 점군 데이터에서도 빠르게 계산 가능한 주축을 기반으로 하기 때문에 속도가 빠를 뿐만 아니라, 점군 데이터의 밀도와 가림현상에 강하기 때문에, 본 연구의 목적과 부합하는

특성을 가짐. 따라서 본 연구에서는 초기 정합을 위해 주성분 분석 기반 알고리즘을 선정함.

<표 2-2-16> 3차원 점군 데이터 초기 정합 기술 개발 관련 문헌 분석 결과

구분	정합 기술 (출처)	특성			
		노이즈	밀도	가림현상	속도
초기 정합	Point Signature (Chua와 Jarvis, 1997)	×	△	△	느림
초기 정합	Spin Image (Johnson, 1997)	○	×	○	느림
초기 정합	Principal Component Analysis (Chung 등, 1998)	○	△	○	빠름
초기 정합	Ransac-based Darces (Chen 등, 1999)	×	×	○	매우 느림
초기 정합	Algebraic Surface Model (Tarel 등, 1998)	○	○	×	빠름
초기 정합	Genetic Algorithm (Brunnstrom와 Stoddart, 1996)	×	○	○	느림
초기 정합	Principal Curvature (Feldmar과 Ayache, 1996)	×	△	△	보통

※ ○: 정확도에 영향을 받지 않음, △: 정확도에 부분적으로 영향을 받음, ×: 정확도에 민감하게 영향을 받음

- 대표적인 최종 정합 방법으로는 Signed Distance Field 알고리즘 (Masuda, 2001), Genetic 알고리즘 (Chow 등, 2004), ICP (Iterative Closest Point) 알고리즘 (Besl과 McKay, 1992; Chen과 Medioni, 1991) 등이 있음. Singed Distance Fields 알고리즘은 정합에 사용되는 점군 데이터가 Surface Patch 형태일 경우에만 사용 가능하다는 한계를 가짐 (Tubic 등, 2002; Salvi 등, 2007). Genetic 알고리즘은 많은 시간이 소모되는 단점이 있음 (Silva 등, 2005).
- 일반적으로 최종 정합에 활용되는 알고리즘은 ICP (Iterative Closest Point) 알고리즘이나, 이상치 제거 과정을 거치더라도, 플랜트 시설 내 다른 물체에 대한 점군 데이터가 존재할 경우 정합의 정확도가 저하되는 단점이 존재함. LM-ICP (Levenberg-Marquardt Iterative Closest Point) 알고리즘 (Fitzgibbon, 2001)은 변형된 ICP 알고리즘을 이용하는 최종 정합 방법으로 이상치와 현장 내 다른 물체에 대한 점군 데이터가 존재하더라도 빠르고 정확성 높은 최종 정합이 가능함 (Duan 등, 2008; Breitenreicher와 Schnorr, 2010). 따라서 본 연구에서는 최종 정합을 위해 LM-ICP 알고리즘을 선정함.

<표 2-2-17> 3차원 점군 데이터 최종 정합 기술 개발 관련 문헌 분석 결과

구분	정합 기술 (출처)	특성			
		노이즈	밀도	가림현상	속도
최종 정합	Iterative Closest Point (Besl과 McKay, 1992)	×	○	×	보통
최종 정합	Signed Distance Fields (Masuda, 2001)	△	○	○	느림
최종 정합	Levenberg-Marquardt Iterative Closest Point (Fitzgibbon, 2001)	○	○	○	보통

※ ○: 정확도에 영향을 받지 않음, △: 정확도에 부분적으로 영향을 받음, ×: 정확도에 민감하게 영향을 받음

○ 데이터 특성에 적합한 점군 데이터 정합 프레임워크 구축

- 3차원 점군 데이터 정합 기술의 장·단점 분석을 통해 본 연구에서는 3차원 점군 데이터 정합 기술을 정립하고, 프레임워크를 구축함. 이를 위해 여러 위치에서 점군 데이터를 획득한 후, 이를 정합하기 위한 과정은 1) 주성분 분석 방법 기반의 점군 데이터 간 초기 정합과 2) LM-ICP 기반의 점군 데이터 간 최종 정합의 두 단계로 구성함. 이러한 정합 과정을 통해 서로 다른 위치에서 획득된 점군 데이터가 일치될 수 있는 회전 변환 행렬과 이동벡터가 추정됨 (Salvi 등, 2007). 초기 정합을 통해 개략적인 점군 데이터 간의 일치가 수행되며, 최종 정합은 반복적으로 초기 정합 결과를 개선시킴으로써 보다 정확한 정합을 수행하기 위하여 적용됨 (Mian 등, 2005; Salvi 등, 2007).
- 주성분 분석 방법 기반의 점군 데이터 간 초기 정합
  - 주성분 분석 기반의 점군 데이터 간 초기 정합은 세 단계로 구성됨. 첫 번째 단계는 정합하고자 하는 점군 데이터의 공분산 행렬을 구성하는 세 개의 고유벡터를 계산하는 것임. 정합하고자 하는 각각의 점군 데이터로부터 계산된 세 개의 고유벡터는 특이값 분해를 통해 유니테리 행렬을 계산함. 계산된 각각의 점군 데이터의 유니테리 행렬을 기반으로 두 점군 데이터가 정합 될 수 있는 회전 행렬과 이동 행렬을 구함으로써 두 점군 데이터의 초기 정합이 가능함.
- LM-ICP 기반의 점군 데이터 간 최종 정합
  - LM-ICP 기반의 최종 정합은 두 단계로 구성됨. 첫 번째 단계는 초기 정합이 수행된 두 점군 데이터에서 가장 가까운 점들 간에 연관성을 생성하는 것임. 두 번째 단계에서는 서로 연관된 점들 간의 거리를 제곱한 값의 평균이 최소가 되도록 반복적으로 회전 벡터와 이동 벡터의 계산을 수행함. 반복적으로 회전 벡터와 이동 벡터의 계산을 수행할 때, Levenberg-Marquardt 알고리즘은 비선형적인 방법을 통해 서로 연관된 점들 간의 거리를 제곱한 값의 평균이 최소가 되도록 회전 벡터와 이동 벡터를 계산함으로써 정확한 정합이 수행됨.

(나) 플랜트 정보 모델 구축 업체와의 기술교류 및 협력

○ 플랜트 정보 모델 구축 관련 업체와의 기술교류 및 협력의 중요성

- 최근 플랜트 정보 모델 구축에 대한 수요가 증가함에 따라, 전문적으로 플랜트 시설에 대한 점군 데이터를 획득하고 이로부터 플랜트 정보 모델을 구축하는 용역 업체가 함께

증가하는 추세에 있음. 본 연구에서는 대규모의 복잡한 플랜트 시설에 대한 효과적인 점군 데이터 정합을 위해 플랜트 정보 모델 구축 과정에서 해당 작업을 수행 중인 플랜트 정보 모델 구축 관련 업체와의 기술교류 및 협력을 통해 대규모 시설에 대한 점군 데이터 정합의 어려움, 현재 기술의 한계점을 분석함.

○ 국내 플랜트 정보 모델 구축 관련 업체 현황 파악
- 국내 플랜트 정보 모델 구축 업체와의 기술교류 및 협력을 위해 기존 문헌 및 검색엔진을 통해 다음 <표 2-2-18>과 같이 국내 플랜트 정보 모델 구축 업체 현황을 파악함.

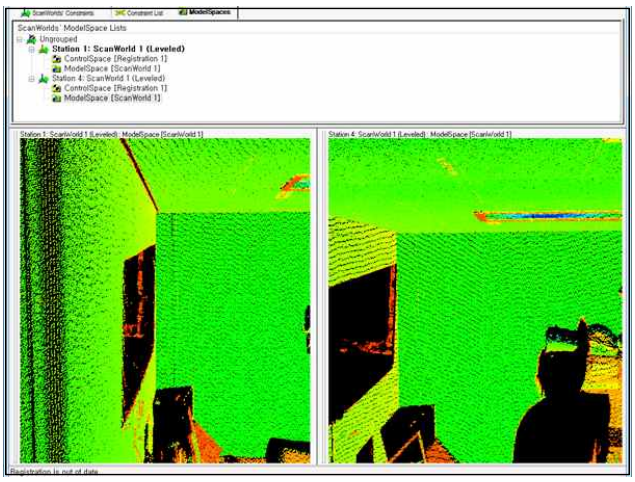
<표 2-2-18> 국내 플랜트 정보 모델 구축 업체 현황

업체명	연락처	담당자
위프코(주)	031-719-6077	김시로 실장
인트라테크	070-7725-0455	신보리 이사
(주)포미트	051-747-9400	-

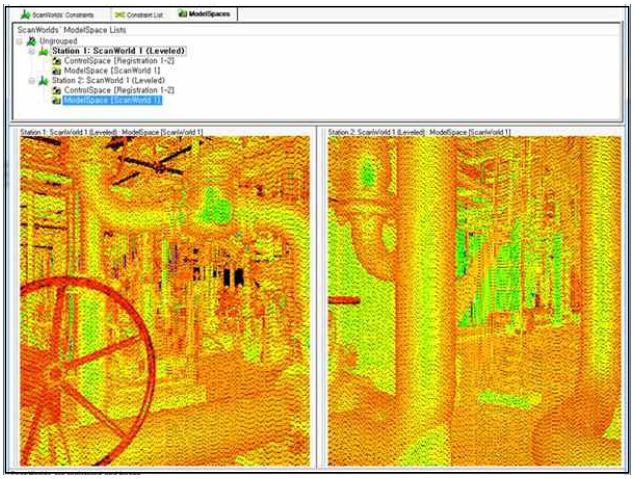
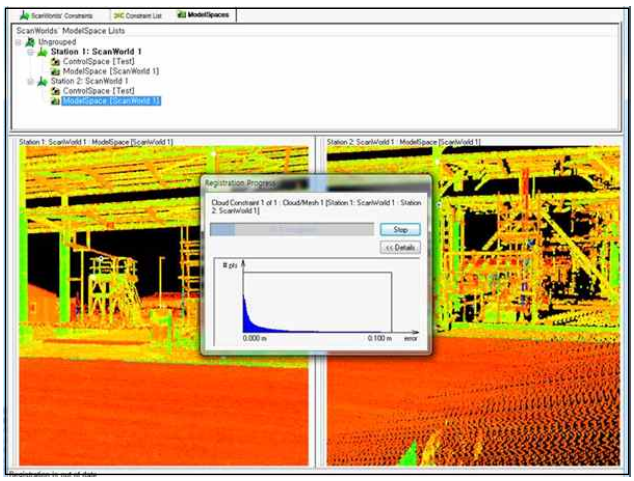
○ 국내 플랜트 정보 모델 구축 관련 업체 선정을 위한 기술교류 및 협력 합의
- 국내 플랜트 정보 모델 구축 업체와의 협의를 거쳐 Leica Geosystems사의 점군 데이터 정합 프로그램인 Cyclone을 활용하고 있는 (주)코세코와의 기술교류 및 협력을 결정함.

○ 플랜트 시설의 점군 데이터 정합을 위한 기술교류 및 협력 현황
- 대규모의 복잡한 플랜트 시설에 대한 효과적인 점군 데이터 정합을 위해 선정된 업체((주)코세코)와의 세 차례에 걸쳐 점군 데이터 정합 기술 분석, 점군 데이터 정합의 어려움, 현재 기술의 한계점 분석을 수행함. 다음 <표 2-2-19>는 플랜트 정보 모델 구축 관련 업체 기술교류 및 협력 추진 내용을 나타냄.

<표 2-2-19> 플랜트 정보 모델 구축 관련 업체와의 기술교류 및 협력 추진 내용

업체명	일시	교류 및 협력 내용 담당자/직급	사진
(주)코세코	2012.11.19	▪ 정합을 위한 점군 데이터 불러오기 ▪ 점군 데이터 정합 방법 ▪ 실내 데이터 적용 황주현/대리	 점군 데이터 정합을 위한 화면 (실내 데이터)

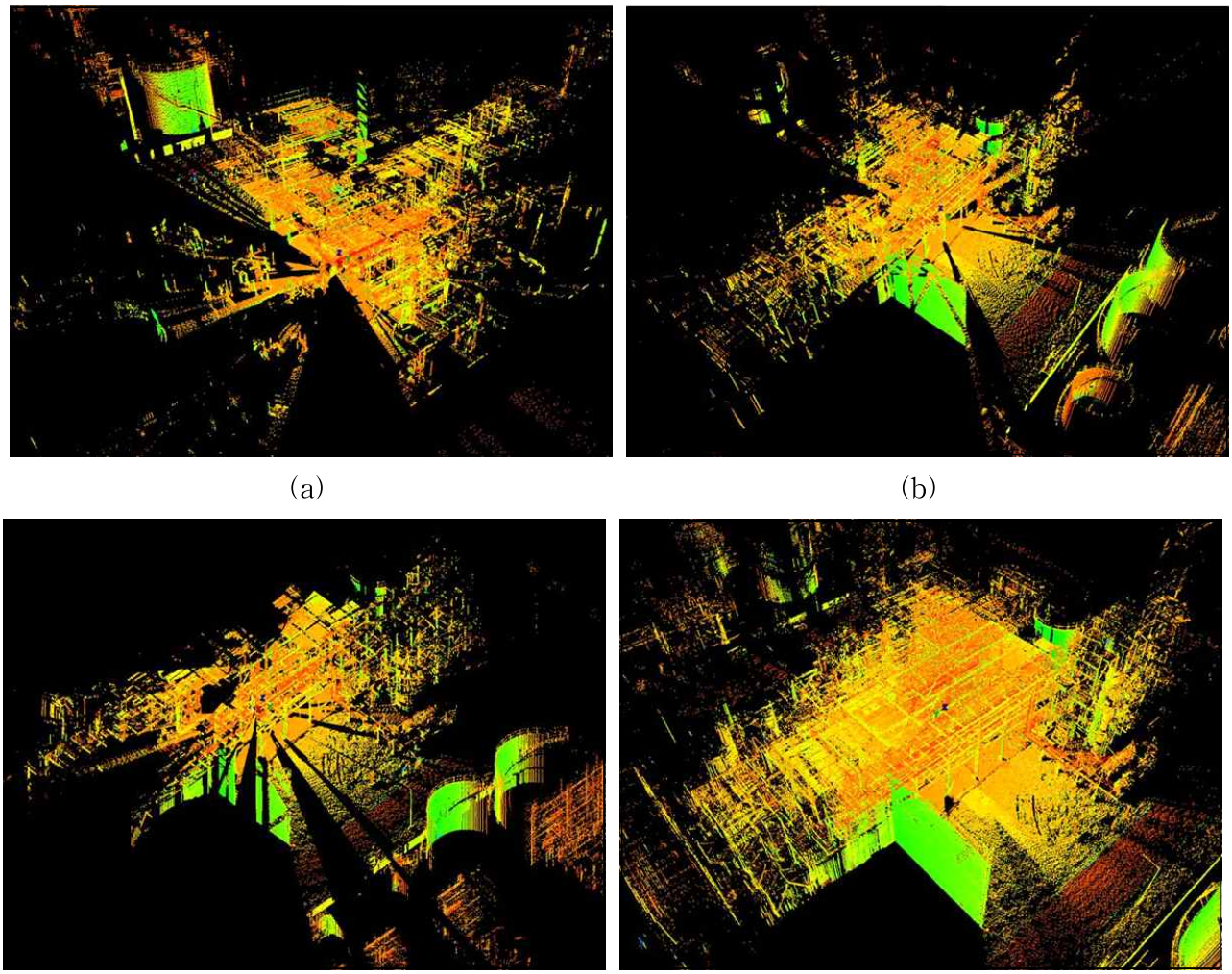
<표 2-2-19> 플랜트 정보 모델 구축 관련 업체와의 기술교류 및 협력 추진 내용 (이전 페이지에 이어)

업체명	일시	교류 및 협력 내용 담당자/직급	사진
(주)코세코	2012.11.24	▪ 점군 데이터 정합 노하우 ▪ 현장 데이터 적용 ▪ 현재 기술의 한계에 대한 논의 황주현/대리	 점군 데이터 정합을 위한 화면 (야외 데이터)
(주)코세코	2012.11.28	▪ 정합 정확도 측정 방법 ▪ 정합 오차 감소를 위한 노하우 ▪ 현재 기술의 한계에 대한 해결책 논의 황주현/대리	 정합 에러 최소화 화면

(다) 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발

○ 기술 정립을 통해 구축된 프레임워크를 기반으로 하여 3차원 점군 데이터 정합 기술을 개발 완료함. 두 곳의 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터에 개발된 기술을 적용하여 현장적용성을 분석 및 평가한 결과, 개발된 기술을 통해 효과적으로 대규모의 복잡한 플랜트 시설로부터 획득한 점군 데이터 간의 정합이 가능함을 파악함. 다음은 두 곳의 테스트베드를 대상으로 한 점군 데이터 정합 기술 적용 결과를 요약하여 나타낸 것임.

- GS건설 VGOFCC Project 현장을 대상으로 한 개발된 정합 기술 적용 결과
  - 다음 <그림 2-2-14(a)>~<그림 2-2-14(c)>는 각각 서로 다른 위치에서 획득한 단일 점군 데이터를 나타내며, <그림 2-2-14(d)>는 개발된 3차원 점군 데이터 정합 기술을 적용한 정합 결과를 나타냄.

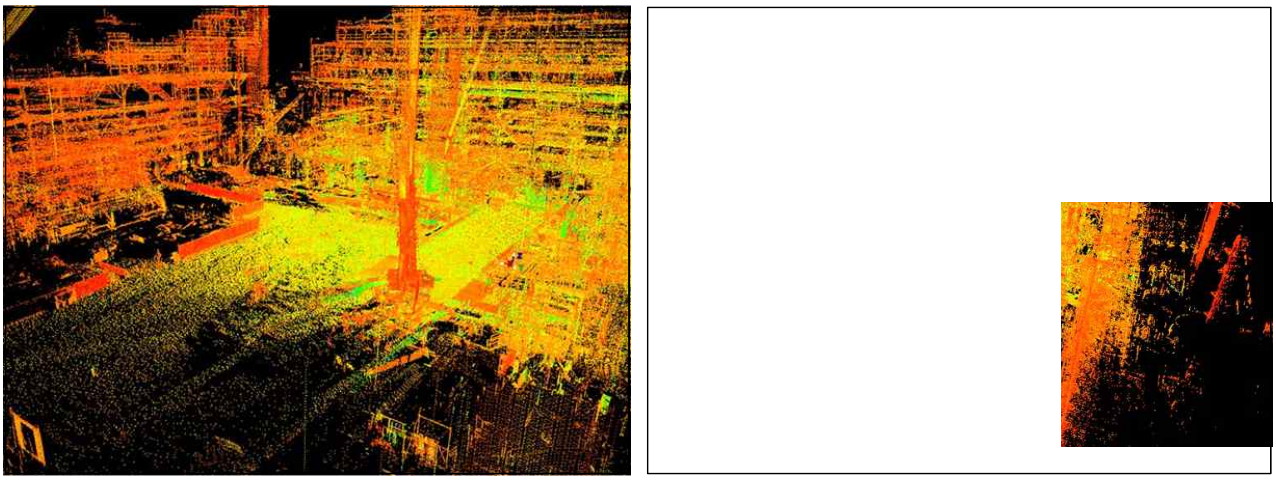


(a) (b)

(c) (d)

<그림 2-2-14> GS건설 VGOFCC Project 현장을 대상으로 한 점군 데이터 정합 기술 적용 결과 (a) 단일 점군 데이터 예시 1, (b) 단일 점군 데이터 예시 2, (c) 단일 점군 데이터 예시 3, (d) 정합된 3차원 점군 데이터

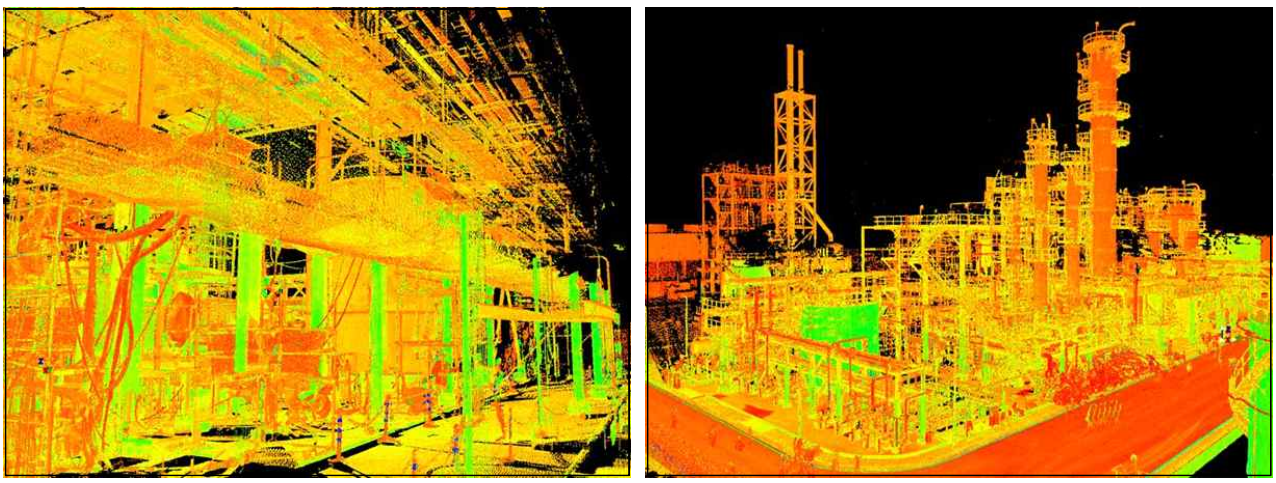
- <그림 2-2-15(a)>와 <그림 2-2-15(b)>는 GS건설 VGOFCC Project 현장을 대상으로 서로 다른 10곳의 위치에서 획득한 점군 데이터에 개발된 3차원 점군 데이터 정합 기술을 적용한 결과를 나타내며, 각각 다른 방향에서 바라본 화면을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-15> GS건설 VGOFCC Project 현장을 대상으로 한 개발된 3차원 점군 데이터 정합 기술 적용 결과 (a) 방향 1, (b) 방향 2

- GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 개발된 정합 기술 적용 결과
  - <그림 2-2-16(a)>와 <그림 2-2-16(b)>는 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 1차, 7차 데이터 획득 시에 각각 서로 다른 31곳, 21곳의 위치에서 획득한 점군 데이터에 대한 개발된 3차원 점군 데이터 정합 기술을 적용한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-16> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 개발된 3차원 점군 데이터 정합 기술 적용 결과 (a) 1차 데이터 획득에 대한 적용 결과, (b) 7차 데이터 획득에 대한 적용 결과

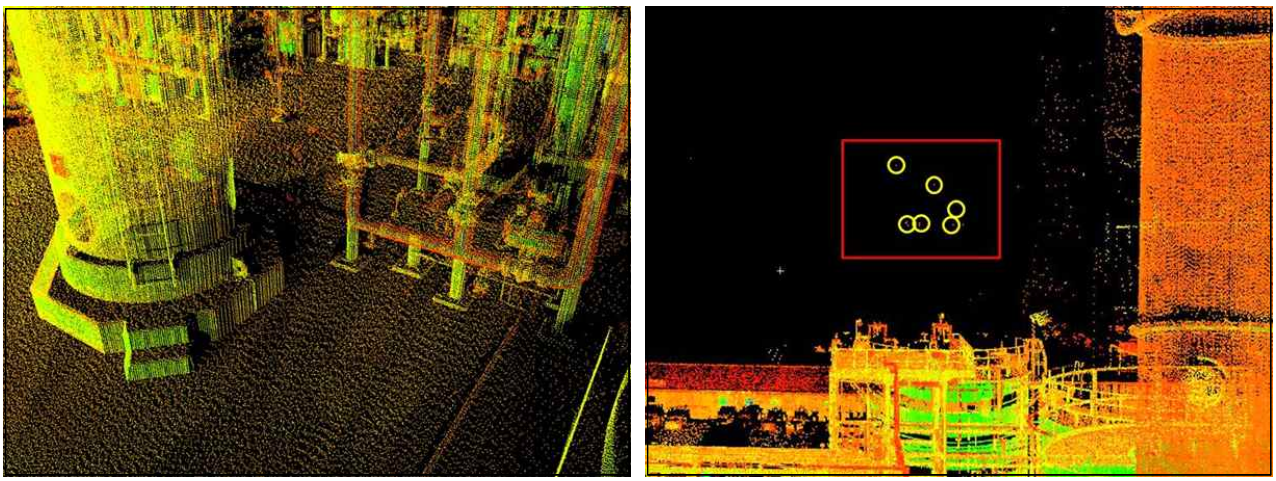
(3) 플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발

○ 플랜트 시설로부터 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 3차원 점군 데이터 내에는 모델하고자 하는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 데이터뿐만 아니라, 노이즈와 같은 이상치 데이터를 포함하기 때문에 이상치 데이터 제거를 통한 개선은 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축에 있어 매우 중요한 프로세스임. 본 연구에서는 이를 위해 본 연구과제에 적합한 이상치 제거 기술을 정립하고, 플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 효과적인 이상치 제거 기술 개발을 위해 전문가 자문을 추진함. 정립된 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거 기술 및 전문가 자문 추진 결과를 바탕으로 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발을 완료함. 상세 연구수행내용 및 결과는 다음과 같음.

(가) 데이터 특성에 적합한 이상치 제거 기술 정립

○ 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 내 이상치 데이터의 특성 파악

- 다음 <그림 2-2-17>은 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에서 획득한 점군 데이터의 일부를 나타냄. 점군 데이터 정합 기술을 적용하여 얻은 플랜트 시설에 대한 점군 데이터의 특성을 파악하기 위해 이를 분석 한 결과, 이상치가 존재하는 특성을 지님.



(a) (b)

<그림 2-2-17> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 개발된 3차원 점군 데이터 정합 기술 적용 결과 (a) 정상 데이터 예시, (b) 3차원 점군 데이터 내의 이상치 예시

- 점군 데이터 내에 이상치를 효과적으로 제거하기 위해 플랜트 시설의 완전한 점군 데이터 내의 배관, 기기, 밸브, 구조물 등에 대한 데이터가 갖는 특성과 이상치 데이터가 갖는 특성 간의 차이를 비교・분석함 (다음 <표 2-2-20> 참조).

<표 2-2-20> 점군 데이터 내의 정상 데이터와 이상치의 특성 분석

데이터	특성
배관에 대한 데이터	▪ 연속되는 실린더 형태를 보임 ▪ 데이터의 밀도에 따라 주변 데이터와의 간격이 다르나 그 차이가 크지 않음
기기에 대한 데이터	▪ 연속되는 곡면 또는 평면의 형태를 보임 ▪ 데이터의 밀도에 따라 주변 데이터와의 간격이 다르나 그 차이가 크지 않음
밸브에 대한 데이터	▪ 연속되는 곡면 또는 직선의 형태를 보임 ▪ 데이터의 밀도에 따라 주변 데이터와의 간격이 다르며, 그 형태가 달라짐
구조물에 대한 데이터	▪ 연속되는 평면의 형태를 보임 ▪ 데이터의 밀도에 따라 주변 데이터와의 간격이 다르나 그 차이가 크지 않음
이상치 데이터	▪ 특정 형태를 보이지 않음 ▪ 주변 데이터와의 간격이 큼

○ 이상치 데이터의 특성을 고려한 점군 데이터 개선 관련 문헌 분석

- 점군 데이터 내의 효과적인 이상치 제거를 통한 데이터 개선 기술 개발을 위해 이상치 제거 기술의 장·단점 분석을 위한 문헌 분석을 수행함. 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거 기술 개발 관련 문헌 분석 결과는 다음 <표 2-2-21>과 같음.
- 이상치 데이터 제거를 위한 대표적인 기술에는 E-estimator 알고리즘 (Haralick 등, 1989), Least Median of Square (LMedS) 알고리즘 (Rousseeuw, 1984; Haralick, 등 1989), Random Sample Consensus (RANSAC) 알고리즘 (Fischler와 Bolles, 1981), 텐서 보팅 (Tensor Voting) 알고리즘 (Tang 등, 2001; Moisan과 Stival, 2004) 등이 있음. 이 중 텐서 보팅 알고리즘은 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 점군 데이터 내의 이상치 데이터 제거에 효과적으로 적용된 바 있음 (Lu 등, 2005). 따라서 본 연구에서는 이상치 제거를 통한 데이터 개선을 위해 텐서 보팅 알고리즘을 선정함.

<표 2-2-21> 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거 기술 개발 관련 문헌 분석 결과 (다음 페이지에 계속)

이상치 제거 기술 (출처)	특성
Adaptive Filtering (Forlani와 Nardinocchi, 2007)	▪ 정상치가 곡선 또는 직선의 형태이며, 이상치가 그 외의 형태일 경우 적합 ▪ 소수의 이상치가 존재할 경우 적용 가능 ▪ 알고리즘의 적용을 위해서는 분류 모델 생성 과정이 필요
Distance-based Outliers (Knorr 등, 2000)	▪ 이상치와 주변 데이터와의 거리가 상대적으로 클 때 적합 ▪ 소수의 이상치가 존재할 경우 적용 가능 ▪ 이상치들이 집합을 구성하고 있는 경우 정확도 저하
Random Sample Consensus (Fischler와 Bolles, 1981)	▪ 정상치가 평면의 형태이며, 이상치가 그 외의 형태일 경우 적합 ▪ 다수의 이상치가 존재할 경우에도 적용 가능 ▪ 알고리즘의 적용을 위해서는 다양한 수의 변수 선정이 필요

<표 2-2-21> 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거 기술 개발 관련 문헌 분석 결과 (이전 페이지에 이어)

이상치 제거 기술 (출처)	특성
텐서 보팅 (Tensor Voting) (Tang 등, 2001)	▪ 이상치가 점의 형태를 띄며, 정상 데이터가 선, 평면 또는 곡면의 형태일 경우 적합 ▪ 다수의 이상치가 존재할 경우에도 적용 가능 ▪ 알고리즘의 적용을 위해서는 적용하고자 하는 3차원 점군 데이터에 적합한 Scale 값과 Saliency 값 선정 필요

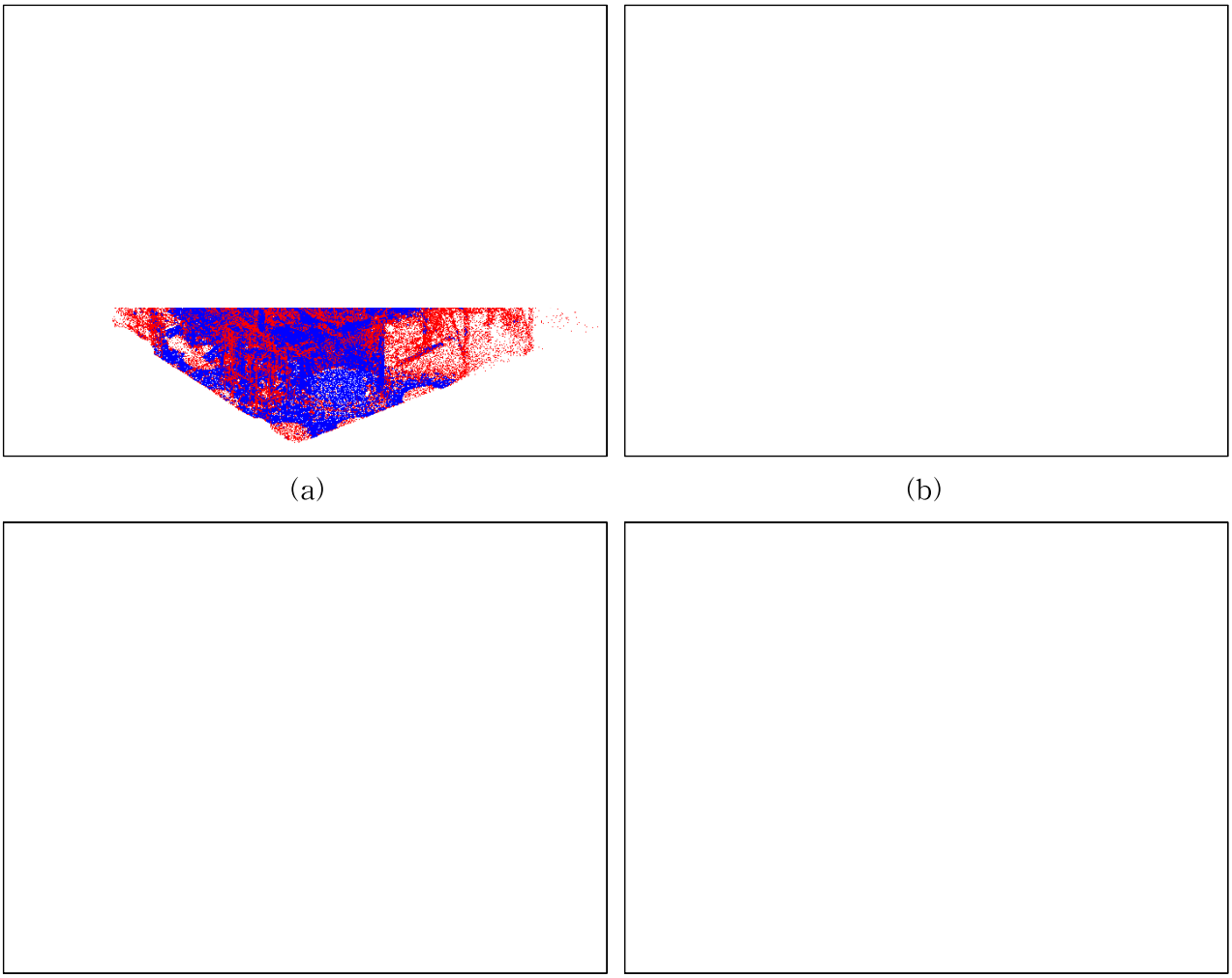
○ 이상치 데이터 특성에 적합한 점군 데이터 개선 프레임워크 구축
- 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거 기술의 장·단점 분석을 통해 본 연구에서는 텐서 보팅 기술을 기반으로 한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거 기술을 정립하고, 프레임워크를 구축함.
- 텐서 보팅 알고리즘 기반의 점군 데이터 개선
  - 텐서 보팅 알고리즘은 입력된 점군 데이터를 텐서 형태로 변환하기 위한 텐서 계산과 텐서 간 상호작용을 위한 텐서 보팅 과정으로 구성됨. 입력된 3차원 점군 데이터는 타원 또는 타원체의 형태로 표현되는 텐서로 계산되며, 이는 벡터의 개념을 확장한 기하학적 물리량을 나타냄. 각각의 텐서는 정해진 필드 내에서 보팅을 통하여 인접하는 정보와 교류 및 통신을 수행함으로써 각각의 특징적인 형태를 인식하기 위한 Saliency Map을 구축함. Saliency Map은 각각의 특징적인 형태에 따라 Surface Saliency Map, Curve Saliency Map, Junction Saliency Map으로 분리되며 특징 추출 과정을 통해 점의 특징을 갖는 데이터를 제거함으로써 점군 데이터 내의 이상치 데이터 제거를 통한 데이터 개선을 수행함.

(나) 전문가 자문을 통한 이상치 제거 기술 검토

○ 제안된 점군 데이터 개선 프레임워크에 대한 전문가 검토 사항 및 의견
- 텐서 보팅 기술을 기반으로 한 이상치 제거 기술 개발을 위해 3차원 데이터 처리 분야의 전문가인 중앙대학교 컴퓨터 공학과 소속 손봉수 교수에게 자문을 요청함. 자문 결과, 텐서 보팅 알고리즘 적용 시에는 플랜트 시설의 점군 데이터에 최적화된 변수 (Scale, Saliency)의 결정이 요구됨을 파악함.

○ 전문가 검토 의견 반영 사항 및 결과
- 전문가 자문 의견에 따라, 텐서 보팅 알고리즘을 기반으로 한 플랜트 시설의 점군 데이터 내 이상치 제거에 최적화된 변수 선정을 위한 실험·분석을 수행함. 실험을 통해 텐서 보팅 알고리즘 적용 시, 플랜트 시설의 점군 데이터 내의 이상치를 가장 효과적으로 제거함으로써 데이터 개선 효과가 가장 높은 변수를 선정함.

- 다음 <그림 2-2-18>은 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에서 획득한 점군 데이터에 대한 실험·분석의 일부를 나타내며, 자문 결과에 따라 Scale 값을 10,000으로 고정한 후, Saliency 값을 1/10, 1/15, 1,20, 1/50으로 달리하여 분석된 결과를 요약하여 나타냄.

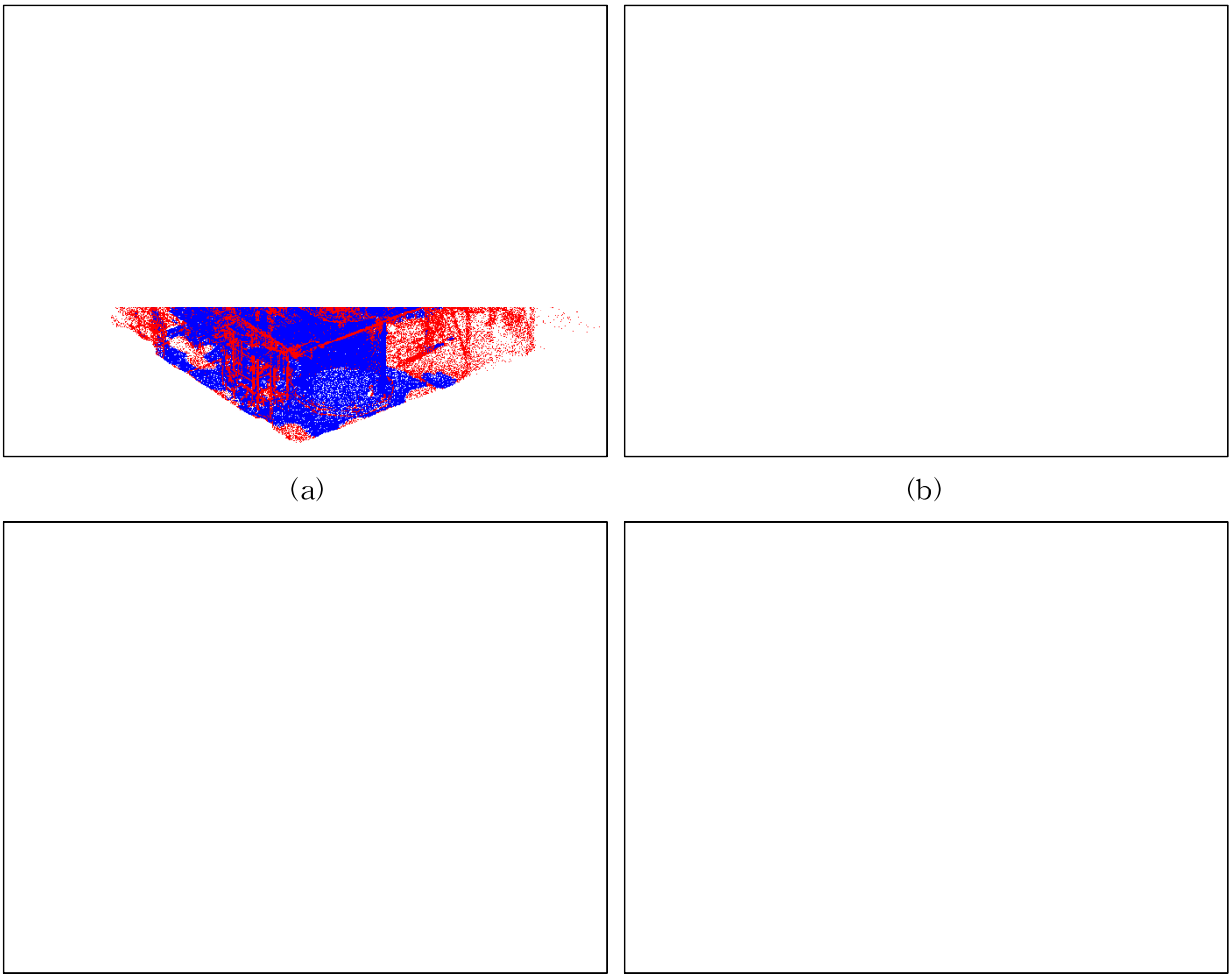


(a) (b)

(c) (d)

<그림 2-2-18> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 텐서 보팅 알고리즘 기반의 이상치 제거 기술 적용 실험 (Scale = 10,000) (a) Saliency = 1/10, (b) Saliency = 1/15, (c) Saliency = 1/20, (d) Saliency = 1/50

- 다음 <그림 2-2-19>는 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에서 획득한 점군 데이터에 대한 실험·분석의 일부를 나타내며, 자문 결과에 따라 Scale 값을 100,000으로 고정한 후, Saliency 값을 1/10, 1/15, 1,20, 1/50으로 달리하여 분석된 결과를 요약하여 나타냄.

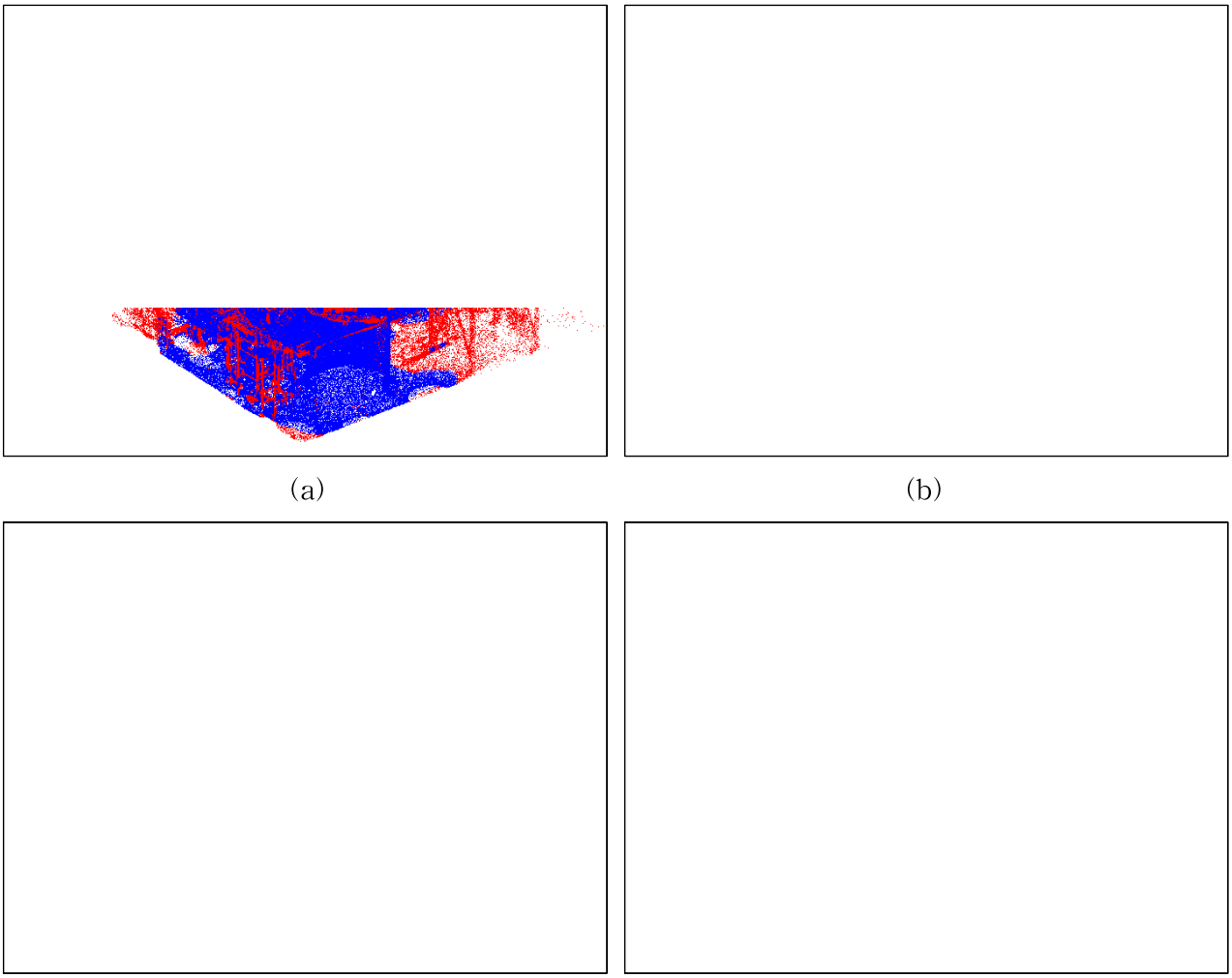


(a) (b)

(c) (d)

<그림 2-2-19> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 텐서 보팅 알고리즘 기반의 이상치 제거 기술 적용 실험 (Scale = 100,000) (a) Saliency = 1/10, (b) Saliency = 1/15, (c) Saliency = 1/20, (d) Saliency = 1/50

- 다음 <그림 2-2-20>은 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에서 획득한 점군 데이터에 대한 실험·분석의 일부를 나타내며, 자문 결과에 따라 Scale 값을 1,000,000으로 고정한 후, Saliency 값을 1/10, 1/15, 1,20, 1/50으로 달리하여 분석된 결과를 요약하여 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

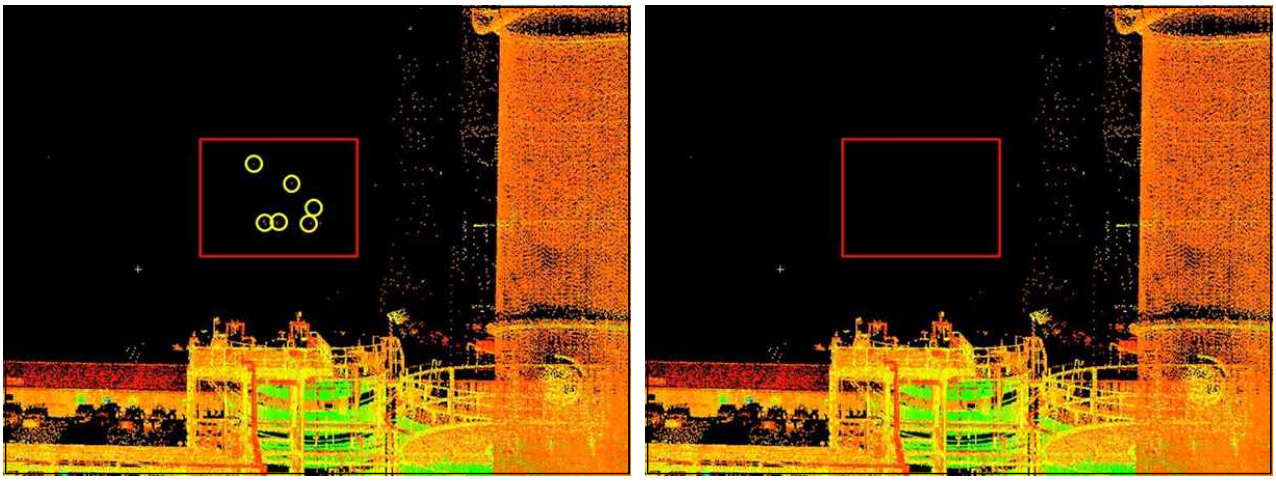
<그림 2-2-20> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 텐서 보팅 알고리즘 기반의 이상치 제거 기술 적용 실험 (Scale = 1,000,000) (a) Saliency = 1/10, (b) Saliency = 1/15, (c) Saliency = 1/20, (d) Saliency = 1/50

(다) 이상치 데이터 제거 기술 개발

○ 기술 정립을 통해 구축된 프레임워크를 기반으로 하여 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술을 개발 완료함. GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 획득한 점군 데이터에 개발된 기술을 적용하여 현장적용성을 분석 및 평가한 결과, 개발된 기술을 통해 효과적으로 대규모의 복잡한 플랜트 시설로부터 획득한 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선이 가능함을 파악함.

○ 다음은 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 적용 결과를 요약하여 나타낸 것임.

- GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 개발된 이상치 데이터 제거 기술 적용 결과
  - 다음 <그림 2-2-21(a)>는 이상치 제거 전 플랜트 시설의 점군 데이터를 나타내며, <그림 2-2-21(b)>는 개발된 이상치 제거 데이터 기술을 적용한 개선 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-21> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 이상치 제거 기술 적용 결과 (a) 이상치 제거 전, (b) 이상치 제거를 통한 데이터 개선 후

(4) 운영 중인 플랜트 시설에서 획득한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선

○ 1차년도에 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 검증과 고도화를 위한 첫 단계로 운영 중인 플랜트 시설에서 레이저 스캐너를 이용하여 3차원 점군 데이터를 획득하고, 이를 정합 및 개선함. 이를 위해 국내에서 운영 중인 플랜트 시설의 현황을 파악하고, 여러 전문가와의 협의를 거쳐 기술 검증을 위한 최적의 테스트베드를 선정함.

○ 테스트베드로 선정된 플랜트 시설은 규모가 크고, 시설 내부에 각종 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체가 복잡하게 설치되어 운영 중임. 이와 같이 규모가 크고 복잡한 플랜트 시설에서 레이저 스캐너를 이용하여 완전한 플랜트 점군 데이터를 확보하기 위해서는 여러 위치에서 점군 데이터를 획득하여야 함. 이에 따라 대상 플랜트 시설의 특성을 고려한 점군 데이터 획득 계획을 수립함. 수립된 계획에 따라 데이터 획득 실험을 수행하였으며, 획득한 점군 데이터를 대상으로 1차년도에 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술을 적용함으로써 플랜트 시설에 대한 완전한 플랜트 점군 데이터를 확보함.

(가) 운영 중인 플랜트 시설에 대한 테스트베드 협의 및 선정

○ 테스트베드의 필요성
- 본 연구의 목적은 공사 중이거나, 운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 (이하 "플랜트 정보 모델"이라 함)을 구축하기 위한 기술의 개발임. 본 연구과제에서는 연구결과의 최종성과물을 바로 현업에 적용할 수 있도록 하는 실용연구에 초점을 맞춰왔으며, 이에 개발한 기술의 현장적용성을 평가하고 추후 발생

가능한 문제점을 사전에 해결함으로써 기술의 활용성을 높이기 위해 실제 플랜트 시설을 테스트베드로 선정함.

- 1차년도에는 공사 중인 플랜트 시설을 테스트베드로 선정함으로써 플랜트 공사 현장의 특성을 분석하고, 본 연구과제에서 개발하고자 하는 플랜트 정보 모델 구축을 위한 요소 기술 개발 전략 수립에 이를 반영토록 함. 2차년도에는 운영 중인 플랜트 시설을 테스트베드로 선정함. 운영 중인 플랜트 시설은 운영·유지 관리 단계에서 여러 차례 증축과 개축을 거치는 과정에서 플랜트 시설 내부에 위치한 기기의 용량을 증가시키거나 일부 새로운 배관을 추가 설치하게 됨에 따라 매우 복잡한 특성을 보임. 또한 고온·고압이 발생하거나 스팀이 공급되는 위험 지역이 존재하므로 운영 중인 플랜트 시설에서의 데이터 획득 실험 시에는 각별한 주의가 필요함.

○ 테스트베드 선정

- 테스트베드 선정을 위해 국내에서 운영 중인 해양 플랜트 시설의 현황과 국내 대표적인 중화학공업단지인 여수 국가산업단지 내에서 운영 중인 플랜트 시설의 현황을 파악함. 국내에서 운영 중인 해양 플랜트 시설을 조사한 결과, 현재 운영 중인 해양 플랜트 시설이 존재하지 않는 것으로 확인됨. 이에 따라 해양 플랜트 설계 기술을 보유하고 있는 대우조선해양과 현대중공업 소속의 해양 플랜트 설계 전문가를 대상으로 개발한 기술의 현장적용성 평가를 위한 전문가 자문을 실시하였으며, 다음 <표 2-2-22>는 자문 내용을 요약하여 나타냄.

<표 2-2-22> 개발한 기술의 해양 플랜트 현장적용성 평가를 위한 자문 결과 요약

대상 해양 플랜트 전문가 (소속/직급)	자문 내용
울산조선소	▪ 육상 플랜트와 해양 플랜트 시설은 설계 방식이 동일함. ▪ 육상 플랜트는 지상에 위치하여 설치된다는 점과 해양 플랜트는 선박형 구조물 위에 설치된다는 점이 두 가지 시설 간의 가장 두드러진 차이라 할 수 있음. ▪ 플랜트 시설을 구성하는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기는 두 가지 시설 간의 차이보다는 육상 플랜트와 마찬가지로 플랜트 공정별로 적용되는 표준의 차이가 존재함. ▪ 해양 플랜트에서만 사용되는 일부 기기가 있으나, 데이터베이스화 되어 있어 연구진에 의해 개발된 기술이 충분히 적용 가능할 것으로 예상됨.
김화용 (현대중공업/부장)	
옥포조선소	▪ 육상 플랜트와 해양 플랜트 시설은 설계 방식이 동일함. ▪ 해양 플랜트는 선박형 구조물 위에 설치된다는데 차이가 있음. ▪ 플랜트 시설을 구성하는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기는 두 가지 시설 간의 차이보다는 육상 플랜트와 마찬가지로 플랜트 공정별로 적용되는 표준의 차이가 존재함. ▪ 연구진에 의해 개발된 기술은 육상과 해양 플랜트 시설의 구분 없이 산업 플랜트에 범용적으로 적용될 수 있는 기술로 해양 플랜트에도 충분히 적용 가능할 것으로 예상됨에 따라 해양 플랜트 시설에 대한 별도의 현장적용성 평가는 불필요하다고 판단됨.
이미영 (대우조선해양/대리)	

- 전문가 자문 결과, 개발한 기술은 육상 플랜트와 해양 플랜트 시설의 구분 없이 충분히 적용이 가능함을 확인함. 다만, 현재 운영 중인 해양 플랜트 시설이 존재하지 않는 것으로 확인됨에 따라, 여수 국가산업단지 내에서 운영 중인 플랜트 시설을 대상으로 추가적인 테스트베드를 선정하고자 함. 다음 <표 2-2-23>은 여수 국가 산업단지 내에서 운영 중인 플랜트 시설의 현황을 나타냄.

<표 2-2-23> 여수 국가산업단지 내에서 운영 중인 플랜트 시설의 현황

업체명	플랜트 시설명	주요 공정
GS바이오(주)	GS바이오 여수공장	석유화학
GS칼텍스(주)	GS칼텍스 여수공장	정유
KPX라이프사이언스(주)	KPX라이프사이언스 여수공장	석유화학
KPX화인케미칼(주)	KPX화인케미칼 여수공장	석유화학
LG MMA(주)	LG MMA 여수공장	석유화학
LG화학(주)	LG화학 4AA	석유화학
LG화학(주)	LG화학 여수공장	석유화학
금호미쓰이화학(주)	금호미쓰이화학 여수공장	석유화학
금호석유화학(주)	여수고무 1공장	석유화학
금호폴리켐(주)	금호폴리켐 1공장	석유화학
남해화학(주)	남해화학 여수공장	석유화학
대림산업(주)	대림산업 여수공장	석유화학
대림에너지(주)	대림에너지 여수공장	석유화학
롯데케미칼(주)	롯데케미칼 여수 1공장	석유화학
삼남석유화학(주)	삼남석유화학 여수공장	석유화학
신비오켐(주)	신비오켐 여수공장	가스
아이씨케미칼	아이씨케미칼 여수공장	석유화학
에어리퀴드코리아(주)	에어리퀴드 여수공장	가스
여천NCC(주)	여천NCC 여수공장	석유화학
제일모직(주)	제일모직 여수사업장	석유화학
(주)SPG케미칼	SPG케미칼 여수공장	석유화학
(주)동성하이켐	동성하이켐 여수공장	석유화학
(주)일렘테크놀러지	일렘테크놀러지 여수공장	석유화학
창신화학(주)	창신화학 1공장	석유화학
태경화학(주)	태경화학 여천공장	석유화학
폴리미래(주)	폴리미래 여천공장	석유화학
프렉스에어코리아(주)	프렉스에어코리아 여수공장	가스
한국다우케미칼(주)	한국다우케미칼 여수공장	석유화학
한국바스프(주)	한국바스프 여수공장	석유화학
한화케미칼(주)	한화케미칼 여수공장	석유화학
휴켐스	휴켐스 월내동 공장	석유화확

- 여수 국가산업단지 내에서 운영 중인 플랜트 시설 중 본 연구의 테스트베드로 적합한 플랜트 시설을 선정하기 위해 플랜트에 소속된 전문가를 통해 해당 플랜트 시설에 대한 특성을 파악함.
- 플랜트 시설의 특성 파악 결과, 테스트베드 후보지로 LG화학 4AA, 폴리미래 여천공장, 금호미쓰이화학 여수공장, 남해화학 여수공장을 선정함. 다음 <표 2-2-24>는 테스트베드 후보지 네 곳에 대한 특성 파악 결과를 요약하여 나타냄.

<표 2-2-24> 테스트베드 후보지 네 곳에 대한 특성 파악 결과

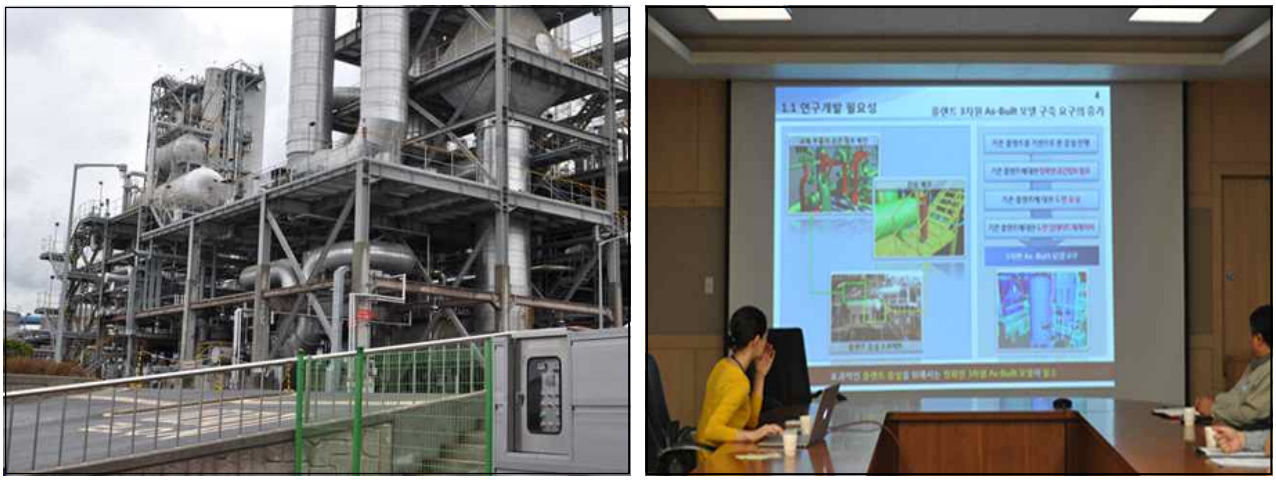
대상 플랜트 전문가 (소속/직급)	후보지 특성
LG화학 4AA 장정훈 (LG화학/부장)	▪ 다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪ 대부분 플랜트 시설이 실내에 설치되어 있음.
폴리미래 여천공장 위정환 (폴리미래/부장)	▪ 다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪ 다른 시설에 비해 공정이 비교적 단순함.
금호미쓰이화학 여수공장 이혁 (금호미쓰이화학/부장)	▪ 다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪ 서로 다른 공정을 담당하는 여섯 개의 구역으로 구성되어 있으며, 가장 오래된 구역은 1991년에 신축되어 구역별 내용연수가 상이함.
남해화학 여수공장 이용민 (남해화학/부장)	▪ 다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪ 전체 플랜트 시설이 실내에 설치되어 있음.

- 앞서 선정한 테스트베드 후보지 네 곳을 대상으로 개발된 기술 검증을 위한 최적의 테스트베드를 선정하기 위해 사전 답사를 실시함. 다음 <표 2-2-25>는 테스트베드 후보지 적합성 평가를 위한 사전 답사 일정을 나타냄.

<표 2-2-25> 테스트베드 후보지 적합성 평가를 위한 사전 답사 일정

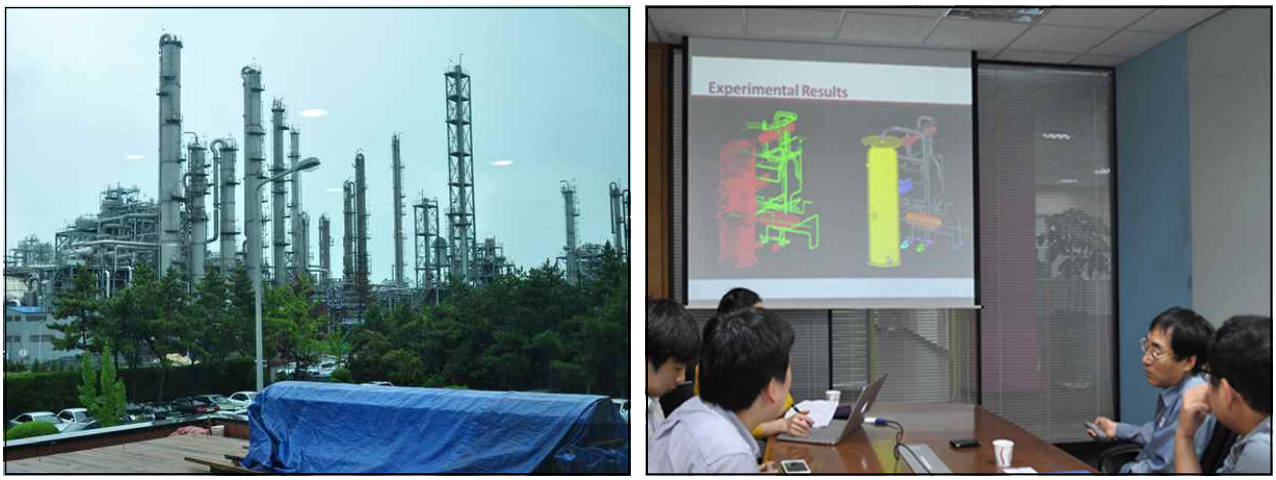
대상	사전 답사 일시	인원	답사자
LG화학 4AA	2013년 08월 23일 10시~12시	4	김창민, 손효주, 황나혜, 김시창
폴리미래 여천공장	2013년 08월 23일 13시~15시	4	김창민, 손효주, 황나혜, 김시창
금호미쓰이화학 여수공장	2013년 08월 23일 16시~18시	2	김창민, 황나혜
남해화학 여수공장	2013년 08월 23일 16시~18시	2	손효주, 김시창

- 다음 <그림 2-2-22>~<그림 2-2-25>는 테스트베드 후보지 네 곳의 사전 답사 당시 플랜트 시설에 대한 사진 및 플랜트 시설 관계자와의 협의 사진을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-22> LG화학 4AA 사전 답사 (a) 플랜트 시설 (2013년 8월 23일 당시), (b) 해당 시설 관계자와의 협의



(a) (b)

<그림 2-2-23> 폴리미래 여천공장 사전 답사 (a) 플랜트 시설 (2013년 8월 23일 당시), (b) 해당 시설 관계자와의 협의




(a) (b)

<그림 2-2-24> 금호미쓰이화학 여수공장 사전 답사 (a) 플랜트 시설 (2013년 8월 23일 당시), (b) 해당 시설 관계자와의 협의




(a) (b)

<그림 2-2-25> 남해화학 여수공장 사전 답사 (a) 플랜트 시설 (2013년 8월 23일 당시), (b) 해당 시설 관계자와의 협의

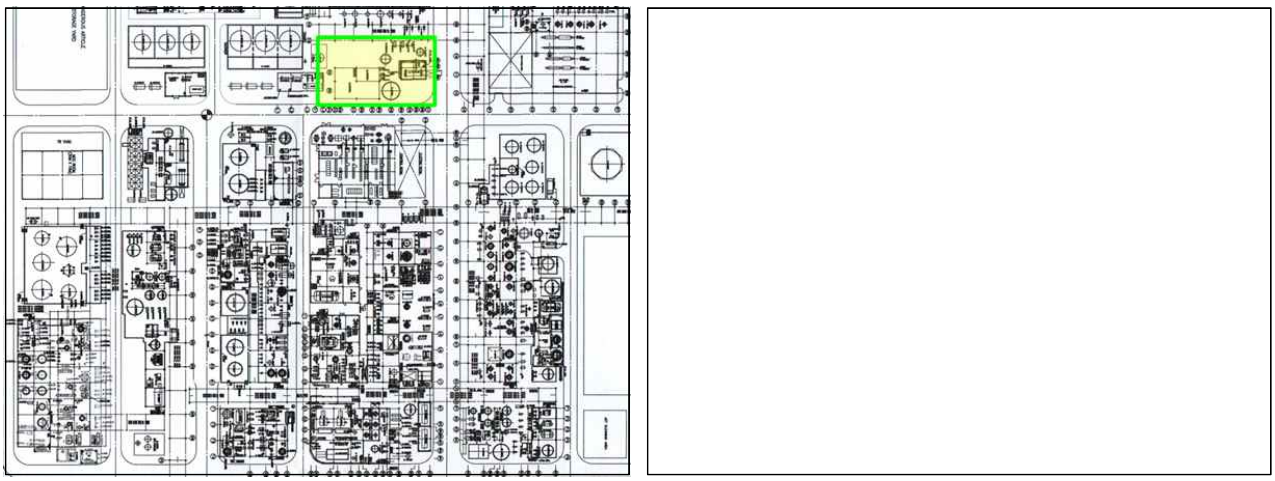
- 사전 답사 결과를 바탕으로 하여 금호미쓰이화학 여수공장을 최적의 테스트베드로 선정하였으며, 해당 시설 관계자와의 협의를 마침. 금호미쓰이화학 여수공장은 서로 다른 공정을 담당하는 여섯 개의 구역으로 구성되어 있으며, 구역별로 설치되어 있는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기의 종류가 서로 상이한 특성을 지님. 따라서 다양한 특성을 가진 공정을 대상으로 개발 기술의 검증 및 현장적용성 평가가 가능함. 뿐만 아니라, 금호미쓰이화학 여수공장은 3차년도 연구기간 내에 기존 시설에 대한 증축을 계획하고 있어 본 연구 결과의 활용 측면에서도 의미가 큰 것으로 평가할 수 있음.

(나) 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립

○ 개발한 기술의 현장적용성을 평가하기 위해서는 대규모 플랜트 시설 내에 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 파악할 수 있는 3차원 점군 데이터의 확보가 요구됨. 플랜트 시설 내에는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체가 복잡하게 얽혀있어 단일 위치에서 점군 데이터를 획득하는 경우, 서로 다른 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체에 의한 가림현상이 발생함. 이와 같이 복잡한 플랜트 시설에서 레이저 스캐너를 이용하여 완전한 플랜트 점군 데이터를 확보하기 위해서는 여러 위치에서 점군 데이터를 획득하여야 함. 금호미쓰이화학 여수공장은 여섯 개의 구역이 서로 다른 시기에 다른 공정을 담당하도록 설계되어 구역 별로 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체의 종류 및 배치가 상이함. 이에 따라 여섯 개의 구역 별로 구역별 특성을 고려한 점군 데이터 획득 계획 수립이 필요함.

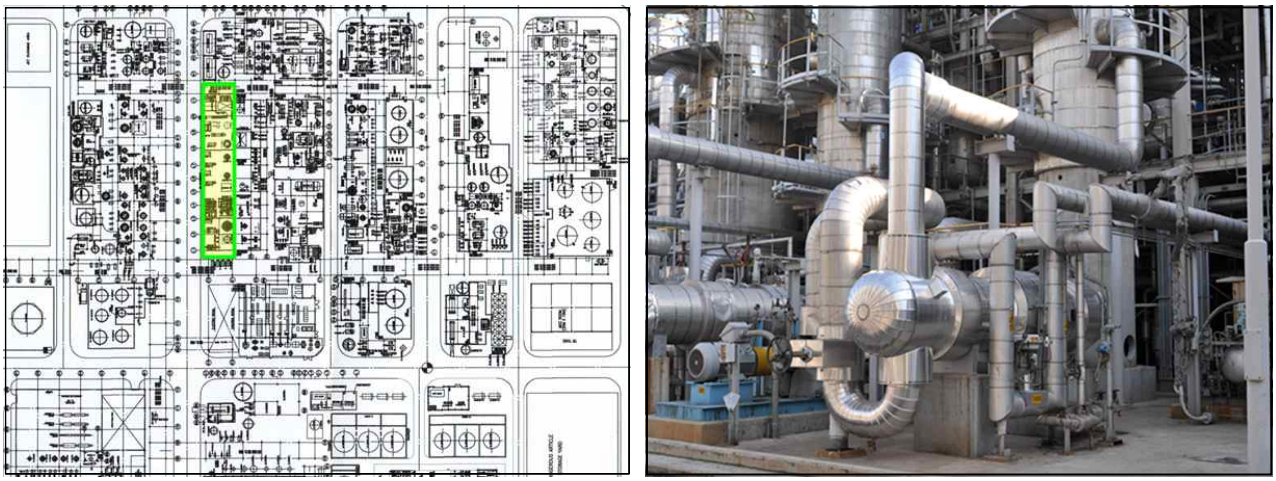
○ 규모가 크고 복잡한 플랜트 시설 내에 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 포함하도록 점군 데이터를 획득하기 위해 본 연구과제에서는 공정배관계장도 (Piping and Instrument Diagram, P&ID)를 활용함. 공정배관계장도는 플랜트 시설 내에 설치되어 있는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 정보를 포함하고 있어, 이를 활용하여 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 미리 파악함으로써 점군 데이터 획득 위치를 선정하기 위한 계획을 수립함.

- 다음 <그림 2-2-26(a)>~<그림 2-2-31(a)>는 금호미쓰이화학 여수공장 내에 위치한 구역 1~구역 6에 대한 2차원 도면을 나타내며, <그림 2-6(b)>~<그림 2-21(b)>는 2차원 도면 내에 연두색으로 표시한 일부 영역에 대한 현장 사진을 나타냄.



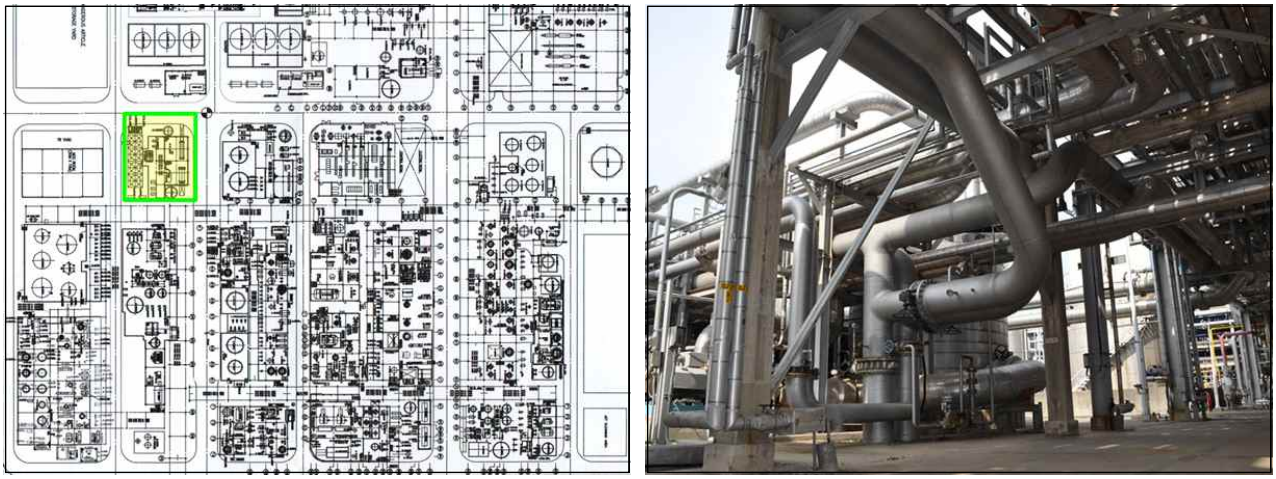
(a) (b)

<그림 2-2-26> (a) 구역 1에 대한 2차원 도면, (b) 연두색으로 표시한 영역에 대한 현장 사진



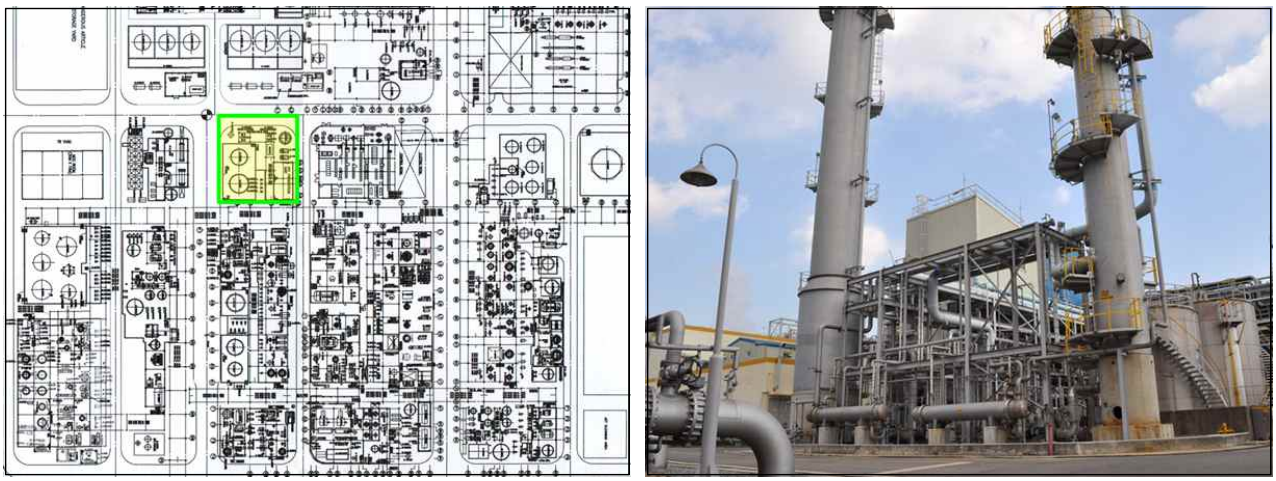
(a) (b)

<그림 2-2-27> (a) 구역 2에 대한 2차원 도면, (b) 연두색으로 표시한 영역에 대한 현장 사진



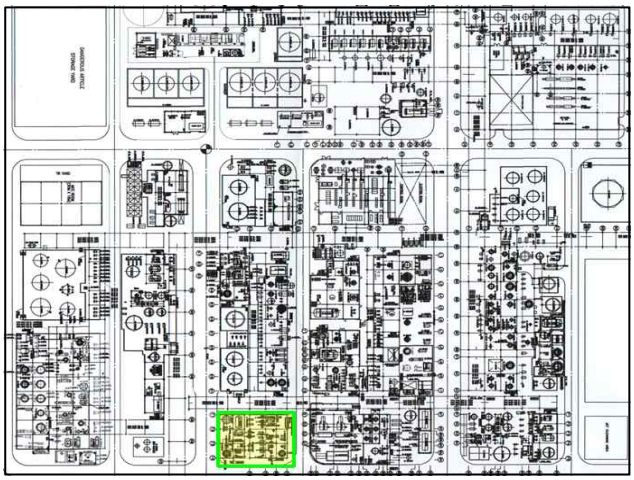
(a) (b)

<그림 2-2-28> (a) 구역 3에 대한 2차원 도면, (b) 연두색으로 표시한 영역에 대한 현장 사진



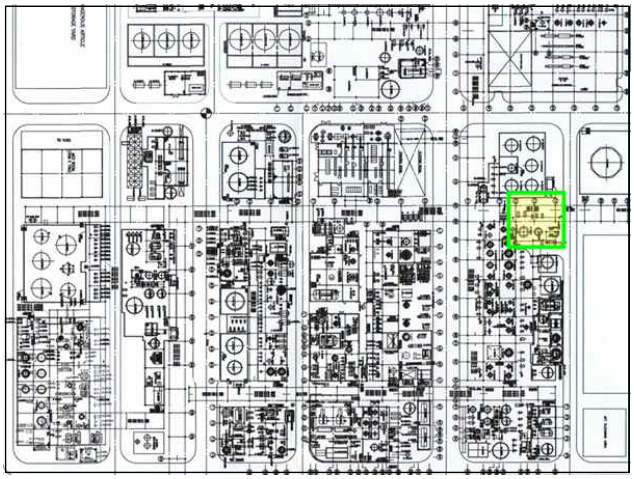
(a) (b)

<그림 2-2-29> (a) 구역 4에 대한 2차원 도면, (b) 연두색으로 표시한 영역에 대한 현장 사진




(a) (b)

<그림 2-2-30> (a) 구역 5에 대한 2차원 도면, (b) 연두색으로 표시한 영역에 대한 현장 사진




(a) (b)

<그림 2-2-31> (a) 구역 6에 대한 2차원 도면, (b) 연두색으로 표시한 영역에 대한 현장 사진

○ 점군 데이터 획득을 위한 장비 선정

- 구역별 사전 답사 결과, 구역 6은 내부 공간이 협소하여 점군 데이터 획득 시에 Leica Geosystems사에서 개발한 Leica ScanStation C10의 이동 및 사용이 어려움. 따라서 좁은 장소에도 이동 및 사용이 가능한 장비로 FARO사에서 개발한 FARO Focus3D를 선정함.
- 다음 <표 2-2-26>은 Leica ScanStation C10의 사양을 나타냄. Leica ScanStation C10의 3차원 점군 데이터 획득 거리는 최대 300m로 대규모 플랜트 시설에 적합함. 반면, 장비가 크고 무거워 협소한 공간에서의 이동 및 사용이 어려움.

<표 2-2-26> Leica ScanStation C10의 주요 사양

구분	설명
정확성	6mm (위치)/ 4mm (거리)
획득 거리	300m (90%)/ 134m (18%)
스캔 속도	초당 최대 50,000 포인트
스캔 범위	360° (수평)/ 270° (수직)
크기	238mm× 358mm× 395mm
무게	13kg
사진	 

- 다음 <표 2-2-27>은 FARO Focus3D의 사양을 나타냄. FARO Focus3D의 3차원 점군 데이터 획득 거리는 최대 120m로 Leica ScanStation C10과 비교할 때 다소 짧음. 반면, 장비가 작고 가벼워 협소한 공간에서의 이동 및 사용이 용이함.

<표 2-2-27> FARO Focus^{3D}의 주요 사양

구분	설명
정확성	2mm (위치)/ 2mm (거리)
획득 거리	120m (90%)
스캔 속도	초당 최대 976,000 포인트
스캔 범위	360° (수평)/ 305° (수직)
크기	240mm× 200mm× 100mm
무게	5kg
사진	 

○ 점군 데이터 획득을 위한 계획 수립 결과

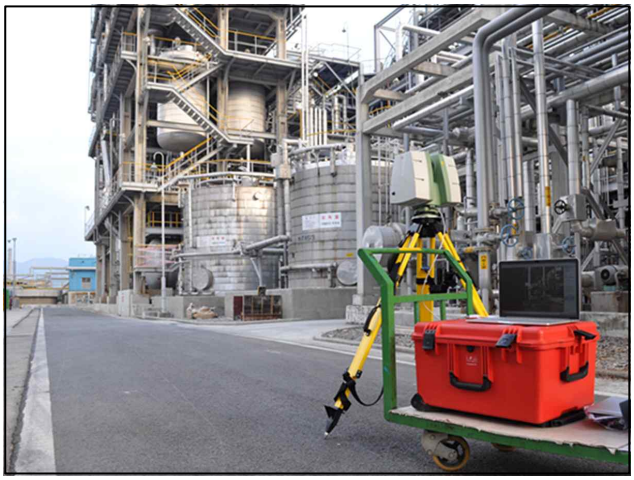
- 금호미쓰이화학 여수공장은 서로 다른 공정을 담당하는 여섯 개의 구역별로 설치되어 있는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기의 종류가 서로 상이한 특성을 지님. 따라서 구역별로 데이터 획득 일정, 획득 위치 및 횟수, 투입 인원, 사용 장비 종류를 계획함. 다음 <표 2-2-28>은 금호미쓰이화학 여수공장을 대상으로 총 22회에 걸친 점군 데이터 획득 실험을 위한 점군 데이터 획득 계획을 요약하여 나타냄.

<표 2-2-28> 금호미쓰이화학 여수공장에 대한 점군 데이터 획득 계획

대상	데이터 획득 일시	인원	데이터 획득 횟수	사용 장비
구역 1	2013년 10월 24일 10:00~18:00	3	18	C10
	2013년 10월 25일 10:00~18:00	3	18	C10
	2013년 10월 31일 10:00~16:00	2	12	C10
구역 2	2013년 11월 01일 10:00~18:00	3	14	C10
	2013년 11월 14일 10:00~16:00	2	14	C10
구역 3	2013년 11월 15일 10:00~18:00	3	16	C10
	2013년 11월 21일 10:00~16:00	2	13	C10
구역 4	2013년 11월 22일 10:00~18:00	3	10	C10
구역 5	2013년 11월 28일 10:00~16:00	2	18	C10
구역 6	2013년 11월 29일 10:00~18:00	3	19	C10
	2013년 12월 06일 10:00~18:00	3	18	C10, Focus^{3D}
	2013년 12월 09일 10:00~18:00	3	18	C10, Focus^{3D}
	2014년 01월 09일 10:00~18:00	3	18	C10, Focus^{3D}
	2014년 01월 10일 10:00~18:00	3	19	C10, Focus^{3D}
	2014년 01월 13일 10:00~18:00	3	19	C10, Focus^{3D}
	2014년 01월 14일 10:00~18:00	3	19	C10, Focus^{3D}
	2014년 01월 15일 10:00~18:00	3	18	C10, Focus^{3D}
	2014년 01월 16일 10:00~18:00	3	18	C10, Focus^{3D}
	2014년 01월 17일 10:00~18:00	3	19	C10, Focus^{3D}
	2014년 01월 20일 10:00~18:00	3	20	C10, Focus^{3D}
	2014년 01월 21일 10:00~18:00	3	18	C10, Focus^{3D}
	2014년 01월 22일 10:00~18:00	3	17	C10, Focus^{3D}

(다) 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득

○ 다음 <그림 2-2-32>는 Leica ScanStation C10과 FARO Focus^{3D}를 이용한 데이터 획득 사진을 나타냄. <그림 2-2-32(a)>와 같이 플랜트 시설 내부의 협소한 지역을 제외한 데이터 획득 시에는 Leica ScanStation C10을 이용하였으며, <그림 2-2-32(b)>와 같이 플랜트 시설 내부의 협소한 지역에서는 FARO Focus^{3D}를 활용하여 3차원 점군 데이터를 획득함.




(a) (b)

<그림 2-2-32> (a) Leica ScanStation C10을 이용한 데이터 획득, (b) FARO Focus^{3D}를 이용한 데이터 획득

○ 금호미쓰이화학 여수공장을 대상으로 한 데이터 획득 현황

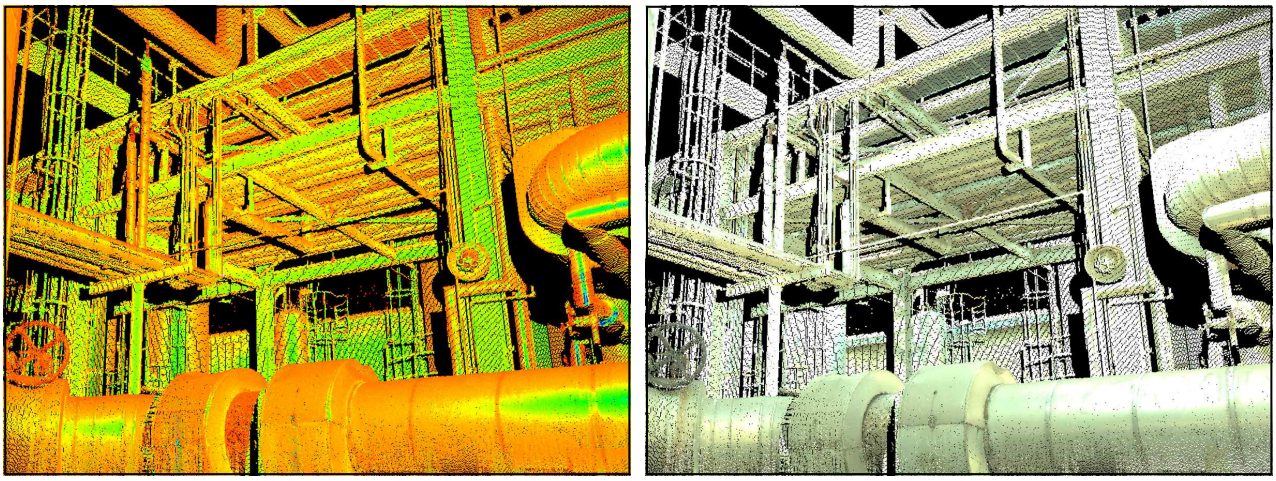
- 금호미쓰이화학 여수공장을 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2013년 10월 24일부터 2014년 1월 22일까지 총 22회에 걸쳐 공장을 방문하였으며, 여섯 구역에 대해 총 373곳의 위치에서 데이터 획득을 완료함.
- 다음 <그림 2-2-33>은 2013년 10월 24일부터 2013년 10월 31일까지 금호미쓰이화학 여수공장 구역 1에서 획득한 점군 데이터와 색상 값을 입힌 점군 데이터를 나타냄.




(a) (b)

<그림 2-2-33> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 1에 대한 데이터 획득 결과
(a) 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 점군 데이터 일부

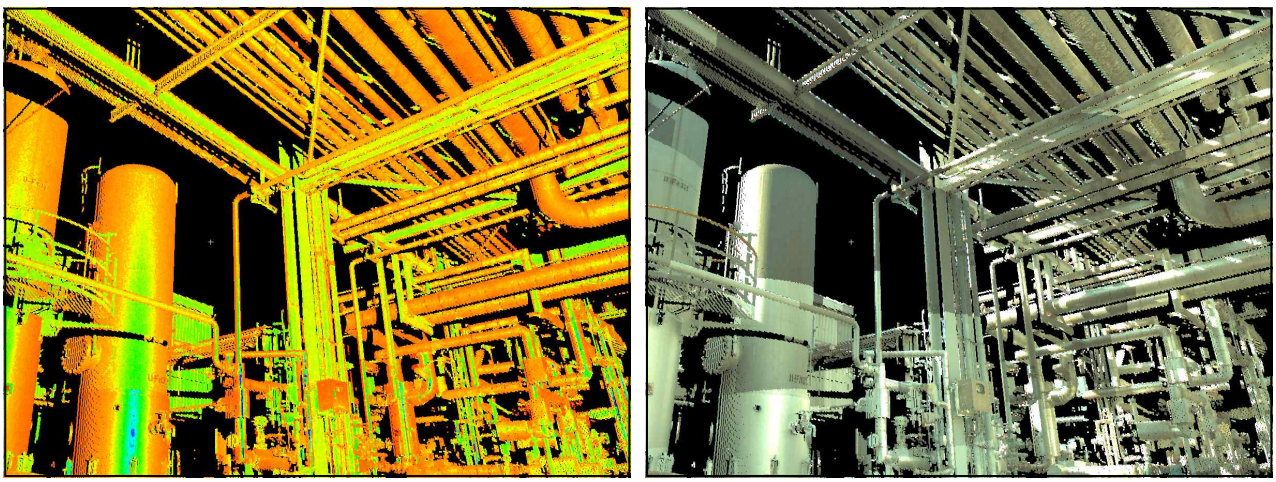
- 다음 <그림 2-2-34>는 2013년 11월 1일부터 2013년 11월 14일까지 금호미쓰이화학 여수공장 구역 2에서 획득한 점군 데이터와 색상 값을 입힌 점군 데이터를 나타냄. 구역 2에는 구경이 큰 배관과 작은 배관이 다양하게 설치되어 있음.



(a) (b)

<그림 2-2-34> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 2에 대한 데이터 획득 결과
(a) 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 점군 데이터 일부

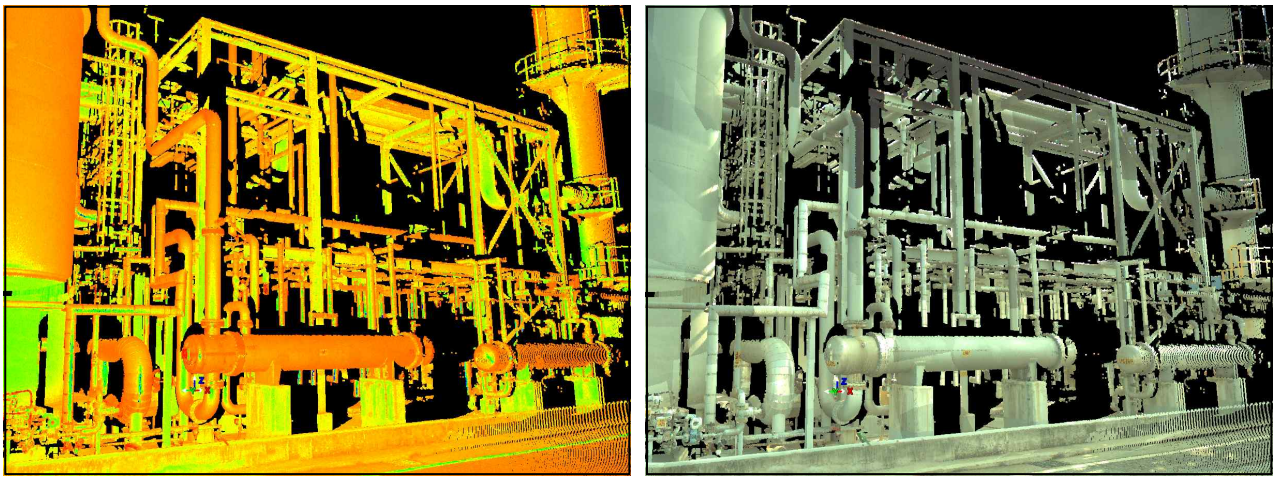
- 다음 <그림 2-2-35>는 2013년 11월 15일부터 2013년 11월 21일까지 금호미쓰이화학 여수공장 구역 3에서 획득한 점군 데이터와 색상 값을 입힌 점군 데이터를 나타냄. 구역 3에는 대형 탱크와 탱크에 연결된 다수의 배관이 설치되어 있음.



(a) (b)

<그림 2-2-35> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 3에 대한 데이터 획득 결과
(a) 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 점군 데이터 일부

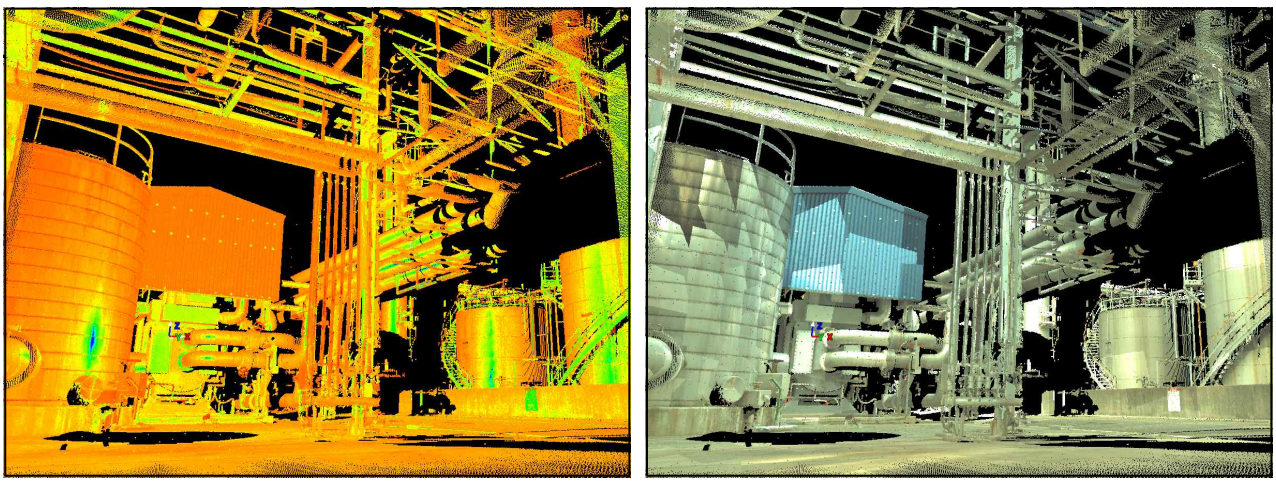
- 다음 <그림 2-2-36>은 2013년 11월 22일에 금호미쓰이화학 여수공장 구역 4에서 획득한 점군 데이터와 색상 값을 입힌 점군 데이터를 나타냄. 구역 4는 타 구역에 비해 구조체가 복잡하게 설치되어 있으며, 다수의 데빗이 설치되어 있음.



(a) (b)

<그림 2-2-36> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 4에 대한 데이터 획득 결과
(a) 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 점군 데이터 일부

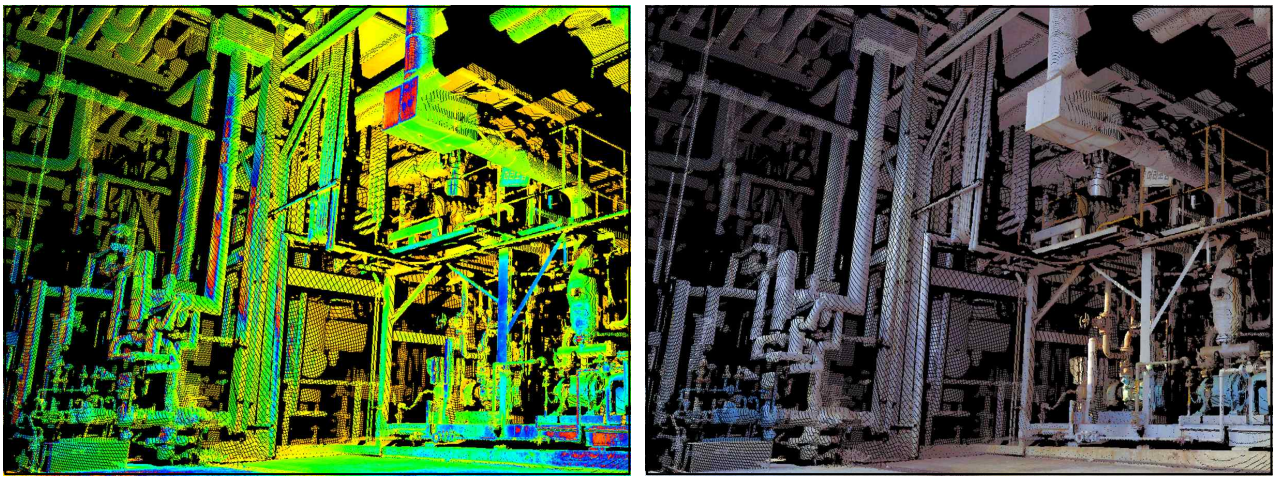
- 다음 <그림 2-2-37>은 2013년 11월 28일에 금호미쓰이화학 여수공장 구역 5에서 획득한 점군 데이터와 색상 값을 입힌 점군 데이터를 나타냄. 구역 5는 다수의 탱크가 설치되어 있으며, 탱크를 보호하기 위한 구조체가 존재함.



(a) (b)

<그림 2-2-37> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 5에 대한 데이터 획득 결과
(a) 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 점군 데이터 일부

- 다음 <그림 2-2-38>은 2013년 11월 29일부터 2014년 1월 22일까지 금호미쓰이화학 여수공장 구역 6에서 획득한 점군 데이터를 나타냄. 구역 6은 1991년 신축된 이후, 여러 차례 증축을 거쳐 내부가 복잡한 특성을 가짐.

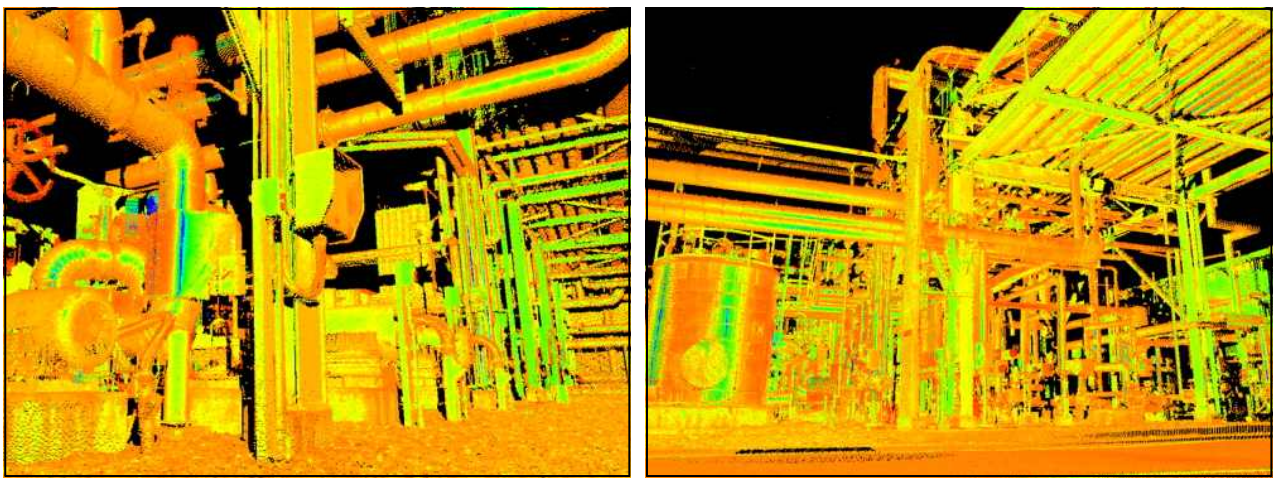


(a) (b)

<그림 2-2-38> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 6에 대한 데이터 획득 결과
(a) 점군 데이터 일부, (b) 색상 값을 입힌 점군 데이터 일부

(라) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선

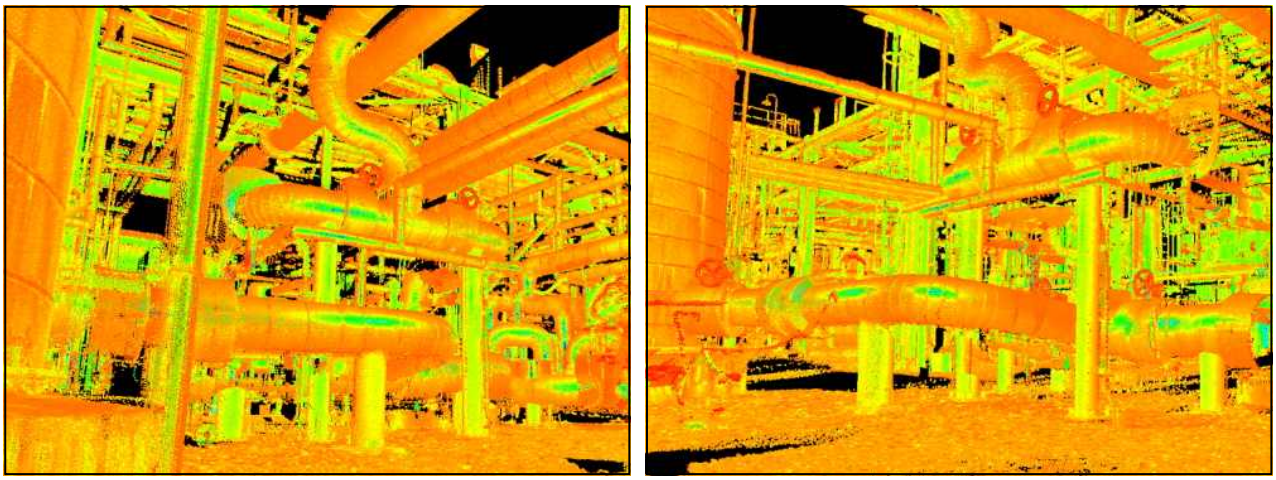
○ 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 정합 및 개선
- 다음 <그림 2-2-39>는 금호미쓰이화학 여수공장 구역 1 내에 서로 다른 48곳의 위치에서 획득한 점군 데이터에 1차년도에 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술을 적용한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-39> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 1을 대상으로 한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용 결과 (a) 방향 1, (b) 방향 2

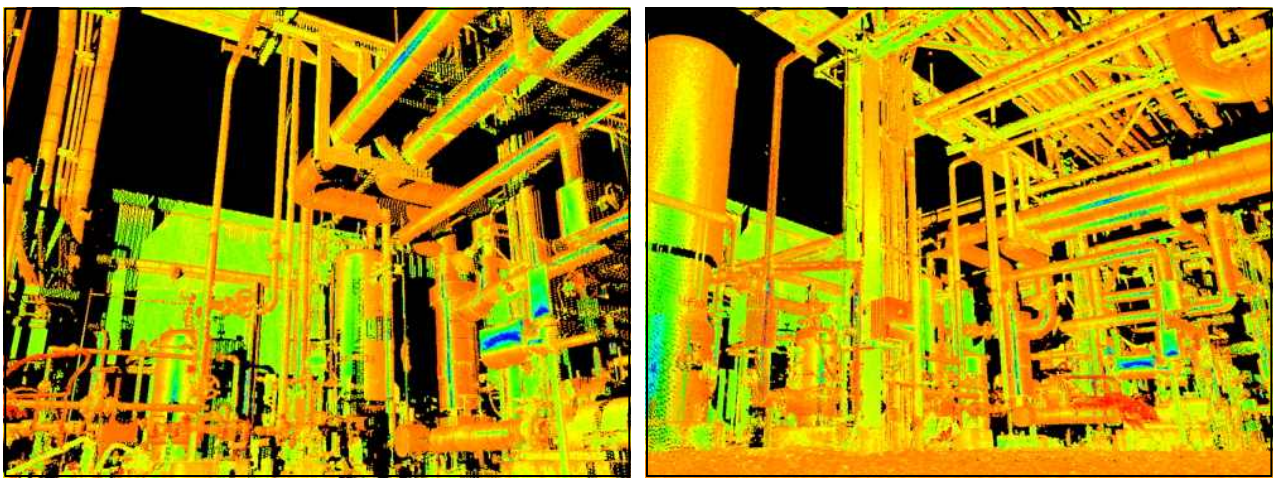
- 다음 <그림 2-2-40>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 2 내에 서로 다른 28곳의 위치에서 획득한 점군 데이터에 1차년도에 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술을 적용한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-40> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 2를 대상으로 한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용 결과 (a) 방향 1, (b) 방향 2

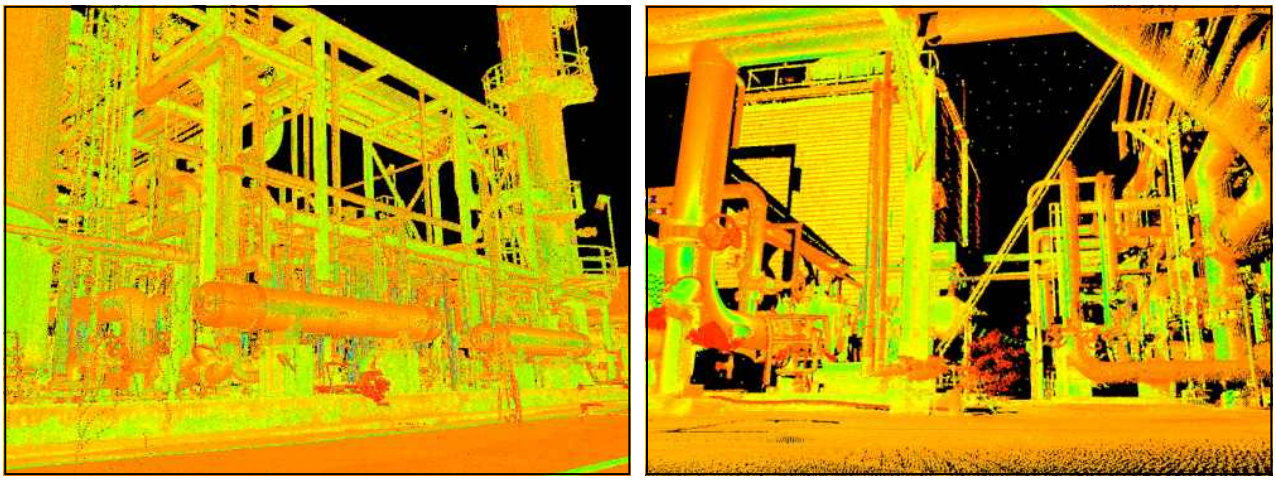
- 다음 <그림 2-2-41>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 3 내에 서로 다른 29곳의 위치에서 획득한 점군 데이터에 1차년도에 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술을 적용한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-41> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 3을 대상으로 한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용 결과 (a) 방향 1, (b) 방향 2

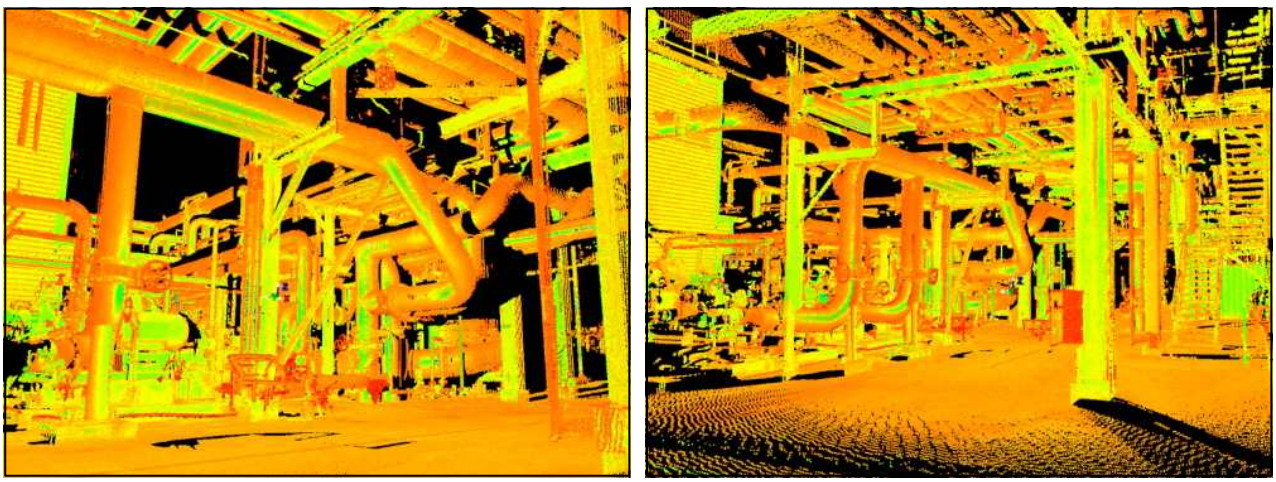
- 다음 <그림 2-2-42>는 금호미쓰이화학 여수공장 구역 4 내에 서로 다른 10곳의 위치에서 획득한 점군 데이터에 1차년도에 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술을 적용한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-42> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 4를 대상으로 한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용 결과 (a) 방향 1, (b) 방향 2

- 다음 <그림 2-2-43>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 5 내에 서로 다른 18곳의 위치에서 획득한 점군 데이터에 1차년도에 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술을 적용한 결과를 나타냄.

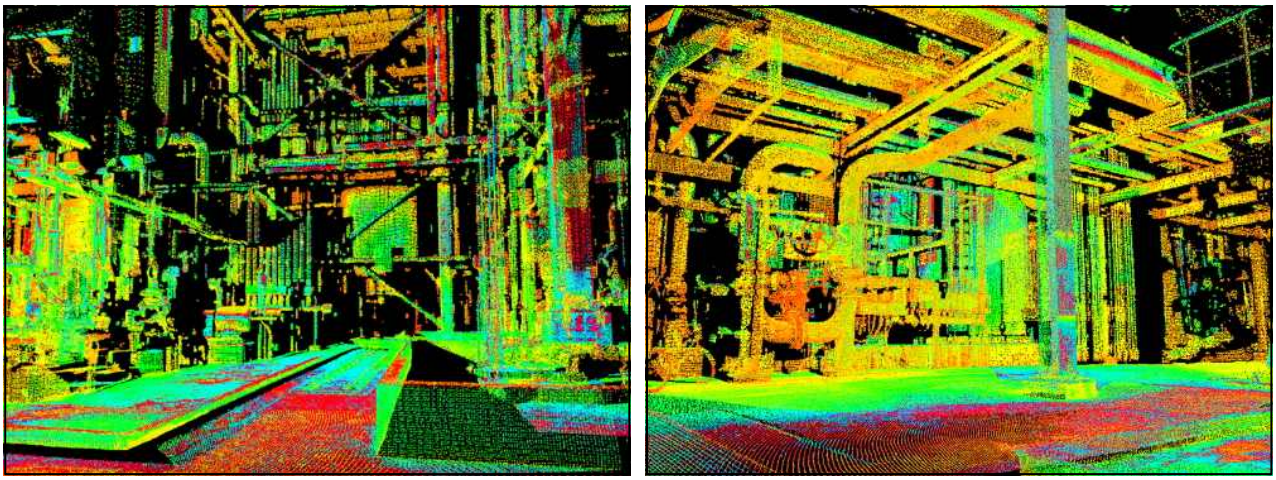


(a) (b)

<그림 2-2-43> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 5를 대상으로 한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용 결과 (a) 방향 1, (b) 방향 2

(5) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 검증 및 보완

- 다음 <그림 2-2-44>는 금호미쓰이화학 여수공장 구역 6 내에 서로 다른 240곳의 위치에서 획득한 점군 데이터에 1차년도에 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술을 적용한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-44> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 6을 대상으로 한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용 결과 (a) 방향 1, (b) 방향 2

○ 테스트베드에서 획득한 플랜트 점군 데이터에 1차년도에 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술을 적용한 결과, 개발한 기술의 실용화를 위해 실무적인 측면에서의 검토 및 보완이 필요하다고 판단함. 본 연구과제에서는 개발한 기술을 실무적 관점에서 검증하고 보완하기 위한 전략 체계를 구축함. 구축된 체계를 기반으로 2차년도 연구기간 동안 개발한 기술의 문제점과 한계점을 도출하고, 이를 개선함. 개선한 기술은 실용화를 위해 소프트웨어로 개발하였으며, 등록을 완료함.

(가) 개발한 기술의 검증 및 보완을 위한 전략 체계 구축

○ 개발한 기술의 검증 및 보완을 위한 전략 수립

- 본 연구에서 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술을 실무적인 측면에서 검토하고 보완하기 위해 해당 분야의 전문가가 자문 위원 또는 내부 연구진으로 연구과제에 참여함. 매달 개최하는 정기회의를 통해 개발한 기술의 보완 사항을 도출하고 이에 대한 실질적인 토의를 바탕으로 해결책을 제시함. 정기회의 이후 1주일 이내에 실무진회의를 개최하여 개발한 기술의 구체적인 개선 계획을 수립하고 다음 정기회의에 개선 결과를 보고함. 이와 같은 순환 구조로 개발 기술을 검토함으로써 정기회의에서 도출한 보완 사항에 대한 신속한 개선이 가능함.

○ 개발한 기술의 검증 및 보완을 위한 조직 체계 구성

- 다음 <표 2-2-29>는 개발한 기술의 검증 및 보완을 위한 조직 체계 구성을 나타냄. 개발한 기술을 알고리즘 측면에서 평가하고, 소프트웨어 개발 측면에서 보완 및 개선하기 위해 실시간 시스템 및 소프트웨어 공학 분야의 전문가인 중앙대학교 컴퓨터 공학과 소속 이찬근 교수를 자문 위원으로 위촉함. 또한 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 보완 사항과 개선 전략을 도출하기 위해 3차원 점군 데이터 처리 분야의 전문가인 중앙대학교 컴퓨터 공학과 소속 손봉수 교수가 내부 연구진으로 참여함.

<표 2-2-29> 개발한 기술의 검증 및 보완을 위한 조직 체계 구성

연구실	책임자 (소속/직급)	전문분야	업무
첨단 건설기술 연구실	김창완 (중앙대 건축학부/부교수)	▪ 건설 자동화	▪ 알고리즘 개발 ▪ 소스코드 작성
실시간 소프트웨어공학 연구실	이찬근 (중앙대 컴퓨터공학부/부교수)	▪ 실시간 시스템 ▪ 소프트웨어 공학	▪ 알고리즘 최적화 ▪ 소프트웨어 개발
가상현실 연구실	손봉수 (중앙대 컴퓨터공학부/부교수)	▪ 3차원 점군 데이터 처리	▪ 연구 방법론 ▪ 3차원 시각화

(나) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 개선사항 도출 및 기술적 보완

○ 개발한 기술의 검증 및 보완을 위한 회의 개최

- 개발한 기술의 검증 및 보완을 위해 2차년도 연구기간 동안 연구 착수회의를 시작으로 총 7회에 걸친 정기회의와 실무진회의를 개최함. 정기회의에서는 개발한 기술을 개선하기 위한 방안을 도출하였으며, 도출한 방안은 실무진회의를 통해 반영함.
- 다음 <표 2-2-30>은 연구 착수회의 일정 및 회의 안건을 요약하여 나타냄. 연구 착수회의에서는 과제 소개 및 2차년도 연구 범위, 수행 조직 및 업무 분담, 과제 추진 일정에 대해 논의함. 실무진으로 첨단 건설기술 연구실의 김창민, 손효주 박사과정과 실시간 소프트웨어공학 연구실의 김시창, 엄재철 석사과정이 참여함.

<표 2-2-30> 연구 착수회의 주요 사항

회의명	회의 일시	회의 안건	참석자	
연구 착수회의	2013년 03월 29일 11시~12시	▪ 과제 소개 및 연구 범위 ▪ 수행 조직 및 업무 분담 ▪ 과제 추진 일정	교수진	김창완, 손봉수, 이찬근
			실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철

- 다음 <표 2-2-31>은 1차 정기회의 및 실무진회의의 주요 내용과 결과를 요약하여 나타냄. 1차 정기회의에서는 참석자들의 이해를 돕기 위해 점군 데이터 정합 및 개선 프로세스를 구체적으로 설명함. 1차 정기회의의 주요 현안으로는 개발한 기술을 실무에 효과적으로 적용할 수 있는 그래픽 사용자 인터페이스의 필요성이 논의됨. 그래픽 사용자 인터페이스를 구현하기 위해 QT 플랫폼을 활용하는 것으로 결정함.

- QT 플랫폼은 둘 이상의 플랫폼에서 실행할 수 있는 크로스 플랫폼을 지원하기 때문에, QT 플랫폼을 기반으로 구축한 그래픽 사용자 인터페이스는 단일한 소스코드를 활용하여 Windows, Mac OS X 등 다양한 환경에서 실행 가능함. 이와 같이 QT 플랫폼을 활용할 경우 다양한 사용자 환경의 고려가 가능함으로써 실용화 측면에서 타 플랫폼보다 유리할 것으로 기대함.

<표 2-2-31> 1차 정기회의 및 실무진회의 주요 사항

회의명	회의 일시	회의 안건	참석자	
1차 정기회의	2013년 05월 01일 11시~12시	▪ 데이터 분석 프로세스 설명 ▪ 주요 현안 논의 ▪ 수행 조직 및 업무 분담	교수진	김창완, 손봉수, 이찬근
			실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철
1차 실무진회의	2013년 05월 03일 15시~16시	▪ 소스코드 인수인계 ▪ 그래픽 사용자 인터페이스 설계 ▪ 과제 추진 일정	실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철

- 다음 <표 2-2-32>는 2차 정기회의 및 실무진회의의 주요 내용과 결과를 요약하여 나타냄. 2차 정기회의에서는 그래픽 사용자 인터페이스에 대한 평가와 함께 점군 데이터 처리 속도에 대해 논의함. 그래픽 사용자 인터페이스는 사용자의 편의를 위해 기능 수행 메뉴를 메인 화면에 배치하는 것으로 수정함. 점군 데이터의 처리 속도를 늦추는 원인으로 점군 데이터를 메인 화면에 출력하는 프로세스가 지적됨에 따라 리샘플링 된 점군 데이터를 메인 화면에 출력하는 방법을 논의함. 이를 위해 임의로 특정 개수의 점군 데이터를 선정하여 빠르게 리샘플링하여 출력하는 것으로 결정함.

<표 2-2-32> 2차 정기회의 및 실무진회의 주요 사항

회의명	회의 일시	회의 안건	참석자	
2차 정기회의	2013년 05월 08일 11시~12시	▪ 그래픽 사용자 인터페이스 평가 ▪ 주요 현안 논의 ▪ 과제 추진 일정	교수진	김창완, 손봉수, 이찬근
			실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철
2차 실무진회의	2013년 05월 15일 15시~16시	▪ 실행파일 오류 수정 ▪ 플랜트 점군 데이터 그래픽 출력 속도 개선 ▪ 그래픽 사용자 인터페이스 개선	실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철

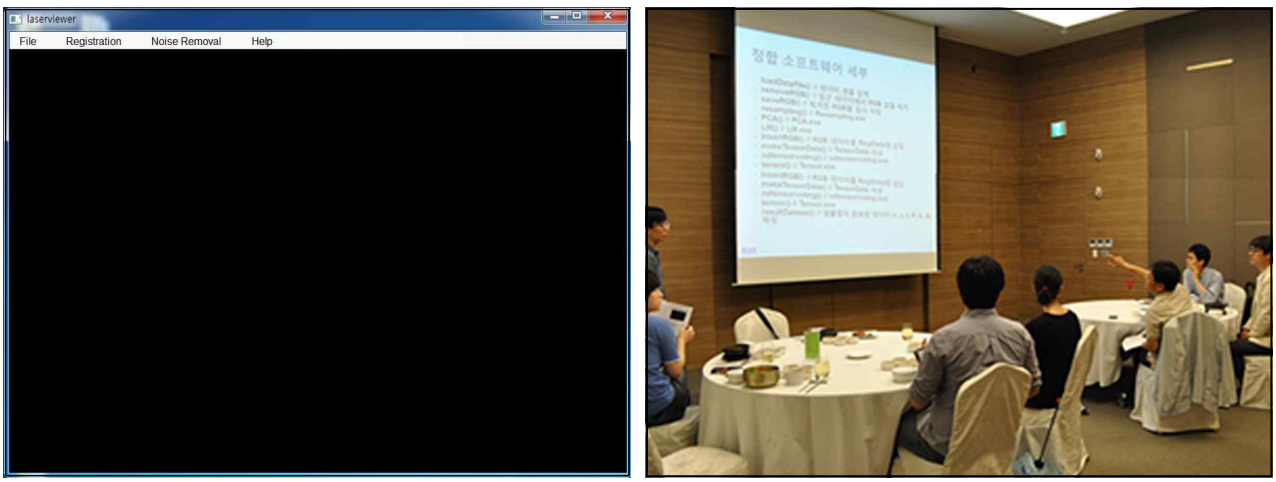
- 다음 <표 2-2-33>은 3차 정기회의 및 실무진회의의 주요 내용과 결과를 요약하여 나타냄. 3차 정기회의에서는 개선한 그래픽 사용자 인터페이스에 대한 평가와 함께 점군 데이터의 출력 속도 향상에 대해 논의함.

- 구현된 그래픽 사용자 인터페이스는 대부분의 점군 데이터 처리 소프트웨어와 유사하나, 사용자의 편의를 추가적으로 고려하여 기능 수행을 위한 메뉴 위치의 변경에 대해 논의함. 데이터 출력 속도 개선의 경우, 임의로 특정 개수의 점군 데이터를 선정하는 방법으로는 균일한 밀도의 점군 데이터 출력이 불가능함에 따라 이를 개선하기 위한 방법으로 전체 데이터의 밀도를 균일하게 출력하기 위한 리샘플링 방법에 대해 논의함. 마지막으로 3차 실무진회의에서는 소스코드의 라이브러리를 소프트웨어에 탑재하기 위한 방안에 대해 논의함.

<표 2-2-33> 3차 정기회의 및 실무진회의 주요 사항

회의명	회의 일시	회의 안건	참석자	
3차 정기회의	2013년 06월 12일 11시~13시	▪ 그래픽 사용자 인터페이스 평가 ▪ 시스템 환경 설정 ▪ 주요 현안 논의	교수진	김창완, 손봉수, 이찬근
			실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철
3차 실무진회의	2013년 06월 19일 17시~18시	▪ 데이터 리샘플링 방법 개선 ▪ 그래픽 사용자 인터페이스 개선 ▪ 소스코드 라이브러리 해결	실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철

- 다음 <그림 2-2-45>는 2013년 06월 12일에 개최된 3차 정기회의에서 발표한 1차 그래픽 사용자 인터페이스와 회의 사진을 나타냄. <그림 2-2-45(a)>는 개선한 그래픽 사용자 인터페이스를 나타냄. 사용자가 수행하고자 하는 기능을 상단 옵션에서 선택하면 해당 기능이 수행되도록 구현함. <그림 2-2-45(b)>와 같이 참여한 교수님들과 실무자들 간에 소프트웨어 개선을 위한 논의가 활발히 이루어짐.



(a) (b)

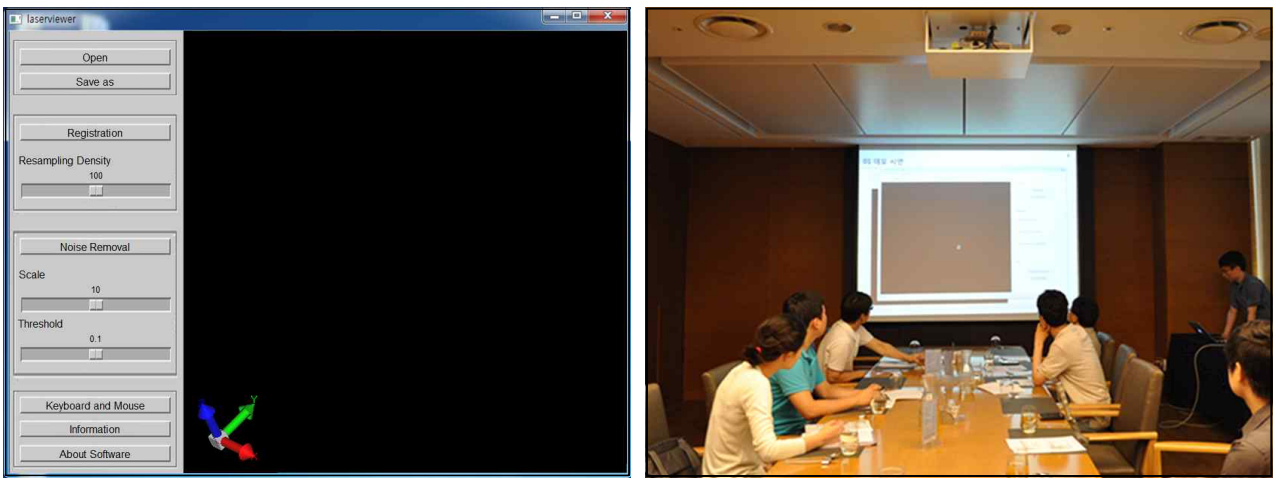
<그림 2-2-45> 3차 정기회의 (a) 1차 그래픽 사용자 인터페이스, (b) 회의 사진

- 다음 <표 2-2-34>는 4차 정기회의 및 실무진회의의 주요 내용과 결과를 요약하여 나타냄. 4차 정기회의에서는 자동화된 플랜트 데이터 정합 및 개선 소프트웨어에 대한 데모를 시연 하였으며 데이터 처리 속도 향상을 위한 방법을 논의함.

<표 2-2-34> 4차 정기회의 및 실무진회의 주요 사항

회의명	회의 일시	회의 안건	참석자	
4차 정기회의	2013년 07월 11일 11시~13시	▪ 시스템 데모 시연 ▪ 주요 현안 논의 ▪ 그래픽 사용자 인터페이스 ▪ 과제 추진 일정	교수진	김창완, 손봉수, 이찬근
			실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철
4차 실무진회의	2013년 07월 18일 16시~18시	▪ 데이터 입출력 속도 향상을 위한 데이터 이진화 ▪ 메모리 할당 수정	실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철

- <그림 2-2-46(a)>는 시연한 소프트웨어의 그래픽 사용자 인터페이스를 나타냄. 기존 3차 정기회의까지 구현된 그래픽 사용자 인터페이스와 다르게 사용자의 편리를 위해 기능 수행을 위한 버튼을 메인 화면에 포함시킴. 일부 디자인적인 요소에 대한 개선이 필요하다는 의견이 제기됨. 점군 데이터 처리 속도를 저하시키는 요인으로 십진법으로 수행되던 데이터 입출력과 메모리 할당 문제에 대해 논의함. 컴퓨터는 이진법으로 데이터를 처리하기 때문에, 점군 데이터를 이진화해 입출력 할 경우 십진법의 점군 데이터를 이진법으로 변경할 필요가 없어 점군 데이터 처리 속도 향상이 기대됨. 또한 점군 데이터를 시각화할 때 리샘플링된 점군 데이터를 메모리에 할당하여 시각화에 필요한 시간 단축이 가능함. 이와 같은 개선 사항은 4차 실무진회의에서 반영함. <그림 2-2-46(b)>는 2013년 07월 11일에 개최한 4차 정기회의 사진을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-46> 4차 정기회의 (a) 2차 그래픽 사용자 인터페이스, (b) 회의 사진

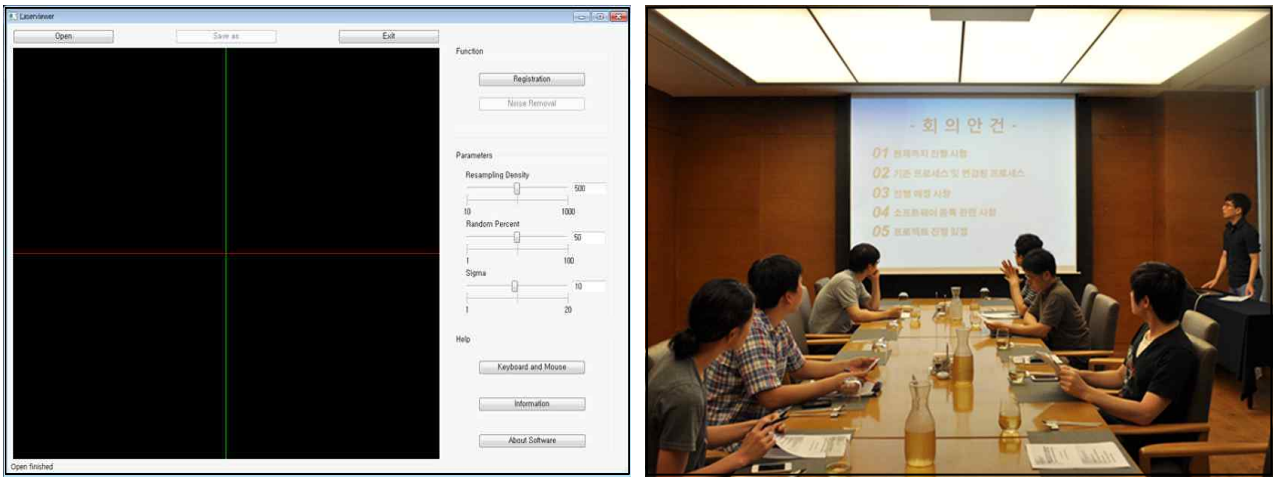
- 다음 <표 2-2-35>는 5차 정기회의 및 실무진회의의 주요 내용과 결과를 요약하여 나타냄. 5차 정기회의에서는 개선한 소프트웨어의 데이터 처리 속도를 평가함. 점군 데이터 이진화와 메모리 할당 문제를 해결함에 따라, 기존 방법과 비교할 때 데이터 처리 속도가 5배 이상 향상됨. 그러나 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터의 개수가 억 단위를 상회하는 것을 고려할 때 실무에서 활용되기 위해서는 점군 데이터 처리 속도를 더욱 개선할 필요가 있음.

- 이에 따라 데이터 처리 속도를 개선하기 위한 방안으로 데이터 처리 프로세스 최적화 및 소스코드 통합 방법에 대해 논의함. 5차 실무진회의에서는 다수의 소스코드가 개별 수행하는 프로세스를 하나의 소스코드로 통합하기 위한 방법을 논의하고 역할을 분담함. 역할 분담 결과, 첨단 건설기술 연구실에서는 기존에 존재하는 다수의 소스코드를 하나로 통합하고, 실시간 소프트웨어공학 연구실에서는 통합된 소스코드를 QT로 구현하는 것으로 결정함.

<표 2-2-35> 5차 정기회의 및 실무진회의 주요 사항

회의명	회의 일시	회의 안건	참석자	
5차 정기회의	2013년 08월 19일 11시~13시	▪ 소프트웨어 개발 상황 보고 ▪ 프로세스 최적화 결과 보고 ▪ 소프트웨어 등록 상황 보고 ▪ 과제 추진 일정	교수진	김창완, 손봉수, 이찬근
			실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철
5차 실무진회의	2013년 08월 27일 16시~18시	▪ 데이터 처리 프로세스 최적화 ▪ 소스코드 통합	실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철

- 다음 <그림 2-2-47>은 2013년 08월 19일에 개최한 5차 정기회의에서 시연한 소프트웨어의 3차 그래픽 사용자 인터페이스와 회의 사진을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-47> 5차 정기회의 (a) 3차 그래픽 사용자 인터페이스, (b) 회의 사진

- 다음 <표 2-2-36>은 6차 정기회의 및 실무진회의의 주요 내용과 결과를 요약하여 나타냄. 6차 정기회의에서는 개발한 소프트웨어 시연과 함께 5차 실무진회의 이후 개선된 데이터 처리 속도를 평가함. 초기 소프트웨어와 비교할 때 데이터 처리 속도가 20배 이상 개선된 것을 확인함. 마지막으로 그래픽 사용자 인터페이스에 아이콘을 추가하는 방안이 제안됨에 따라 6차 실무진회의에서는 그래픽 사용자 인터페이스 개선 방법에 대해 최종적으로 논의함.

<표 2-2-36> 6차 정기회의 및 실무진회의 주요 사항

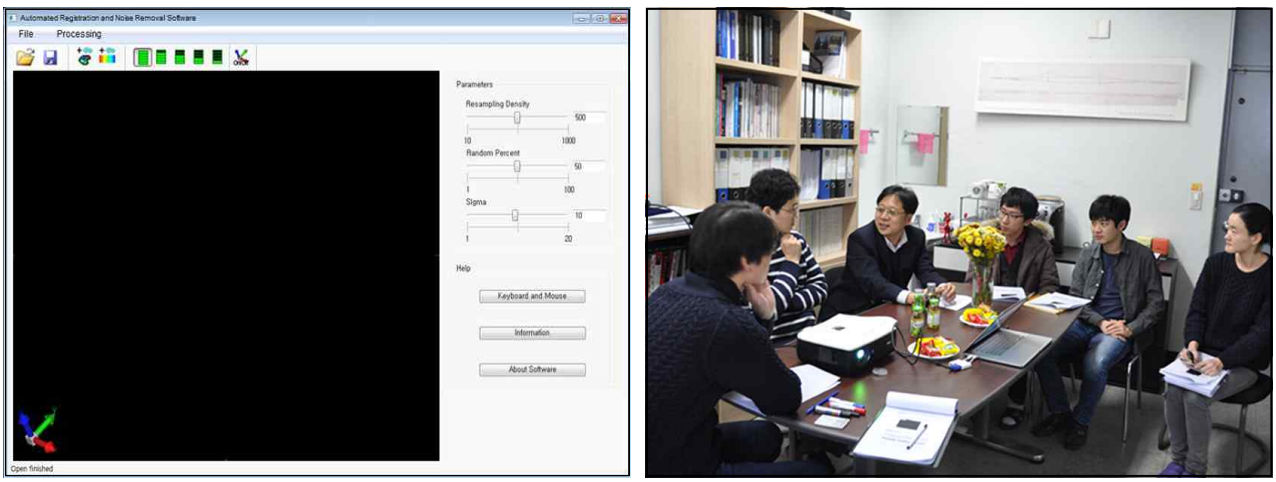
회의명	회의 일시	회의 안건	참석자	
6차 정기회의	2013년 10월 15일 11시~13시	▪ 시스템 개선 사항 보고 ▪ 시스템 시연 ▪ 하반기 예정사항 보고 ▪ 과제 추진 일정	교수진	김창완, 손봉수, 이찬근
			실무진	김시창, 김창민, 손효주, 엄재철
6차 실무진회의	2013년 10월 22일 16시~18시	▪ 그래픽 사용자 인터페이스 ▪ 하반기 일정	실무진	김밀한, 김시창, 김창민, 손효주, 엄재철

- 다음 <표 2-2-37>은 7차 정기회의 및 실무진회의의 주요 내용과 결과를 요약하여 나타냄. 7차 정기회의에서는 개발한 소프트웨어의 등록 결과 보고가 이루어짐. 지속적인 회의를 통해 2차년도 핵심성과인 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템을 성공적으로 개발 완료함.

<표 2-2-37> 7차 정기회의 및 실무진회의 주요 사항

회의명	회의 일시	회의 안건	참석자	
7차 정기회의	2013년 12월 13일 14시~15시	▪ 소프트웨어 등록 결과 보고 ▪ 과제 추진 일정	교수진	김창완, 손봉수, 이찬근
			실무진	김밀한, 김정민, 김창민 손효주
7차 실무진회의	2013년 12월 23일 16시~18시	▪ 소프트웨어 개발 관련 협의 ▪ 하반기 일정	실무진	김밀한, 김정민, 김창민, 손효주

- 다음 <그림 2-2-48>은 2013년 12월 13일에 개최한 7차 정기회의에서 시연한 소프트웨어의 그래픽 사용자 인터페이스와 회의 사진을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-48> 7차 정기회의 (a) 최종 그래픽 사용자 인터페이스, (b) 회의 사진

(다) 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템 개발 및 등록

○ 소프트웨어 개발 범위

- 다음 <표 2-2-38>은 소프트웨어의 개발 범위를 나타냄. 소프트웨어의 개발 범위는 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선이며, 사용자의 편의를 고려한 그래픽 사용자 인터페이스를 포함하도록 설계함.

<표 2-2-38> 소프트웨어 개발 범위 정의

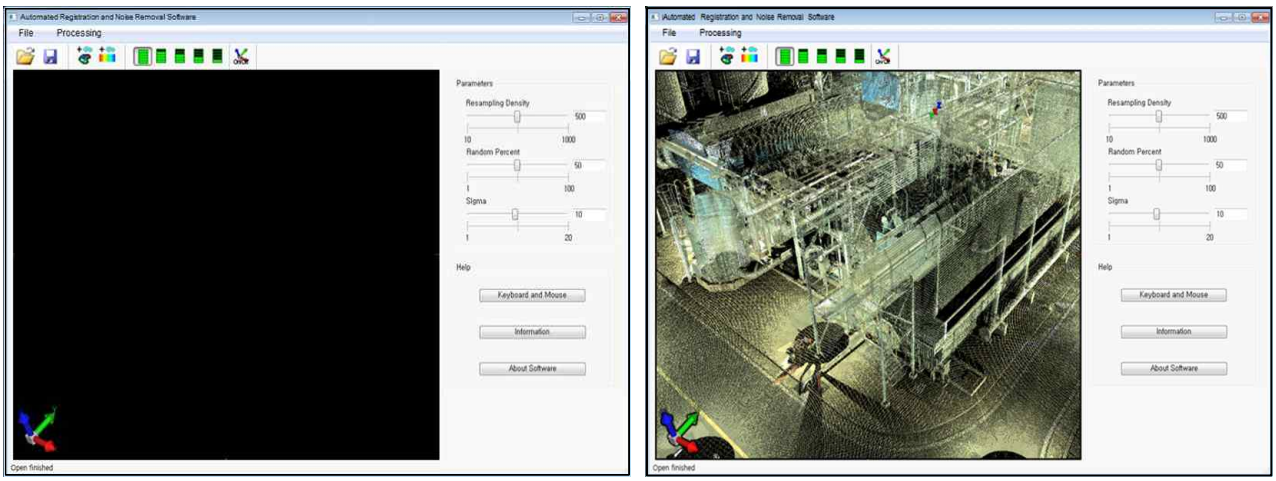
소프트웨어 명칭	개발 범위
플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	▪ 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터 간의 자동화된 정합 ▪ 이상치 제거를 통한 정합된 점군 데이터 개선 ▪ 개선된 점군 데이터 시각화

- 다음 <표 2-2-39>는 등록한 소프트웨어의 개요를 나타냄. 등록한 소프트웨어의 정식 명칭은 "플랜트로부터 획득한 점군 데이터의 자동화된 정합 및 이상치 제거 프로그램"임. 이는 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터 간의 자동화된 정합, 이상치 제거를 통한 정합된 점군 데이터 개선, 개선된 점군 데이터 시각화 기능을 제공함. 등록한 소프트웨어는 Microsoft Windows 7에서 QT 플랫폼을 기반으로 개발함.

<표 2-2-39> 등록한 소프트웨어의 개요

구분	내용
프로그램 명칭	▪ 플랜트로부터 획득한 점군 데이터의 자동화된 정합 및 이상치 제거 프로그램
프로그램의 특징	▪ 플랜트의 3차원 As-Built 모델 구축 시 필요한 자동화된 점군 데이터의 정합 및 이상치 제거 기능을 제공 ▪ 데이터 리샘플링 프로세스를 포함함으로써 고밀도 점군 데이터 간의 신속한 정합이 가능 ▪ 초기 정합과 최종 정합의 두 단계를 통해 점군 데이터의 정확한 정합 결과 제공 ▪ 정합된 점군 데이터로부터 자동으로 이상치 제거 가능 ▪ 정합 및 이상치 제거된 데이터의 시각화 및 저장을 지원하는 인터페이스를 제공
발명의 효과	▪ 점군 데이터 정합 기능 ▪ 점군 데이터 이상치 제거 기능 ▪ 점군 데이터 시각화 기능 ▪ 정합 및 이상치 제거된 점군 데이터 저장 기능
사용방법	레이저 스캐너로 획득한 점군 데이터 중 사용자가 정합을 원하는 점군 데이터를 선정한 후, 원하는 기능을 클릭하여 수행
사용OS	Microsoft Windows 7
사용언어	Matlab, QT

- 다음 <그림 2-2-49>는 등록한 소프트웨어의 그래픽 사용자 인터페이스를 나타냄. 사용자는 File과 Process 메뉴의 선택이 가능함. File 메뉴에서는 정합 및 개선을 위한 점군 데이터를 불러올 수 있고, 정합 및 개선된 점군 데이터를 저장할 수 있음. Process 메뉴에서는 불러온 점군 데이터를 정합 및 개선할 수 있음. 점군 데이터의 정합 및 개선을 위한 변수는 최적화된 값으로 기본 설정되어 있으며, 스크롤바를 드래그하거나 값을 입력하는 기능을 제공하여 사용자가 원하는 값으로 쉽게 변경할 수 있도록 설계함.
- 주요 기능은 메뉴 하단 아이콘으로 표현하여 사용자가 점군 데이터를 불러오거나 처리할 수 있도록 설계함. <그림 2-2-49(b)>는 개발한 소프트웨어를 활용하여 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터를 정합하고 개선한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-49> 등록한 소프트웨어 그래픽 사용자 인터페이스 (a) 메인 화면, (b) 플랜트 시설에서 획득한 데이터 정합 및 개선 결과

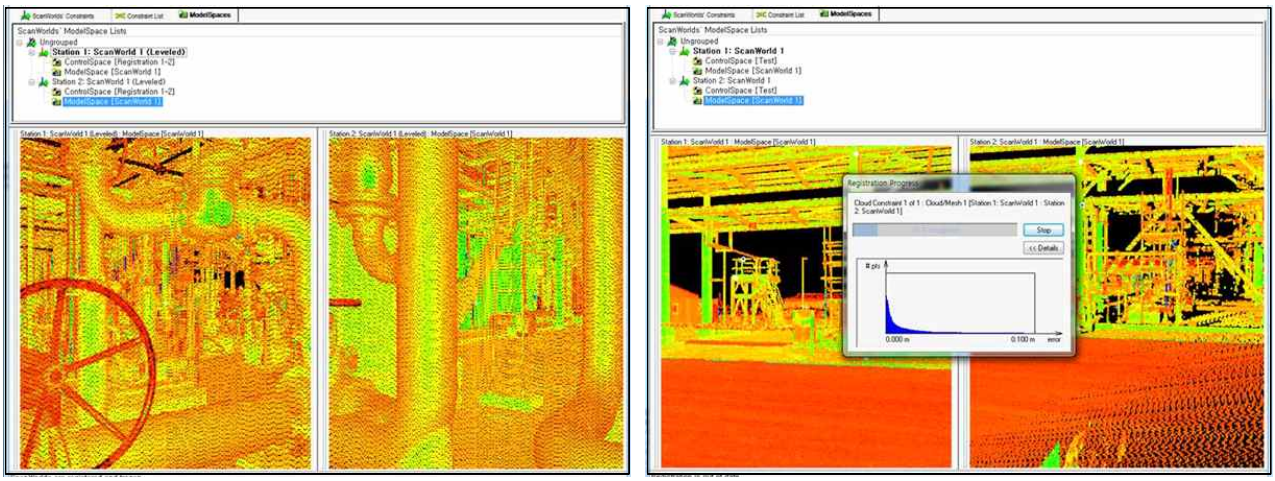
○ 기존 상용 소프트웨어와의 차별성

- 3차원 점군 데이터 전처리 소프트웨어는 대표적인 레이저 스캐너 개발 업체인 FARO사, Leica Geosystems사, Topcon Positioning Systems사, Trimble사, Riegl사 등에서 개발하여 제공하고 있으며, 각 소프트웨어 내의 3차원 점군 데이터 정합 기능에 대한 분석 결과는 <표 2-2-40>에 요약함.
- 실무에서 활용하고 있는 3차원 점군 데이터 전처리 소프트웨어의 점군 데이터 정합 기능은 두 쌍의 점군 데이터에서 사용자가 수동으로 최소 3개 이상의 공통된 포인트를 선정하는 비효율적인 프로세스를 필요로 함. 일부 소프트웨어에서는 마커 또는 GPS (Global Positioning System)과 같은 추가적인 센서를 필요로 하나, GPS는 최소 10m에서 최대 30m의 오차를 가지기 때문에 mm 단위의 정밀도를 요구하는 플랜트 점군 데이터 정합에는 적합하지 않음.

<표 2-2-40> 기존 상용 소프트웨어에서 제공하는 점군 데이터 정합 기능

업체명 소프트웨어	최신버전 업데이트 날짜	정합 방법
RIEGL사	v1.78	GPS (Global Positioning System)과 같은 센서로부터 얻은 획득 위치 정보를 활용하여 정합 수행
RiSCAN PRO	2013년 06월	
Trimble사	v8.00	스캔 대상 주변에 체크 보드를 설치한 후, 정합 시 체크 보드를 수동으로 선택하여 정합 수행
RealWorks	2013년 06월	
Topcon Positioning Systems사	v2.70	스캔 대상 주변에 마커를 설치한 후, 정합 시 마커를 수동으로 선택하여 정합 수행
ScanMaster	2012년 09월	
Leica Geosystems사	v8.11	정합하고자 하는 두 데이터에서 공통된 3개 이상의 포인트를 수동으로 선정한 후 정합
Cyclone	2013년 10월	
FARO사	v5.23	스캔 대상 주변에 마커를 설치한 후, 정합 시 마커를 수동으로 선택하여 정합 수행
SCENE	2014년 01월	

- 다음 <그림 2-2-50>은 Leica Geosystems사의 Cyclone에서 지원하는 점군 데이터 정합 기능을 나타냄. <그림 2-2-50(a)>와 같이 정합을 위해서는 서로 다른 위치에서 획득한 점군 데이터 내에 공통으로 나타나는 영역에서 3개 이상의 포인트를 수동으로 선정하는 과정이 요구됨. 3개 이상의 포인트를 수동으로 선정하고 나면, <그림 2-2-50(b)>와 같이 정합 에러 최소화를 통해 점군 데이터 간의 정합이 수행됨. <그림 2-2-50(a)>에서 보이는 바와 같이 서로 다른 위치에서 획득한 점군 데이터 내에서 공통된 포인트를 수동으로 선정하는 작업은 시간이 오래 걸릴 뿐만 아니라 오차가 발생할 가능성이 높음. 또한 획득한 점군 데이터 각각에 대해서 이와 같은 수작업을 계속 반복해야 하므로, 비효율적일 뿐만 아니라 고비용과 장시간이 소요됨.



(a) (b)

<그림 2-2-50> Leica Geosystems사의 Cyclone에서 지원하는 점군 데이터 정합 기능
(a) 점군 데이터 정합을 위한 화면, (b) 정합 에러 최소화 화면

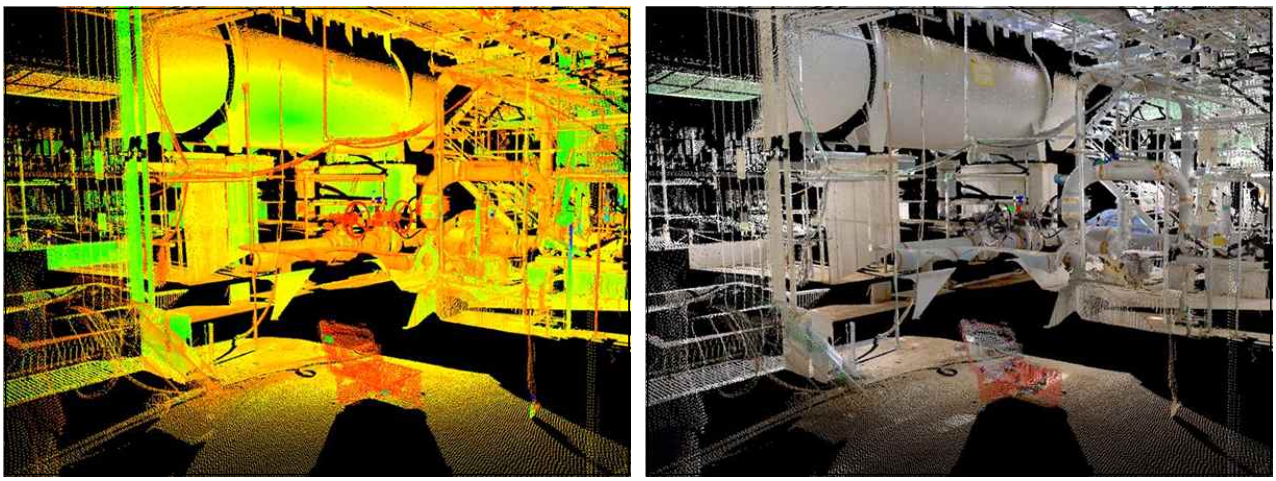
- 본 연구를 통해 2차년도의 핵심성과 최종성과물로 소프트웨어 등록을 완료한 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템은 모든 프로세스를 자동으로 수행하여 대규모의 3차원 점군 데이터의 빠르고 정확한 정합 및 개선이 가능하다는 장점이 있음.

(6) 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 기술의 현장적용성 평가

○ 개발한 기술의 현장적용성을 분석하고 평가하기 위해서는 다양한 특성을 가진 테스트베드를 대상으로 한 적용 결과 도출이 필수적임. 본 연구과제에서는 이를 위해 1차년도에 선정한 시공 중인 플랜트와 2차년도에 선정한 운영 중인 플랜트에서 획득한 점군 데이터를 대상으로 기술 적용 결과를 도출함. 적용 결과를 바탕으로 3차원 As-Built 플랜트 모델 구축 용역 업체 직원과 구축된 모델을 실무에서 활용하는 플랜트 전문가를 대상으로 방문 설문조사를 통해 기술적 타당성 분석 및 평가를 수행함.

(가) 테스트베드 적용 계획 수립

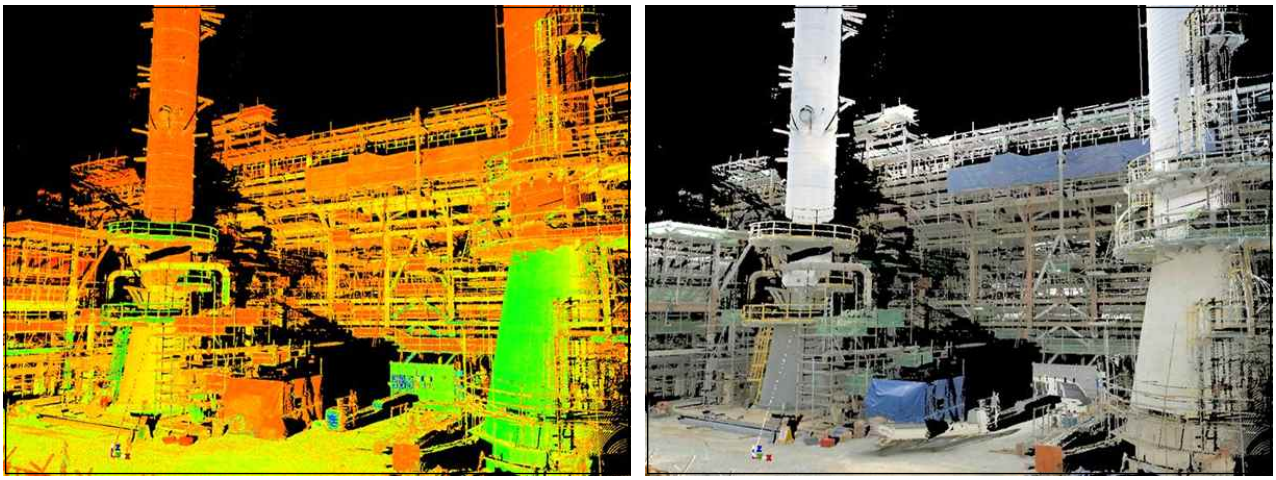
○ 개발한 데이터 정합 및 개선 기술의 적용 대상 선정
- 개발한 기술의 현장 적용 결과를 평가하기 위한 설문 조사를 위해 1) 시공 중인 플랜트 현장 (LG화학 CA/EDC 현장과 LG화학 VGOFCC 현장), 2) 운영 중인 플랜트 (금호미쓰이화학 여수공장)에서 획득한 점군 데이터에 개발한 기술을 적용함. 다음 <그림 2-2-51>은 LG화학 CA/EDC 현장에서 획득한 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-51> LG화학 CA/EDC 현장에 대한 3차원 점군 데이터 획득 결과
(a) 점군 데이터, (b) 색상 값을 입힌 점군 데이터

- 다음 <그림 2-2-52>는 LG화학 VGOFCC 현장에서 획득한 점군 데이터와 색상 값을 입힌 점군 데이터를 나타냄.



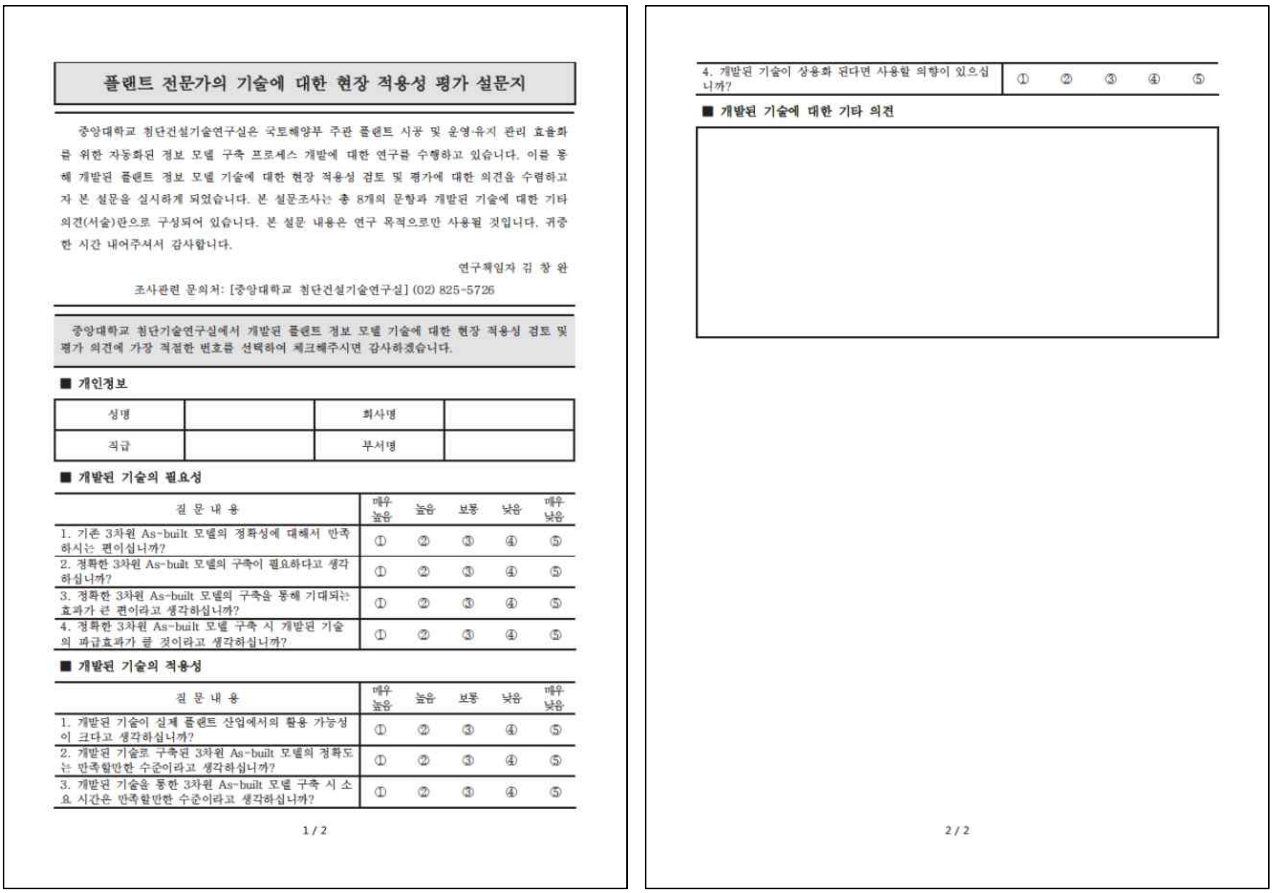
(a) (b)

<그림 2-2-52> LG화학 VGOFCC 현장에 대한 3차원 점군 데이터 획득 결과
(a) 점군 데이터, (b) 색상 값을 입힌 점군 데이터

(나) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 현장적용성 평가 계획 수립

○ 개발한 기술의 현장적용성 평가 목적
- 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 성능과 현장적용성을 평가하기 위해 플랜트 전문가를 대상을 설문조사를 실시함.

○ 개발한 기술의 현장적용성을 평가하기 위한 설문 대상 및 방법
- 개발한 기술의 현장적용성을 평가하기 위한 설문은 정확한 평가가 될 수 있도록 직접 플랜트 전문가를 방문하여 각 문항에 대해 답변을 받는 면대면 설문 방식으로 실시함. 다음 <그림 2-2-53>은 개발한 기술의 현장 적용 결과를 평가하기 해 작성한 설문지를 나타냄. 현장 적용 결과 평가를 위한 설문은 개발한 기술의 필요성, 개발한 기술의 현장적용성, 개발한 기술에 대한 기타 의견으로 구성됨. 개발한 기술의 필요성에는 정확한 3차원 As-Built 모델 구축의 필요성에 대한 문항으로 구성되어 있으며, 개발한 기술의 현장적용성 항목은 2차년도에 개발한 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 현장적용성을 평가하기 위한 문항으로 구성됨.



플랜트 전문가의 기술에 대한 현장 적용성 평가 설문지

중앙대학교 첨단건설기술연구실은 국토해양부 주관 플랜트 시공 및 운영·유지 관리 효율화를 위한 자동화된 정보 모델 구축 프로세스 개발에 대한 연구를 수행하고 있습니다. 이를 통해 개발된 플랜트 정보 모델 기술에 대한 현장 적용성 검토 및 평가에 대한 의견을 수렴하고자 본 설문을 실시하게 되었습니다. 본 설문조사는 총 8개의 문항과 개발된 기술에 대한 기타 의견(서술)란으로 구성되어 있습니다. 본 설문 내용은 연구 목적으로만 사용될 것입니다. 귀중한 시간 내어주셔서 감사합니다.

연구책임자 김 창 완

조사관련 문의처: [중앙대학교 첨단건설기술연구실] (02) 825-5726

중앙대학교 첨단기술연구실에서 개발된 플랜트 정보 모델 기술에 대한 현장 적용성 검토 및 평가 의견에 가장 적절한 번호를 선택하여 체크해주시면 감사하겠습니다.

■ 개인정보

성명		회사명	
직급		부서명	

■ 개발된 기술의 필요성

질 문 내 용	매우 높음	높음	보통	낮음	매우 낮음
1. 기존 3차원 As-built 모델의 정확성에 대해서 만족하시는 편이십니까?	①	②	③	④	⑤
2. 정확한 3차원 As-built 모델의 구축이 필요하다고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤
3. 정확한 3차원 As-built 모델의 구축을 통해 기대되는 효과가 큰 편이라고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤
4. 정확한 3차원 As-built 모델 구축 시 개발된 기술의 파급효과가 클 것이라고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤

■ 개발된 기술의 적용성

질 문 내 용	매우 높음	높음	보통	낮음	매우 낮음
1. 개발된 기술이 실제 플랜트 산업에서의 활용 가능성이 크다고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤
2. 개발된 기술로 구축된 3차원 As-built 모델의 정확도는 만족할만한 수준이라고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤
3. 개발된 기술을 통한 3차원 As-built 모델 구축 시 소요 시간은 만족할만한 수준이라고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤

1 / 2

4. 개발된 기술이 상용화 된다면 사용할 의향이 있으십니까? ① ② ③ ④ ⑤

■ 개발된 기술에 대한 기타 의견

2 / 2

(a) (b)

<그림 2-2-53> 개발한 기술의 현장적용성 평가를 위한 설문지 (a) 첫 번째 페이지, (b) 두 번째 페이지

- 설문 조사를 위해 직접 플랜트 시설에서 점군 데이터를 획득하고 정합 및 개선 작업을 수행하는 3차원 As-Built 플랜트 모델 구축 용역 업체와 최종 결과물인 플랜트 정보 모델을 플랜트 운영·유지 관리 단계에서 활용하는 발주처를 설문 대상으로 선정함. 3차원 As-Built 플랜트 모델 구축 용역 업체로는 위프코(주), (주)코세코, 하이테크를 선정하였으며, 발주처로 폴리미래, LG화학, 금호미쓰이화학을 선정함. 6개의 업체에 소속된 총 10명의 플랜트 전문가를 선정함. 다음 <표 2-2-41>는 설문 대상자에 대한 소속 및 직급을 나타냄.

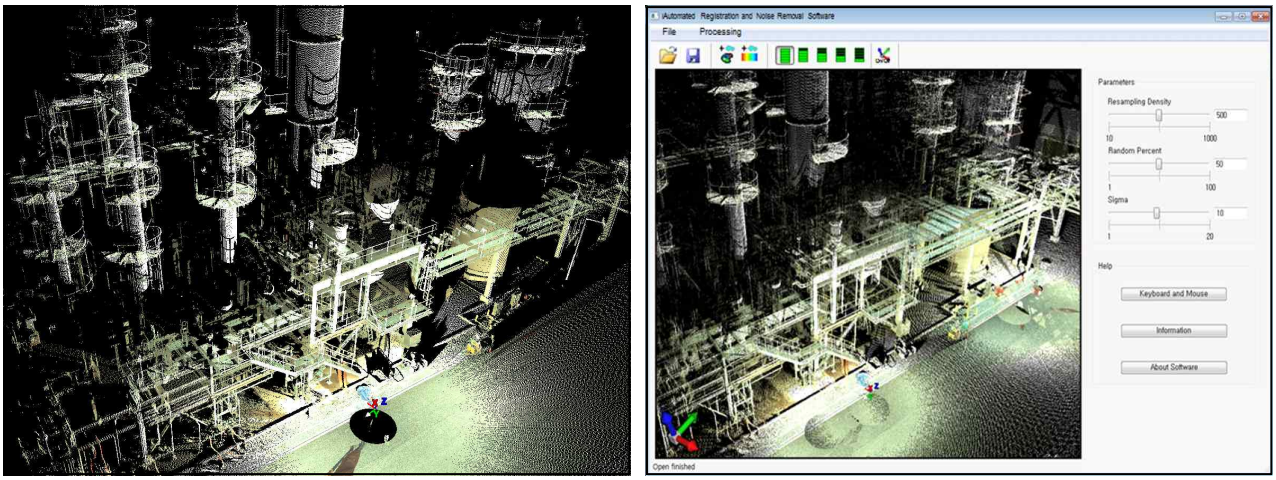
<표 2-2-41> 개발한 기술의 현장적용성 평가를 위한 설문 대상자

이름	소속/직급	이름	소속/직급
홍수표	폴리미래/주임	위정환	폴리미래/부장
장정훈	LG화학/부장	박정훈	하이테크/부장
김원휘	하이테크/대리	이혁	금호미쓰이화학/부장
김시로	위프코(주)/실장	정진언	위프코(주)/대리
김비오	위프코(주)/대리	황주현	(주)코세코/대리

(다) 해당 기술의 테스트베드 적용 및 현장적용성 평가

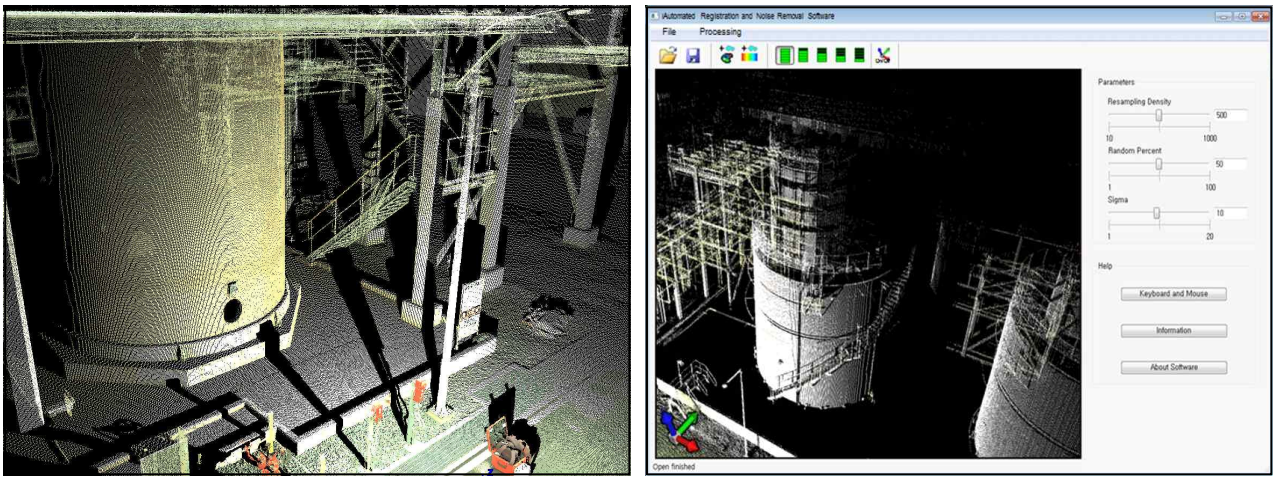
○ 테스트베드 및 현장 적용 결과

- 다음 <그림 2-2-54>~<그림 2-2-56>은 LG화학 CA/EDC 현장, LG화학 VGOFCC 현장, 금호미쓰이화학 여수공장을 대상으로 개발한 점군 데이터 정합 및 개선 기술을 적용한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-2-54> LG화학 CA/EDC 현장 (a) 점군 데이터, (b) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용 결과



(a) (b)

<그림 2-2-55> LG화학 VGOFCC 현장 (a) 점군 데이터, (b) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용 결과



(a) (b)

<그림 2-2-56> 금호미쓰이화학 여수공장 (a) 점군 데이터, (b) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용 결과

○ 개발한 기술의 현장적용성을 평가하기 위한 설문 결과 요약

- 다음 <표 2-2-42>은 대상자별 설문 결과를 요약하여 나타냄. 각 항목의 평균 점수에 따르면 설문에 참여한 플랜트 전문가들은 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 활용도가 매우 높은 것으로 평가함. 뿐만 아니라, 개발한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용 결과는 사용자가 수동으로 정합 할 때보다 정확도가 높은 것으로 평가함. 또한 점군 데이터 정합 및 개선에 소요되는 시간도 충분히 만족할 만한 수준인 것으로 평가함. 개발한 기술이 상용화 된다면 평가자 전원이 실무에 사용할 의향이 있다고 응답함.

<표 2-2-42> 개발한 기술의 현장적용성을 평가하기 위한 설문 결과 요약

번호	항목	평균점수 (1:매우높음~5:매우낮음)
1	개발한 기술이 실제 플랜트 산업에서의 활용 가능성이 크다고 생각하십니까?	1.33
2	개발한 기술로 구축된 3차원 As-Built 모델의 정확도는 만족할만한 수준이라고 생각하십니까?	2.00
3	개발한 기술을 통한 3차원 As-Built 모델 구축 시 소요 시간은 만족할만한 수준이라고 생각하십니까?	1.83
4	개발한 기술이 상용화 된다면 사용할 의향이 있으십니까?	1.67

제3절 연구개발 주요내용 - 핵심성과 2

1. 세부 연구목표와 주요 연구수행 내용

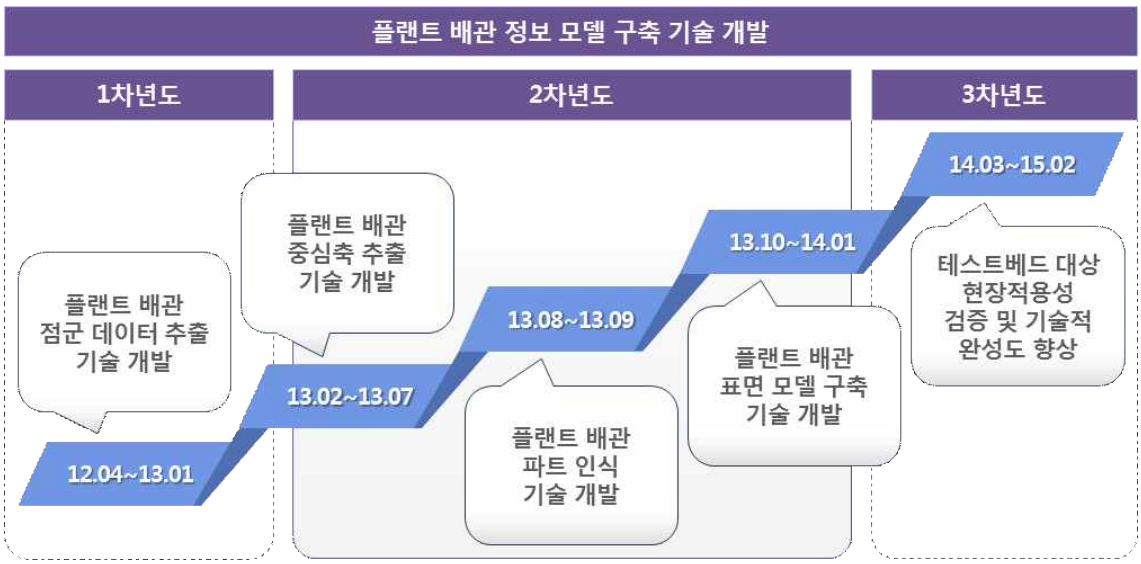
○ 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발의 연차별 세부 연구목표와 주요 연구수행 내용을 요약하면 다음 <표 2-3-1>과 같음.

<표 2-3-1> 핵심성과 2의 연차별 세부 연구목표와 주요 연구수행 내용

연차	세부 연구목표	주요 연구수행 내용
1차년도	Ⅱ-Ⅰ. 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터 내의 배관에 대한 점군 추출 기술 개발	(1) 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터로부터 플랜트 배관에 대한 점군 분할을 위한 특성 파악
		(2) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발
2차년도	Ⅱ-Ⅱ. 플랜트 배관의 3차원 모델 구축 기술 개발	(3) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발
		(4) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발
		(5) 플랜트 배관 표면 모델 구축 기술 개발
3차년도	Ⅱ-Ⅲ. 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완	(6) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완

2. 기술 개발을 위한 단계적 접근

○ 1차년도에는 점군 데이터 간의 정합 기술과 이상치 제거를 통한 점군 데이터 개선 기술 개발을 완료하였으며, 이와 더불어 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 (이하 "플랜트 정보 모델"이라 함) 구축을 위한 본격적인 기술 개발에 착수함. 플랜트 정보 모델 구축을 위한 기술 개발의 일환으로 1차년도에는 플랜트 시설에서 획득한 전체 점군 데이터로부터 자동으로 배관에 대한 점군 데이터만을 추출하는 기술을 성공적으로 개발함 (<그림 2-3-1> 참조).



<그림 2-3-1> 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발을 위한 단계적 접근

○ 2차년도에는 1차년도 기술 개발 성과를 토대로 3차원 As-Built 플랜트 배관 정보 모델(이하 "플랜트 배관 정보 모델"이라 함) 구축을 위한 기술 개발을 단계적으로 추진하여 **플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발**을 **완료**함. 3차년도에는 테스트베드를 대상으로 개발한 기술의 현장적용성을 검증하고 보완을 거쳐 기술적 완성도를 향상시킴.

3. 상세 연구 내용 및 결과

(1) 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터로부터 플랜트 배관에 대한 점군 분할을 위한 특성 파악

○ 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득, 획득된 점군 데이터 간 정합, 정합된 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 결과를 바탕으로 본격적인 3차원 As-Built 플랜트 모델 구축을 위한 기술 개발에 착수함. 플랜트 시설을 구성하는 부재 및 설비는 실린더 형상을 가진 배관과 기타 물체로 구분할 수 있으며, 이중 실린더 형상을 가진 배관은 플랜트 시설의 가장 많은 부분을 차지함. 이에 본 연구에서는 가장 먼저 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터로부터 배관에 대한 점군을 우선 분할하고자 함. 이를 위해 국내/외 플랜트 정보 모델 구축 관련 기술 수준 및 기술 동향을 파악하고, 기존 기술의 문제점을 분석함으로써 배관에 대한 점군 추출 기술 개발 시 요구사항을 도출함. 또한 3차원 As-Built 플랜트 모델 구축 시, 배관에 대한 점군 추출 기술의 요구 성능을 분석하기 위해 수요자 요구 반영을 위한 설문을 실시함으로써 배관에 대한 점군 추출 기술 개발 전략을 구체화함. 상세 연구수행내용 및 결과는 다음과 같음.

(가) 국내/외 플랜트 정보 모델 구축 관련 기술 수준 및 기술 동향 파악

○ 플랜트 정보 모델 구축 관련 국내/외 주요 업체의 기술 수준 파악
- 국내/외 플랜트 정보 모델 구축 관련 업체의 기술 수준 및 기술 동향을 파악하기 위해 기존 문헌 및 검색엔진을 통한 국내/외 업체의 플랜트 정보 모델 구축 관련 기본 정보 수집을 수행함. 수집된 기본 정보를 대상으로 각 국내 업체의 요소 기술과 특허 보유 현황을 파악함.
- 플랜트 정보 모델 구축 관련 국내 주요 업체
  - 다음 <표 2-3-2>에서 보는 바와 같이, 대부분의 국내 업체에서는 외산 소프트웨어를 라이센스하여 플랜트 정보 모델 구축에 이용하고 있음.

<표 2-3-2> 플랜트 정보 모델 구축 관련 국내 주요 업체

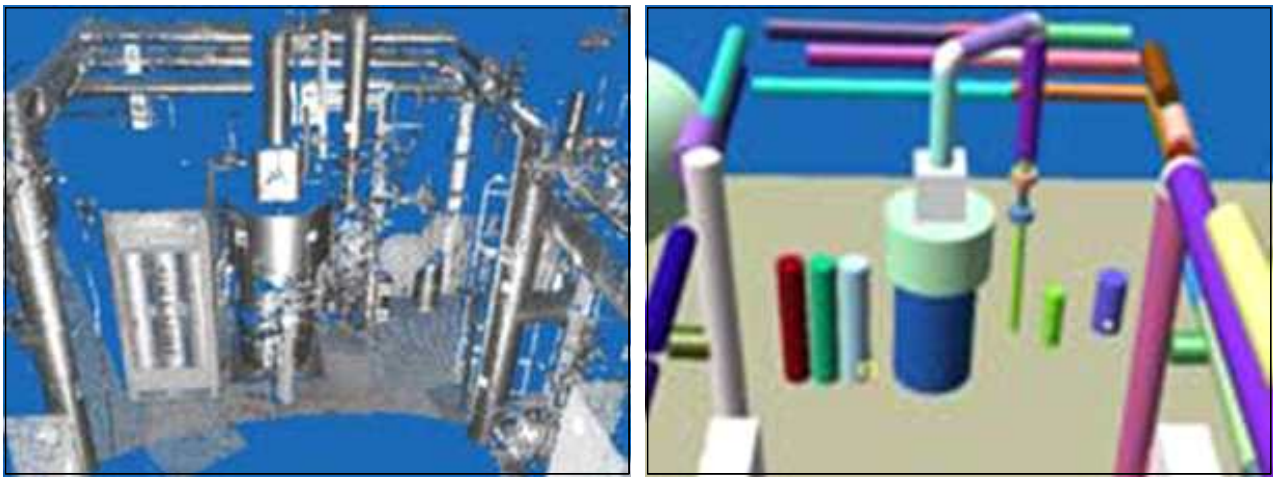
업체명	업체별 능력
(주)드림티엔에스	RIEGL사로부터 수입한 RiSCAN PRO를 이용하여 대부분 수작업에 의존하여 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축
(주)인트라테크	Intergraph사로부터 수입한 CADWorx를 이용하여 대부분 수작업에 의존하여 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축
위프코(주)	Leica Geosystems사로부터 Leica Cyclone를 이용하여 대부분 수작업에 의존하여 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축
(주)포미트	Leica Geosystems사로부터 Leica Cyclone를 이용하여 대부분 수작업에 의존하여 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축

- 플랜트 정보 모델 구축 관련 국외 주요 업체
  - 플랜트 정보 모델 구축 관련 국외 주요 업체는 다음 <표 2-3-3>과 같으며, 표에 정리된 소수 국외 업체들이 시장의 대부분을 장악하고 있음을 파악함.

<표 2-3-3> 플랜트 정보 모델 구축 관련 국외 주요 업체

업체명 (국가)	업체별 능력
Autodesk (미국)	3차원 플랜트 점군 데이터로부터 수작업을 통해 특정 구성요소에 속하는 점군 데이터를 선택하여 선택된 점군에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공
AVEVA (영국)	3차원 플랜트 점군 데이터부터 수작업을 통해 점군 데이터를 선택하여 선택된 점군들에 대한 수동적인 정보 모델 구축 기능을 제공
Bentley (미국)	3차원 점군 데이터부터 수작업을 통해 배관에 해당하는 점군 데이터를 선택하여 선택된 점군에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공
ClearEdge3D (미국)	3차원 플랜트 점군 데이터부터 자동으로 특정 구성요소 (면, 원기둥)에 속하는 점군에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공
Intergraph (미국)	3차원 플랜트 점군 데이터부터 수작업을 통해 특정 구성요소에 대한 점군 데이터를 선택하여 선택된 점군에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공
Kubit (독일)	3차원 플랜트 점군 데이터부터 수작업을 통해 배관에 해당하는 점군 데이터를 선택하여 배관에 대한 제한적인 자동화된 정보 모델 구축 기능을 제공

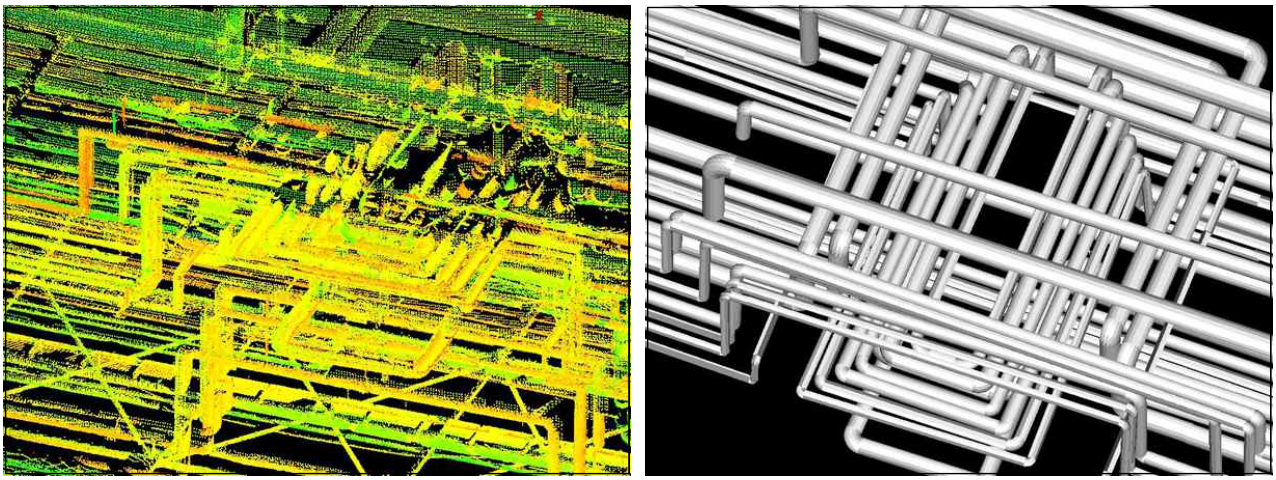
○ 문헌 분석을 통한 플랜트 정보 모델 구축 관련 국내/외 기술 동향 파악
- 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 요구사항 도출을 위해 국내에 비해 플랜트 정보 모델 구축 관련 기술이 진보되어 있는 국외의 연구 동향을 분석함. 국외에서 수행된 연구의 한계점을 분석함으로써 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 요구사항을 도출함.
- Rabbani 등 (2006)이 제안한 연구 방법에 따르면, 직선 배관만이 모델 가능하며 배관 모델 생성시의 곡선 배관, T-배관 등에 대한 수동적인 모델 생성 프로세스가 요구됨 (<그림 2-3-2> 참조).



(a) (b)

<그림 2-3-2> (a) 3차원 점군 데이터, (b) 3차원 As-Built 모델 (Rabbani 등, 2006)

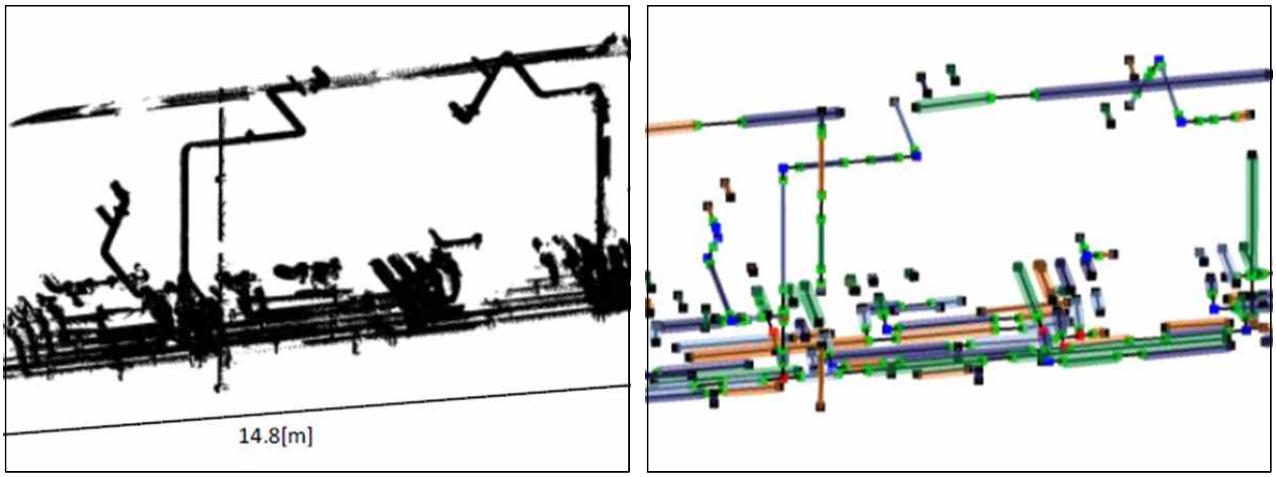
- Chunmei 등 (2009)의 연구 결과에 따르면, 기존 상용 소프트웨어를 사용하여 반자동화된 방법으로 배관 모델이 생성 가능하나, 배관 모델 생성시의 노동력을 줄일 수 있는 전자동화된 모델 생성 방법이 요구됨 (<그림 2-3-3> 참조).



(a) (b)

<그림 2-3-3> (a) 3차원 점군 데이터, (b) 3차원 As-Built 모델 (Chunmei 등 2009)

- Kawashima 등 (2011)이 제안한 연구 방법에 따르면, 모든 부재 (직선 배관, 곡선 배관, T-배관)에 대한 모델 생성을 위한 방법을 제안하였으나, 정확성이 매우 낮음 (<그림 2-3-4> 참조).



(a) (b)

<그림 2-3-4> (a) 3차원 점군 데이터, (b) 3차원 As-Built 모델 (Kawashima 등, 2011)

(나) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 요구사항 분석

○ 플랜트 배관 정보 모델 구축 관련 기존 기술 적용 문제점 분석

- 플랜트 배관 정보 모델 구축과 관련하여 기존 기술 적용 시의 문제점을 분석한 결과, 다음 <표 2-3-4>와 같이 모든 부재 (직선 배관, 곡선 배관, T-배관)에 대한 전 자동화된 모델 생성 방법이 부재한 것을 파악함.

<표 2-3-4> 플랜트 배관 정보 모델 구축 관련 기존 기술 적용 문제점 분석 결과

관련 기술	기술 적용 문제점
Rabbani 등 (2006)	직선 배관에 대한 모델만을 생성함. 모든 부재 (직선 배관, 곡선 배관, T-배관)에 대하여 모델 생성 시 수작업이 요구됨.
Chunmei 등 (2009)	기존 상용 소프트웨어를 사용하여 반자동화된 방법으로 배관 모델을 생성함.
Kawashima 등 (2011)	모든 부재 (직선 배관, 곡선 배관, T-배관)에 대하여 모델 생성이 가능하나, 정확성이 매우 낮음.

○ 배관에 대한 점군 추출 기술 요구사항 도출

- 플랜트 배관 정보 모델 구축과 관련하여 모든 부재 (직선 배관, 곡선 배관, T-배관)에 대한 전 자동화된 점군 추출 기술이 요구됨.

(다) 수요자 요구 반영을 위한 설문

○ 수요자 요구 반영 설문 대상 및 방법

- 수요자 요구 반영 설문 조사를 위해 1) 플랜트 정보 모델 구축 업체 (위프코(주)), 2) 플랜트 건설업체 (GS건설), 3) 플랜트 발주업체 (LG화학, 금호폴리켐)에 소속된 12명의 플랜트 전문가를 선정함. 다음 <표 2-3-5>는 설문 대상자에 대한 소속 및 직급을 나타냄.

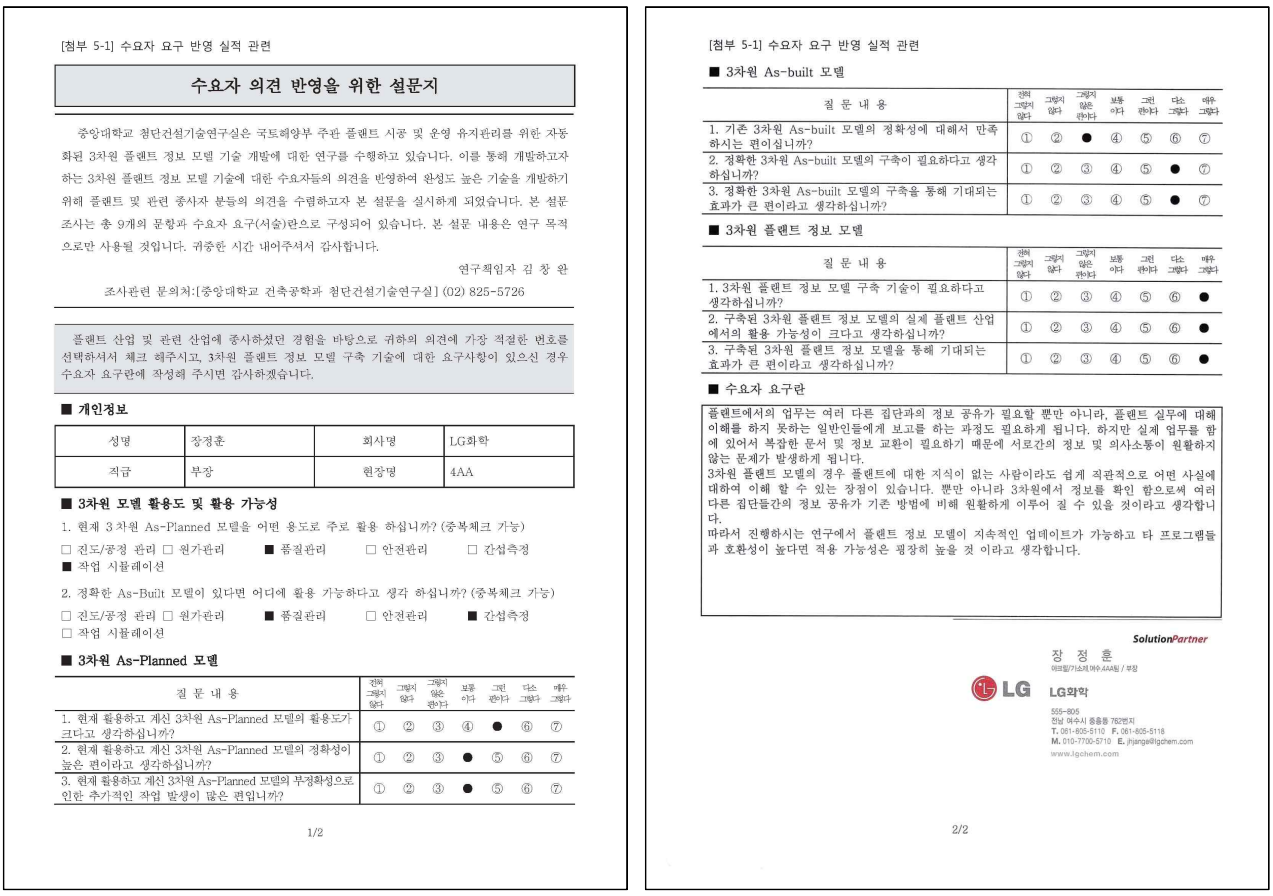
○ 수요자 요구 반영 설문 목적

- 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술의 요구 성능을 분석하고, 이를 기술 개발 전략 수립에 활용하기 위해 수요자 요구 반영을 위한 설문조사를 실시함.

<표 2-3-5> 수요자 요구 반영 설문 대상

대상	소속/직급	대상	소속/직급
주정석	GS건설/차장	양철규	GS건설/차장
김민수	GS건설/대리	이종성	GS건설/차장
이근용	GS건설/사원	박한준	GS건설/차장
김시로	위프코(주)/실장	최두환	GS건설/사원
정진언	위프코(주)/대리	장정훈	LG화학/부장
김비오	위프코(주)/대리	신용호	금호폴리켐/과장

- 수요자 요구 반영 설문은 면대면 설문 방식으로 실시되었으며, 다음 <그림 2-3-5>는 수요자 요구 반영 설문 조사를 위해 작성된 설문지 예시를 나타냄.



[첨부 5-1] 수요자 요구 반영 실적 관련

수요자 의견 반영을 위한 설문지

중앙대학교 첨단건설기술연구실은 국토해양부 주관 플랜트 시공 및 운영 유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발에 대한 연구를 수행하고 있습니다. 이를 통해 개발하고자 하는 3차원 플랜트 정보 모델 기술에 대한 수요자들의 의견을 반영하여 완성도 높은 기술을 개발하기 위해 플랜트 및 관련 종사자 분들의 의견을 수렴하고자 본 설문을 실시하게 되었습니다. 본 설문조사는 총 9개의 문항과 수요자 요구(서술)란으로 구성되어 있습니다. 본 설문 내용은 연구 목적으로만 사용될 것입니다. 귀중한 시간 내어주셔서 감사합니다.

연구책임자 김 창 완

조사관련 문의처:[중앙대학교 건축공학과 첨단건설기술연구실] (02) 825-5726

플랜트 산업 및 관련 산업에 종사하셨던 경험을 바탕으로 귀하의 의견에 가장 적절한 번호를 선택하셔서 체크 해주시고, 3차원 플랜트 정보 모델 구축 기술에 대한 요구사항이 있으신 경우 수요자 요구란에 작성해 주시면 감사하겠습니다.

■ 개인정보

성명	장정훈	회사명	LG화학
직급	부장	현장명	4AA

■ 3차원 모델 활용도 및 활용 가능성

1. 현재 3 차원 As-Planned 모델을 어떤 용도로 주로 활용 하십니까? (중복체크 가능)

□ 진도/공정 관리 □ 원가관리 ■ 품질관리 □ 안전관리 □ 간섭측정
■ 작업 시뮬레이션

2. 정확한 As-Built 모델이 있다면 어디에 활용 가능하다고 생각 하십니까? (중복체크 가능)

□ 진도/공정 관리 □ 원가관리 ■ 품질관리 □ 안전관리 ■ 간섭측정
□ 작업 시뮬레이션

■ 3차원 As-Planned 모델

질 문 내 용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	그렇지 않은 편이다	보통 이다	그런 편이다	다소 그렇다	매우 그렇다
1. 현재 활용하고 계신 3차원 As-Planned 모델의 활용도가 크다고 생각하십니까?	①	②	③	④	●	⑥	⑦
2. 현재 활용하고 계신 3차원 As-Planned 모델의 정확성이 높은 편이라고 생각하십니까?	①	②	③	●	⑤	⑥	⑦
3. 현재 활용하고 계신 3차원 As-Planned 모델의 부정확성으로 인한 추가적인 작업 발생이 많은 편입니까?	①	②	③	●	⑤	⑥	⑦

1/2

[첨부 5-1] 수요자 요구 반영 실적 관련

■ 3차원 As-built 모델

질 문 내 용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	그렇지 않은 편이다	보통 이다	그런 편이다	다소 그렇다	매우 그렇다
1. 기존 3차원 As-built 모델의 정확성에 대해서 만족하시는 편이십니까?	①	②	●	④	⑤	⑥	⑦
2. 정확한 3차원 As-built 모델의 구축이 필요하다고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤	●	⑦
3. 정확한 3차원 As-built 모델의 구축을 통해 기대되는 효과가 큰 편이라고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤	●	⑦

■ 3차원 플랜트 정보 모델

질 문 내 용	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	그렇지 않은 편이다	보통 이다	그런 편이다	다소 그렇다	매우 그렇다
1. 3차원 플랜트 정보 모델 구축 기술이 필요하다고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤	⑥	●
2. 구축된 3차원 플랜트 정보 모델의 실제 플랜트 산업에서의 활용 가능성이 크다고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤	⑥	●
3. 구축된 3차원 플랜트 정보 모델을 통해 기대되는 효과가 큰 편이라고 생각하십니까?	①	②	③	④	⑤	⑥	●

■ 수요자 요구란

플랜트에서의 업무는 여러 다른 집단과의 정보 공유가 필요할 뿐만 아니라, 플랜트 설무에 대해 이해를 하지 못하는 일반인들에게 보고를 하는 과정도 필요하게 됩니다. 하지만 실제 업무를 할 에 있어서 복잡한 문서 및 정보 교환이 필요하기 때문에 서로간의 정보 및 의사소통이 원활하지 않는 문제가 발생하게 됩니다.
3차원 플랜트 모델의 경우 플랜트에 대한 지식이 없는 사람이라도 쉽게 직관적으로 어떤 사실에 대하여 이해 할 수 있는 장점이 있습니다. 뿐만 아니라 3차원에서 정보를 확인 함으로써 여러 다른 집단들간의 정보 공유가 기존 방법에 비해 원활하게 이루어 질 수 있을 것이라고 생각합니다.
따라서 진행하시는 연구에서 플랜트 정보 모델이 지속적인 업데이트가 가능하고 타 프로그램들과 호환성이 높다면 적용 가능성은 굉장히 높을 것 이라고 생각합니다.

SolutionPartner
장 정 훈
이브릴/가소제 에우 4AA팀 / 부장
LG LG화학
555-805
전남 여수시 중흥동 762번지
T. 061-805-5110 F. 061-805-5118
M. 010-7700-5710 E. jhjang@lgchem.com
www.lgchem.com

2/2

(a) (b)

<그림 2-3-5> 수요자 요구 반영을 위한 설문지 (a) 첫 번째 페이지, (b) 두 번째 페이지

○ 수요자 요구 반영 설문 결과

- 다음 <표 2-3-6>은 설문 대상자별 수요자 요구 반영 설문 결과를 요약한 것임. 각 항목의 평균 점수에 따르면 현재 설계 단계에서 구축된 3차원 As-Planned 모델은 시공 및 운영·유지단계에서 수시로 발생하는 교체와 변경으로 인하여 플랜트의 현 상황과 다른 부분이 많은 것으로 나타나며, 이로 인해 시공 및 운영·유지단계에서의 활용도가 저하되는 것으로 나타남.
- 이러한 문제를 해결하기 위해 3차원 As-Built 플랜트 모델의 필요성은 매우 크나, 수동적인 방식으로 작성되는 3차원 As-Built 모델의 정확성은 매우 떨어지는 것으로 인식됨. 3차원 As-Built 플랜트 모델에서 가장 핵심적인 요구 성능은 모델 구축 프로세스의 자동화 및 구축된 모델의 높은 정확성임.
- 따라서 플랜트 모델을 구축하는데 있어 정확성을 가장 우선적으로 고려하여야 하며, 전체 모델 구축 프로세서의 자동화가 요구됨. 배관 모델 구축을 위한 점군 추출의 과정 역시 자동으로 수행되어야 하며, 정확한 배관 모델 구축이 가능하도록 점군을 추출할 수 있는 기술 개발에 초점을 맞추어야 함.

<표 2-3-6> 수요자 요구 반영 설문 결과 요약

번호	항목	평균점수 (1~7)
1	현재 활용하고 계신 3차원 As-Planned 모델의 활용도가 크다고 생각하십니까?	3.58
2	현재 활용하고 계신 3차원 As-Planned 모델의 정확성이 높은 편이라고 생각하십니까?	3.33
3	현재 활용하고 계신 3차원 As-Planned 모델의 부정확성으로 인한 추가적인 작업 발생이 많은 편입니까?	4.33
4	기존 3차원 As-Built 모델의 정확성에 대해서 만족하시는 편이십니까?	3.25
5	정확한 3차원 As-Built 모델의 구축이 필요하다고 생각하십니까?	5.92
6	정확한 3차원 As-Built 모델의 구축을 통해 기대되는 효과가 큰 편이라고 생각하십니까?	5.33
7	3차원 플랜트 정보 모델 구축 기술이 필요하다고 생각하십니까?	5.75
8	구축된 3차원 플랜트 정보 모델의 실제 플랜트 산업에서의 활용 가능성이 크다고 생각하십니까?	5.67
9	구축된 3차원 플랜트 정보 모델을 통해 기대되는 효과가 큰 편이라고 생각하십니까?	5.92

- 다음 <표 2-3-7>은 설문 대상자별 수요자 요구 반영 설문 시, 추가로 제시한 의견을 요약한 것임. 수요자 요구에 따르면 플랜트를 구성하는 부재 별로 다양한 정보가 포함되어야 하며, 모델을 구축함에 있어 시간과 인력 감소가 공통적으로 요구됨. 따라서 배관을 자동으로 구분하고 정보를 입력할 수 있도록 하는 개별 배관 추출 기술이 필요하며, 이는 반드시 자동으로 수행되어야 함.

<표 2-3-7> 수요자 요구란 요약

대상	소속/직급	수요자 요구
주정석	GS건설/차장	특정 프로젝트에서 활용되고 있는 기기들에 대한 모델의 정확한 표현이 필요
김민수	GS건설/대리	단순한 정보만을 포함하는 3차원 모델이 아닌 다양한 분야의 전문가에게 활용될 수 있도록 단순한 정보만이 아닌 다양한 정보의 포함이 필요
이근용	GS건설/사원	다양한 정보를 통일된 양식으로 보여줄 필요가 있으며, 추가적으로 인터페이스가 컴퓨터 활용 능력이 떨어지는 사람들에게도 쉽게 이해할 수 있도록 구성 필요
김시로	위프코(주)/실장	현재 3차원 플랜트 모델은 단순한 정보만을 포함하고 있어 플랜트에 대한 정보를 확인하는데 있어서 효율적이지 못하기 때문에 다양한 정보와 3차원 모델의 연결 필요
정진언	위프코(주)/대리	플랜트 시공 현장에서의 3차원 플랜트 모델 작성에 있어 작업량을 줄임으로써 효과적이면서 효율적으로 3차원 플랜트 모델을 주기적으로 구축 가능한 자동화된 기술이 필요
김비오	위프코(주)/대리	실제 측량을 통해 2차원 도면을 획득한 후 공사를 진행을 하기 위해서는 많은 시간과 인력이 필요하기 때문에 플랜트의 3차원 As-Built 모델이 자동으로 정확하게 구축할 수 있는 기술이 필요
양철규	GS건설/차장	현재의 제한적인 수단에서 벗어나서 다양한 용도로 사용하기 위해 여러 정보를 포괄적으로 포함하는 넓은 의미의 3차원 플랜트 정보 모델 필요
이종성	GS건설/차장	실제 준공 도면을 만들 때 소요되는 시간과 노력을 많이 감축 시킬 수 있는 As-Built 모델 자동 구축 기술 필요
박한준	GS건설/차장	효율적이고 효과적인 3차원 플랜트 모델을 위해서는 각 부재에 대한 정보를 포함하고 그것을 3차원 모델 상에서 확인 할 수 있는 3차원 As-Built 모델 필요
최두환	GS건설/사원	3차원 모델 상에서 모델의 치수나 기본적인 정보들을 활용 할 수 있는 방법이 필요
장정훈	LG화학/부장	플랜트 정보 모델이 지속적으로 업데이트가 가능해야 하며, 현재 사용 중인 프로그램들과의 호환성이 필요
신용호	금호폴리켐/과장	통합적으로 정보를 관리하고 현장의 변동사항이 지속적으로 업데이트 될 수 있는 프로그램의 개발 필요

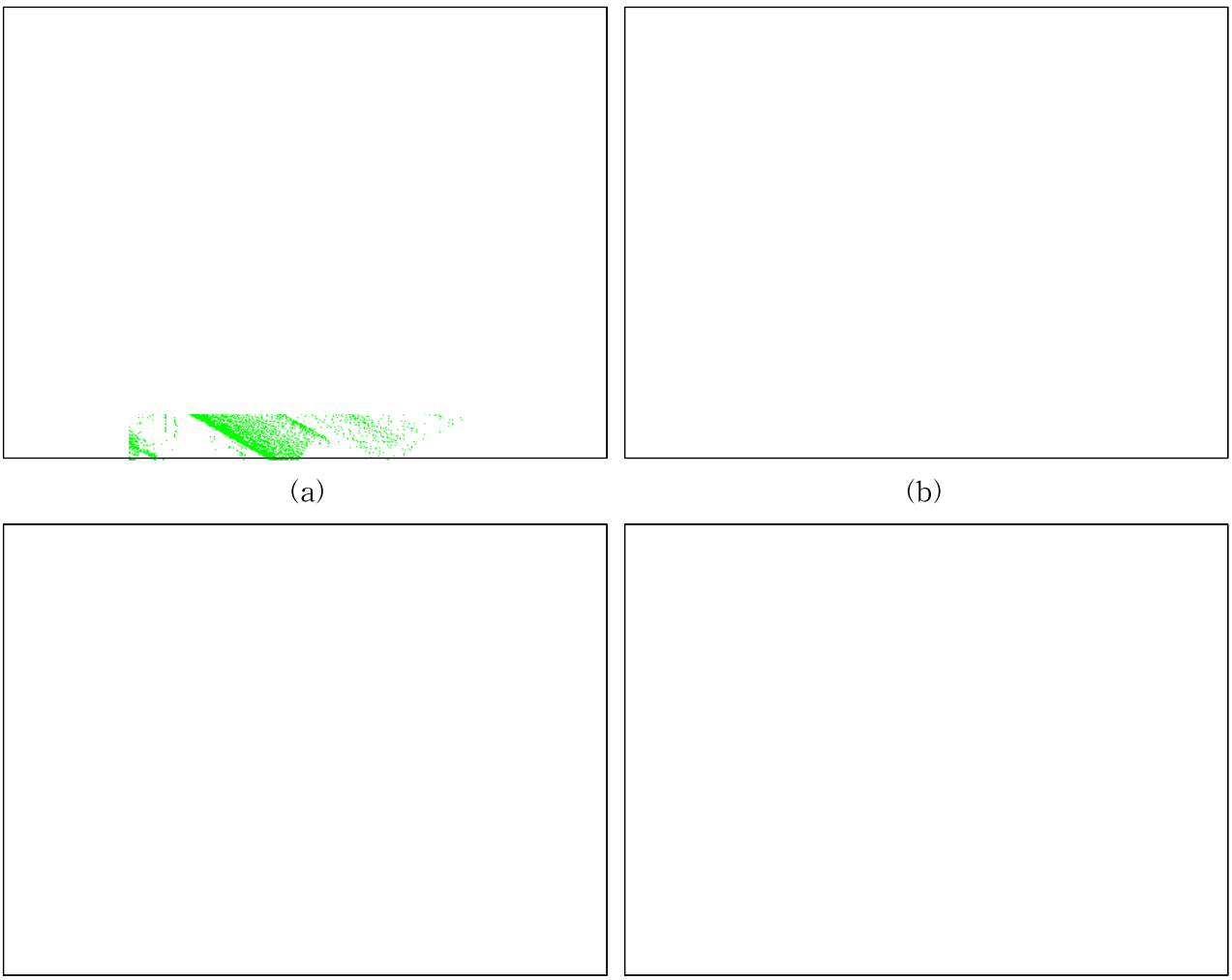
(2) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발

○ 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득, 획득된 점군 데이터 간 정합, 정합된 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 결과를 바탕으로 본격적인 3차원 As-Built 플랜트 모델 구축을 위한 기술 개발에 착수함. 본 연구에서는 이를 위해 본 연구과제에 적합한 배관에 대한 점군 추출 기술을 정립하고, 이를 바탕으로 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발을 완료함. 또한 테스트베드를 대상으로 개발된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술을 적용하고, 해당 기술을 평가함으로써 플랜트 배관에 대한 점군 추출 정확도를 개선하기 위한 방안을 마련함. 이를 통해 개발된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술을 보완하여 특허 출원을 완료하였으며, 출원일로부터 약 18개월 만에 등록 (등록번호 10-1419334)을 완료함.

(가) 데이터 특성에 적합한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 정립

○ 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 내 배관 데이터의 특성 파악

- 다음 <그림 2-3-6>은 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에서 획득한 점군 데이터의 일부를 나타냄. 플랜트 배관에 대한 점군 데이터 추출 기술 개발을 위한 배관에 대한 점군 데이터의 특성을 파악하기 위해 이를 분석한 결과, 1) 가림현상, 2) 노이즈, 3) 밀도 차이라는 특성을 지님.



<그림 2-3-6> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에서 획득한 점군 데이터 일부
(a) 가림현상, (b) 노이즈, (c) 밀도 차이, (d) 밀도 차이

○ 배관 데이터 특성에 적합한 점군 추출 프레임워크 구축

- 점군 데이터 내에 1) 가림현상, 2) 노이즈, 3) 밀도 차이가 존재하는 환경에서 효과적인 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발을 위해 점군 추출과 관련된 기술의 장·단점을 분석하였으며, 이를 통해 본 연구에서는 배관 데이터 특성에 적합한 점군 추출 기술을 정립하고, 프레임워크를 구축함.

- Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할
  - Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 방법은 점군 데이터의 일정 곡률을 갖는 표면을 하나의 물체로 판단하여 유사한 법선 벡터를 갖고 있는 물체의 표면들끼리 분할하는 방법임. 본 연구에서는 레이저 스캐너로부터 획득된 점군 데이터를 X, Y, Z 좌표 값으로 입력받아, 데이터를 일정 조건 (Constraint)에 따라 각각의 영역으로 분할하는 과정을 수행함. 상기 분할 과정에서는 입력되는 점군 데이터의 하나의 점 각각에 대해 법선 벡터 (Normal) 및 잔여값 (Residual)을 계산한 후, 이를 이용하여 영역 확장 (Region Growing)을 통해 데이터를 분할하게 됨.
  - 상기 데이터 분할 과정은 점군 데이터를 입력받아, 모든 데이터에 대하여 최근접 이웃 (k=30)을 계산한 후, 그 데이터들을 이용하여 데이터에서 평면까지의 수직거리가 가장 최소화되는 평면을 피팅 (Fitting) 함. 이후 그 평면의 법선 벡터 방향을 기준 데이터의 법선 벡터로 계산하고, 평면과 30개 데이터간의 오차값을 잔여값으로 계산함. 잔여값은 그 값이 낮을수록 평면과 데이터들의 오차가 크지 않음을 나타냄.
  - 이후, 잔여값이 가장 낮은 점을 씨앗점 (Seed Point)으로 선정하고 그 씨앗점으로부터 최근접 이웃 (k=30)을 사용하여 근접한 점들을 계산함. 계산된 최근접 이웃과 기준 데이터간의 법선 벡터의 각도를 구하여 임계값 (<= 30)을 만족하는 데이터들을 씨앗점과 같은 영역의 데이터로 계산함. 이 과정에서 계산된 점들 중 잔여값이 전체 데이터의 95% 이상인 점이 존재할 때 그 점들을 반복되는 영역확장을 위한 다음 씨앗점으로 선정하여 앞선 방법을 반복하여 수행함. 반복수행 도중, 해당 영역에서의 씨앗점이 더 이상 검출되지 않을 경우 영역 확장을 멈추고 새로운 씨앗점을 찾아 다시 새로운 영역을 생성함. 이 전체 과정은 모든 데이터가 개별 영역에 속할 때까지 반복됨.

- Medial Axis Approximation 기반의 중심선 후보군 추출
  - 분할된 점군 데이터에서 배관에 해당하는 점군 데이터를 추출하기 위해서는 배관에 해당하는 점군 데이터로부터 배관임을 확인할 수 있는 특징을 정확하게 계산할 수 있어야 함. 배관의 경우 실린더의 형상을 띄고 있으며, 실린더는 중심선과 반지름으로 구성됨. 반지름은 중심선과 표면까지 거리로 계산이 가능하기 때문에 분할된 점군 데이터가 배관에 해당하는 데이터인지 확인하기 위해서는 배관의 중심선을 정확하게 계산할 수 있어야 함.
  - 3차원 점군 데이터로부터 중심선을 추출하는 방법은 위상학적 세선화, 거리 변환 기반, 보로노이 다이어그램 기반의 방법으로 됨 (Telea와 Vilanova, 2003). 이 중, 위상학적 세선화와 거리 변환 기반의 방법은 추출된 축이 반드시 물체의 중심을 지남을 보장하지 못하는 문제가 존재함. 보로노이 다이어그램 기반의 방법은 추출된 축이 중심선을 보장한다는 장점을 가짐 (Cornea 등, 2007). 보로노이 다이어그램 기반의 방법은 이상치에 민감한 단점이 있음. 위상학적 세선화 방법의 경우 이상치에 강한 장점이 있음. 따라서 본 연구에서는 상기 두 방법의 단점을 보완하기 위하여 보로노이 다이어그램 기반 방법을 적용하여 중심선 후보군을 추출한 후, 이상치에 강한 위상학적 세선화 방법을 적용하여 점군 데이터의 중심선을 추출함.

- 보로노이 다이어그램 기반의 방법은 지금까지 많은 연구에 활용되어 옴 (Amenta 등, 2001; Dey와 Zhao, 2004). 기존 연구들에 따르면, 표면에서 가장 멀리 떨어져 있는 보로노이 꼭지점들은 극점이라고 불리게 되는데, 이 극점들은 실제로 중심선에 근사하는 것을 볼 수 있음 (Amenta 등, 2001). 보로노이 다이어그램에서 중심선을 구하기 위해 가지치기를 거치는 과정에서 점군 데이터의 밀도에 영향을 많이 받음 (Dey와 Zhao, 2004). 본 연구에서는 점군 데이터의 밀도에 강한 방법인 Dey와 Zhao (2004)가 제안한 방법을 선정함.
- Dey와 Zhao (2004)에 의해 제안된 방법은 점군 데이터로부터 보로노이 다이어그램을 계산하는 것으로부터 시작함. 점군 데이터로부터 보로노이 다이어그램을 계산한 후, 계산된 보로노이 다이어그램으로부터 가지치기 과정을 거침으로써 근사 중심선을 구하게 됨.
- 가지치기 과정에서의 제한 조건은 1) 보로노이 꼭지점 간의 각도와 2) 보로노이 꼭지점의 평면 벡터가 이루는 비율로 구성됨. 이 두 제한 조건을 만족하는 꼭지점은 근사 중심선을 나타냄 (Dey와 Zhao, 2004).

- Skeletonization 기반의 중심선 추출
  - 위상학적 세선화 방법에 관한 많은 연구들이 진행되어 옴 (Cornea 등, 2005; Au, 등 2008; Cao 등, 2010). 대부분의 기존 연구들은 완벽한 점군 데이터로부터 중심선을 추출해 왔으나, 많은 수의 점군 데이터를 활용하여 정합을 수행한다 할지라도 완벽한 점군 데이터의 획득은 사실상 불가능함 (Cao 등, 2010). 따라서 본 연구에서는 실제 점군 데이터의 특성을 반영 할 수 있는 방법인 Cao 등 (2010)이 제안한 방법을 선정함. 위상학적 세선화 방법은 계산된 근사 중심선을 라플라시안 유연화를 기반으로 하여 기하학적 수축을 계산하는 것으로부터 시작함. 기하학적 수축을 계산하는 과정이 반복된 후에 근사 중심선은 일차원 점들의 집합으로 나타남. 이후 일차원 점들의 집합 간에 연관관계를 계산하여 중심선을 생성함으로써 정확하게 점군 데이터의 중심선을 추출할 수 있음.

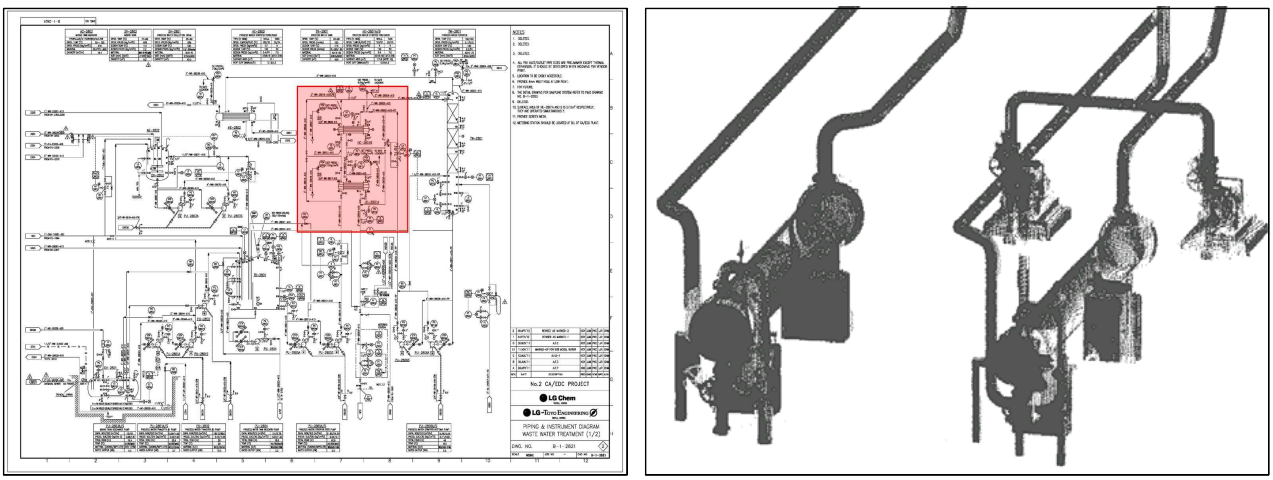
- Constraint 기반의 배관에 대한 점군 데이터 추출
  - 추출된 중심선을 사용하여 배관에 대한 점군 데이터를 추출하기 위해 실린더 형태를 갖고 있는 배관은 중심선으로부터 표면까지의 거리가 배관의 구경과 유사하고 여러 점에서의 표면까지의 거리가 일정하다는 성질을 이용함. 따라서 배관에 대한 점군 데이터를 추출하기 위해 각 분할 데이터들의 중심선으로부터 데이터까지의 거리를 여러 위치에서 계산하고, 그 거리의 평균과 표준편차를 계산함. 계산된 각 분할 데이터의 거리의 평균과 배관의 표준화된 구경 크기간의 차이를 비교하고, 둘 사이의 유사성이 존재하는 데이터를 기준으로 하여 표준편차의 크기를 확인함으로써, 일정 범위내의 결과를 보이는 분할 데이터를 배관에 대한 점군 데이터로 판단함.

(나) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발

○ 기술 정립을 통해 구축된 프레임워크를 기반으로 하여 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술을 개발 완료함. GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 획득한 점군 데이터에 개발된 기술을 적용하여 현장적용성을 분석 및 평가한 결과, 개발된 기술을 통해 효과적으로 대규모의 복잡한 플랜트 시설로부터 배관에 대한 점군 추출이 가능함을 파악함.

○ 다음은 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과를 요약하여 나타낸 것임.

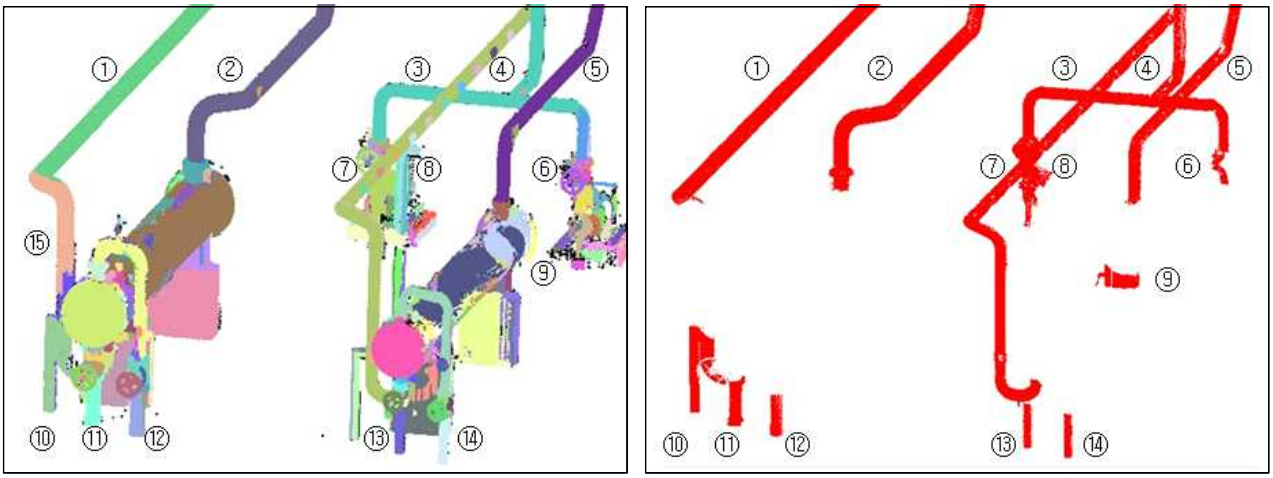
- GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 개발된 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과
  - 다음 <그림 2-3-7(a)>는 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-3-7(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색 상자로 표시된 영역에 포함된 기기, 배관에 대한 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-7> (a) GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 공정배관계장도 예시, (b) 공정배관계장도 예시 내 붉은색 상자로 표시된 영역에 대한 실제 3차원 점군 데이터

  - 다음 <그림 2-3-8(a)>는 Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 결과를 나타내며, 그림 내의 서로 다른 색상은 각각 다른 영역으로 구분된 데이터를 시각적으로 나타냄. <그림 2-3-8(b)>는 점군 데이터 분할 결과로부터 Medial Axis Approximation 기반의 중심선 후보군 추출, Skeletonization 기반의 중심선 추출 프로세스를 거친 후, Constraint 기반의 배관에 대한 점군 데이터 추출 기술을 적용하여 추출된 플랜트 배관에 대한 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-8> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과 (a) Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 결과, (b) Constraint 기반의 배관에 대한 점군 데이터 추출 결과

○ 다음 <표 2-3-8>은 구축된 플랜트 배관에 대한 점군 데이터 추출 프레임워크를 기반으로 하여 개발된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용에 대한 결과의 일부를 요약한 것임. 상기 <그림 2-3-8>에 나타난 바와 같이, 개발된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과 ⑮번 배관이 인식되지 않음. 이에 상기 <그림 2-3-8>에 대한 개발된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 정확도는 약 93.33%로 나타남.

○ 분석 결과, 배관의 데이터가 50% 이상 획득이 되지 않을 경우 개발된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 시 정확성 저하의 원인이 됨을 파악함. 이에 개발된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 시, 추가적인 정확성 저하의 원인을 파악하고 이를 개선하고자 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완을 실시함.

<표 2-3-8> 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술의 성능

구분	실제 배관 수	인식된 배관 수	정확도
배관	15	14	93.33%

(다) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

○ 배관 점군 추출 기술에 대한 테스트베드 적용을 통한 개발 기술 평가 및 개선 사항 도출

- 본 연구에서는 테스트베드를 대상으로 데이터 특성에 적합한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술을 적용하고, 해당 기술을 평가함으로써 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술이 갖는 문제점 및 한계점을 파악하여 정확도를 개선하기 위한 방안을 마련함.
- 다음 <표 2-3-9>는 개발된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술을 테스트베드를 대상으로 다양한 제한조건을 가지는 데이터에 적용하여 도출된 결과를 바탕으로 해당 기술의 문제점 및 한계점 평가 내용을 요약한 것임.

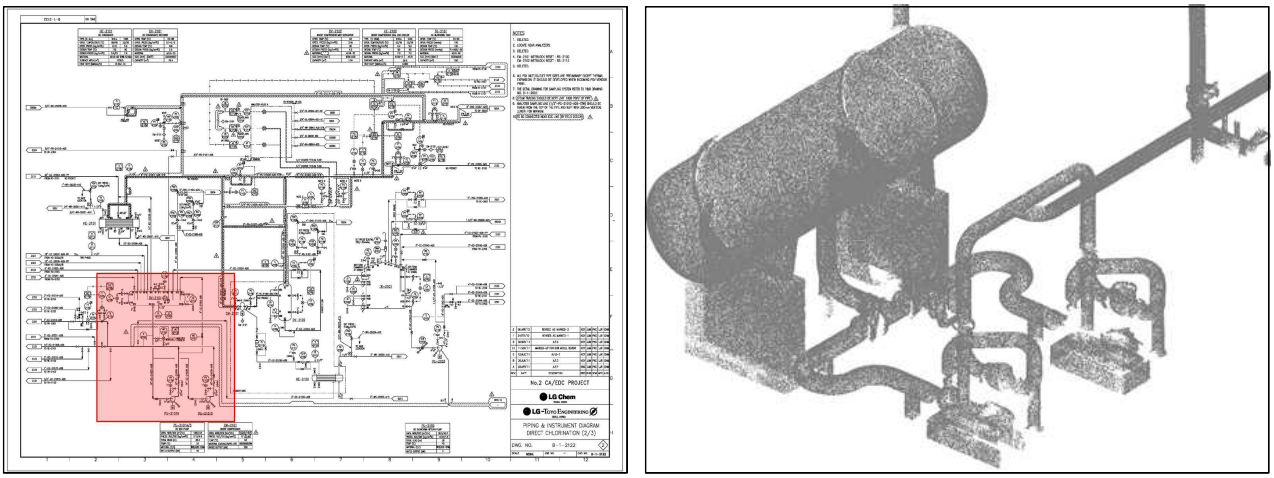
- 해당 기술에 대한 평가 내용을 바탕으로 이에 대한 보완 사항 및 전략을 도출하기 위해 3차원 데이터 처리 분야의 전문가인 중앙대학교 컴퓨터 공학과 소속 손봉수 교수를 대상으로 한 전문가 자문을 실시함.

<표 2-3-9> 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가

테스트베드	기술 평가
GS건설 VGOFCC Project	적용된 테스트베드에서 효과적인 점군 추출이 가능
GS건설 No. 2 CA/EDC Project (1차)	대부분의 데이터에서 정확하게 추출이 수행되나 일부 이상치가 존재하는 부분에서는 정확도가 저하
GS건설 No. 2 CA/EDC Project (2차)	밀도에 큰 변화가 있는 경우 정확도가 저하되는 경우를 확인
GS건설 No. 2 CA/EDC Project (3차)	배관의 데이터가 50% 이상 획득이 되지 않을 경우 정확도가 저하

- 상기 <표 2-3-9>에 나타난 개발된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술의 문제점 및 한계점 평가에 따른 전문가 자문 결과, 다양한 제한조건을 가지는 데이터에서의 정확도 저하 원인으로 점군 데이터 분할 결과로부터의 Medial Axis Approximation 기반의 중심선 후보군 추출, Skeletonization 기반의 중심선 추출 프로세스가 지목됨.
- Medial Axis Approximation 기반의 중심선 후보군 추출, Skeletonization 기반의 중심선 추출로 이루어진 중심선 추출 프로세스는 데이터에 포함된 이상치, 가림현상, 밀도 차이에 민감하게 영향을 받기 때문에 다른 방법으로의 전환 필요성이 존재함. 이에 중심선 추출 프로세스 대신 분할된 데이터의 곡률을 활용하여 배관에 대한 점군 데이터를 분류·추출하는 과정으로 프레임워크를 개선함.

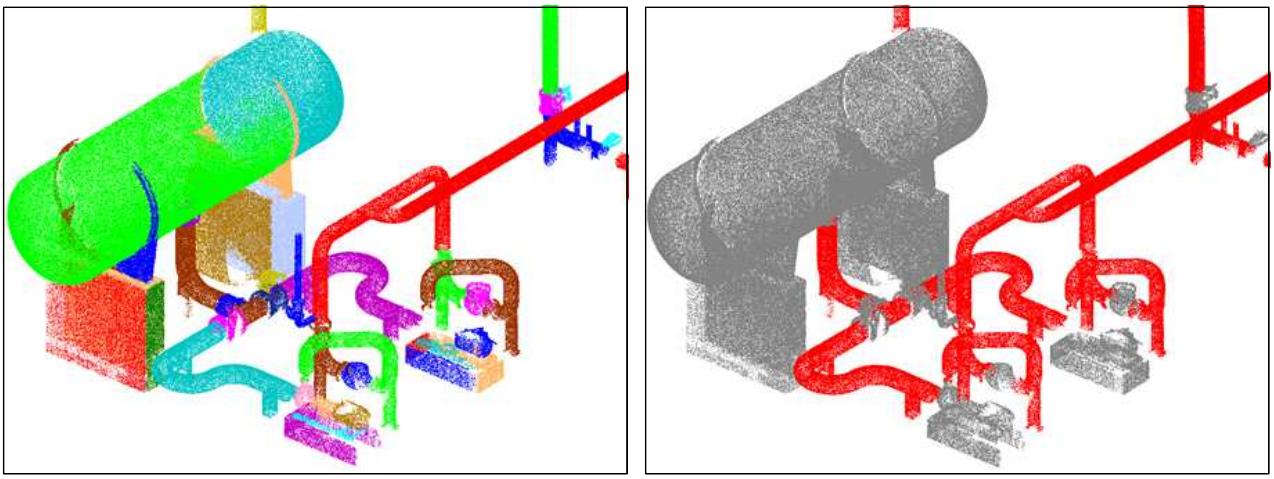
○ 배관에 대한 점군 추출 기술 개선 사항 반영 결과
- 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 내용을 바탕으로 개선된 플랜트 배관에 대한 점군 데이터 추출 프레임워크를 기반으로 하여 플랜트 배관에 대한 점군 데이터 추출 기술을 개발 완료함.
- GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 개선된 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과
  - 다음 <그림 2-3-9(a)>는 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-3-9(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색 상자로 표시된 영역에 포함된 기기, 배관에 대한 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-9> (a) GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 공정배관계장도 예시, (b) 공정배관계장도 예시 내 붉은색 상자로 표시된 영역에 대한 실제 3차원 점군 데이터

- 다음 <그림 2-3-10(a)>는 상기 <그림 2-3-9(b)>에 나타낸 3차원 점군 데이터에 대한 Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 결과를 나타냄. <그림 2-3-10(b)>는 점군 데이터 분할 결과로부터 분할된 데이터의 곡률을 활용하여 개선된 배관에 대한 점군 추출 기술을 적용하여 추출된 플랜트 배관에 대한 점군 데이터를 붉은색으로 나타낸 결과임.

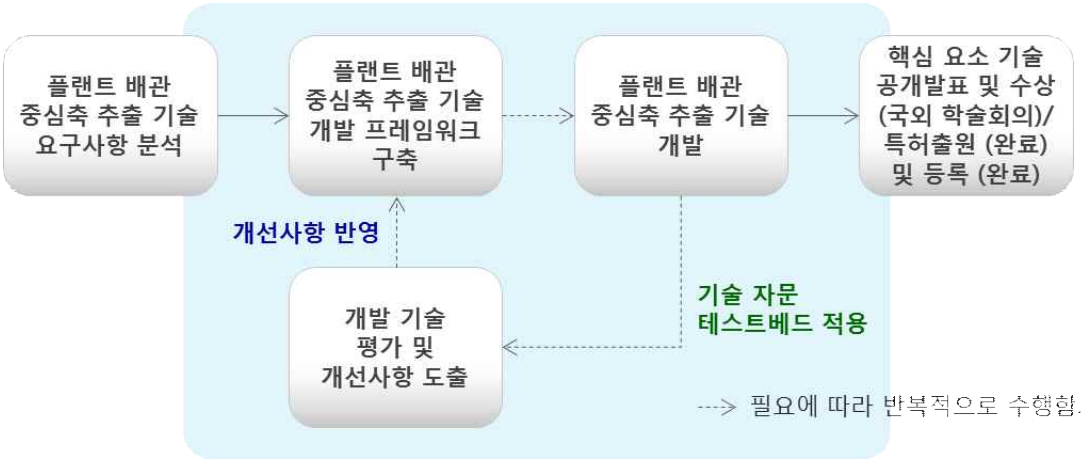


<그림 2-3-10> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 개선된 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과 (a) Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 결과, (b) 개선된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과

(3) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발

○ 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발에 필요한 요구사항을 도출하기 위해 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터 내 배관 표면 데이터의 특성 분석을 선행함. 이를 바탕으로 배관 표면 데이터의 특성을 고려하여 최적화된 기술 개발을 위한 프레임워크를 정립 및 구축함.

○ 구축된 프레임워크를 기반으로 2013년 2월부터 7월까지 6개월간 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발을 추진함. 이 과정에서 단순히 이론적 수준의 기술 개발에 그치는 것이 아니라, 연구결과의 최종성과물을 현업에 적용 할 수 있도록 하기 위해 테스트베드를 대상으로 개발한 플랜트 배관 중심축 추출 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성을 평가함. 이와 동시에 기술 자문을 통해 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고, 이를 개선하기 위한 방안을 마련하고 개선전략을 도출함. 앞서 도출한 문제점과 개선사항을 바탕으로 기존에 구축된 기술 개발 프레임워크를 개선하고, 이를 다시 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발에 반영함 (<그림 2-3-11> 참조).



<그림 2-3-11> 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 절차 및 성과

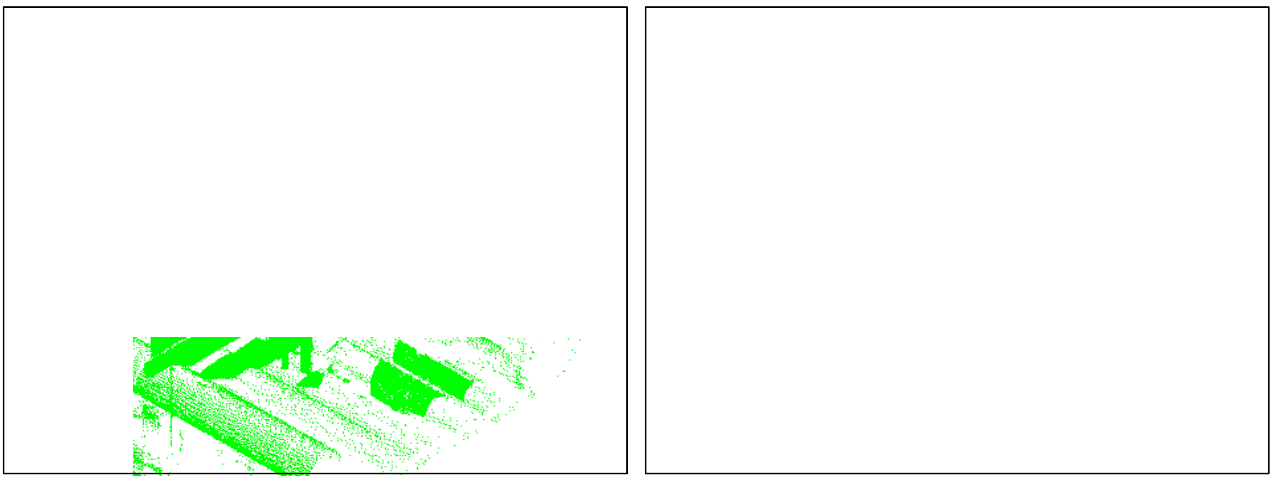
○ 본 연구에서 최종 개발한 플랜트 배관 중심축 추출 기술은 2013년 6월, 미국 토목 학회 (American Society of Civil Engineers, ASCE)에서 주관하는 "International Workshop on Computing in Civil Engineering (IWCCE 2013)" 국외 학술회의에서 발표하였으며, 그 우수성을 인정받아 최우수 논문상을 수상함. 또한 핵심 요소 기술에 대한 특허 선점 및 기술력 확보를 통해 관련 분야에서 세계적인 기술 우위를 확보하기 위해 특허출원을 완료하였으며, 출원일로부터 약 3개월 만에 특허등록 (등록번호: 10-1364375)을 완료함.

(가) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 요구사항 분석

○ 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 내 배관 표면 데이터의 특성 파악
- 대규모의 복잡한 플랜트 시설의 완전한 점군 데이터 획득을 위해 2차년도에 개발한 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템을 이용하여 여러 위치에서 획득한 데이터 간의 정합 및 개선을 수행함. 정합이 완료된 점군 데이터 내 배관 표면 데이터의 특성을 요약하면 다음과 같음.

- 배관 표면 점군 데이터의 불균일 분포 (Density Irregularity)
  - 2차년도에 개발한 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템을 통해 정합 및 개선이 완료된 점군 데이터는 플랜트 배관 표면에 불균일하게 분산되는 불균일 분포 특성을 가짐.

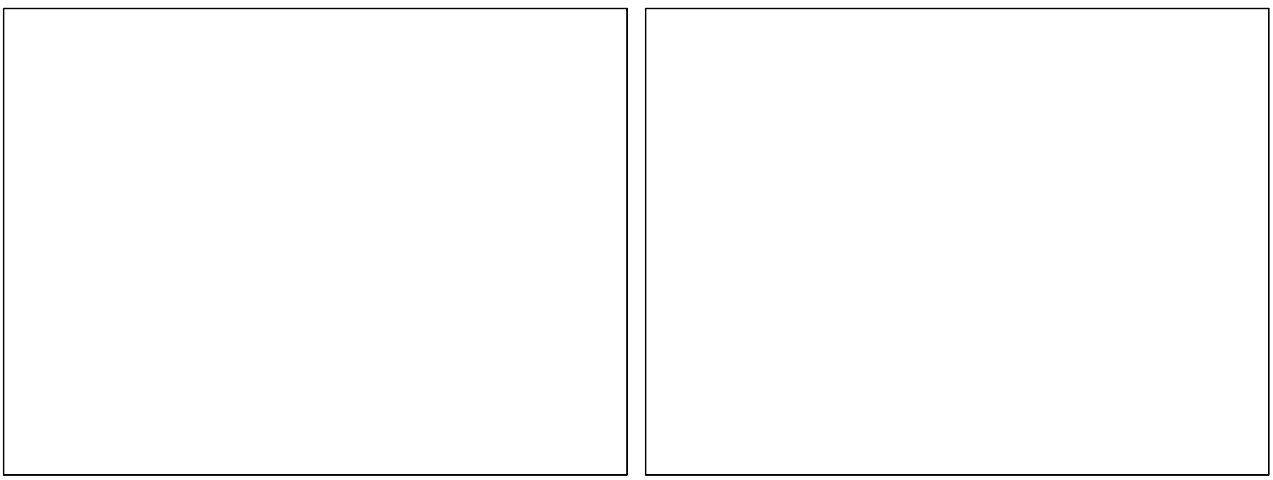
- 이러한 특성은 단일 배관에서보다 서로 다른 배관에서 더욱 뚜렷이 나타남 (<그림 2-3-12>의 예시 참조). 배관 표면 점군 데이터의 불균일 분포 특성은 물체에 대한 표면 점군 데이터로부터 중심축을 복원하고 추출하는 과정에서 오차를 발생시키는 요인이 되므로 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 개발 시 고려가 필요함.



(a) (b)

<그림 2-3-12> 배관 표면에 대한 점군 데이터의 불균일 분포 (LG화학 CA/EDC 현장 현장에서 획득한 점군 데이터 일부) (a) 예시 1, (b) 예시 2

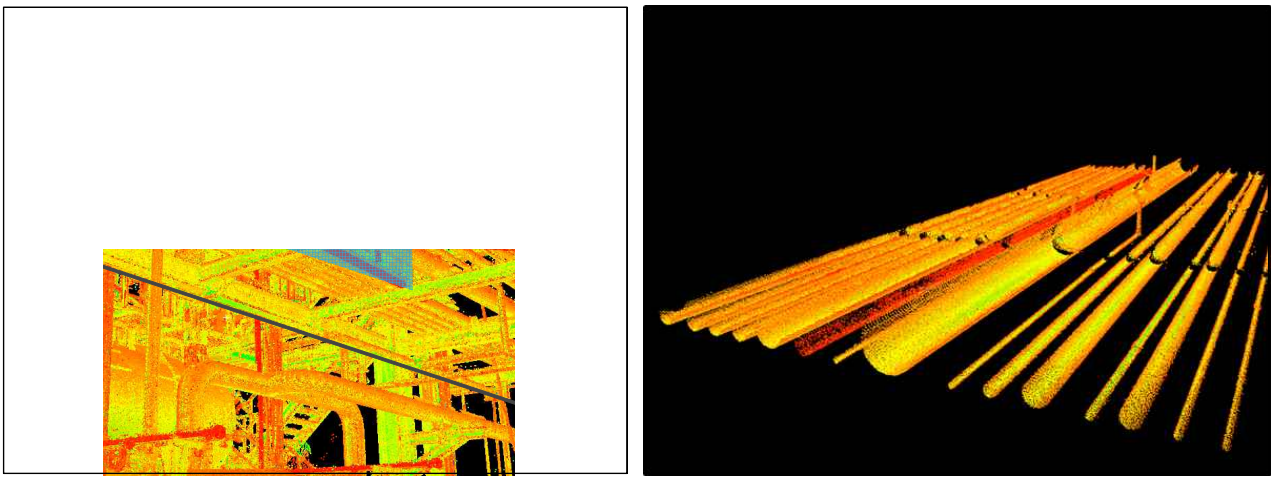
- 배관 표면 점군 데이터의 불완전성 (Incompleteness 또는 Partialness)
  - 플랜트 시설은 다수의 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조물 등이 복잡하게 얽혀있는 특성이 있어 여러 위치에서 데이터를 획득한다 하더라도 가시선 (Line of Sight)이 제한됨. 다음 <그림 2-3-13>은 가시선의 제한으로 상층 바닥슬라브 아래로 지나는 배관 상단의 일부가 가려져 있음을 알 수 있음.



(a) (b)

<그림 2-3-13> 가시선의 제한으로 인한 배관 표면 점군 데이터의 가림 예시 (a) LG화학 CA/EDC 현장에서 획득한 점군 데이터 일부, (b) 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 추출 기술 적용 결과

- 가시선의 제한에 의한 가림현상 외에도 서로 다른 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조물 등에 의한 가림현상이 발생함. 다음 <그림 2-3-14>에서 보는 바와 같이, 배관의 일부가 배관을 지지하는 배관지지대[2]로 인해 가려져 있음을 알 수 있음.



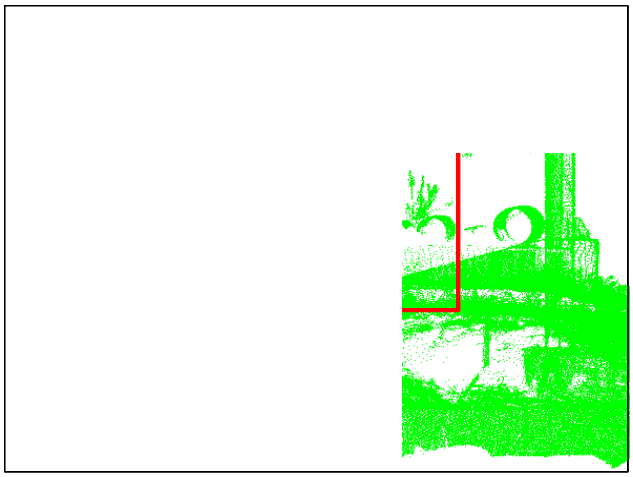
(a) (b)

<그림 2-3-14> 배관 표면에 대한 점군 데이터의 가림 예시 (a) LG화학 CA/EDC 현장에서 획득한 점군 데이터 일부, (b) 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 추출 기술 적용 결과

- 이러한 배관 표면 점군 데이터의 불완전한 특성은 물체에 대한 표면 점군 데이터로부터 중심축 복원 및 추출하는 과정에서 오차를 발생시키는 요인이 되므로 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 개발 시 고려가 필요함.

- 배관 표면 점군 데이터의 부정확성 (Inaccuracy 또는 Noise Corruption)
  - 배관 표면은 반사율이 높은 특성을 가지며, 표면의 곡률에 따라 레이저 펄스가 빗겨서 입사되므로 배관 표면에 대한 점군 데이터는 노이즈를 수반할 가능성이 높음. 뿐만 아니라, 플랜트 시설과 같은 야외 환경에서 레이저 스캐너를 이용한 데이터 획득 시에는 대기의 온도, 습도, 바람, 먼지 등에 의해 오차가 발생될 수 있음.
  - 이처럼 배관 표면의 점군 데이터는 부정확한 특성을 가지므로 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 개발 시 고려가 필요함 (<그림 2-3-15> 예시 참조).

2) "배관지지대"라 함은 배관을 지지하는 철구조물을 말함.



<그림 2-3-15> 배관 표면에 대한 점군 데이터의 부정확성 예시 (LG화학 CA/EDC 현장에서 획득한 점군 데이터 일부)

(나) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

○ 기존 연구에서 3차원 점군 데이터로부터 중심축을 추출하기 위해 제안된 방법은 크게 위상학적 세선화 기반, 거리 변환 기반, 보로노이 다이어그램 기반의 방법으로 구분됨 (Telea와 Vilanova, 2003). 위상학적 세선화 기반의 방법과 거리 변환 기반의 방법은 복원된 축이 반드시 물체의 중심축을 지남을 보장하지 못하는 단점을 가짐. 반면, 보로노이 다이어그램 기반의 방법은 추출된 축이 중심축을 보장한다는 장점을 가짐 (Cornea 등, 2007). 뿐만 아니라, 위상학적 세선화 기반의 방법은 점군 데이터의 부정확성에 강한 장점이 있으나, 보로노이 다이어그램 기반의 방법은 점군 데이터의 부정확성에 민감한 단점이 있음.

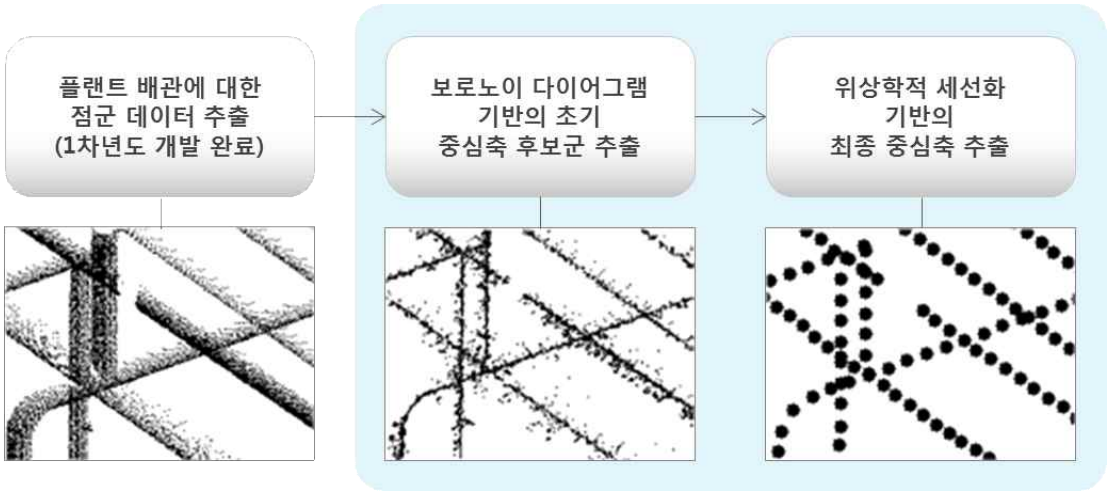
○ 앞서 분석한 배관 표면 데이터의 특성별로 기존 연구에서 제안된 위상학적 세선화 기반, 거리 변환 기반, 보로노이 다이어그램 기반 중심축 추출 방법 적용 시 기대 수준을 비교하여 요약하면 다음 <표 2-3-10>과 같음.

<표 2-3-10> 기존 연구에서 제안된 중심축 추출 방법 적용 시 기대 수준 비교

중심축 추출 방법 / 배관 표면 데이터의 특성	위상학적 세선화 기반	거리 변환 기반	보로노이 다이어그램 기반
배관 표면 점군 데이터의 불균일 분포	낮음	낮음	높음
배관 표면 점군 데이터의 불완전성	낮음	낮음	높음
배관 표면 점군 데이터의 부정확성	높음	낮음	낮음

○ 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 프레임워크
- 본 연구과제에서는 배관 표면 데이터의 특성을 고려할 때, 위상학적 세선화 기반의 방법과 보로노이 다이어그램 기반의 방법이 상호보완적인 장·단점을 갖는 점에 착안하여 두 방법의 단점을 보완하고 장점을 극대화하기 위한 기술 개발 프레임워크를 정립하고 구축함.

- 여기서 보로노이 다이어그램 기반의 방법은 플랜트 배관 표면 점군 데이터의 불균일 분포와 불완전성에 강하므로 초기 중심축 후보군을 추출하는 역할을 함. 배관 표면 점군 데이터의 부정확성에 강한 위상학적 세선화 기반의 방법은 앞서 추출된 중심축 후보군으로부터 최종 중심축을 추출하는 역할을 함. 위상학적 세선화 기반의 방법과 보로노이 다이어그램 기반의 방법이 융합된 기술은 플랜트 배관 표면 점군 데이터가 가지는 불균일 분포, 불완전성, 부정확성이라는 특성을 모두 고려함으로써 플랜트 분야에 특화된 기술이라 할 수 있음 (<그림 2-3-16> 참조).



<그림 2-3-16> 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 프레임워크

○ 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 프레임워크 상세

- 보로노이 다이어그램 기반의 초기 중심축 후보군 추출
  - 보로노이 다이어그램 기반의 방법은 3차원 점군 데이터로부터 물체의 중심축을 복원 및 추출하기 위한 다양한 연구에 활용되어 옴 (Amenta 등, 2001; Dey와 Zhao, 2004). 표면에서 가장 멀리 떨어져 있는 보로노이 꼭짓점을 극점이라 명명하며, 이 극점은 물체의 중심축에 근사하는 특성을 가짐 (Amenta 등, 2001). 일부 보로노이 다이어그램 기반의 방법은 중심축을 계산하기 위해 가지치기를 하는 과정에서 점군 데이터의 불균일 분포에 민감하게 영향을 받음 (Dey와 Zhao, 2004).
  - 이에 본 연구과제에서는 점군 데이터의 불균일 분포에 강한 방법으로 Dey와 Zhao (2004)가 제안한 "Medial Axis Approximation" 방법을 선정함. Dey와 Zhao (2004)가 제안한 "Medial Axis Approximation" 방법은 3차원 점군 데이터로부터 보로노이 다이어그램 계산을 시작으로 계산된 보로노이 다이어그램으로부터 가지치기 과정을 거쳐 중심축 후보군을 추출함. 가지치기 과정에서의 제한 조건으로는 1) 보로노이 꼭짓점 간의 각도와 2) 보로노이 꼭짓점의 평면 벡터가 이루는 비율이 있음. 여기서 상기 두 가지 제한 조건을 만족하는 꼭짓점은 중심축 후보군으로 추출됨.

- 위상학적 세선화 기반의 최종 중심축 추출
  - 위상학적 세선화 기반의 방법은 3차원 점군 데이터로부터 물체의 중심축을 복원 및 추출하기 위한 다양한 연구에 활용되어 옴 (Cornea 등, 2005; Au 등, 2008; Cao 등,

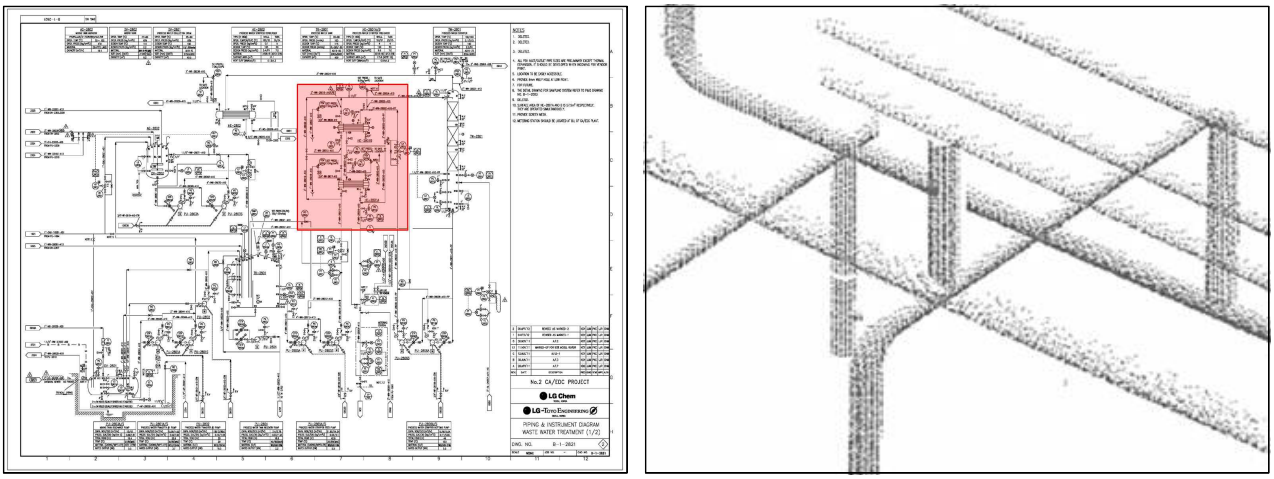
2010). 일부 위상학적 세선화 기반의 방법은 물체에 대한 완전한 3차원 점군 데이터로부터 중심축을 추출하기 위해 제안되어 왔으나, 플랜트 배관에 대한 점군 데이터는 가시선의 제한과 서로 다른 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조물에 의한 가림현상으로 인해 불완전한 특성을 가짐. 이에 본 연구과제에서는 점군 데이터의 불완전성에 강한 방법으로 Cao 등 (2010)이 제안한 "Skeletonization" 방법을 선정함.

- Cao 등 (2010)이 제안한 "Skeletonization" 방법은 추출된 중심축 후보군으로부터 라플라시안 유연화를 기반으로 기하학적 수축 계산을 반복적으로 수행하는 프로세스를 거쳐 중심축을 추출함. 기하학적 수축 계산이 반복적으로 수행되면, 중심축은 점들의 집합으로 나타남. 여기서 점들 간의 연결 정보를 계산함으로써 최종 중심축이 추출됨.

(다) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토

○ 중심축 추출 기술에 대한 기술 자문을 통한 기술 검토 및 개선사항 도출

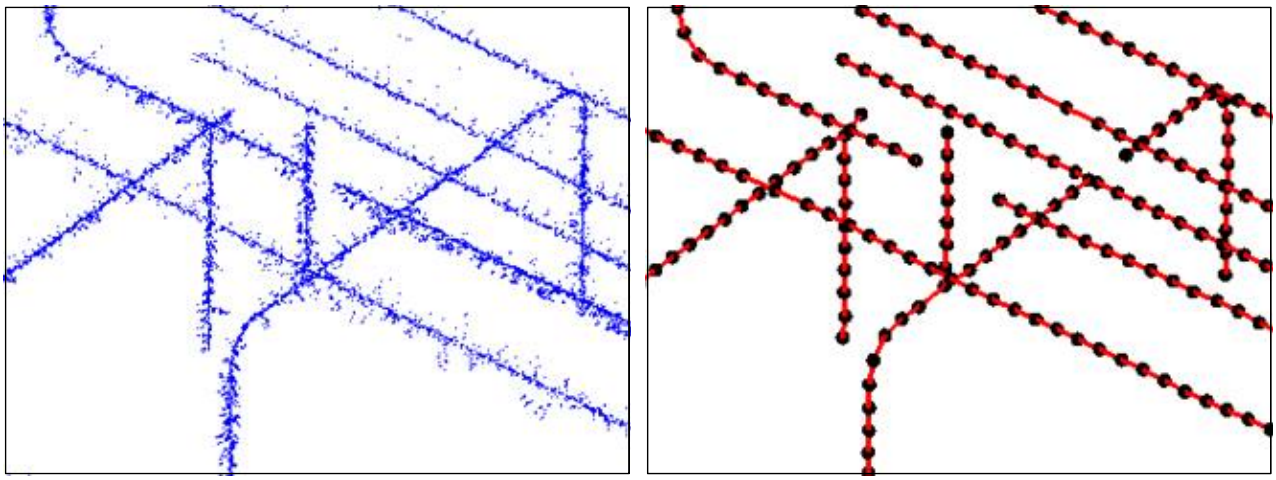
- 해당 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고, 이에 대한 보완 사항 및 전략을 도출하기 위해 2차년도 연구 기간 동안 중앙대학교 컴퓨터 공학과 소속 손봉수 교수가 내부 연구진으로 참여하여 기술 자문을 실시함. 손봉수 교수는 3차원 점군 데이터 처리 분야의 전문가로 관련 분야에 대한 다양한 연구 경험과 학술 경험을 바탕으로 활발한 연구 활동을 수행 중임.
- 다음은 기술 자문을 위해 LG화학 CA/EDC 현장을 대상으로 하여 개발한 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 적용 결과를 요약하여 나타낸 것임.
  - 다음 <그림 2-3-17(a)>는 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-3-17(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 대한 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-17> (a) LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도 일부, (b) 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 대한 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 추출 기술 적용 결과

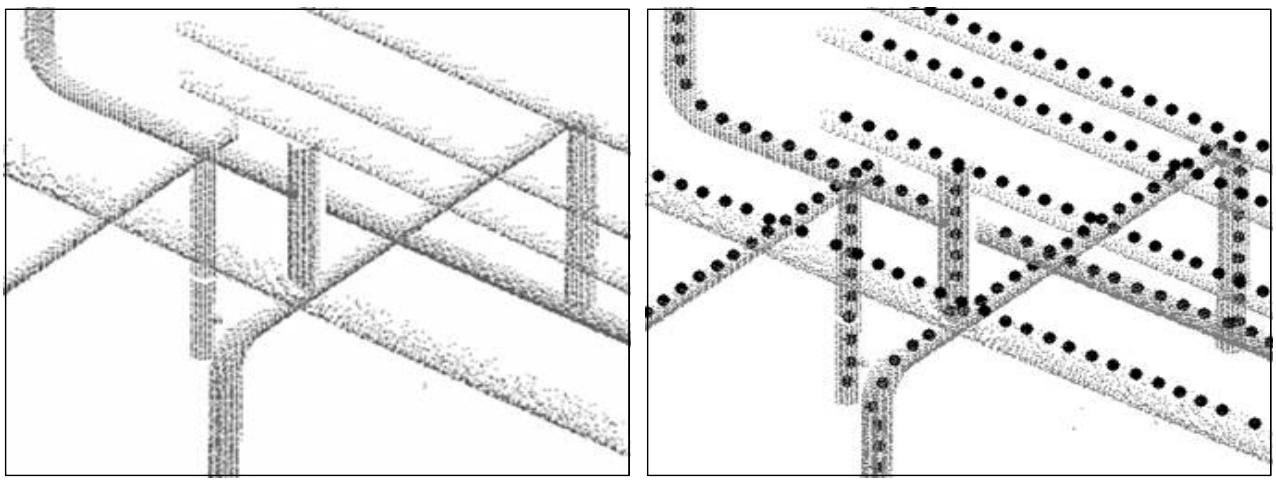
- 다음 <그림 2-3-18(a)>는 보로노이 다이어그램 기반의 초기 중심축 후보군 추출 결과를 나타내며, <그림 2-3-18(b)>는 위상학적 세선화 기반의 중심축 추출 프로세스를 거쳐 최종으로 추출된 플랜트 배관에 대한 중심축을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-18> (a) 보로노이 다이어그램 기반의 초기 중심축 후보군 추출 결과, (b) 위상학적 세선화 기반의 최종 중심축 추출 결과

- 다음 <그림 2-3-19>는 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 적용 결과를 플랜트 배관에 대한 점군 데이터와 비교하여 나타낸 것임. <그림 2-3-19(a)>는 플랜트 점군 데이터를 나타내며, <그림 2-3-19(b)>는 플랜트 배관에 대한 점군 데이터와 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 적용 결과를 중첩하여 나타낸 것임.



(a) (b)

<그림 2-3-19> (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 중심축 추출 기술 적용 결과

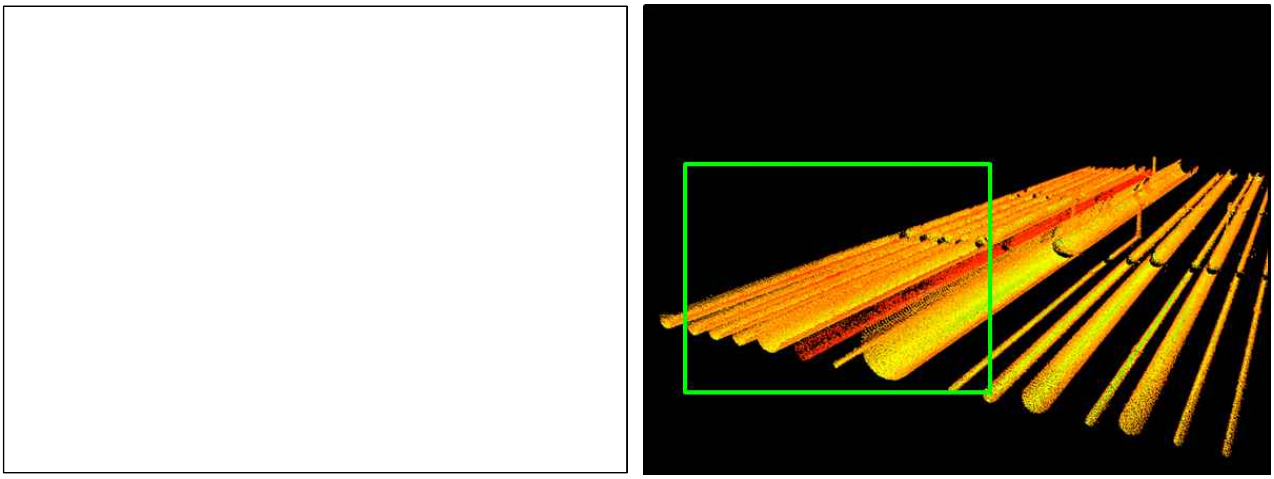
- 다음 <표 2-3-11>은 개발한 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 적용 결과의 일부를 요약하여 나타낸 것임. 분석 결과, 개발한 플랜트 배관에 대한 중심축 추출

기술의 적용 정확도는 약 92.19%로 나타남. 이에 개발한 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 적용 과정에서 발생한 정확도 저하의 원인을 파악하고, 이를 개선하고자 기술 자문을 통한 기술 검토 및 보완을 실시함.

<표 2-3-11> 플랜트 배관 중심축 추출 기술의 성능

구분	실제 배관 수	중심축 추출 배관 수	정확도
배관	64	59	92.19%

- 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술의 문제점 및 한계점 평가를 위한 기술 자문 결과, 정확도 저하의 원인으로 플랜트 배관 표면 간 근접성 (Close Proximity)이 지목됨. 플랜트 시설은 수많은 배관이 복잡하게 얽혀있어 배관 표면 간 근접성이 매우 높은 특성을 가짐 (<그림 2-3-20> 예시 참조).



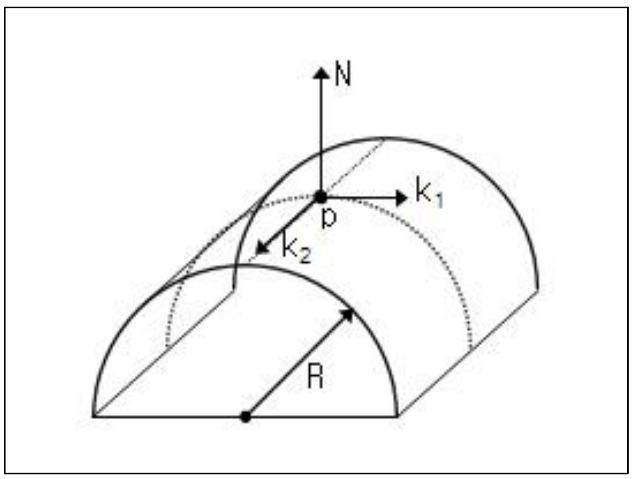
(a) (b)

<그림 2-3-20> 배관 표면 간 근접성 예시 (LG화학 CA/EDC 현장에서 획득한 점군 데이터 일부) (a) 예시 1, (b) 예시 2

- 이러한 배관 표면 간 근접성은 서로 다른 배관에 대한 표면 점군 데이터로부터 중심축을 복원 및 추출하는 과정에서 인접한 배관들의 표면 점군 데이터를 단일 배관의 표면 점군 데이터로 잘못 구분함으로써 정확도를 저하시키는 원인이 되므로 인접한 배관들을 분명하게 구분할 수 있도록 하는 추가적인 고려가 필요함.
- 보로노이 다이어그램 기반의 초기 중심축 후보군 추출 방법과 위상학적 세선화 기반의 최종 중심축 추출 방법으로 이루어진 중심축 추출 기술은 플랜트 배관 표면의 점군 데이터가 가지는 불균일 분포, 불완전성, 부정확성이라는 특성에는 장점을 가짐. 그러나 배관 표면 간 근접성에 민감하게 영향을 받는다는 단점이 있어 다른 방법으로의 전환 필요성이 존재함. 이에 배관 표면 데이터의 곡률 계산을 통해 플랜트 배관에 대한 중심축을 추출하는 방법으로 기술 개발 프레임워크를 개선함으로써 개발한 기술을 보완하고자 함.

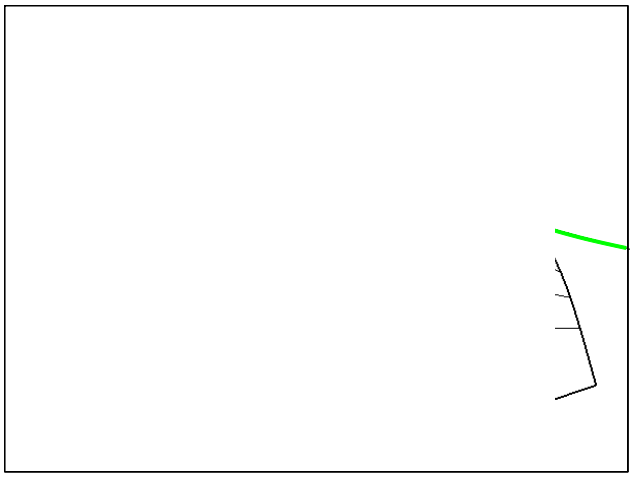
○ 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 개발 프레임워크 개선사항 상세

- 곡률 계산 기반의 플랜트 배관에 대한 중심축 추출
  - 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술을 통해 추출된 플랜트 배관에 대한 점군 데이터의 *X, Y, Z* 좌표 값을 입력받아 배관 표면 데이터의 곡률 계산을 통해 플랜트 배관에 대한 중심축을 추출하고자 함.
  - 다음 <그림 2-3-21>과 같이 반지름이 R인 배관 표면의 한 지점 (p)에서의 곡률 계산을 수행하면, 최대 곡률 (k_1)과 최소 곡률 (k_2)의 크기와 방향이 계산됨. 여기서 최대 곡률을 나타내는 접촉원의 중심은 배관의 중심축 상에 위치하며, 최대 곡률의 크기는 배관 반지름의 역수를 나타냄. 또한 최대 곡률을 나타내는 벡터와 최소 곡률을 나타내는 벡터의 방향은 서로 수직하게 되며, 따라서 최소 곡률을 나타내는 벡터의 방향은 배관의 길이 방향과 평행한 특성을 가짐.



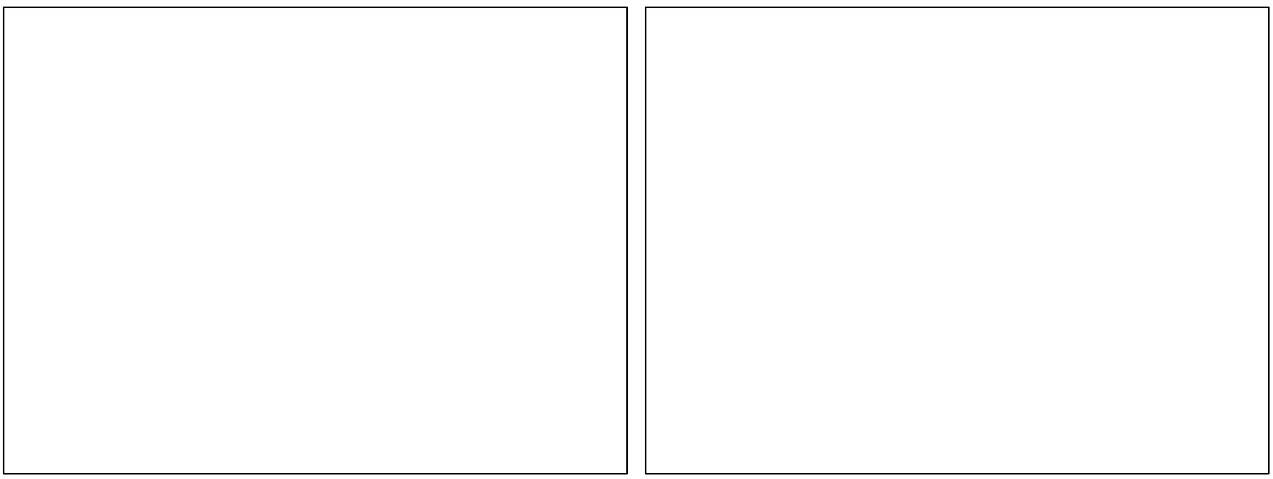
<그림 2-3-21> 반지름이 R인 배관 표면의 한 지점 (p)에서의 최대 곡률 (k_1), 최소 곡률 (k_2), 법선 벡터 (N)의 방향

- 이러한 원리를 바탕으로 하여 개선한 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 프로세스는 다음과 같음. 플랜트 배관에 대한 점군 데이터를 입력받아 개별 배관의 한쪽 끝 단면에 위치하는 한 지점을 선정하여 최대 곡률을 나타내는 접촉원의 중심을 계산함. 개별 배관으로부터 계산된 접촉원의 중심은 각 배관에 대한 중심축의 시작점이 되며, 각 배관의 길이 방향으로 일정 간격을 두고 동일한 과정을 반복하여 수행함. 전체 프로세스는 새로 선정된 배관 표면의 지점이 개별 배관의 다른 한쪽 끝 단면의 위치에 근접할 때까지 반복함.
- 다음 <그림 2-3-22>는 배관의 한쪽 끝 단면에 위치하는 한 지점으로부터 계산된 최대 곡률을 나타내는 접촉원 (붉은색), 최소 곡률을 나타내는 접촉원의 일부 (연두색), 최대 곡률을 나타내는 접촉원의 중심 (파란색)을 도식화한 것임.



<그림 2-3-22> 배관의 한쪽 끝 단면에 위치하는 한 지점으로부터 계산된 두 접촉원과 최대 곡률을 나타내는 접촉원의 중심

○ 개선한 기술 개발 프레임워크를 기반으로 하여 플랜트 배관에 대한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술 개발을 완료함. 다음 <그림 2-3-23>은 개선한 플랜트 배관에 대한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술 적용 결과를 플랜트 배관에 대한 점군 데이터와 비교하여 나타낸 것임. 다음 <그림 2-3-23(a)>는 플랜트 배관에 대한 점군 데이터를 나타내며, <그림 2-3-23(b)>는 플랜트 배관에 대한 점군 데이터와 개선한 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 적용 결과를 중첩하여 나타낸 것임.



(a) (b)

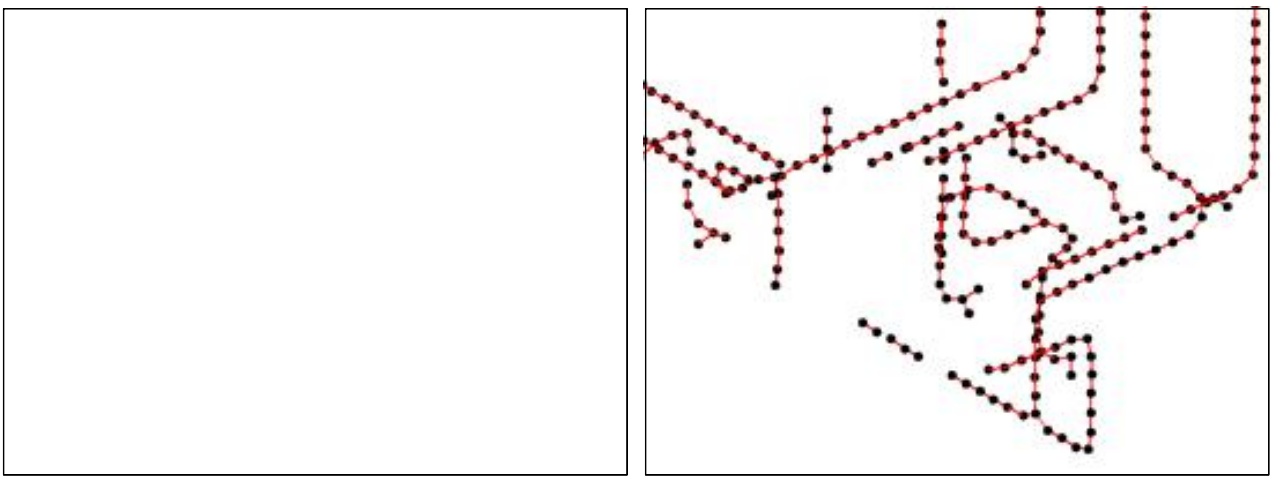
<그림 2-3-23> (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술 적용 결과

(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

○ 테스트베드를 대상으로 개발한 플랜트 배관에 대한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성을 분석 및 평가하고자 함. 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 중 서로 다른 특성을 가지는 점군 데이터를 선정하여 개발한 기술을 적용하고 현장적용성을 분석 및 평가한 결과, 배관 표면 데이터의 다양한 특성에도 불구하고 효과적으로 플랜트 배관에 대한 중심축 추출이 가능함을 파악함.

○ 다음은 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 실험 결과에 대한 일부를 요약하여 나타낸 것임.

- 다음 <그림 2-3-24>는 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 실험 데이터와 적용 결과를 나타냄. <그림 2-3-24(a)>에서 보는 바와 같이, 실험 데이터는 배관 표면에 점군 데이터가 불균일하게 분산되는 분포 특성을 가짐. 또한 서로 다른 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조물 등에 의한 가림현상이 발생하여 불완전하며, 일부 노이즈를 수반하여 부정확한 특성을 가짐.
- 다수의 배관이 복잡하게 얽혀 있을 뿐만 아니라, 다수의 배관이 좁은 공간에 평행하게 배열되어 있어 일부 배관 표면 간 근접성이 매우 높은 특성을 가짐. <그림 2-3-24(b)>는 플랜트 배관에 대한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술 적용 결과를 나타낸 것임.



(a) (b)

<그림 2-3-24> (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 추출 기술 적용 결과,
(b) 2차년도에 개발한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술 적용 결과

○ 다음 <표 2-3-12>는 개발한 플랜트 배관에 대한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술 적용 결과의 일부를 요약하여 나타낸 것임. 분석 결과, 개발한 플랜트 배관에 대한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술의 적용 정확도는 100.00%로 나타남.

<표 2-3-12> 플랜트 배관에 대한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술의 성능

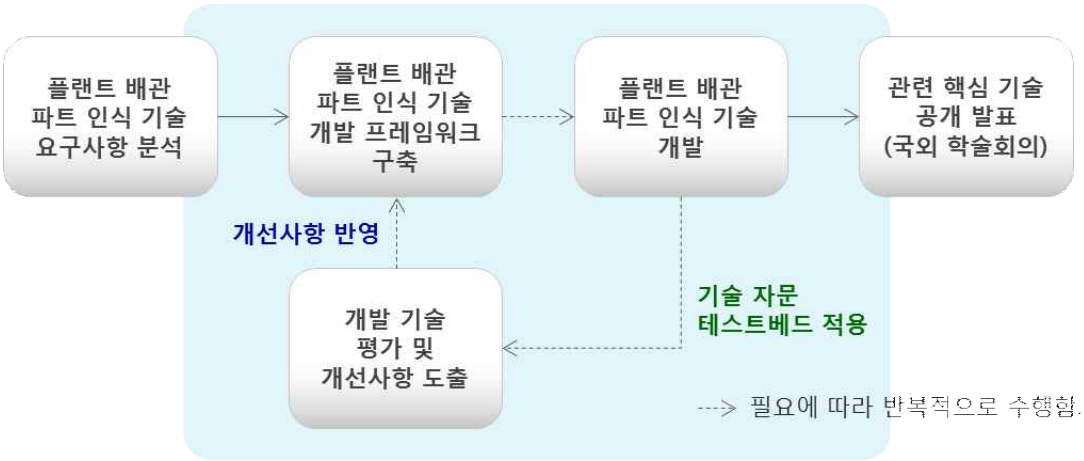
구분	실제 배관 수	중심축 추출 배관 수	정확도
배관	158	158	100.00%

(4) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발

○ 플랜트 배관에 대한 점군 데이터로부터 플랜트 배관 모델을 구축하기 위해서는 플랜트 배관을 구성하는 요소별로 파트를 인식하는 과정이 필요함. 플랜트 배관 파트 인식 기술의 요구사항을 분석하기 위해 플랜트 배관 파트별 종류 및 특성과 파트 간 연결 관계를 파악함. 분석된 플랜트 배관 파트별 특성과 파트 간 연결 관계를 고려하여 이에 적합한 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 프레임워크를 정립 및 구축함. 이를 바탕으로 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발을 완료함.

○ 플랜트 배관 파트 인식 기술 관련 연구결과의 최종성과물을 바로 현업에 적용할 수 있도록 하기 위해 기술 자문을 통해 개발 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고 이에 대한 보완사항 및 전략을 도출함. 동시에 테스트베드를 대상으로 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성을 평가함으로써 개발 기술의 플랜트 배관 파트 인식 정확도를 개선하기 위한 방안을 마련함. 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가와 기술 자문을 통해 도출한 개선사항을 바탕으로 기존에 구축한 기술 개발 프레임워크를 개선하고, 이를 다시 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발에 반영함.

○ 이를 통해 최종 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술은 2014년 5월, 미국 토목 학회(American Society of Civil Engineers, ASCE)에서 주관하는 "Construction Research Congress (CRC 2014)" 국외 학술회의를 통해 발표함 (<그림 2-3-25> 참조).



<그림 2-3-25> 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 절차 및 성과

(가) 플랜트 배관 파트별 특성 및 파트 간 연결 관계 분석

○ 플랜트 배관의 파트별 종류 및 특성 분석
- 플랜트 배관은 크게 스트레이트 (Straight), 엘보우 (Elbow), 티 (Tee), 리듀서 (Reducer)로 구성됨.

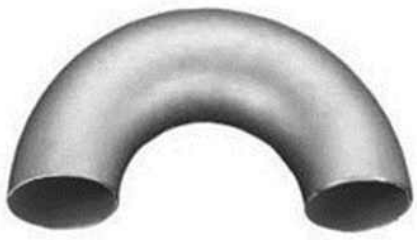
- 다음 <표 2-3-13>은 스트레이트의 예시를 나타내며, 스트레이트는 구경에 따라 분류됨.

<표 2-3-13> 플랜트 배관 파트별 종류 예시 - 스트레이트

배관 파트	종류 (예시)
스트레이트 (Straight)	

- 다음 <표 2-3-14>는 엘보우의 예시를 나타내며, 엘보우는 반경에 따라 긴 곡률반경 엘보우 (롱 엘보우)와 작은 곡률반경 엘보우 (숏 엘보우)로 분류됨. 중심선 상에서 반지름의 길이가 배관 구경의 1.5배인 엘보우를 롱 엘보우라 하며, 중심선 상에서 반지름의 길이가 배관 구경의 1.0배인 엘보우를 숏 엘보우라 함. 또한 엘보우는 각도에 따라 45° 엘보우, 90° 엘보우, 180° 엘보우 등으로 구분되며, 여기서 45° 엘보우는 롱 엘보우에만 포함됨.

<표 2-3-14> 플랜트 배관 파트별 종류 예시 - 엘보우

<table>
<tr><th>배관 파트</th><th colspan="2">종류 (예시)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">엘보우 (Elbow)</td><td> 
90° 엘보우 (롱 엘보우)</td><td> 
90° 엘보우 (숏 엘보우)</td></tr>
<tr><td> 
45° 엘보우 (롱 엘보우)</td><td> 
180° 엘보우 (숏 엘보우)</td></tr>
</table>

- 다음 <표 2-3-15>는 티의 예시를 나타내며, 티는 헤더 (Header)[3] 구경과 브랜치 (Branch)[4] 구경에 따라 분류됨. 헤더 구경과 브랜치 구경이 같은 티를 이퀄티라 하며, 헤더 구경이 브랜치 구경 보다 큰 티를 리듀싱 티라 함.

<표 2-3-15> 플랜트 배관 파트별 종류 예시 - 티

배관 파트	종류 (예시)	
티 (Tee)	 이퀄티 (Straight)	 리듀싱티 (Reducing)

- 다음 <표 2-3-16>은 리듀서의 예시를 나타내며, 리듀서는 배관의 구경을 감소시킬 때 사용됨. 리듀서는 양 끝 단에 연결되는 배관 중심의 위치에 따라 분류됨. 배관 중심의 위치가 같은 리듀서를 동심리듀서라 하며, 배관 중심의 위치가 서로 다른 리듀서를 편심리듀서라 함.

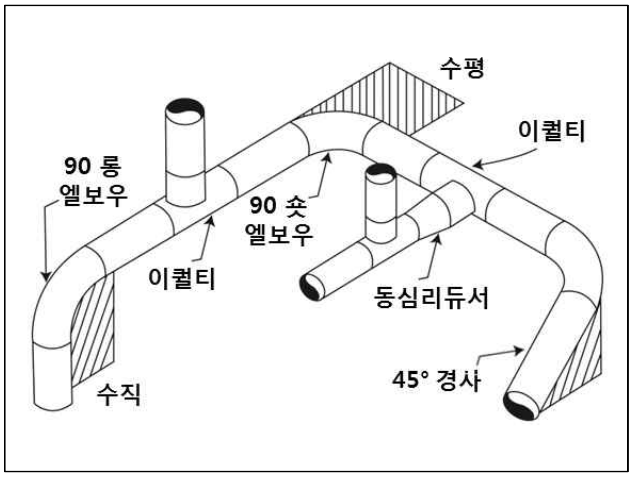
<표 2-3-16> 플랜트 배관 파트별 종류 예시 - 리듀서

배관 파트	종류 (예시)	
리듀서 (Reducer)	 동심리듀서 (Concentric)	 편심리듀서 (Ecentric)

○ 플랜트 배관의 파트 간 연결 관계 분석
- 플랜트 배관은 사전 정의된 파트 간 연결 관계에 따라 설계하므로 플랜트 배관 점군 데이터에 대한 파트 인식 기술 개발 시 인식 조건 설정을 위해서는 파트 간 연결 관계에 대한 분석이 필수적임.
- 다음 <그림 2-3-26>은 사전 정의된 파트 간 연결 관계에 대한 일부 예시를 나타내며, 파트 간 연결 관계는 인접하는 배관의 중심축이 이루는 각도에 따라 분류됨.

3) "헤더"라 함은 주 파이프를 나타냄.
4) "브랜치"라 함은 주 파이프에서 분기되는 파이프를 나타냄.

- 예를 들어, 서로 다른 스트레이트와 서로 다른 티를 구성하는 헤더와 브랜치는 수직 또는 수평하거나, 45° 각도를 이룰 수 있음.



<그림 2-3-26> 플랜트 배관의 파트 간 연결 관계 일부 예시

(나) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

○ 다음 <표 2-3-17>은 배관 점군 데이터에 대한 파트 인식을 위해 기존 연구에서 제안된 자동화된 방법의 배관 파트별 적용 가능 범위를 비교하여 요약한 것임. 기존 연구 분석 결과, Kawashima 등 (2011; 2012; 2014)의 연구에서 모든 배관 파트에 대한 인식 방법이 제안됨을 알 수 있음.

<표 2-3-17> 기존 연구에서 제안된 배관 파트 인식 방법의 적용 가능 범위 비교

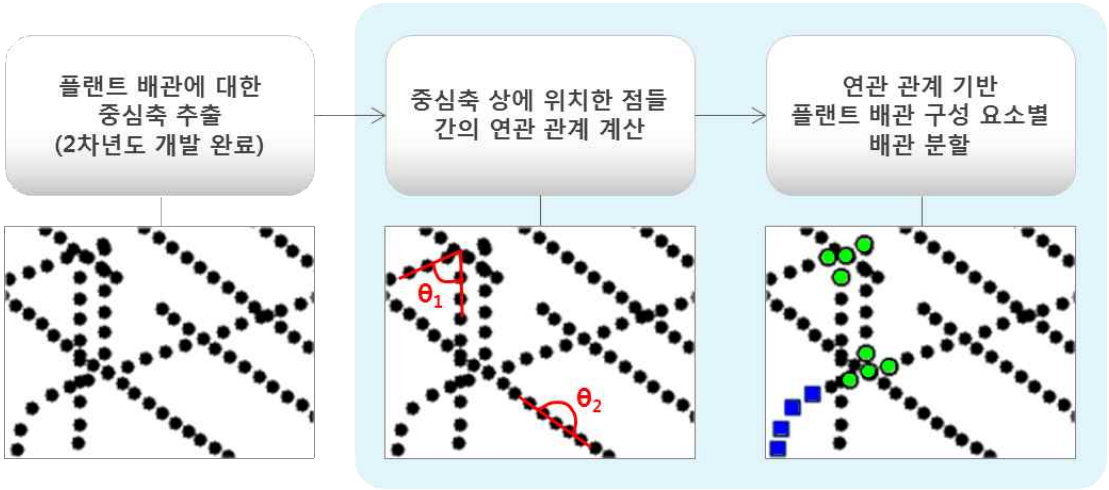
파트	기존 연구에서 제안된 방법 (출처)
스트레이트	Region Growing과 Hough Transform 알고리즘 기반 (Rabbani 등, 2006)
스트레이트와 엘보우	Cylinder Fitting 알고리즘 기반 (Bosche, 2003; Liu 등, 2013)
스트레이트, 엘보우, 티, 리듀서	RANSAC (Random Sample Consensus) 알고리즘 기반 (Kawashima 등, 2011; 2012; 2014)

○ Kawashima 등 (2011; 2012; 2014)의 연구에서 제안된 배관 파트 인식 방법을 자세히 살펴보면 다음과 같음. 제안된 방법은 가장 먼저 3차원 점군 데이터의 법선 벡터를 활용한 RANSAC (Random Sample Consensus) 알고리즘을 이용하여 스트레이트를 인식함. 이후 인식된 스트레이트 간의 관계를 바탕으로 스트레이트 사이에 놓인 엘보우, 티, 또는 리듀서를 유추하여 인식함. 제안된 방법은 실제 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터에 적용하여 검증됨. 검증 결과, 총 236개 파트 중 93.2%에 해당하는 220개 파트가 인식됨.

○ 기존 연구에서 제안된 방법의 정확도 저하 원인으로 플랜트 배관 표면 데이터의 부정확성을 들 수 있음.

○ 앞서 언급한 바와 같이, 배관 표면의 점군 데이터는 배관 표면의 높은 반사율, 야외 환경에서의 레이저 스캐너를 이용한 데이터 획득 등으로 인해 노이즈를 수반하여 부정확한 특성을 가짐. Kawashima 등 (2011; 2012; 2014)의 연구에서 기반으로 하는 3차원 점군 데이터의 법선 벡터를 활용한 RANSAC (Random Sample Consensus) 알고리즘은 점군 데이터의 부정확한 특성에 민감한 단점이 있는 것으로 알려져 옴 (Liu 등, 2013).

○ 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 프레임워크
- 본 연구과제에서는 앞서 분석한 플랜트 배관 파트별 특성 및 파트 간 연결 관계를 바탕으로 기존 연구가 갖는 방법론상의 한계점을 비판적으로 검토하여 이를 극복하기 위한 기술 개발 프레임워크를 정립하고 구축함 (<그림 2-3-27> 참조).



<그림 2-3-27> 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 프레임워크

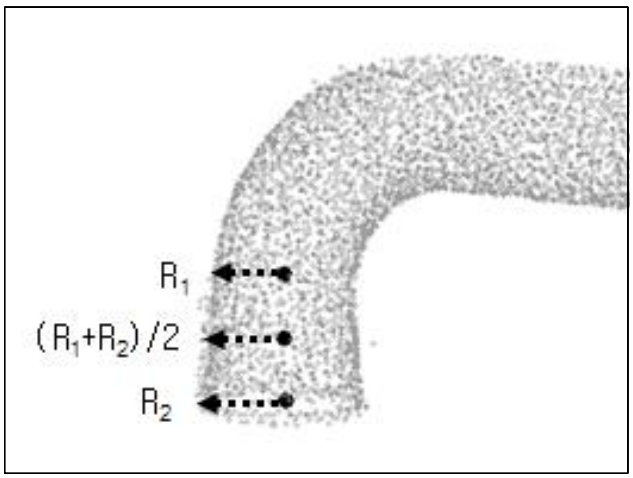
- 곡률 계산 기반의 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 결과는 중심축 상에 위치한 점들의 집합과 이들 간의 연결 정보로 구성됨. 따라서 추출된 중심축 상에 위치한 점과 연결된 점들 간의 연관 관계를 계산하고, 사전 정의된 파트 간 연결 관계를 인식 조건으로 설정함으로써 플랜트 배관 파트 인식을 수행함.

○ 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 프레임워크 상세
- 중심축 상에 위치한 점들 간의 연관 관계 계산
  - 2차년도에 개발한 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 적용 결과는 중심축 상에 위치한 점들의 집합과 이들 간의 연결 정보로 구성됨. 이러한 중심축 추출 결과를 입력받아 중심축 상에 위치한 점들 간의 연관 관계 계산을 위해 각 점과 연결되어 있는 점의 수와 각 점과 연결되어 있는 점들이 이루는 각도 계산을 수행함.
- 연관 관계 기반 플랜트 배관 파트 인식
  - 중심축 상에 위치한 각 점과 연결되어 있는 점들 간의 연관 관계를 기반으로 하는 배관 파트 인식 과정은 중심축 상에 위치한 각 점의 다중 분류 문제로 간주됨. 여기서 다중 분류는 티, 엘보우, 스트레이트 또는 리듀서 순서로 수행되며, 이를 위한 배관 파트별 인식 조건을 요약하면 다음 <표 2-3-18>과 같음.

<표 2-3-18> 연관 관계 기반 배관 파트별 인식 조건

인식 순서	배관 파트	인식 조건
1	티	▪중심축 상에 위치한 한 점과 연결된 점의 수가 세 개 일 때 이는 티의 헤더와 브랜치의 교차점이 되며, 교차점을 포함하여 교차점과 연결된 세 개의 점은 모두 티로 분류됨.
2	엘보우	▪중심축 상에 위치한 한 점과 연결된 점이 이루는 예각이 150° 이하일 때 이는 엘보우의 중심축 상에 위치하는 것으로 분류됨. 동시에 이와 연결된 두 개의 점은 모두 엘보우로 분류됨.
3	스트레이트	▪양 끝 단에 위치한 두 점에서 미리 계산된 접촉원의 반지름이 동일할 때 두 점을 포함하여 두 점 사이에 연결된 점들은 모두 스트레이트로 분류됨.
4	리듀서	▪양 끝 단에 위치한 두 점에서 미리 계산된 접촉원의 반지름이 상이할 때 두 점을 포함하여 두 점 사이에 연결된 점들은 모두 리듀서로 분류됨.

- 예를 들어, 다음 <그림 2-3-28>은 연관 관계를 기반으로 하는 리듀서 인식 조건을 예시로 나타냄. 중심축 상에 위치한 두 점에서 미리 계산된 접촉원의 반지름이 각각 R_1, R_2이고, R_1과 R_2의 값이 서로 상이할 때 두 점을 포함하여 두 점 사이에 연결된 점은 모두 리듀서로 분류됨. 또한 <그림 2-3-28>은 양 끝 단에 연결되는 배관 중심의 위치가 동일하므로 동심리듀서로 분류될 수 있음.



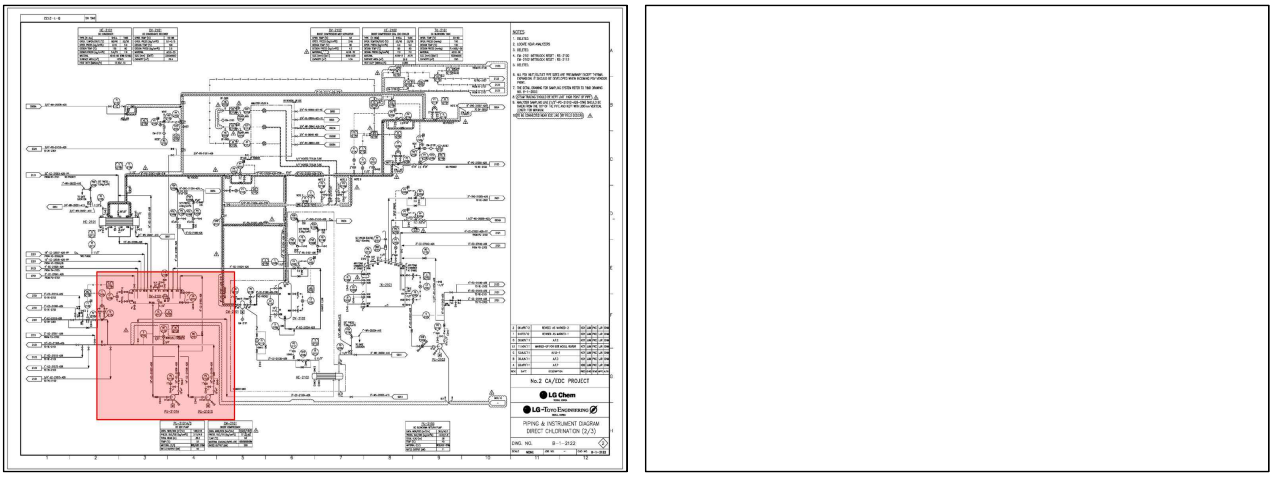
<그림 2-3-28> 연관 관계 기반 리듀서 인식 조건 예시

(다) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토

○ 구축된 기술 개발 프레임워크를 기반으로 하여 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발을 완료함.

○ 배관 파트 인식 기술에 대한 기술 자문을 통한 기술 검토 및 개선사항 도출
- 해당 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고, 이에 대한 보완 사항 및 전략을 도출하기 위해 3차원 점군 데이터 처리 분야의 전문가인 중앙대학교 컴퓨터 공학과 소속 손봉수 교수를 대상으로 한 기술 자문을 실시함.
- 다음은 기술 자문을 위해 LG화학 CA/EDC 현장을 대상으로 하여 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과를 요약하여 나타낸 것임.

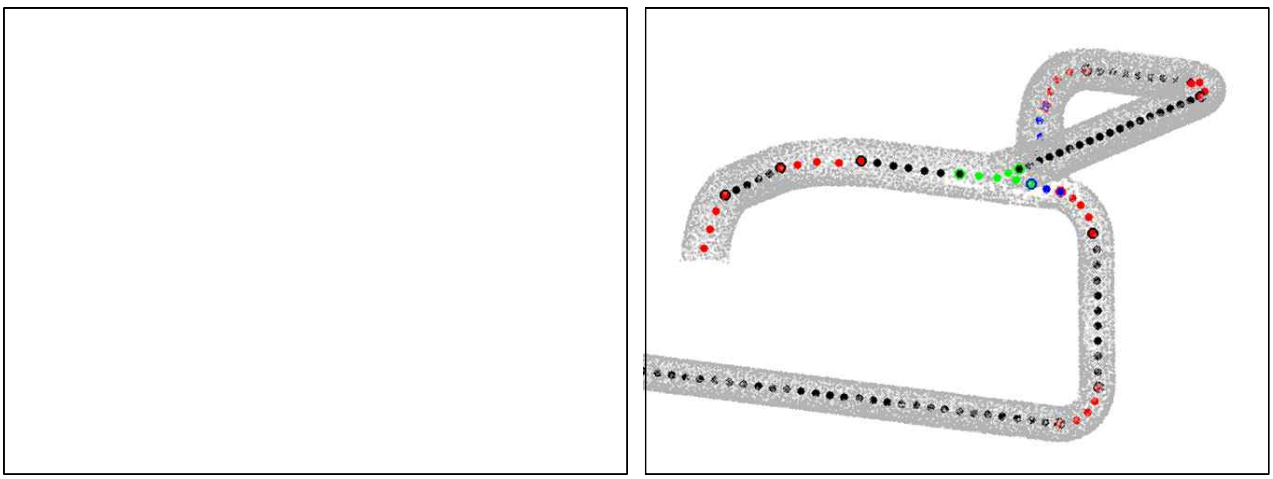
- 다음 <그림 2-3-29(a)>는 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-3-29(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 포함된 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-29> (a) LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도 일부, (b) 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 대한 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과

- 다음 <그림 2-3-30(a)>는 2차년도에 개발한 플랜트 배관에 대한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술을 적용한 결과를 나타내며, <그림 2-3-30(b)>는 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과를 나타냄. 그림에서 보는 바와 같이, 개발한 기술을 통해 티 (연두색), 엘보우 (붉은색), 리듀서 (파란색), 스트레이트 (검정색)이 모두 정확하게 인식됨.



(a) (b)

<그림 2-3-30> (a) 2차년도에 개발한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과

○ 다음 <표 2-3-19>는 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과를 요약하여 나타냄. 분석 결과, 총 252개 배관 파트 중 252개 파트가 정확히 인식되어 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술의 정확도는 100.00%로 나타남.

<표 2-3-19> 플랜트 배관 파트 인식 기술의 성능

구분	실제 배관 파트 수	인식된 배관 파트 수	정확도
배관 파트	252	252	100.00%

(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

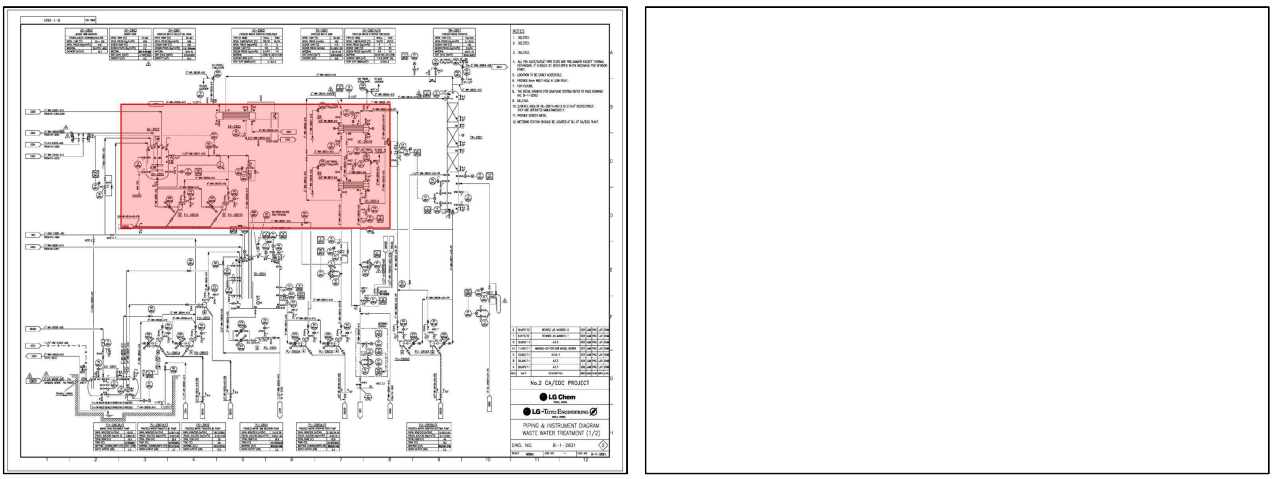
○ 테스트베드를 대상으로 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성을 분석 및 평가하고자 함. 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 중 서로 다른 특성을 가지는 점군 데이터를 선정하여 개발한 기술을 적용하고 현장적용성을 분석 및 평가한 결과, 배관 표면 데이터의 다양한 특성에도 불구하고 효과적으로 플랜트 배관 파트 인식이 가능함을 파악함.

○ 다음은 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 실험 결과에 대한 일부를 요약하여 나타낸 것임.
- 본 연구과제에서는 연구결과의 최종성과물을 바로 현업에 적용할 수 있도록 하는 실용연구에 초점을 맞춰왔으며, 이에 개발한 기술의 현장적용성을 다양한 관점에서 평가하고자 함.
- 다음 <표 2-3-20>은 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 실험에 사용한 점군 데이터의 특성을 요약한 것임.

<표 2-3-20> 플랜트 배관 파트 인식 기술 평가 실험에 사용한 점군 데이터의 특성 요약

구분	점군 데이터의 특성
실험 데이터 1	▪ 배관 표면에 점군 데이터가 불균일하게 분산되는 분포 특성을 가짐. ▪ 가시선의 제한으로 인한 가림현상이 발생하여 불완전성이 높은 특성을 가짐. ▪ 다수의 배관이 복잡하게 얽혀 있어 일부 배관 표면 간 근접성이 매우 높은 특성을 가짐.
실험 데이터 2	▪ 배관 표면에 점군 데이터가 불균일하게 분산되는 분포 특성을 가짐. ▪ 서로 다른 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조물 등에 의한 가림현상이 발생하여 불완전한 특성을 가짐. ▪ 다수의 배관이 복잡하게 얽혀 있어 일부 배관 표면 간 근접성이 매우 높은 특성을 가짐.
실험 데이터 3	▪ 배관 표면에 점군 데이터가 불균일하게 분산되는 분포 특성을 가짐. ▪ 서로 다른 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조물 등에 의한 가림현상이 발생하여 불완전한 특성을 가짐. ▪ 일부 노이즈를 수반하여 부정확한 특성을 가짐. ▪ 다수의 배관이 좁은 공간에 평행하게 배열되어 있어 일부 배관 표면 간 근접성이 매우 높은 특성을 가짐.
실험 데이터 4	▪ 배관 표면에 점군 데이터가 불균일하게 분산되는 분포 특성을 가짐. ▪ 일부 노이즈를 수반하여 부정확한 특성을 가짐. ▪ 다수의 배관이 복잡하게 얽혀 있어 일부 배관 표면 간 근접성이 매우 높은 특성을 가짐.

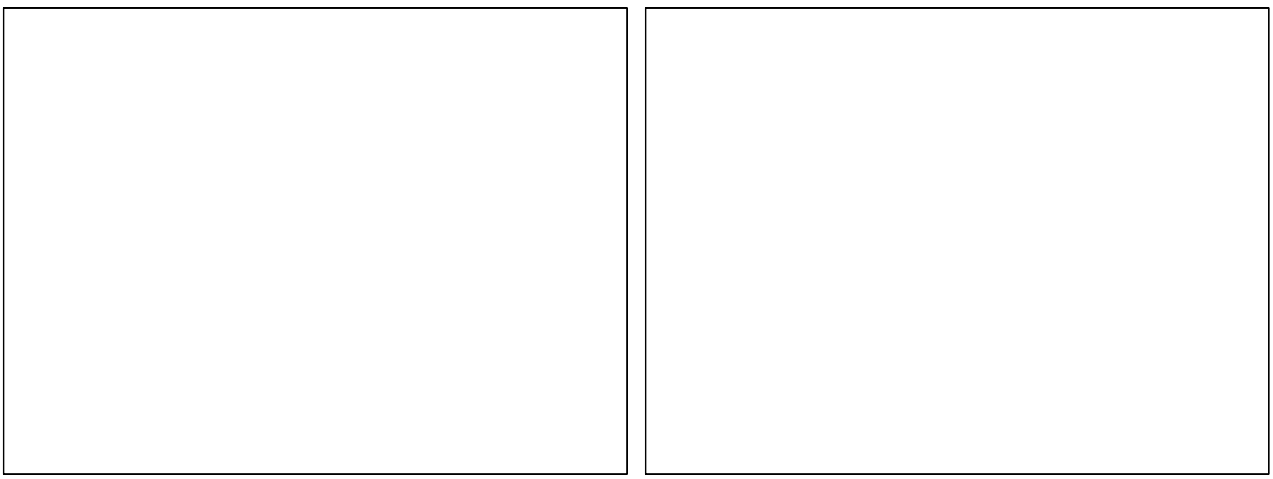
- 다음 <그림 2-3-31>은 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 실험 결과를 나타냄. <그림 2-3-31(a)>는 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-3-31(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 포함된 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-31> 실험 데이터 1 (a) LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도 일부, (b) 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 대한 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과

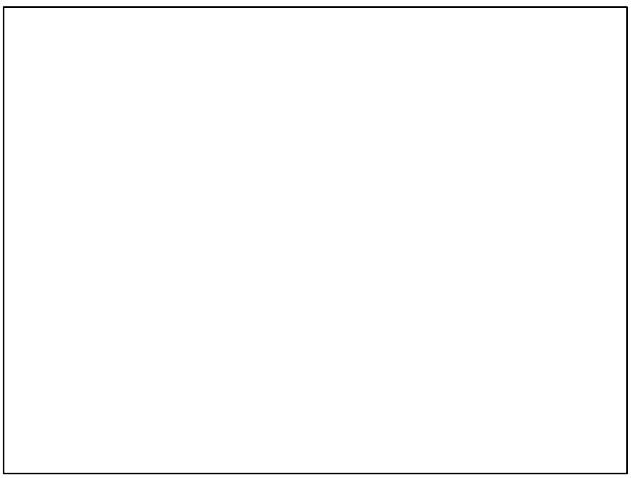
- 다음 <그림 2-3-32(a)>는 2차년도에 개발한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술을 적용한 결과를 나타냄. <그림 2-3-32(b)>는 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과를 나타냄. 그림에서 보는 바와 같이, 개발한 기술을 통해 티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (검정색)이 정확하게 인식됨.



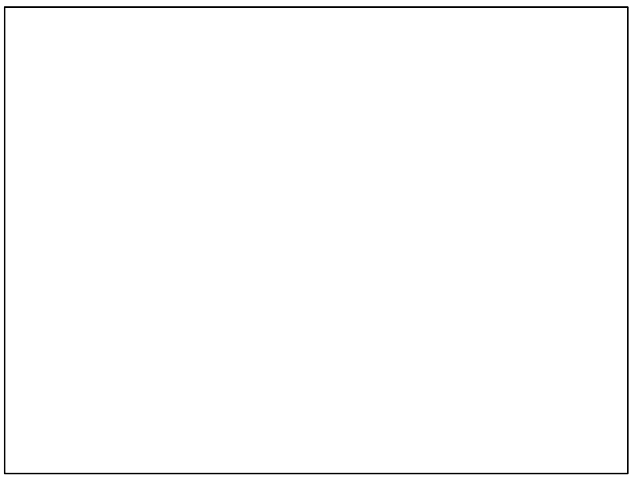
(a) (b)

<그림 2-3-32> 실험 데이터 1 (a) 2차년도에 개발한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과

- 다음 <그림 2-3-33(a)>~<그림 2-3-35(a)>는 실험 데이터 2~4에 대해 각각 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술을 적용한 결과를 나타내며, <그림 2-3-33(b)>~<그림 2-3-35(b)>는 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과를 나타냄.

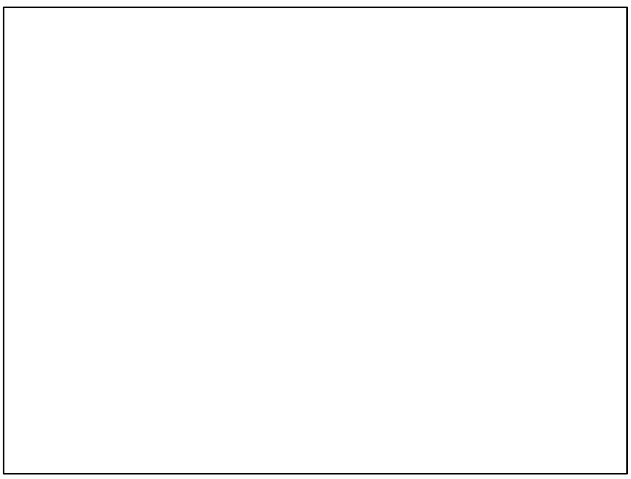


(a)

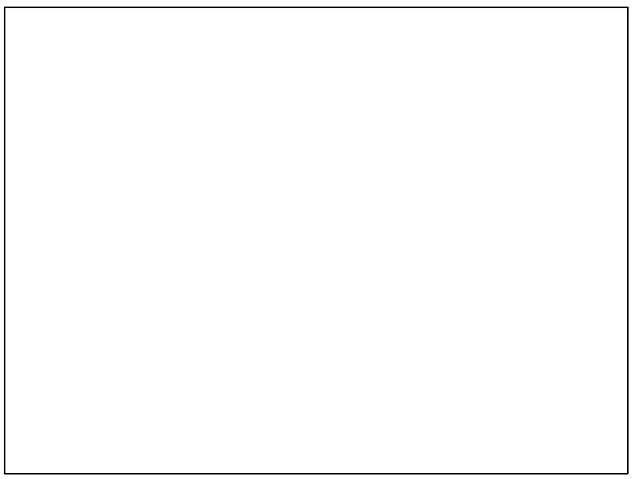


(b)

<그림 2-3-33> 실험 데이터 2 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과
(● : 스트레이트, □ : 엘보우, ○ : 티)

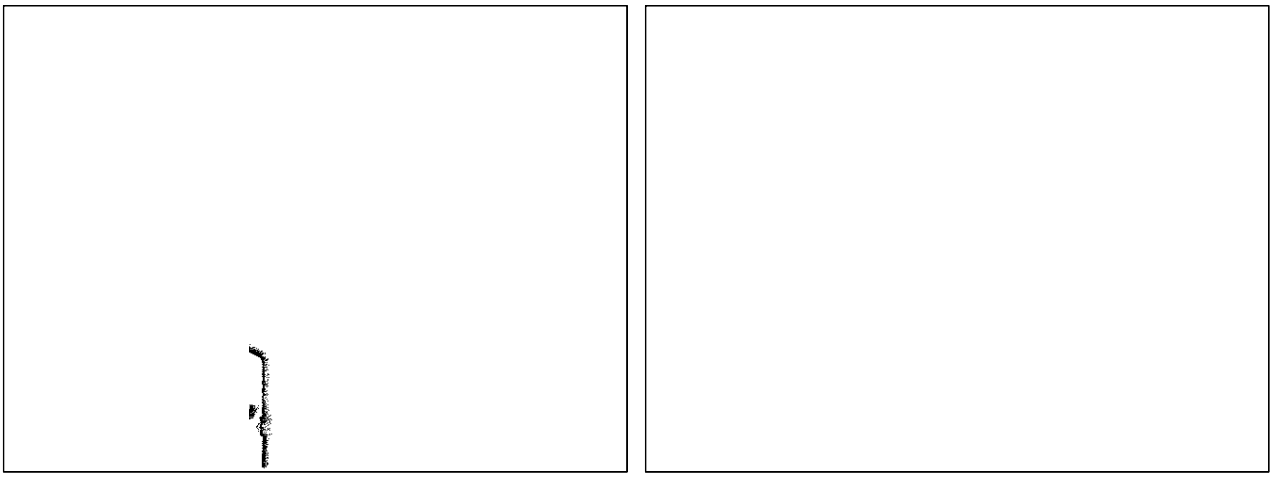


(a)



(b)

<그림 2-3-34> 실험 데이터 3 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과
(● : 스트레이트, □ : 엘보우, ○ : 티)



(a) (b)

<그림 2-3-35> 실험 데이터 4 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과
(● : 스트레이트, □ : 엘보우, ○ : 티)

- 다음 <표 2-3-21>은 개발한 플랜트 배관 파트 인식 기술 적용 결과를 요약하여 나타냄. 분석 결과, 총 178개 배관 파트 중 178개 파트가 정확히 인식되어 개발한 플랜트 배관에 파트 인식 기술의 적용 정확도는 100.00%로 나타남.

<표 2-3-21> 플랜트 배관 파트 인식 기술의 성능

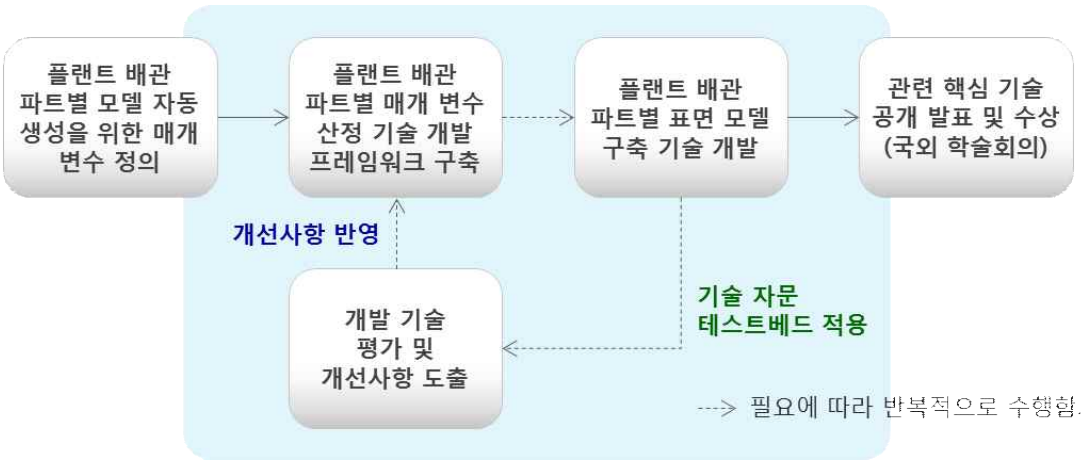
구분	실제 배관 파트 수	인식된 배관 파트 수	정확도
배관 파트	178	178	100.00%

(5) 플랜트 배관 표면 모델 구축 기술 개발

○ 앞서 분할된 플랜트 배관의 점군 데이터로부터 파트별 플랜트 배관 정보 모델을 구축하기 위해서는 배관 파트별로 매개 변수를 산정하고, 이를 바탕으로 표면 모델을 구축하는 과정이 필요함. 본 연구과제에서는 플랜트 파트별 파라메트릭 모델을 자동으로 생성하기 위한 매개 변수를 정의하고, 이를 자동으로 산정하기 위한 기술 개발 프레임워크를 정립 및 구축함. 이를 바탕으로 플랜트 배관 파트별 표면 모델을 구축하기 위한 기술 개발을 완료함. 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 관련 연구결과의 최종성과물을 바로 현업에 적용할 수 있도록 하기 위해 기술 자문을 통해 개발 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고 이에 대한 보완 사항 및 전략을 도출함.

○ 이와 동시에 테스트베드를 대상으로 개발한 배관 파트별 자동화된 표면 모델 구축 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성을 평가함으로써 개발 기술의 표면 모델 구축 정확도를 개선하기 위한 방안을 마련함. 기술 자문과 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가를 통해 도출한 개선사항을 바탕으로 기존에 구축한 기술 개발 프레임워크를 개선하고, 이를 다시 배관 파트별 자동화된 표면 모델 구축 기술 개발에 반영함.

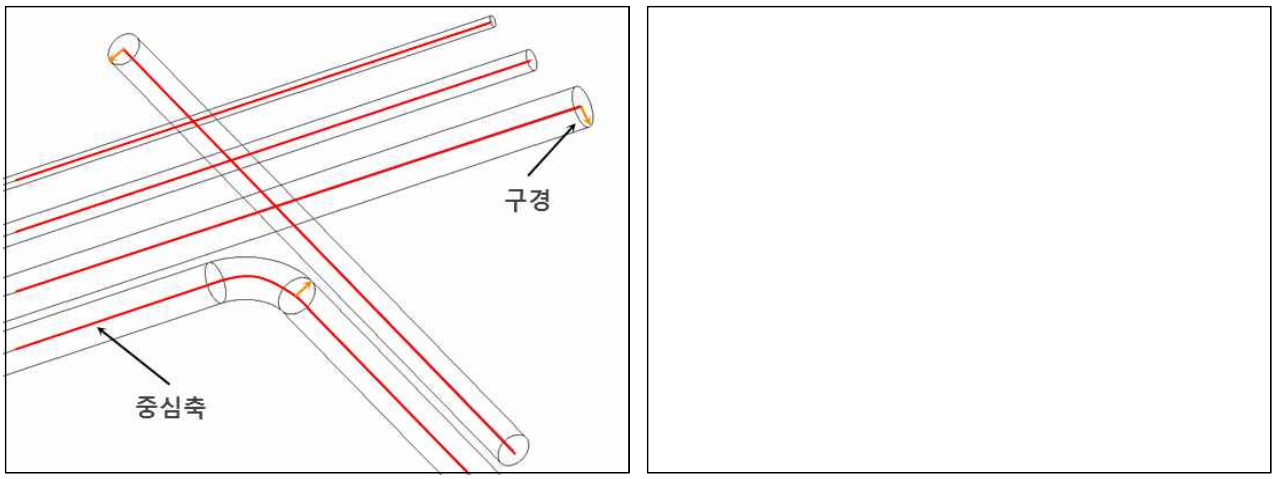
○ 최종 개발한 플랜트 배관 파트별 매개 변수 산정 기술은 2013년 6월, 미국 토목 학회 (American Society of Civil Engineers, ASCE)에서 주관하는 "International Workshop on Computing in Civil Engineering (IWCCE 2013)" 국외 학술회의를 통해 발표하였으며, 최우수 논문상을 수상함. 또한 배관 파트별 표면 모델 구축 기술은 2014년 5월, 미국 토목 학회 (American Society of Civil Engineers, ASCE)에서 주관하는 "Construction Research Congress (CRC 2014)" 국외 학술회의를 통해 발표함 (<그림 2-3-36> 참조).



<그림 2-3-36> 배관 파트별 자동화된 표면 모델 구축 기술 개발 절차 및 성과

(가) 플랜트 배관 파트별 파라메트릭 모델 자동 생성을 위한 매개 변수 정의

○ 배관의 각 파트를 정의할 수 있는 매개 변수를 설정함으로써 몇 개의 독립적인 매개 변수를 통해 플랜트 배관 파트별 파라메트릭 모델 자동 생성이 가능함. 예를 들어, 스트레이트는 중심축과 구경, 길이로 정의되며, 세 가지 매개 변수의 산정만으로 다음 <그림 2-3-37>의 예시와 같이 표면 모델 생성이 가능함.

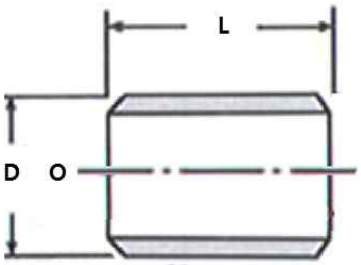
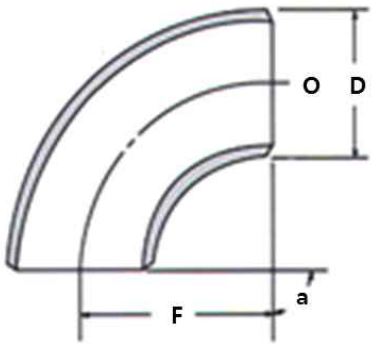
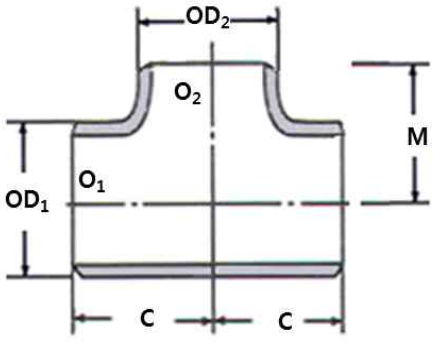


(a) (b)

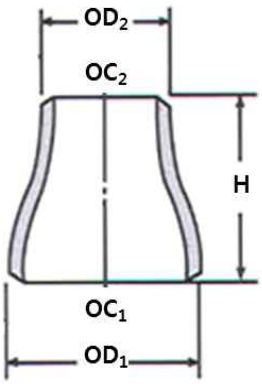
<그림 2-3-37> (a) 플랜트 배관의 파라메트릭 모델 생성을 위한 매개 변수 예시, (b) 매개 변수 산정을 통한 표면 모델 생성 예시

○ 스트레이트, 엘보우, 티, 리듀서로 구성되는 플랜트 배관의 파트별 파라메트릭 모델 생성을 위한 매개 변수를 요약하여 나타내면 다음 <표 2-3-22>와 같음.

<표 2-3-22> 배관 파트별 파라메트릭 모델 생성을 위한 매개 변수 (다음 페이지에 계속)

배관 파트	파라메트릭 모델 생성을 위한 매개 변수	
스트레이트 (Straight)		▪ 중심축 (O) ▪ 구경 (D) ▪ 길이 (L)
엘보우 (Elbow)		▪ 중심축 (O) ▪ 구경 (D) ▪ 곡률반경 (F) ▪ 각도 (a)
티 (Tee)		▪ 헤더의 중심축 (O_1) ▪ 플랜지의 중심축 (O_2) ▪ 헤더와 구경 (OD_1) ▪ 플랜지의 구경 (OD_2) ▪ 헤더의 길이 (C) ▪ 플랜지의 길이 (M)

<표 2-3-22> 배관 파트별 파라메트릭 모델 생성을 위한 매개 변수 (이전 페이지에 이어)

배관 파트	파라메트릭 모델 생성을 위한 매개 변수	
리듀서 (Reducer)		▪ 양 끝 단에 연결되는 배관 중심의 위치 (OC_1, OC_2) ▪ 양 끝 단에 연결되는 배관 구경 (OD_1, OD_2) ▪ 길이 (H)

(나) 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

○ 다음 <표 2-3-23>은 배관 점군 데이터에 대한 배관 파트별 매개 변수 산정을 위해 기존 연구에서 제안된 자동화된 방법의 배관 파트별 적용 가능 범위를 비교하여 요약한 것임. 기존 연구 분석 결과에 따르면, 모든 배관 파트를 고려한 매개 변수 산정 연구가 전무한 실정임.

<표 2-3-23> 기존 연구에서 제안된 배관 파트별 매개 변수 산정 방법의 적용 가능 범위 비교

배관 파트	기존 연구 출처
스트레이트	Rabbani 등 (2006)
스트레이트와 엘보우	Bosche (2003); Liu 등 (2013)

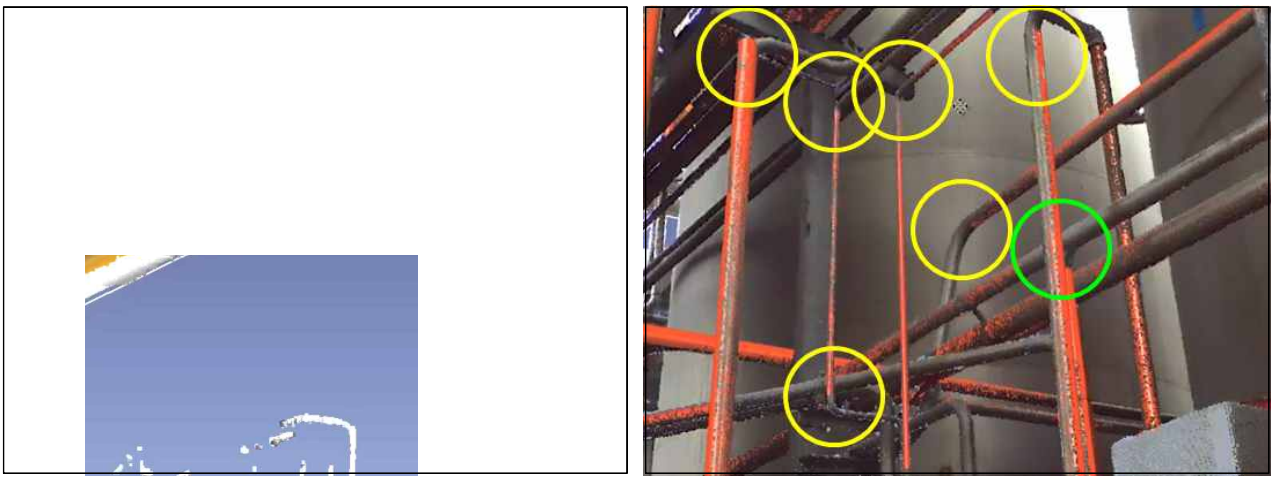
○ 다음 <표 2-3-24>는 배관 점군 데이터에 대한 배관 파트별 매개 변수 산정을 위해 상용 소프트웨어에서 지원하는 기능의 배관 파트별 적용 가능 범위를 비교하여 요약한 것임.

<표 2-3-24> 상용 소프트웨어에서 지원하는 배관 파트별 매개 변수 산정 기능의 적용 가능 범위 비교

배관 파트	상용 소프트웨어 (개발사)
스트레이트와 엘보우	EdgeWise Plant™ 4.0 (ClearEdge3D사)

○ 상용 소프트웨어에서 지원하는 기능 분석 결과에 따르면, 최근 ClearEdge3D사에서 출시한 소프트웨어인 EdgeWise Plant™ 4.0에서 유일하게 배관 점군 데이터에 대한 배관 파트별 매개 변수 산정을 위한 자동화된 기능을 제공하나, 적용 가능 범위가 스트레이트와 엘보우에 제한된다는 한계를 가짐. 이와 같이 모든 배관 파트를 고려한 매개 변수 산정 기능을 제공하는 소프트웨어 역시 전무한 실정임을 알 수 있음.

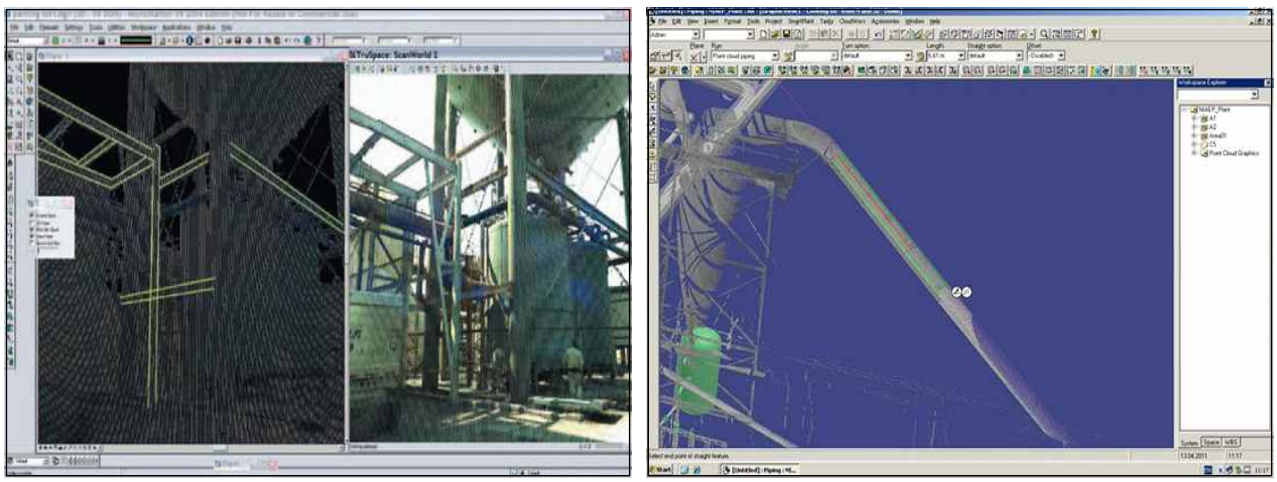
○ 다음 <그림 2-3-38>은 EdgeWise Plant™ 4.0 제공하는 기능을 사용하여 분석한 결과의 예시로 <그림 2-3-38(a)>와 <그림 2-3-38(b)>에서 보는 바와 같이, 스트레이트 또는 엘보우라 하더라도 매개 변수 산정 결과가 부정확함을 알 수 있음. 여기서 사용자가 부정확하게 구축된 배관 모델을 직접 연장, 삭제, 축소, 또는 회전할 수 있도록 하는 인터페이스를 제공함.



(a) (b)

<그림 2-3-38> 매개 변수 산정 결과 예시 (a) 스트레이트, (b) 엘보우

○ 그 밖에 Trimble사에서 출시한 LASERGen, AVEVA사에서 출시한 Laser Model Interface™, Leica Geosystems사에서 출시한 Leica CloudWorx (<그림 2-3-39(a)> 참조), Autodesk사에서 출시한 Plant 3D®, Benteley사에서 출시한 Pointools V8i, Intergraph사에서 출시한 SmartPlant 3D (<그림 2-3-39(b)> 참조) 등의 기능 분석 결과, 사용자가 모델로 구축하고자 하는 배관에 대한 점군 데이터와 특정 파트를 직접 선택했을 때 선택된 점군 데이터에 해당 파트에 대한 모델을 자동으로 피팅하는 기능을 제공하나, 자동화된 기술의 범주로 간주하기 어려운 수준에 그침.

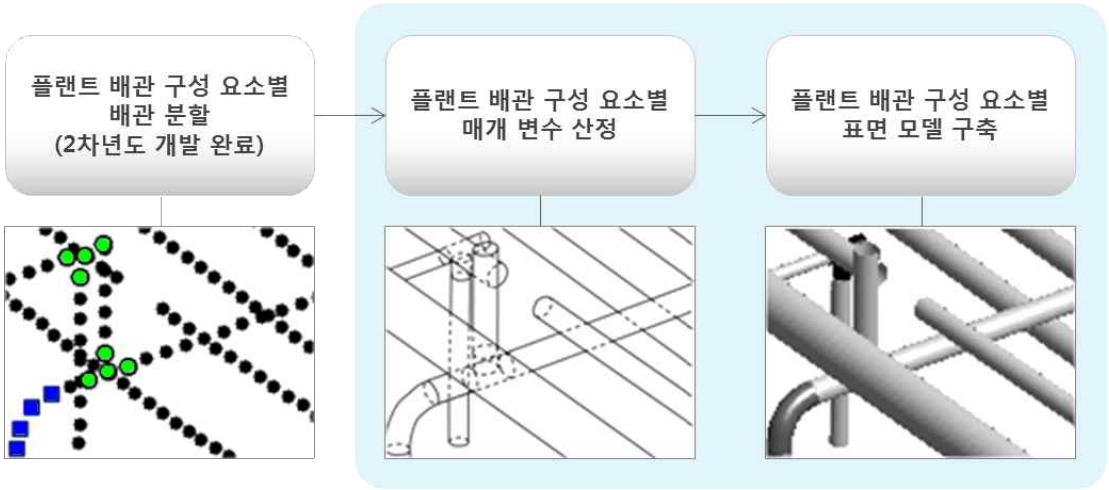


(a) (b)

<그림 2-3-39> (a) Leica CloudWorx (Leica Geosystems사), (b) SmartPlant 3D (Intergraph사)

○ 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 프레임워크

- 본 연구과제에서는 앞서 정의한 플랜트 배관 파트별 파라메트릭 모델 생성을 위한 매개 변수를 바탕으로 기존 연구 또는 상용 소프트웨어가 갖는 한계점을 고려하여 이를 극복하기 위한 기술 개발 프레임워크를 정립하고 구축함 (<그림 2-3-40> 참조).



<그림 2-3-40> 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 프레임워크

- 플랜트 배관 파트 인식 결과는 인식된 배관 파트별 중심축과 해당 점군 데이터로 구성됨. 따라서 이로부터 배관 파트별 파라메트릭 모델 생성을 위한 매개 변수를 산정하고, 산정된 매개 변수를 통해 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축을 수행함.

○ 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 프레임워크 상세

- 플랜트 배관 파트별 매개 변수 산정
  - 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트 인식 결과는 분할된 배관 파트별 중심축과 해당 점군 데이터로 구성됨. 이러한 플랜트 배관 파트 인식 결과를 입력받아 앞서 정의한 배관 파트별 매개 변수 산정을 수행함. 여기서 입력받은 배관 파트별 중심축의 위치와 방향은 인접하는 파트와의 관계를 고려하여 보정하는 계산 과정을 거치며, 이 계산 과정은 새로 보정된 중심축의 위치와 방향에서 계산된 배관 표면 데이터와의 거리 오차가 최소화되는 조건을 만족할 때까지 반복함.

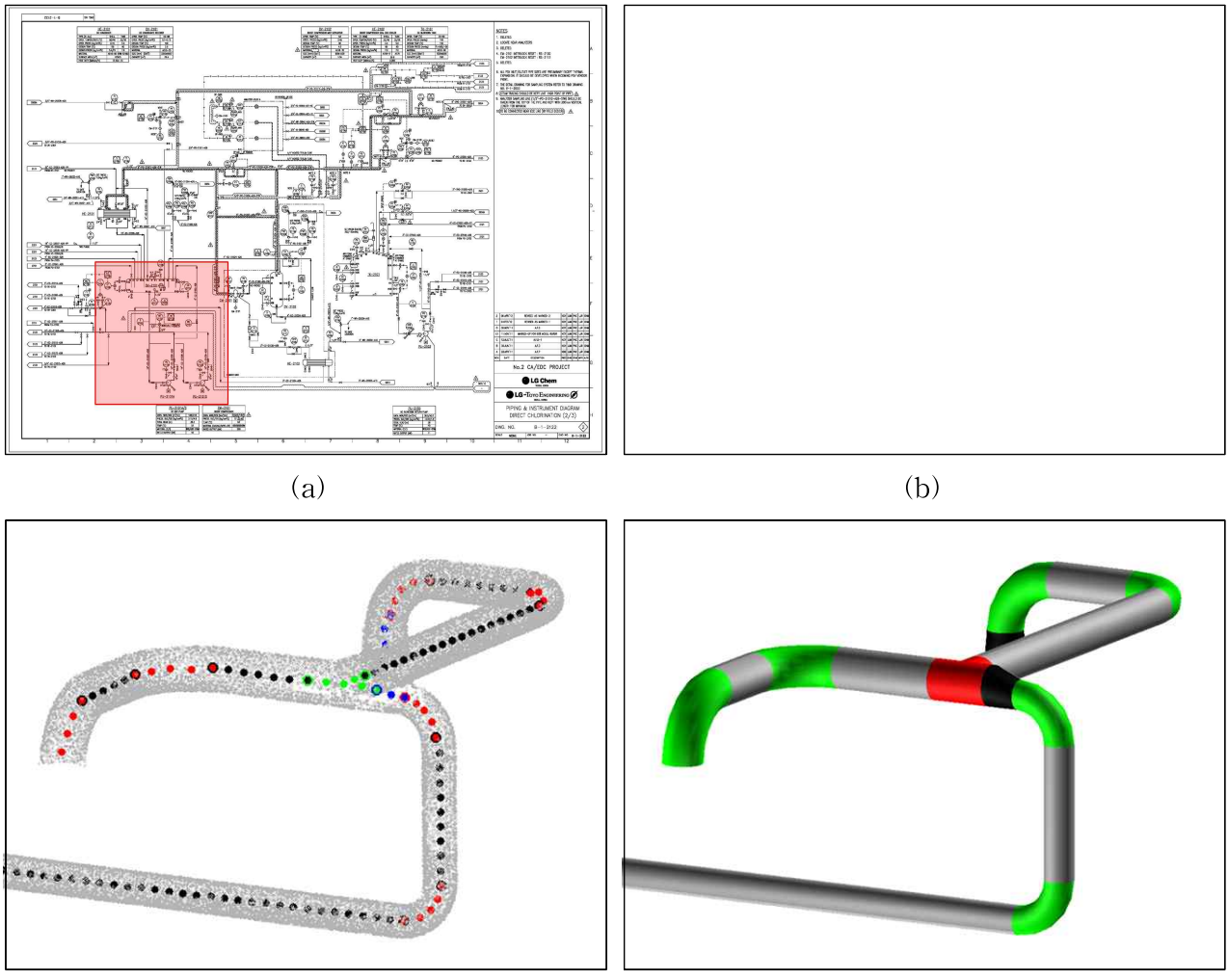
- 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축
  - 플랜트 배관 파트별 매개 변수 산정이 완료되면, 이를 입력받아 배관 파트별로 3차원 파라메트릭 표면 모델 생성이 가능함.

(다) 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토

○ 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술에 대한 기술 자문을 통한 기술 검토 및 개선사항 도출

- 다음은 기술 자문을 위해 LG화학 CA/EDC 현장을 대상으로 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과를 요약하여 나타낸 것임.

- 구축된 기술 개발 프레임워크를 기반으로 하여 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발을 완료함. 해당 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고, 이에 대한 보완 사항 및 전략을 도출하기 위해 3차원 점군 데이터 처리 분야의 전문가인 중앙대학교 컴퓨터 공학과 소속 손봉수 교수를 대상으로 한 기술 자문을 실시함.
- 다음 <그림 2-3-41(a)>는 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-3-41(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 포함된 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과를 나타냄. <그림 2-3-41(c)>는 플랜트 배관에 대한 점군 추출 결과를 입력받아 2차년도에 개발한 플랜트 배관에 대한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 기술과 배관 파트 인식 기술 적용 결과를 나타냄. <그림 2-3-41(d)>는 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과를 나타냄. 그림에서 보는 바와 같이, 개발한 기술을 통해 티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 리듀서 (검정색), 스트레이트 (회색)이 정확하게 모델로 구축됨.



(a) (b)

(c) (d)

<그림 2-3-41> (a) LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도, (b) 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 대한 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (c) 2차년도에 개발한 곡률 계산 기반의 중심축 추출 및 배관 파트 인식 기술 적용 결과, (d) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과

○ 다음 <표 2-3-25>는 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과의 일부를 요약하여 나타낸 것임. 분석 결과, 구축된 플랜트 배관 파트별 표면 모델의 평균절대상대오차[5]는 3.14%로 나타남.

<표 2-3-25> 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술의 성능

구분	구축된 모델의 평균절대상대오차
배관 파트	3.14%

(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

○ 테스트베드를 대상으로 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성을 분석 및 평가하고자 함. 이를 위해 두 단계에 걸친 개발 기술 평가 실험을 수행함.

- 첫 번째 단계는 서로 다른 특성을 가지는 다수의 점군 데이터에 효과적으로 적용되는지를 평가하는 것임. 첫 번째 단계에서 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 중 서로 다른 특성을 가지는 점군 데이터를 선정하여 개발한 기술을 적용하고 현장적용성을 분석 및 평가한 결과, 배관 표면 데이터의 다양한 특성에도 불구하고 효과적으로 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축이 가능함을 파악함. 다음은 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 실험 결과에 대한 일부를 요약하여 나타낸 것임.
- 본 연구과제에서는 연구결과의 최종성과물을 바로 현업에 적용할 수 있도록 하는 실용연구에 초점을 맞춰왔으며, 이에 개발한 기술의 현장적용성을 다양한 관점에서 평가하고자 함. 다음 <표 2-3-26>은 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 실험에 사용한 점군 데이터의 특성을 요약한 것임.

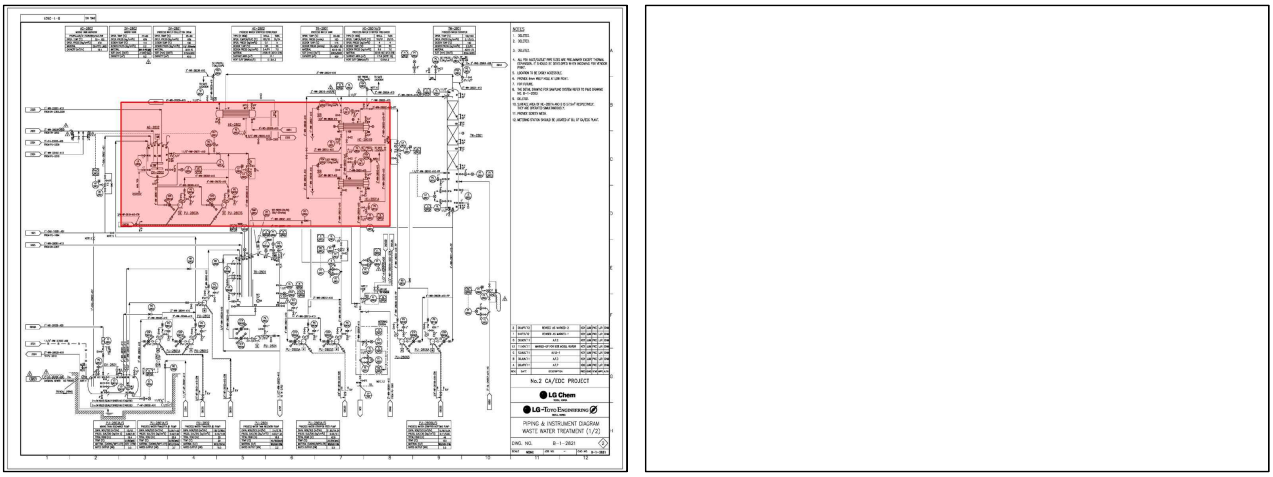
<표 2-3-26> 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 평가 실험에 사용한 점군 데이터의 특성 요약

구분	점군 데이터의 특성
실험 데이터 1 ~실험 데이터 9	▪ 배관 표면에 점군 데이터가 불균일하게 분산되는 분포 특성을 가짐. ▪ 가시선의 제한으로 인한 가림현상이 발생하여 불완전성이 높은 특성을 가짐. ▪ 서로 다른 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조물 등에 의한 가림현상이 발생하여 불완전한 특성을 가짐. ▪ 일부 노이즈를 수반하여 부정확한 특성을 가짐. ▪ 다수의 배관이 복잡하게 얽혀 있어 일부 배관 표면 간 근접성이 매우 높은 특성을 가짐. ▪ 다수의 배관이 좁은 공간에 평행하게 배열되어 있어 일부 배관 표면 간 근접성이 매우 높은 특성을 가짐.

- 다음 <그림 2-3-42>는 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 실험 데이터와 적용 결과를 나타냄.

5) "평균절대상대오차"이라 함은 플랜트 배관 요소 별 매개 변수 산정 과정에서 계산된 배관의 구경과 실제 구경의 절대오차를 실제 구경에 대한 상대적 크기로 나타낸 값의 평균을 나타냄.

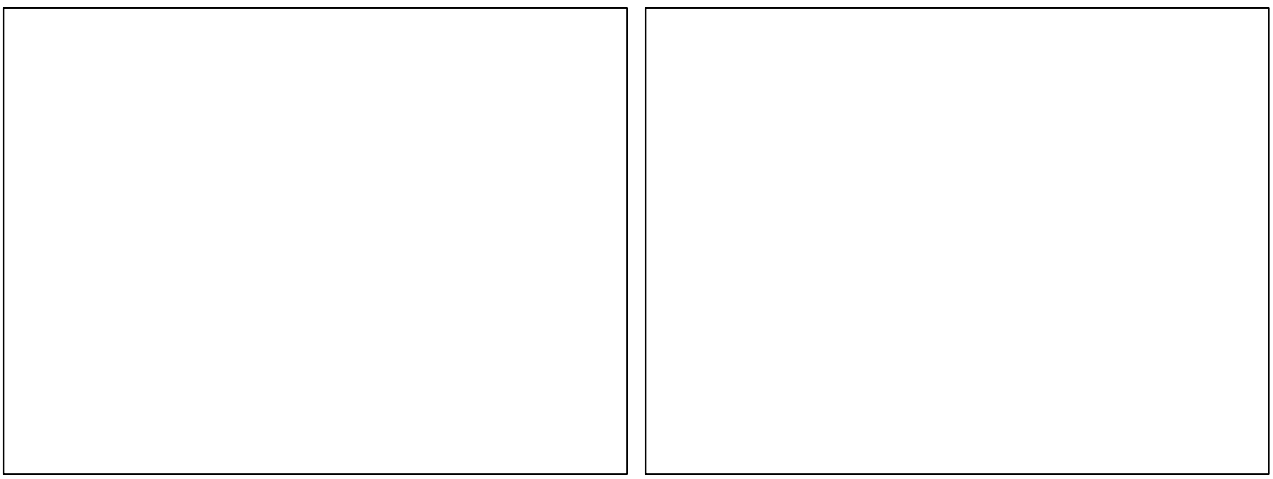
- <그림 2-3-42(a)>는 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-3-42(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 포함된 기기, 배관에 대한 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-42> 실험 데이터 1 (a) LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도 일부, (b) 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 대한 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과

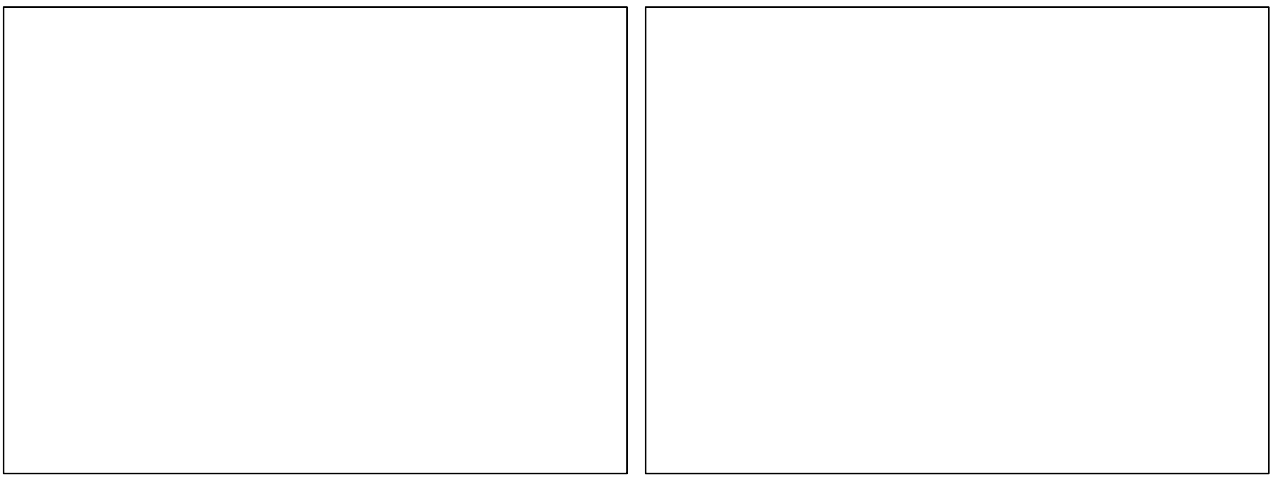
- 다음 <그림 2-3-43(a)>는 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 결과를 입력받아 2차년도에 개발한 배관 파트 인식 기술을 적용한 결과를 나타냄. <그림 2-3-43(b)>는 개발한 플랜트 배관 파트별 모델 표면 모델 구축 기술 적용 결과를 나타냄. 그림에서 보는 바와 같이, 개발한 기술을 통해 티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색)에 대한 표면 모델이 정확하게 구축됨.



(a) (b)

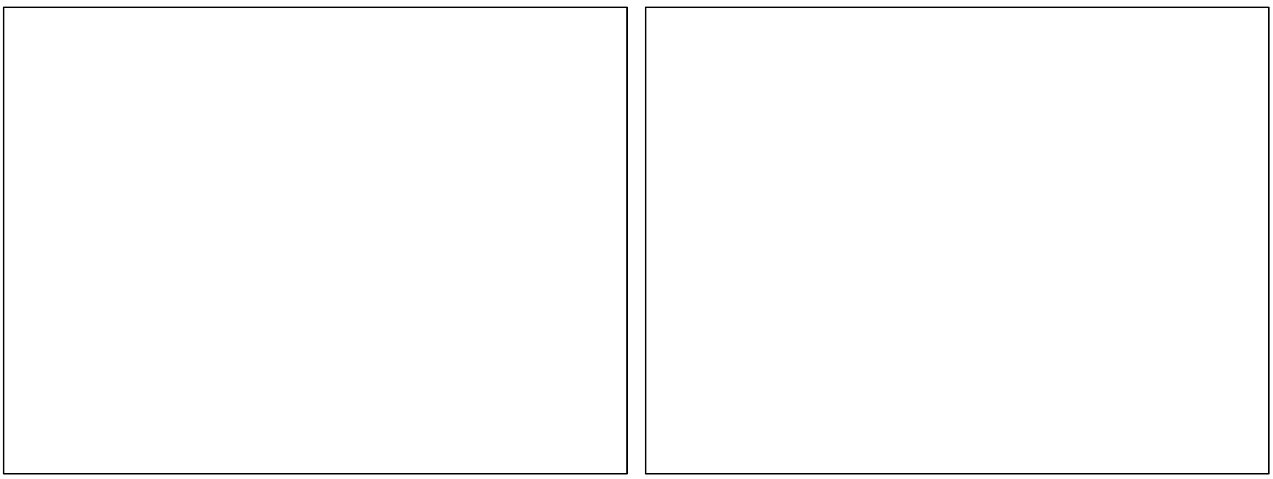
<그림 2-3-43> 실험 데이터 1 (a) 2차년도에 개발한 플랜트 배관에 대한 파트 인식 기술 적용 결과 (● : 스트레이트, □ : 엘보우, ○ : 티),
(b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 모델 구축 기술 적용 결과

- 다음 <그림 2-3-44(a)>~<그림 2-3-51(a)>는 각각 실험 데이터 2~9에 대해 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술을 적용한 결과를 나타냄. <그림 2-3-42(b)>~<그림 2-3-49(b)>는 각각 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술을 적용한 결과를 나타냄.



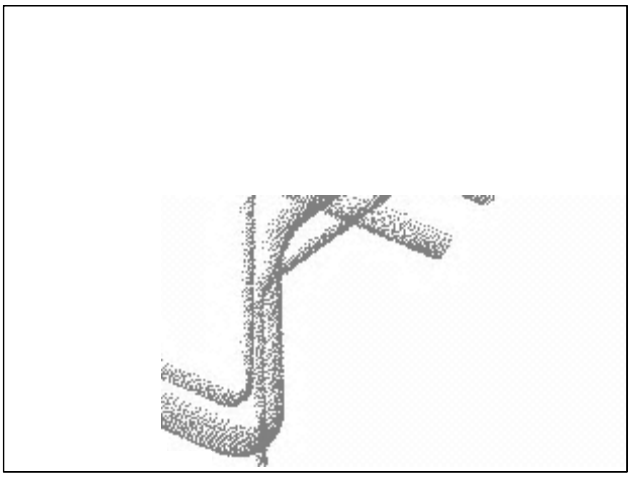
(a) (b)

<그림 2-3-44> 실험 데이터 2 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과 (티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색))



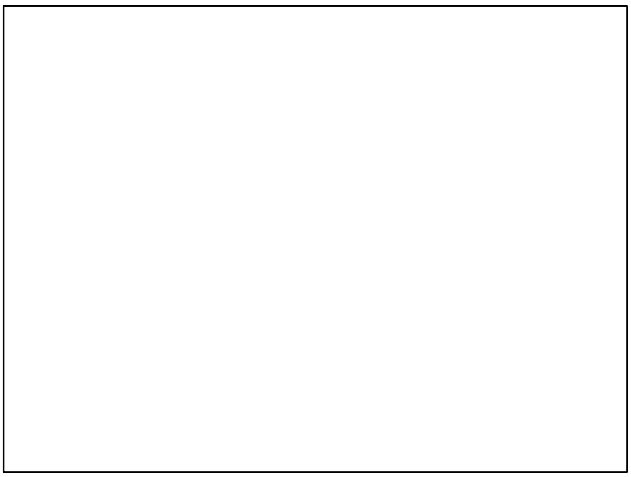
(a) (b)

<그림 2-3-45> 실험 데이터 3 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과 (티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색))



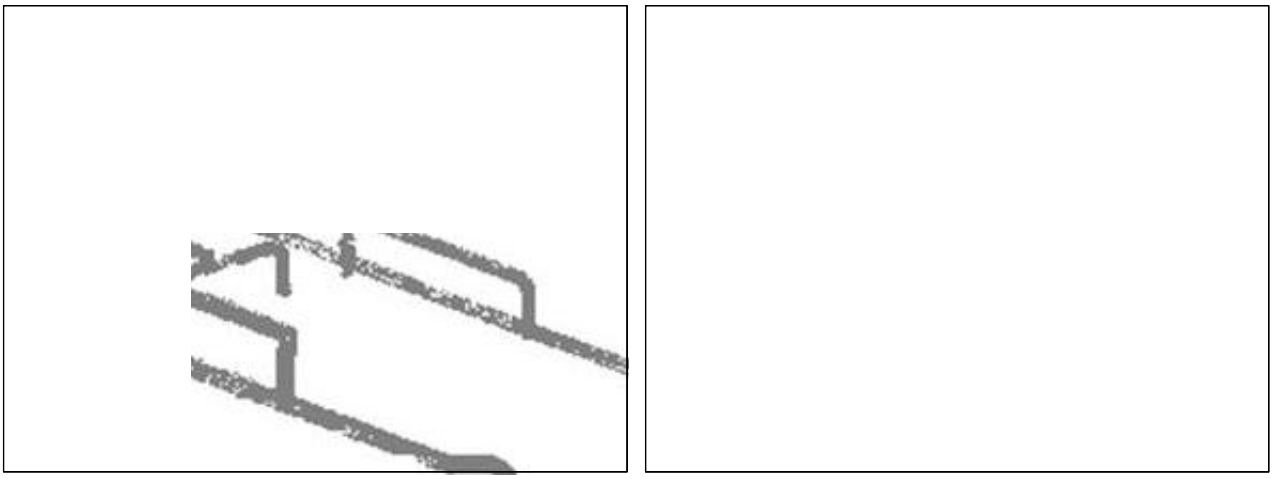
(a) (b)

<그림 2-3-46> 실험 데이터 4 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과 (티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색))



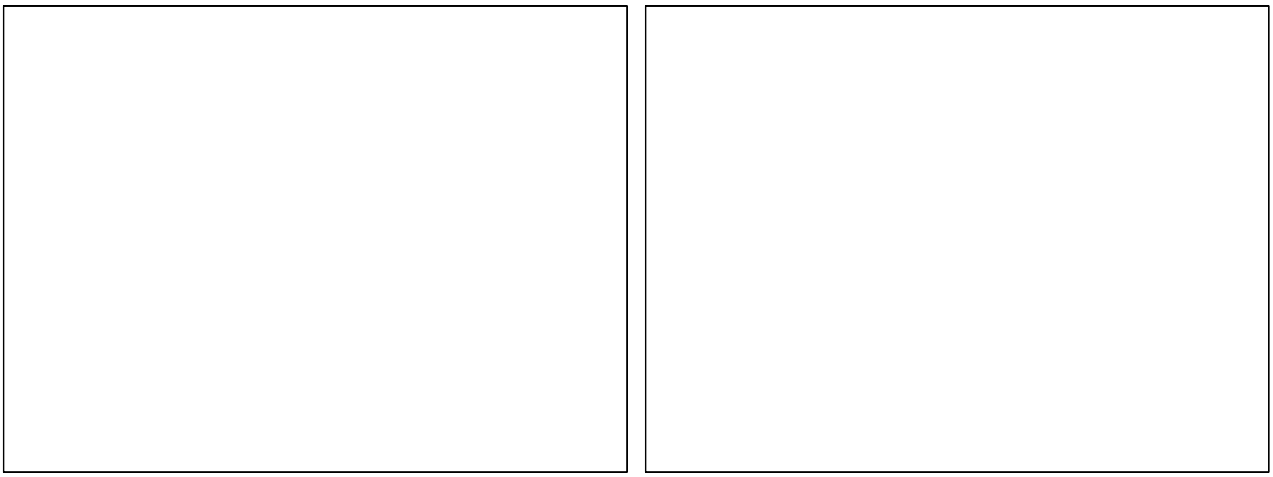
(a) (b)

<그림 2-3-47> 실험 데이터 5 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과 (티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색))



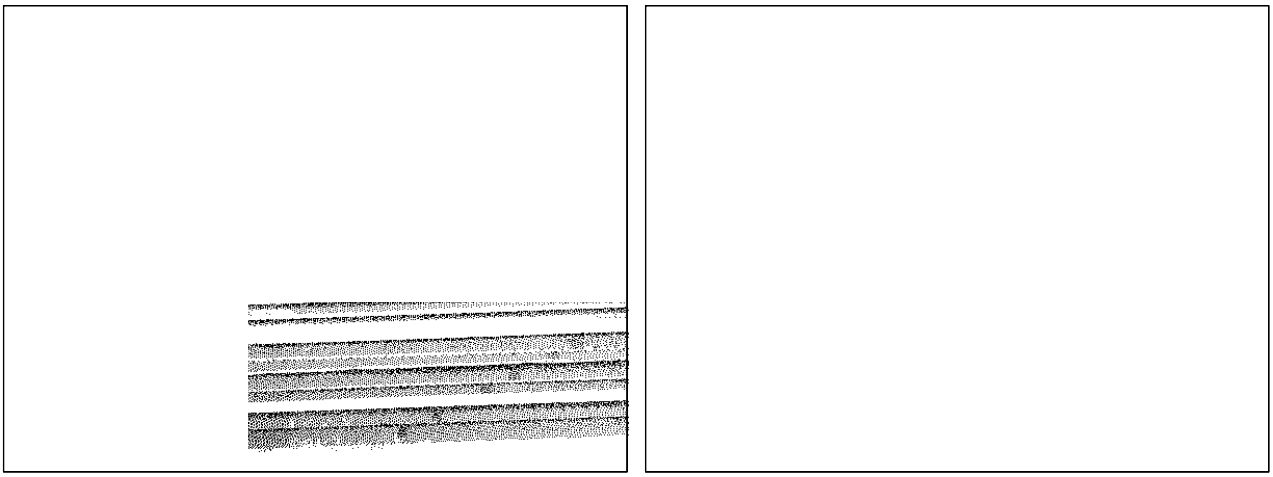
(a) (b)

<그림 2-3-48> 실험 데이터 6 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과 (티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색))



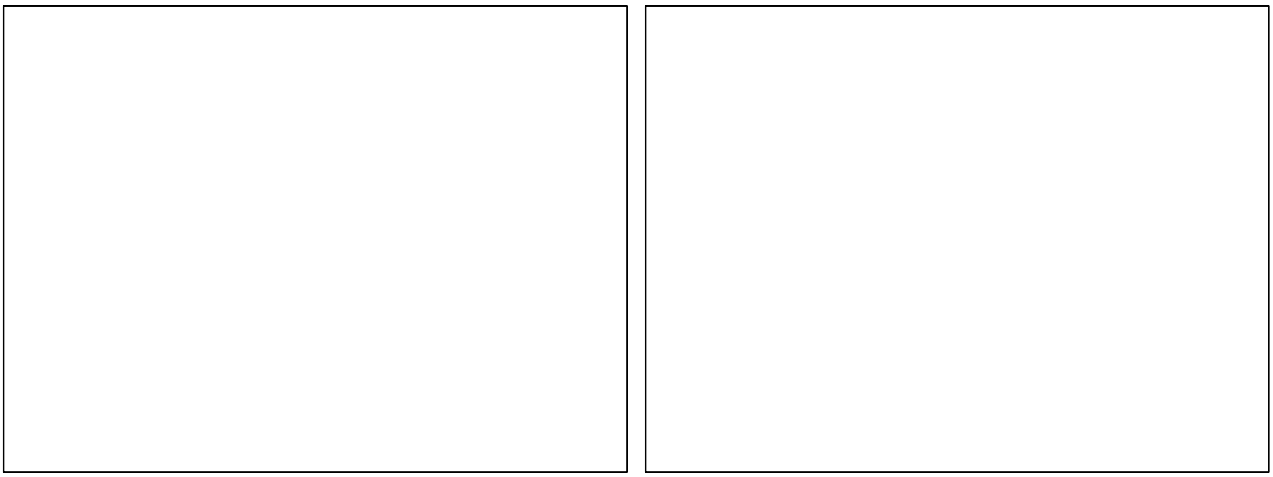
(a) (b)

<그림 2-3-49> 실험 데이터 7 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과 (티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색))



(a) (b)

<그림 2-3-50> 실험 데이터 8 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과 (티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색))



(a) (b)

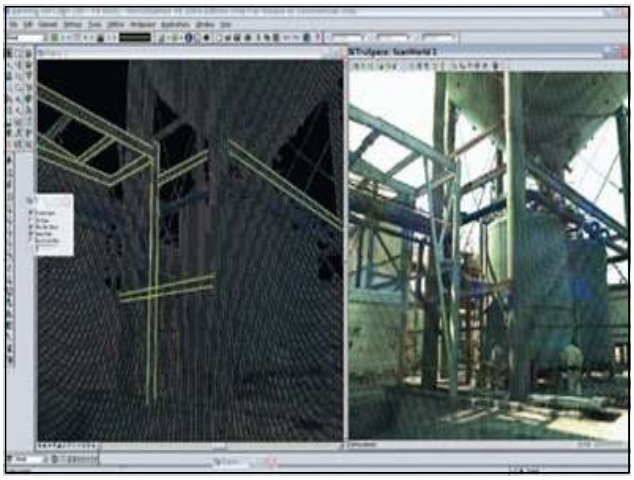
<그림 2-3-51> 실험 데이터 9 (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과, (b) 2차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과 (티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색))

(6) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완

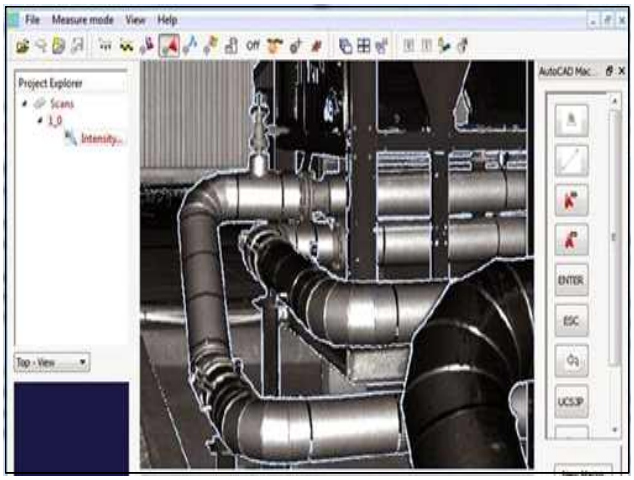
(가) 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축

○ 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 개발

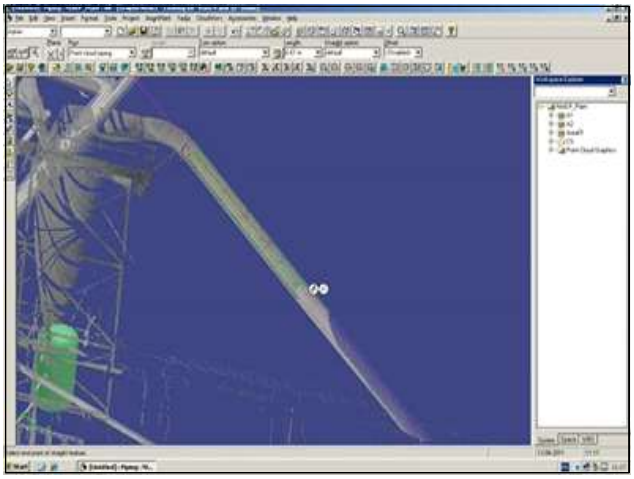
- 3차년도 핵심성과인 "자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템" 개발을 위한 세부 핵심 기술별 모듈 개발 및 통합을 추진함. 사용자의 편의와 3차원 As-Built 모델 구축 작업의 효율성을 고려한 사용자 인터페이스 설계를 위해 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 업체별 소프트웨어의 배관 모델 구축 기능에 대한 사용자 인터페이스 분석을 수행함 (<그림 2-3-52> 참조).



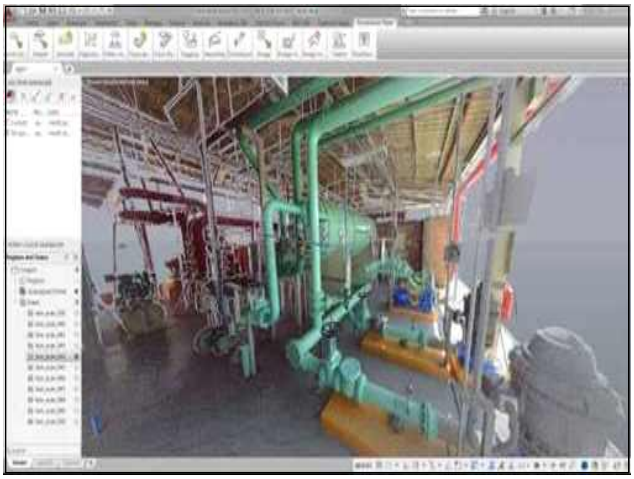
(a)



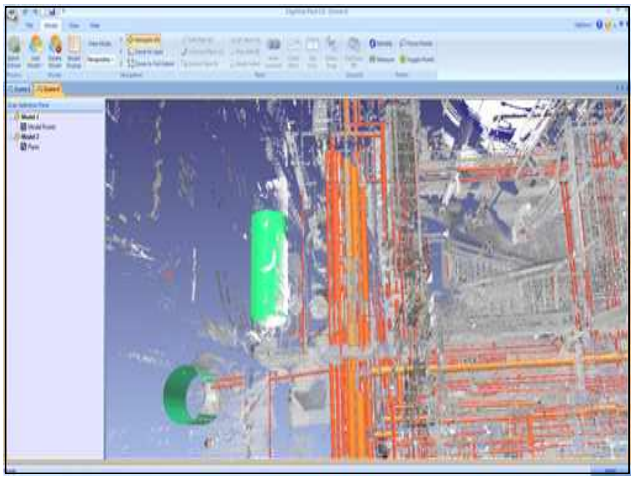
(b)



(c)



(d)



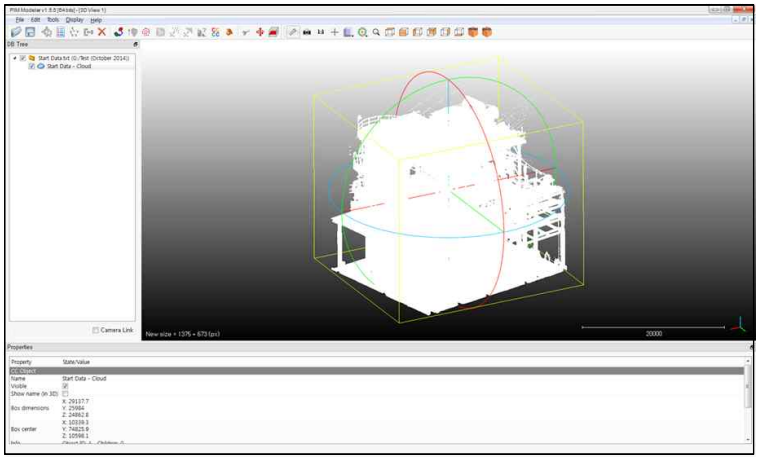
(e)



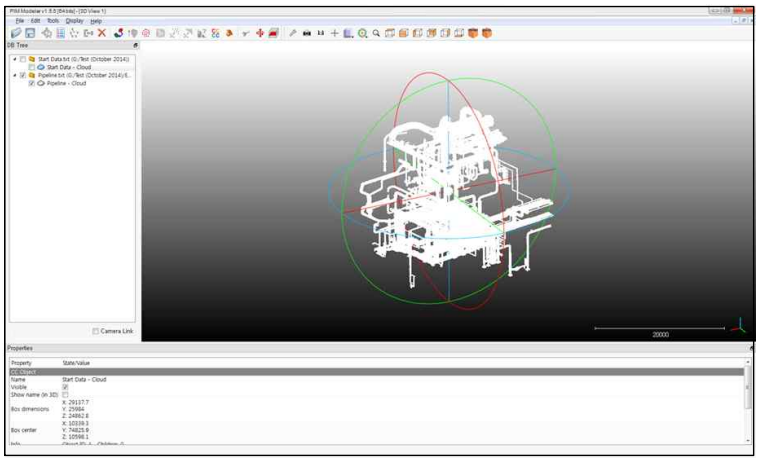
(f)

<그림 2-3-52> 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 업체별 소프트웨어의 사용자 인터페이스 (a) Leica CloudWorx (Leica Geosystems사), (b) VirtuSurv (Kubit사), (c) SmarPlant 3D (Intergraph사), (d) AutoCAD Plant 3D (Autodesk사), (e) EdgeWise Plant (ClearEdge 3D사), Laser Modeller (Aveva사)

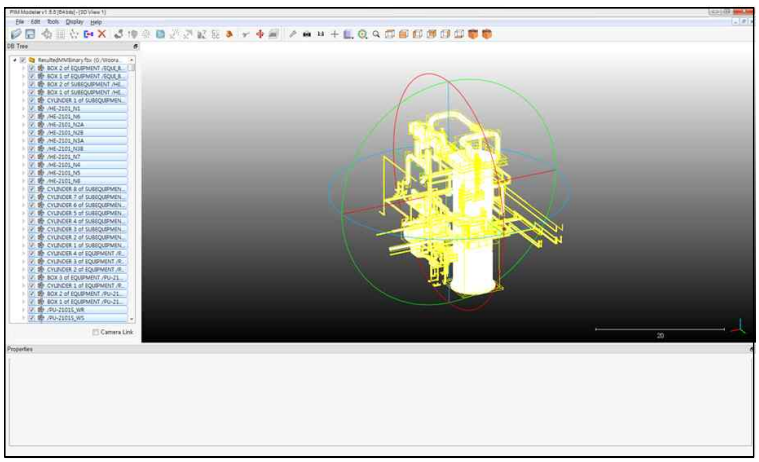
- 이를 바탕으로 세부 핵심 기술에 대한 기술력 확보를 위해 세부 핵심 기술별 모듈 개발 및 통합 시스템 개발을 수행하였으며, 이를 통해 소프트웨어 개발 및 등록을 완료함. 다음 <그림 2-3-53>은 세부 핵심기술 모듈 개발 결과의 일부를 나타냄.



(a)



(b)



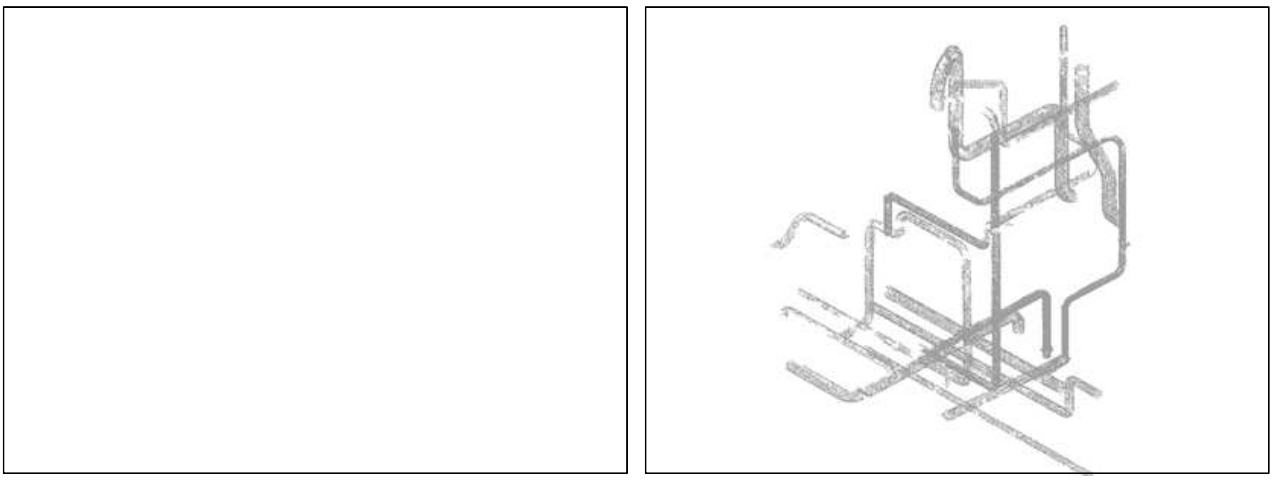
(c)

<그림 2-3-53> 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 시스템 개발 결과 화면 예시 (PIM Modeler v1.5.5) (a) 메인 화면, (b) 배관에 대한 점군 데이터 추출 결과 화면, (c) 배관 모델 구축 결과 화면

(나) As-Built 플랜트 배관 모델 구축 기술의 검증 및 보완

○ 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술에 대한 기술 자문을 통한 기술 검토 및 개선사항 도출

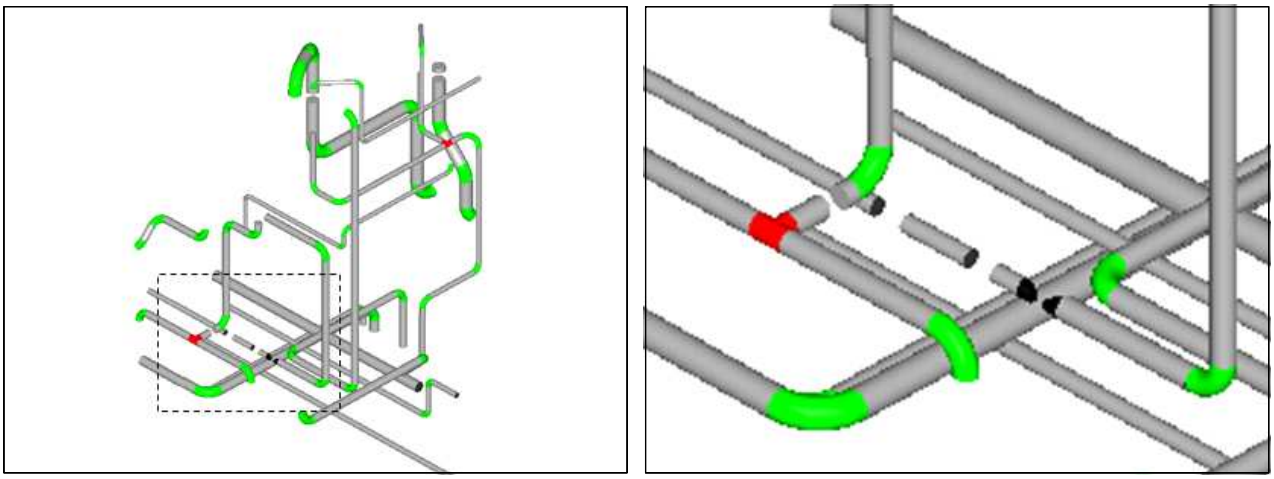
- 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발을 완료함에 따라, 해당 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고 이에 대한 보완 사항 및 전략을 도출하기 위해 3차원 점군 데이터 처리 분야의 전문가인 중앙대학교 컴퓨터 공학과 소속 손봉수 교수를 대상으로 한 기술 자문을 실시함.
- 다음 <그림 2-3-54(a)>는 플랜트 시설에서 획득한 전체 점군 데이터를 나타내며, <그림 2-3-54(b)>는 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-54> 실험 데이터 10 (a) 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터, (b) 1차년도에 개발한 플랜트 배관에 점군 추출 기술 적용 결과

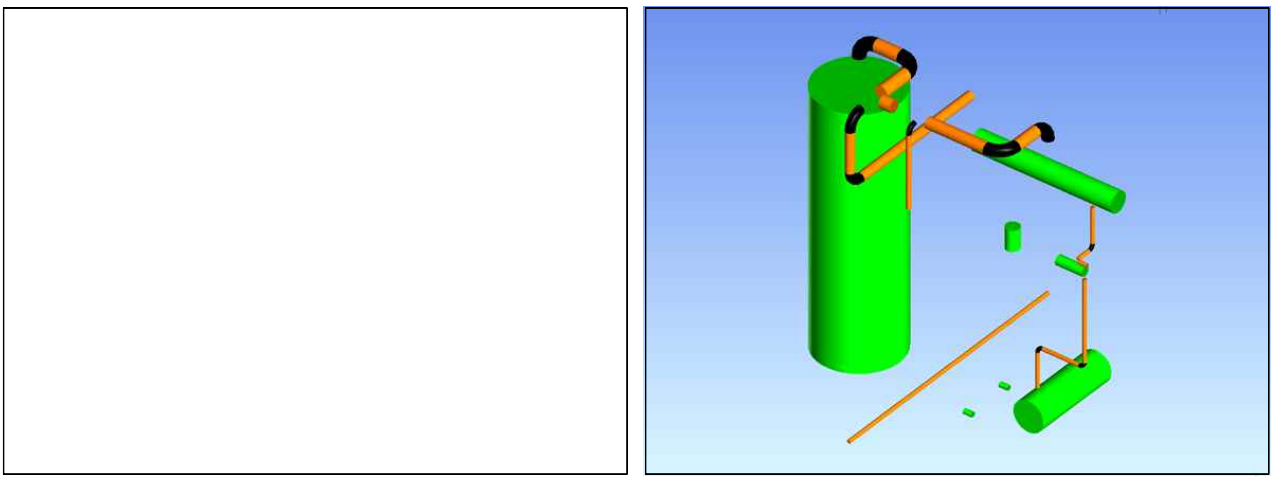
- 다음 <그림 2-3-55>은 플랜트 배관에 대한 점군 추출 결과를 입력받아 2차년도에 개발한 배관 파트별 표면 모델 구축 기술을 적용한 결과를 나타냄. 그림에서 보는 바와 같이, 개발한 기술을 통해 효과적으로 복잡한 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터 내에서 티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색), 리듀서 (검정색)에 대한 표면 모델이 정확하게 구축됨.



(a) (b)

<그림 2-3-55> (a) 3차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 모듈 적용 결과 (티 (붉은색), 엘보우 (연두색), 스트레이트 (회색), 리듀서 (검정색)), (b) (a)의 일부분 확대

- 두 번째 단계는 상용 소프트웨어에서 지원하는 배관 파트별 자동화된 모델 구축 기능과 성능을 비교하는 것임. 두 번째 단계에서 상용 소프트웨어에서 지원하는 배관 파트별 자동화된 모델 구축 기능과 성능을 비교 분석 및 평가한 결과, 개발한 기술이 모델의 완성도 및 정확성 면에서 우월함을 파악함.
- 다음 <그림 2-3-56(a)>는 3차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 모듈을 적용한 결과를 나타내며, <그림 2-3-56(b)>는 동일한 데이터에 대해 EdgeWise PlantTM 4.0 제공하는 기능을 사용하여 분석한 결과를 나타냄. <그림 2-3-56(b)> 내의 연두색 모델은 기기의 일부를 배관으로 잘못 인식한 결과를 나타내며, 그림에서 나타난 바와 같이 스트레이트와 엘보우의 일부가 모델로 구축된 것을 알 수 있음.



(a) (b)

<그림 2-3-56> (a) 3차년도에 개발한 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 적용 결과 (티 (노란색), 엘보우 (검정색), 스트레이트 (주황색), 리듀서 (분홍색)), (b) EdgeWise Plant^{TM} 4.0 제공하는 배관 표면 모델 구축 기능 적용 결과 (엘보우 (검정색), 스트레이트 (주황색), 기기의 일부를 배관으로 잘못 인식한 모델 구축 오류 (연두색)

(다) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가

○ 플랜트 시설에 대한 테스트베드 협의 및 선정

- 테스트베드의 필요성

- 3차년도에는 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 개발 과정에서 다양한 특성을 가진 현장을 테스트베드로 선정하여 개발 완료한 시스템의 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성을 평가하고자 함. 다양한 현장의 테스트베드 적용을 통해 실제 환경에서 소프트웨어 구동의 문제점 및 한계점을 파악하고, 발생 가능한 오류를 개선함으로써 개발하고자 하는 소프트웨어의 완성도 및 성능을 향상시키고자 함. 또한 예상되는 다양한 사용자 집단을 대상으로 해당 소프트웨어가 사용자 관점에서 적합한지에 대한 사용성 테스트를 진행하여 핵심성과에 대한 최종 검증을 진행하고자 함.

- 테스트베드의 후보지 선정

- 테스트베드 선정을 위해 국내에서 운영 중인 육상 플랜트 시설의 현황과 국내 해양 플랜트 업체의 현황을 파악함. 육상 플랜트의 테스트베드를 추가적으로 선정하기 위해, 국내 대표적인 중화학공업단지인 여수 국가산업단지와 울산미포 국가산업단지에서 운영 중인 육상 플랜트 시설의 현황을 파악함 (<표 2-3-27> 참조).

<표 2-3-27> 국내에서 운영 중인 육상 플랜트 시설의 현황 (다음 페이지에 계속)

업체명	플랜트 시설명	주요 공정
GS바이오(주)	GS바이오 여수공장	석유화학
GS칼텍스(주)	GS칼텍스 여수공장	정유
KPX라이프사이언스(주)	KPX라이프사이언스 여수공장	석유화학
KPX화인케미칼(주)	KPX화인케미칼 여수공장	석유화학
LG MMA(주)	LG MMA 여수공장	석유화학
LG화학(주)	LG화학 4AA	석유화학
LG화학(주)	LG화학 김천공장	석유화학
LG화학(주)	LG화학 나주공장	석유화학
LG화학(주)	LG화학 대산공장	석유화학
LG화학(주)	LG화학 여수공장	석유화학
LG화학(주)	LG화학 울산공장	석유화학
LG화학(주)	LG화학 익산공장	석유화학
SK에너지(주)	SK에너지 울산공장	석유화학
SK에너지(주)	SK에너지 인천 COMPLEX V	석유화학
금호미쓰이화학(주)	금호미쓰이화학 여수공장	석유화학
금호석유화학(주)	여수고무 1공장	석유화학
금호석유화학(주)	금호석유화학 울산공장	석유화학
금호폴리켐(주)	금호폴리켐 1공장	석유화학

<표 2-3-27> 국내에서 운영 중인 육상 플랜트 시설의 현황 (이전 페이지에 이어)

업체명	플랜트 시설명	주요 공정
남해화학(주)	남해화학 여수공장	석유화학
대림산업(주)	대림산업 여수공장	석유화학
대림에너지(주)	대림에너지 여수공장	석유화학
동서석유화학(주)	동서석유화학 울산공장	석유화학
롯데케미칼(주)	롯데케미칼 대산공장	석유화학
롯데케미칼(주)	롯데케미칼 여수 1공장	석유화학
롯데케미칼(주)	롯데케미칼 울산 1공장	석유화학
삼남석유화학(주)	삼남석유화학 여수공장	석유화학
삼성비피화학(주)	삼성BP화학 울산공장	석유화학
신비오켐(주)	신비오켐 여수공장	가스
아이씨케미칼	아이씨케미칼 여수공장	석유화학
애경유화(주)	애경유화 울산공장	석유화학
에어리퀴드코리아(주)	에어리퀴드 여수공장	가스
여천NCC(주)	여천NCC 여수공장	석유화학
제일모직(주)	제일모직 여수사업장	석유화학
(주)SPG케미칼	SPG케미칼 여수공장	석유화학
(주)동성하이켐	동성하이켐 여수공장	석유화학
(주)일렘테크놀러지	일렘테크놀러지 여수공장	석유화학
창신화학(주)	창신화학 1공장	석유화학
코오롱인더스트리(주)	코오롱인더스트리 울산공장	석유화학
태경화학(주)	태경화학 여천공장	석유화학
폴리미래(주)	폴리미래 여천공장	석유화학
프렉스에어코리아(주)	프렉스에어코리아 여수공장	가스
한국다우케미칼(주)	한국다우케미칼 여수공장	석유화학
한국바스프(주)	한국바스프 여수공장	석유화학
한국중부발전(주)	한국중부발전 서울화력발전소	화력발전
한화케미칼(주)	한화케미칼 여수공장	석유화학
한화케미칼(주)	한화케미칼 울산 1공장	석유화학
현대EP(주)	현대EP 울산공장	석유화학
휴켐스	휴켐스 월내동 공장	석유화학

- 또한 해양 플랜트 업체를 통해 해당 업체에서 건조중인 해양 플랜트를 대상으로 추가적인 테스트베드를 선정하고자 함. 따라서 국내 대표적인 조선산업단지인 옥포 국가산업단지를 비롯한 국내 해양 플랜트 업체의 현황을 파악함. 다음 <표 2-3-28>은 국내 해양 플랜트 업체의 현황을 나타냄.

<표 2-3-28> 해양 플랜트 건조를 수행하는 국내 업체와 건조 시설의 현황

업체명	해양 플랜트 건조 시설명	주요 공정
STX조선해양(주)	STX조선해양 고성조선해양기지	해양 플랜트 건조
STX조선해양(주)	STX조선해양 진해조선해양기지	해양 플랜트 건조
대선조선(주)	대선조선 영도조선소	해양 플랜트 건조
대우조선해양(주)	대우조선해양 옥포조선소	해양 플랜트 건조
삼성중공업(주)	삼성중공업 거제조선소	해양 플랜트 건조
성동조선해양(주)	성동조선해양 통영조선소	해양 플랜트 건조
(주)한진중공업	한진중공업 영도조선소	해양 플랜트 건조
(주)현대미포조선	현대미포조선 대불공장	해양 플랜트 건조
(주)현대미포조선	현대미포조선 온산공장	해양 플랜트 건조
현대중공업(주)	현대중공업 용연공장	해양 플랜트 건조
현대중공업(주)	현대중공업 해양사업본부 온산공장	해양 플랜트 건조

- 국내에서 운영 중인 육상 플랜트 시설과 국내 해양 플랜트 건조 업체에서 건조중인 해양 플랜트 시설 중 본 연구의 테스트베드로 적합한 시설을 선정하기 위해 각 업체에 소속된 전문가를 통해 해당 플랜트 시설에 대한 특성을 파악함.
- 플랜트 시설에 대한 특성 파악을 통해 테스트베드 후보지로 금호미쓰이화학 여수공장, 여천NCC 여수공장, 한국바스프 여수공장, 금호석유화학 울산공장, 한국중부발전 서울화력발전소, 두산중공업 창원공장, 대우조선해양 옥포조선소, 삼성중공업 거제조선소를 선정함. 다음 <표 2-3-29>는 테스트베드 후보지 여덟 곳에 대한 특성 파악 결과를 요약하여 나타냄.

<표 2-3-29> 테스트베드 후보지 여덟 곳에 대한 특성 파악 결과 (다음 페이지에 계속)

대상 플랜트 전문가 (소속/직급)	후보지 특성
금호미쓰이화학 여수공장 이혁 (금호미쓰이화학/부장)	▪ 다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪ 가장 오래된 구역은 1991년에 신축되어 구역별 내용연수가 상이하며, 3차년도 연구기간 내에 기존 시설에 대한 증축을 계획중임.
여천NCC 여수공장 곽인철 (여천NCC/차장)	▪ 다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪ 가장 오래된 구역은 1999년에 신축되어 구역별 내용연수가 상이함.
한국바스프 여수공장 김석호 (한국바스프/부장)	▪ 다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪ 내부적인 안전 절차로 인하여 배관 및 설비 밀집지역인 MDI Train과 TDI Train에 외부인의 접근을 허용하지 않음.

<표 2-3-29> 테스트베드 후보지 여덟 곳에 대한 특성 파악 결과 (이전 페이지에 이어)

대상 플랜트 전문가 (소속/직급)	후보지 특성
금호석유화학 울산공장 방창원 (금호석유화학/부장)	▪다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪내부적인 안전 절차로 인하여 생산 설비에 외부인의 접근을 허용하지 않음.
한국중부발전 서울화력발전소 신정철 (한국중부발전/차장)	▪다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪국내에서 가장 오래된 화력발전소로, 1930년 준공되어 구역별 내용연수가 상이함.
두산중공업 창원공장 신정철 (한국중부발전/차장)	▪다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪종합기계공장으로서 12개의 단위공장을 지니고 있어 다양한 형태의 배관 및 기기가 존재함.
대우조선해양 옥포조선소 남궁근 (대우조선해양/부장)	▪수주하는 해양 플랜트 내에 다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪육상 플랜트와 설계 방식이 동일하면서도 제한된 공간이라는 특성을 지녀 기기와 배관의 배치에 유의해야 함.
삼성중공업 거제조선소 김연규 (삼성중공업/부장)	▪수주하는 해양 플랜트 내에 다양한 구경을 가진 배관과 여러 종류의 밸브 및 제어기기, 기기를 포함함. ▪배관 및 설비의 스캔 목적에 적합한 현재 건조중인 해양 플랜트가 존재치 않음.

- 테스트베드의 후보지 적합성 평가
  - 앞서 선정한 테스트베드 후보지 여덟 곳을 대상으로 개발된 기술 검증을 위한 최적의 테스트베드를 선정하기 위해 사전 답사를 실시함. 다음 <표 2-3-30>은 테스트베드의 후보지 적합성 평가를 위한 사전 답사 일정을 나타냄.

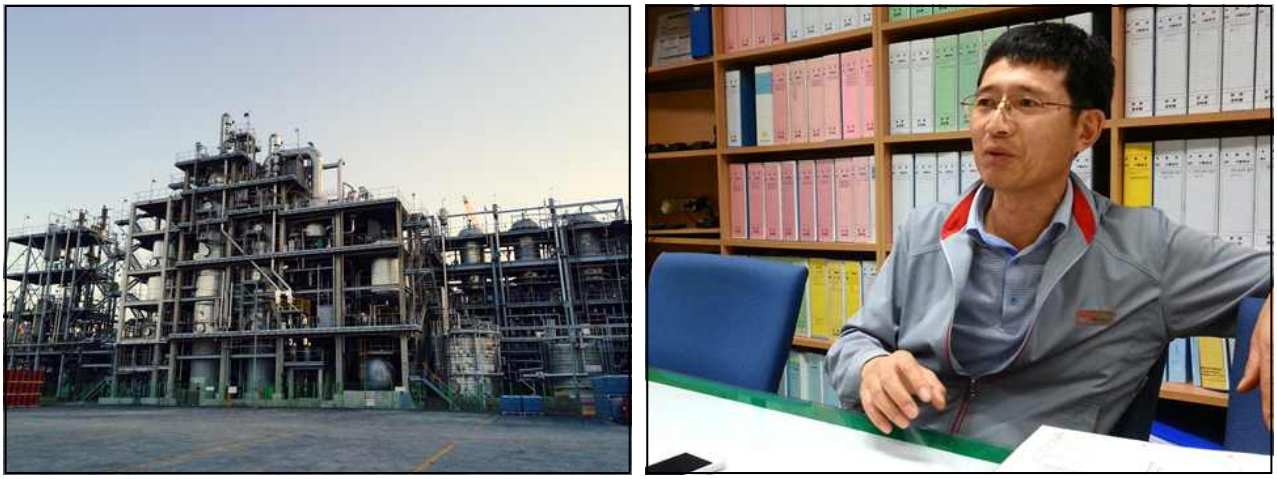
<표 2-3-30> 테스트베드 후보지 적합성 평가를 위한 사전 답사 일정 (다음 페이지에 계속)

대상	사전 답사 일시	인원	답사자
금호미쓰이화학 여수공장	2014년 07월 28일 09시~10시	7	김창완, 김창민, 손효주, 이성욱, 황나혜, 나종철, 임우람
여천NCC 여수공장	2014년 11월 13일 09시~15시	2	김창민, 손효주
한국바스프 여수공장	2014년 11월 14일 10시~15시	5	김창민, 손효주, 이성욱, 황나혜, 나종철
대우조선해양 옥포조선소	2014년 11월 21일 13시~17시	5	김창민, 손효주, 이성욱, 황나혜, 나종철
삼성중공업 거제조선소	2014년 11월 28일 13시~17시	2	김창민, 손효주

<표 2-3-30> 테스트베드 후보지 적합성 평가를 위한 사전 답사 일정 (이전 페이지에 이어)

대상	사전 답사 일시	인원	답사자
금호석유화학 울산공장	2014년 12월 02일 09시~15시	2	김창민, 손효주
두산중공업 창원공장	2015년 01월 22일 09시~11시	5	김창민, 손효주, 이성욱, 황나혜, 나종철
한국중부발전 서울화력발전소	2015년 01월 27일 09시~11시	5	김창민, 손효주, 이성욱, 황나혜, 나종철

- 다음 <그림 2-3-57>~<그림 2-3-60>는 테스트베드 후보지 여덟 곳의 사전 답사 당시 플랜트 시설에 대한 사진 및 플랜트 시설 관계자와의 협의 사진을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-57> 금호미쓰이화학 여수공장 사전 답사 (2014년 7월 28일)
(a) 플랜트 시설 사진, (b) 해당 시설 관계자와의 협의 사진



(a) (b)

<그림 2-3-58> 여천NCC 여수공장 사전 답사 (2014년 11월 13일)
(a) 플랜트 시설 사진, (b) 해당 시설 관계자와의 협의 사진



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

<그림 2-3-59> (a) 한국바스프 여수공장 사전 답사 (2014년 11월 13일) 당시 플랜트 시설 사진, (b) 해당 시설 관계자와의 협의 사진, (c) 대우조선해양 옥포조선소 사전 답사 (2014년 11월 21일) 당시 플랜트 시설 사진, (d) 해당 시설 관계자와의 협의 사진, (e) 삼성중공업 거제조선소 사전 답사 (2014년 11월 28일) 당시 해당 시설 관계자와의 협의 사진 1, (f) 해당 시설 관계자와의 협의 사진 2



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

<그림 2-3-60> (a) 금호석유화학 울산공장 사전 답사 (2014년 12월 02일) 당시 해당 시설 관계자와의 협의 사진 1, (b) 해당 시설 관계자와의 협의 사진 2, (c) <그림 2-3-60> 두산중공업 창원공장 사전 답사 (2015년 01월 22일) 당시 플랜트 시설 사진 1, (d) 플랜트 시설 사진 2, (e) 한국중부발전 서울화력발전소 사전 답사 (2014년 01월 27일) 당시 플랜트 시설 사진 1, (f) 플랜트 시설 사진 2

- 사전 답사 결과를 바탕으로 하여 금호미쓰이화학 여수공장, 여천NCC 여수공장, 두산중공업 창원공장, 한국중부발전 서울화력발전소, 대우조선해양 옥포조선소 총 다섯 개의 플랜트 시설 및 해양 플랜트 업체를 최적의 테스트베드로 선정하였으며, 해당 시설 관계자와의 협의를 마침.
- 선정된 테스트베드는 공정별로 석유화학 플랜트, 종합기계공장, 화력발전소, 해양 플랜트로 다양한 특성을 가질 뿐 아니라, 플랜트 시설 내 구역별로 설치되어 있는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기의 종류가 상이한 특성을 지니고 있어 기술적 타당성을 평가하기 위해 본 연구 결과의 활용 측면에서 의미가 큰 것으로 평가할 수 있음.

○ 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립

- 개발한 기술의 현장적용성을 평가하기 위해서는 대규모 플랜트 시설 내에 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 파악할 수 있는 3차원 점군 데이터의 확보가 요구됨. 플랜트 시설 내에는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체가 복잡하게 얽혀 있어 단일 위치에서 점군 데이터를 획득하는 경우, 서로 다른 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체에 의한 가림현상이 발생함. 이와 같이 복잡한 플랜트 시설에서 레이저 스캐너를 이용하여 완전한 플랜트 점군 데이터를 확보하기 위해서는 여러 위치에서 점군 데이터를 획득하여야 함. 다섯 개의 테스트베드는 각각 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체의 종류 및 배치가 상이함. 이에 따라 테스트베드별 특성을 고려한 점군 데이터 획득 계획 수립이 필요함. 규모가 크고 복잡한 플랜트 시설 내에 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 포함하도록 점군 데이터를 획득하기 위해 본 연구과제에서는 공정배관계장도 (Piping and Instrument Diagram, P&ID)를 활용함. 공정배관계장도는 플랜트 시설 내에 설치되어 있는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 정보를 포함하고 있어, 이를 활용하여 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 미리 파악함으로써 점군 데이터 획득 위치를 선정하기 위한 계획을 수립함.
  - 다음 <그림 2-3-61>~<그림 2-3-65>은 각각 금호미쓰이화학 여수공장, 여천NCC 여수공장, 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트, 두산중공업 창원공장, 한국중부발전 서울화력발전소의 현장 사진을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-61> 금호미쓰이화학 여수공장 (a) 현장 사진 1, (b) 현장 사진 2




(a) (b)

<그림 2-3-62> 여천NCC 여수공장 (a) 현장 사진 1, (b) 현장 사진 2




(a) (b)

<그림 2-3-63> 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 (a) 현장 사진 1, (b) 현장 사진 2




(a) (b)

<그림 2-3-64> 두산중공업 창원공장 (a) 현장 사진 1, (b) 현장 사진 2



(a) (b)

<그림 2-3-65> 한국중부발전 서울화력발전소 (a) 현장 사진 1, (b) 현장 사진 2

- 점군 데이터 획득을 위한 장비 선정
  - 테스트베드별 사전 답사 결과, 금호미쓰이화학 여수공장의 일부 영역, 여천NCC 여수공장의 일부 영역, 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트는 내부 공간이 협소하여 점군 데이터 획득 시에 Leica Geosystems사에서 개발한 Leica ScanStation C10의 이동 및 사용이 어려움. 따라서 좁은 장소에도 이동 및 사용이 가능한 장비로 FARO사에서 개발한 FARO Focus^{3D}를 선정함.
  - FARO사에서 개발한 FARO Focus^{3D}를 통한 점군 데이터 획득이 어려울 정도로 내부 공간이 극히 협소한 지역에 대해서는 DotProduct사에서 개발한 DotProduct PDI-7를 점군 데이터 획득 장비로 선정함. 해당 장비는 Hand-held 레이저 스캐너로서 사람이 한 손으로 들고 스캔 대상물을 붓 칠하듯 스캔하여 국소 부위에 대한 점군 데이터를 획득할 수 있음.
  - 또한, Leica Geosystems사에서 새롭게 개발한 Leica ScanStation P20를 선정함. Leica ScanStation P20는 스캔 속도가 동일 회사의 Leica ScanStation C10 대비 20배가 빨라 점군 데이터 획득 속도에 있어 강점을 보임. 해당 장비는 한국중부발전 서울화력발전소에 대한 점군 데이터 획득 시에 시험적으로 활용됨.
  - 다음 <표 2-3-31>은 Leica ScanStation C10의 사양을 나타냄. Leica ScanStation C10의 3차원 점군 데이터 획득 거리는 최대 300m로 대규모 플랜트 시설에 적합함. 반면, 장비가 크고 무거워 협소한 공간에서의 이동 및 사용이 어려움.

<표 2-3-31> Leica ScanStation C10의 주요 사양

구분	설명
정확성	6mm (위치)/ 4mm (거리)
획득 거리	300m (90%)/ 134m (18%)
스캔 속도	초당 최대 50,000 포인트
스캔 범위	360° (수평)/ 270° (수직)
크기	238mm× 358mm× 395mm
무게	13kg
사진	 

- 다음 <표 2-3-32>는 FARO Focus^{3D}의 사양을 나타냄. FARO Focus^{3D}의 3차원 점군 데이터 획득 거리는 최대 120m로 Leica ScanStation C10과 비교할 때 다소 짧음. 반면, 장비가 작고 가벼워 협소한 공간에서의 이동 및 사용이 용이함.

<표 2-3-32> FARO Focus^{3D}의 주요 사양

구분	설명
정확성	1.7mm (1m 거리) / 3.4mm (2m 거리)
획득 거리	120m (90%)
스캔 속도	초당 최대 976,000 포인트
스캔 범위	360° (수평)/ 305° (수직)
크기	240mm× 200mm× 100mm
무게	5kg
사진	 

- 다음 <표 2-3-33>은 DotProduct DPI-7의 사양을 나타냄. DotProduct DPI-7은 사람이 손에 쥔 채 스캔 대상물을 스캔하여 점군 데이터를 획득할 수 있으므로, FARO Focus^{3D}도 접근하기 힘든 극히 협소한 지역의 점군 데이터 획득에 활용할 수 있음.

<표 2-3-33> DotProduct DPI-7의 주요 사양

구분	설명
획득 거리	3.3m
스캔 범위	57.5° (수평)
크기	200mm× 240mm× 60mm
무게	1kg
사진	

- 다음 <표 2-3-34>는 Leica ScanStation P20의 사양을 나타냄. Leica ScanStation P20의 3차원 점군 데이터 획득 거리는 최대 120m로 Leica ScanStation C10과 비교할 때 다소 짧음. 반면, 스캔 속도가 초당 최대 100만 포인트로 Leica ScanStation C10 대비 20배가 빨라 점군 데이터 획득 속도에 있어 강점을 보임.

<표 2-3-34> Leica ScanStation P20의 주요 사양

구분	설명	
정확성	3mm (위치)/ 1mm (거리)	
획득 거리	120m (18%)	
스캔 속도	초당 최대 1,000,000 포인트	
스캔 범위	360° (수평)/ 270° (수직)	
크기	238mm× 358mm× 395mm	
무게	11.9kg	
사진		

- 테스트베드별 데이터 획득 계획 수립 결과
  - 선정된 다섯 개의 테스트베드는 각각 담당하는 공정이 달라 설치되어 있는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기의 종류가 서로 상이한 특성을 지님. 따라서 테스트베드별로 데이터 획득 일정, 획득 위치 및 횟수, 투입 인원, 사용 장비 종류를 계획함. 다음 <표 2-3-35>는 다섯 개의 테스트베드를 대상으로 총 460회에 걸친 점군 데이터 획득 실험을 위한 점군 데이터 획득 계획을 요약하여 나타냄.

<표 2-3-35> 다섯 개의 테스트베드에 대한 점군 데이터 획득 계획

대상	데이터 획득 일시	인원	데이터 획득 횟수	사용 장비
금호미쓰이화학 여수공장	2014년 07월 28일 10:30~18:00	7	44	C10, Focus^{3D}
	2014년 07월 29일 09:30~18:00	7	44	C10, Focus^{3D}
	2014년 09월 30일 09:30~18:00	2	29	C10, Focus^{3D}
	2014년 10월 01일 09:30~18:00	5	29	C10, Focus^{3D}
	2014년 10월 23일 09:30~18:00	4	29	C10, Focus^{3D}
	2014년 10월 24일 09:30~18:00	4	29	C10, Focus^{3D}, DPI-7
	2014년 10월 29일 09:30~18:00	4	15	C10
	2014년 10월 30일 09:30~18:00	3	15	C10
	2014년 10월 31일 09:30~18:00	4	15	C10
	2014년 11월 05일 09:30~18:00	4	29	C10, Focus^{3D}
	2014년 11월 07일 09:30~18:00	5	29	C10, Focus^{3D}
	2014년 11월 12일 09:30~18:00	5	29	C10, Focus^{3D}
	2014년 11월 14일 09:30~18:00	5	11	C10, Focus^{3D}
여천NCC 여수공장	2014년 11월 13일 09:30~11:00	2	6	C10, Focus^{3D}
	2014년 12월 08일 09:30~18:00	4	16	C10, DPI-7
	2014년 12월 10일 09:30~18:00	4	16	C10, Focus^{3D}
	2014년 12월 12일 09:30~18:00	5	7	C10, Focus^{3D}
대우조선해양 옥포조선소	2014년 11월 21일 11:00~17:30	5	14	C10
	2014년 12월 05일 09:30~18:00	5	7	C10, Focus^{3D}, DPI-7
두산중공업 창원공장	2015년 01월 22일 09:30~18:00	5	28	C10, Focus^{3D}
한국중부발전 서울화력발전소	2015년 01월 27일 09:30~18:00	5	19	C10, P20

○ 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득
  - 다음 <그림 2-3-66>과 <그림 2-3-67>는 Leica ScanStation C10, FARO Focus3D, DotProduct DPI-7, Leica ScanStation P20를 이용한 데이터 획득 사진을 나타냄. <그림 2-3-66(a)>와 같이 플랜트 시설 내부의 협소한 지역을 제외한 데이터 획득 시에는 Leica ScanStation C10을 이용하였으며, <그림 2-3-66(b)>와 같이 플랜트 시설 내부의 협소한 지역에서는 FARO Focus3D를 활용하여 3차원 점군 데이터를 획득함.




(a) (b)

<그림 2-3-66> (a) Leica ScanStation C10을 이용한 데이터 획득, (b) FARO Focus^{3D}를 이용한 데이터 획득

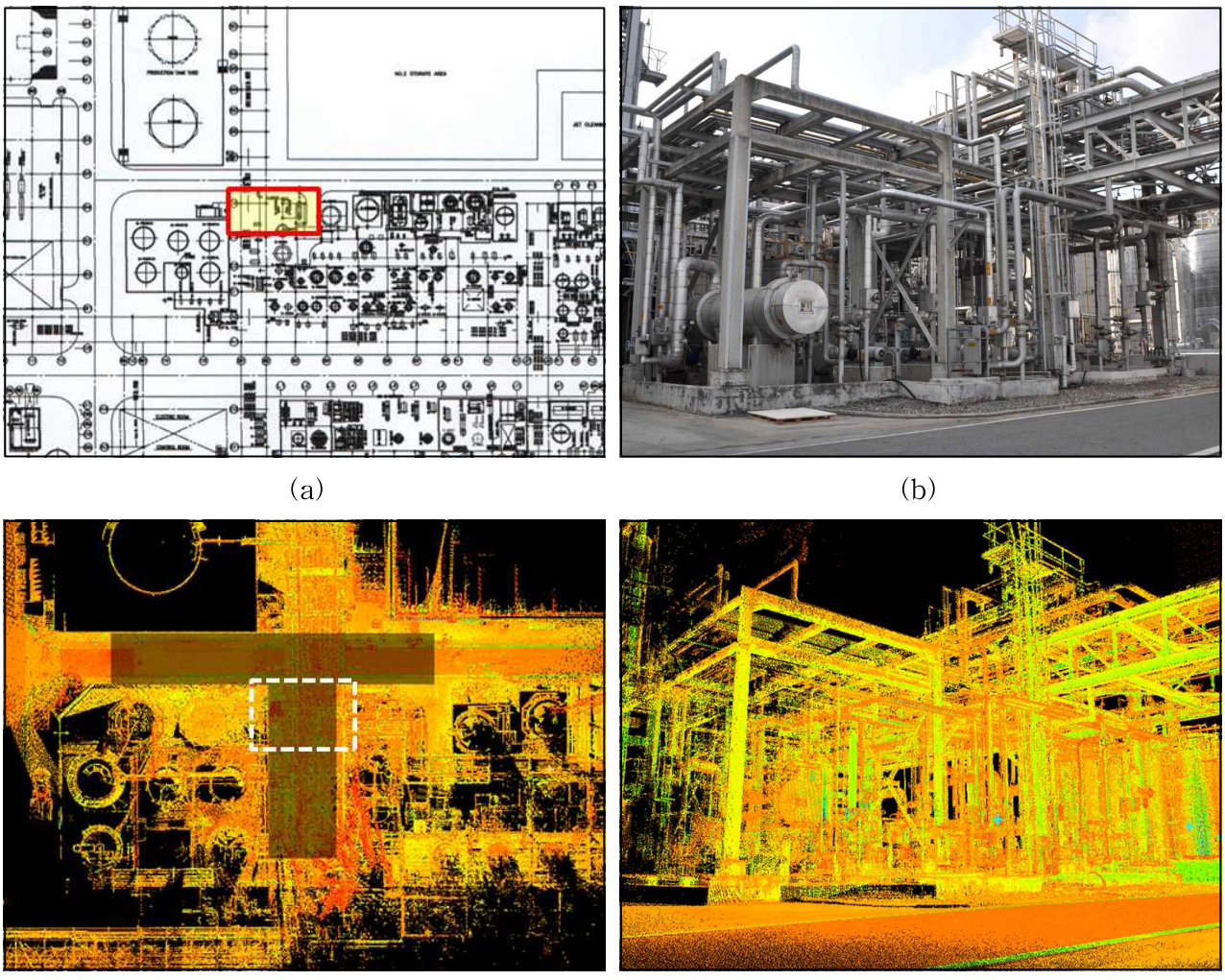
- <그림 2-3-67(a)>와 같이 FARO Focus3D도 접근하기 힘들 정도로 극히 협소한 지역에 대해서는 DotProduct DPI-7을 활용하였으며, 동시에 <그림 2-3-67(b)>와 같이 점군 데이터 획득 속도가 우수한 Leica ScanStation P20를 시험적으로 활용함.




(a) (b)

<그림 2-3-67> (a) DotProduct DPI-7을 이용한 데이터 획득, (b) Leica ScanStation P20를 이용한 데이터 획득

- 금호미쓰이화학 여수공장을 대상으로 한 데이터 획득 현황
  - 금호미쓰이화학 여수공장을 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2014년 07월 28일부터 11월 14일까지 총 13회에 걸쳐 공장을 방문하였으며, 24개 구역에 대해 총 347곳의 위치에서 데이터를 획득을 완료함.
  - 다음 <그림 2-3-68>~<그림 2-3-70>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 1, 구역 2, 구역 3에 대한 2차원 도면과 2014년 07월 28일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

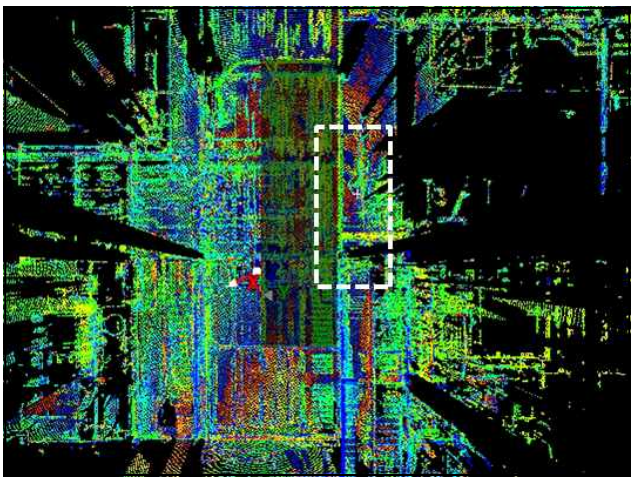
<그림 2-3-68> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 1에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



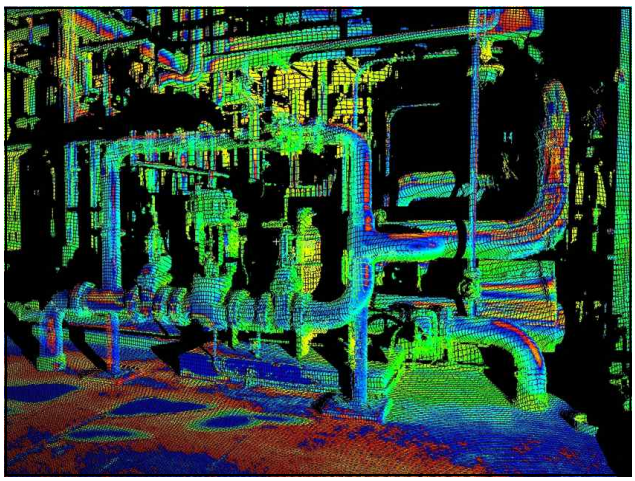
(a)



(b)

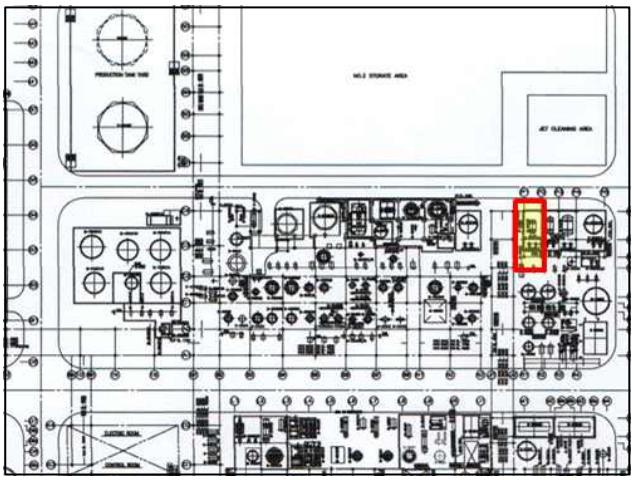


(c)



(d)

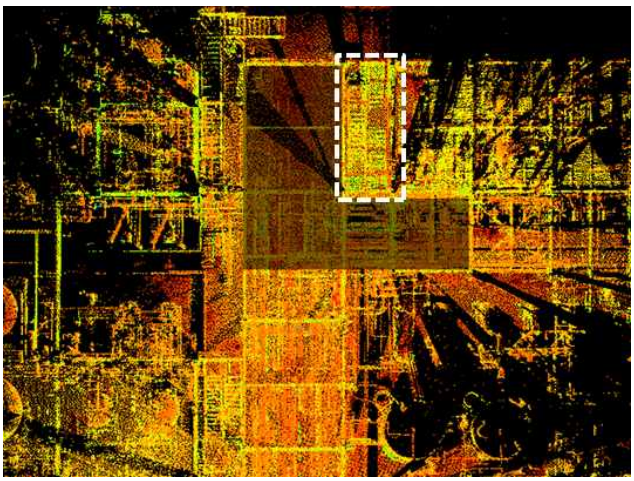
<그림 2-3-69> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 2에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



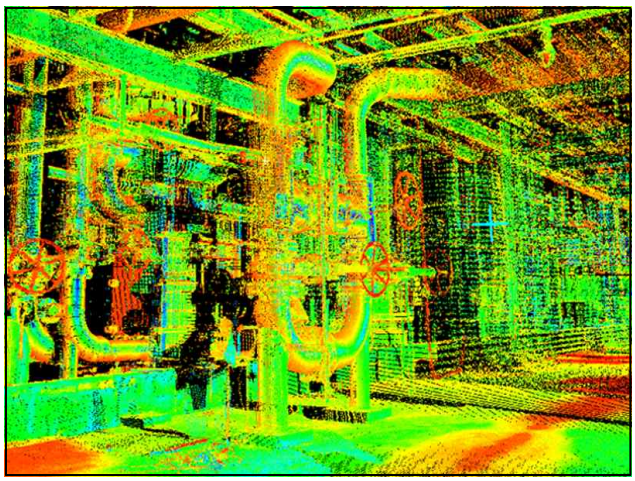
(a)



(b)



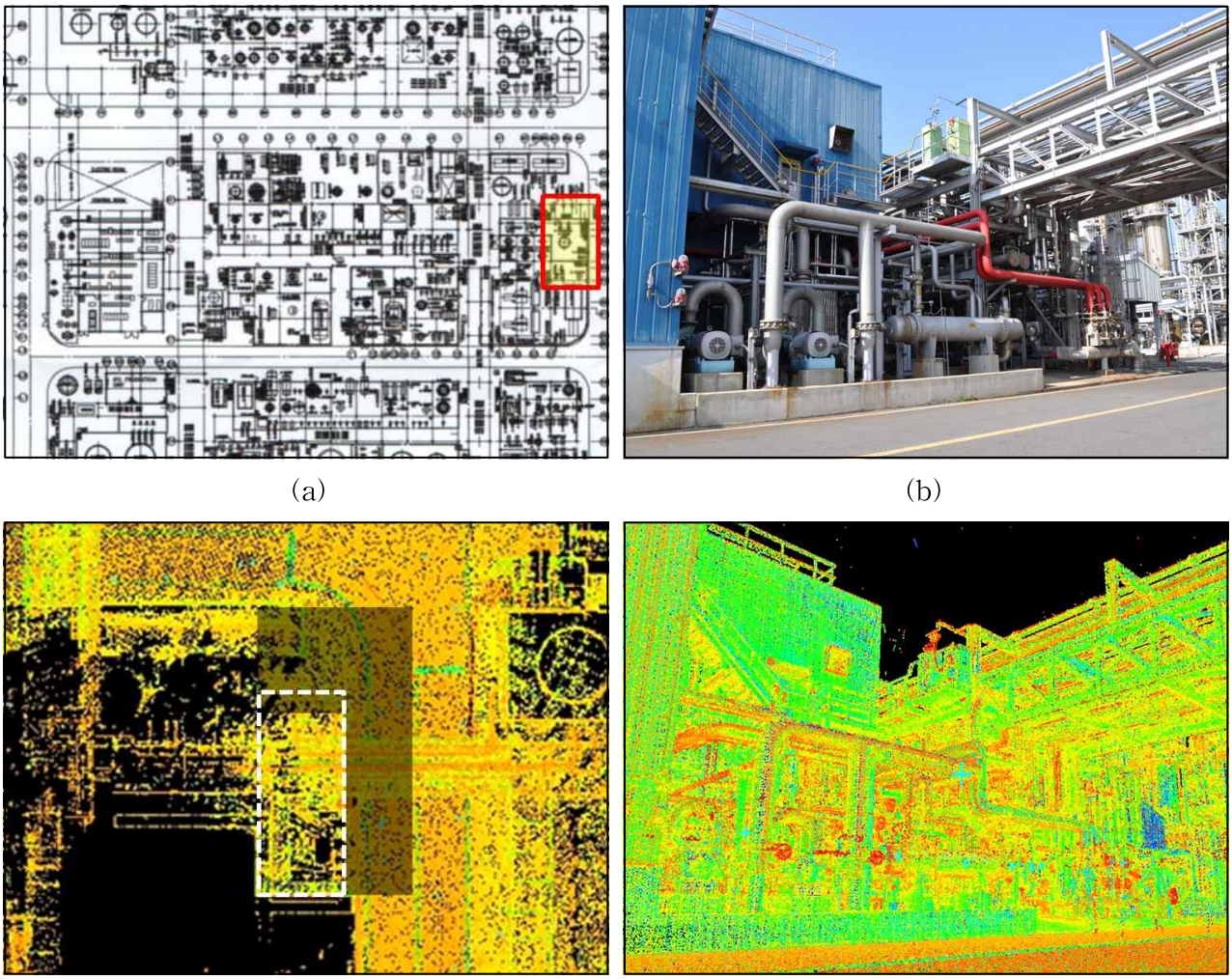
(c)



(d)

<그림 2-3-70> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 3에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

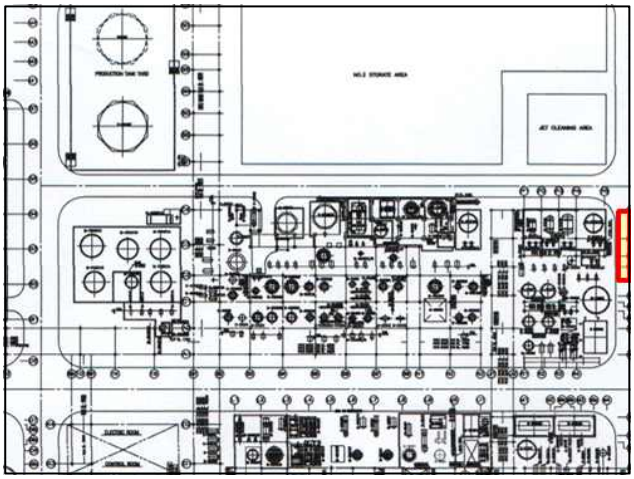
- 다음 <그림 2-3-71>~<그림 2-3-73>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 4, 구역 5, 구역 6에 대한 2차원 도면과 2014년 07월 29일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

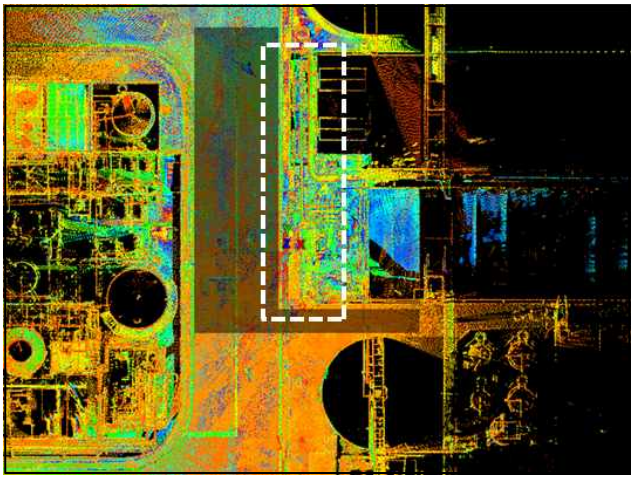
<그림 2-3-71> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 4에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



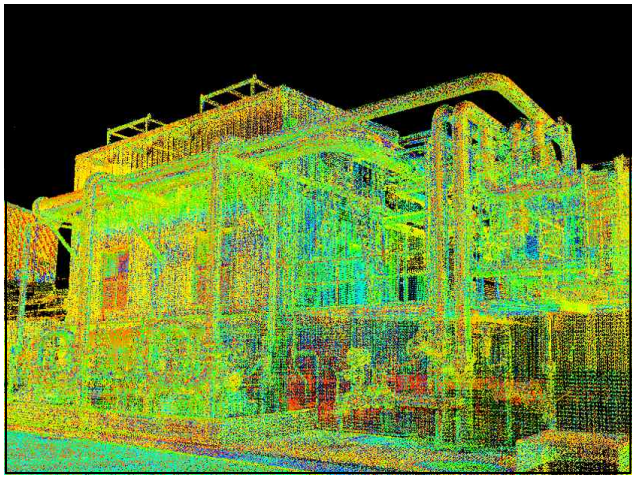
(a)



(b)

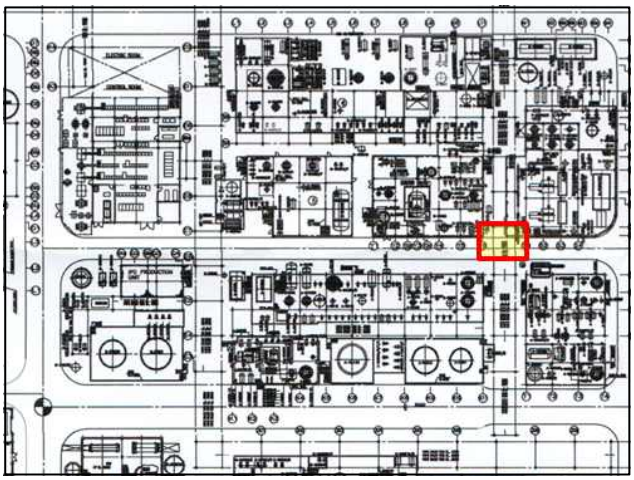


(c)



(d)

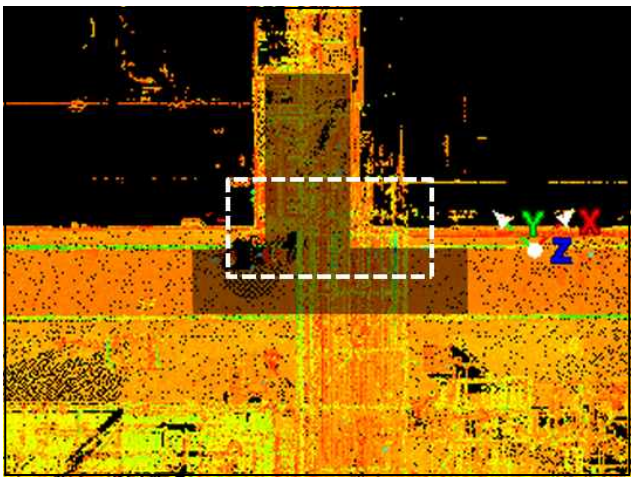
<그림 2-3-72> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 5에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



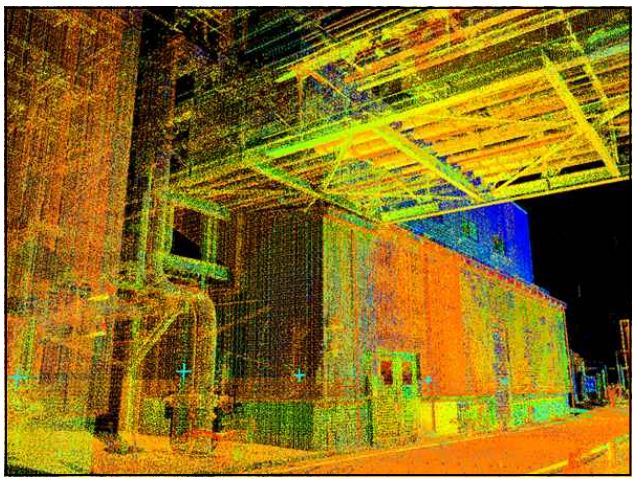
(a)



(b)



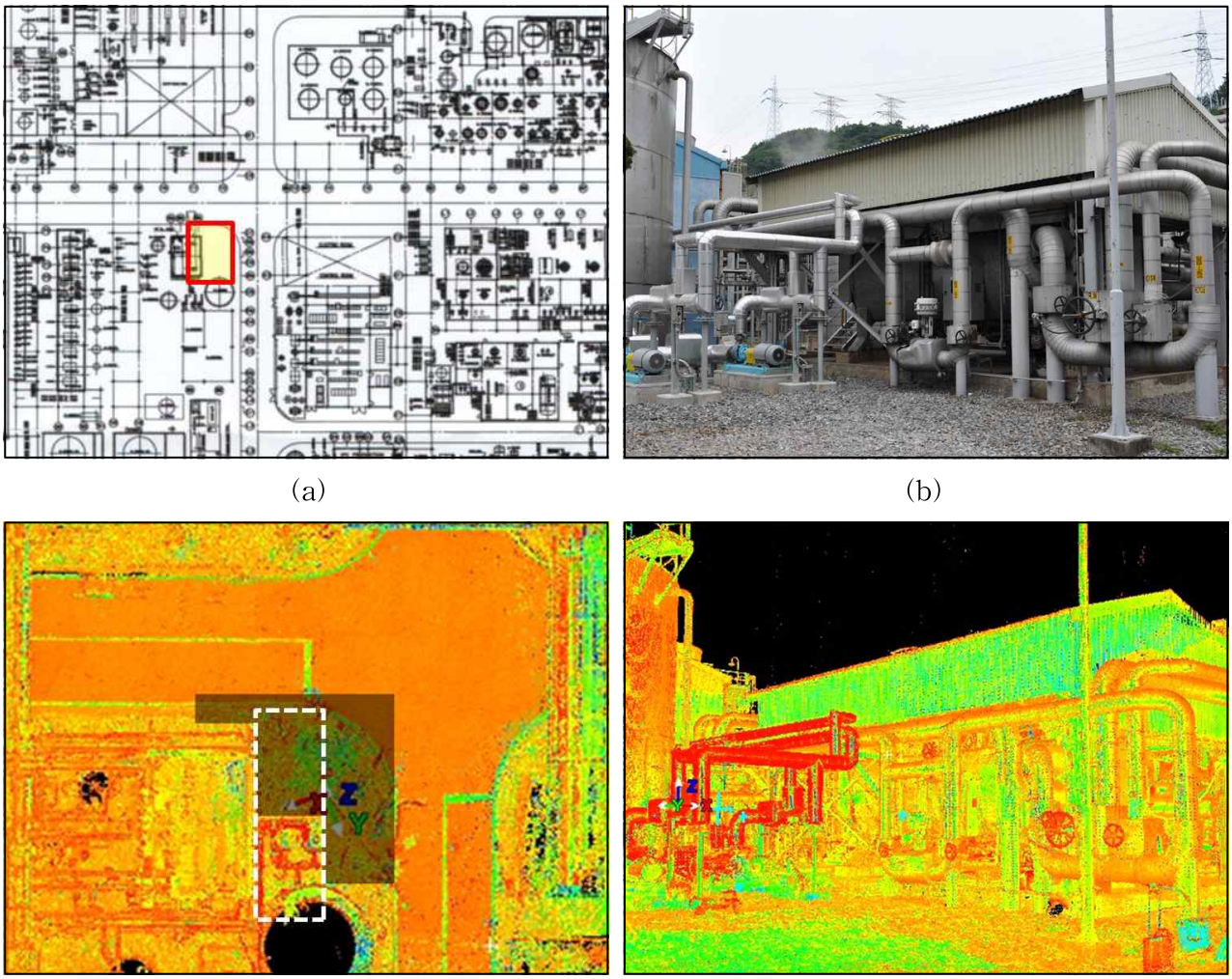
(c)



(d)

<그림 2-3-73> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 6에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

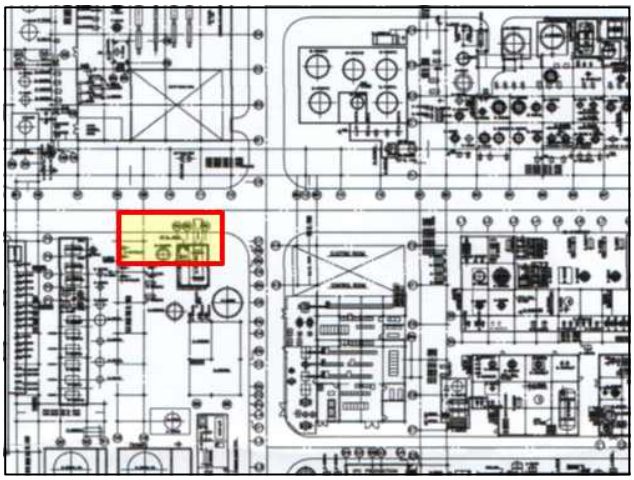
- 다음 <그림 2-3-74>와 <그림 2-3-75>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 7, 구역 8에 대한 2차원 도면과 2014년 09월 30일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

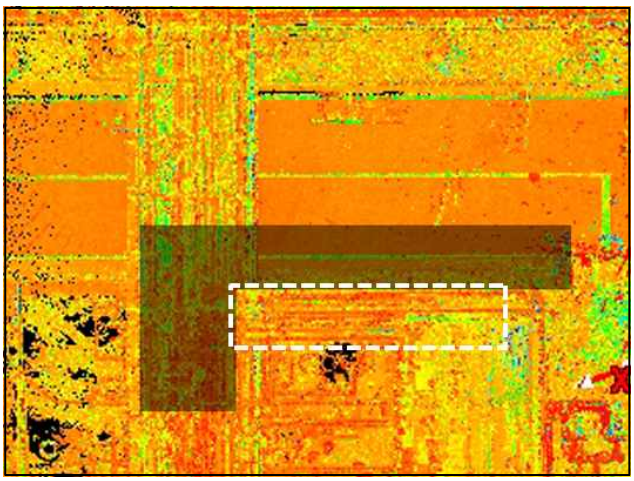
<그림 2-3-74> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 7에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



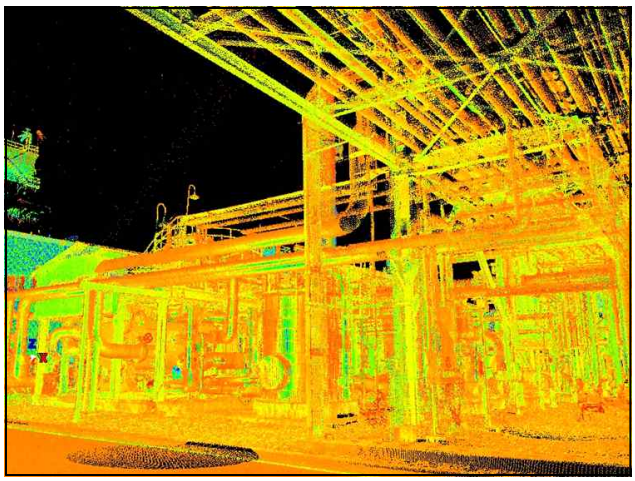
(a)



(b)



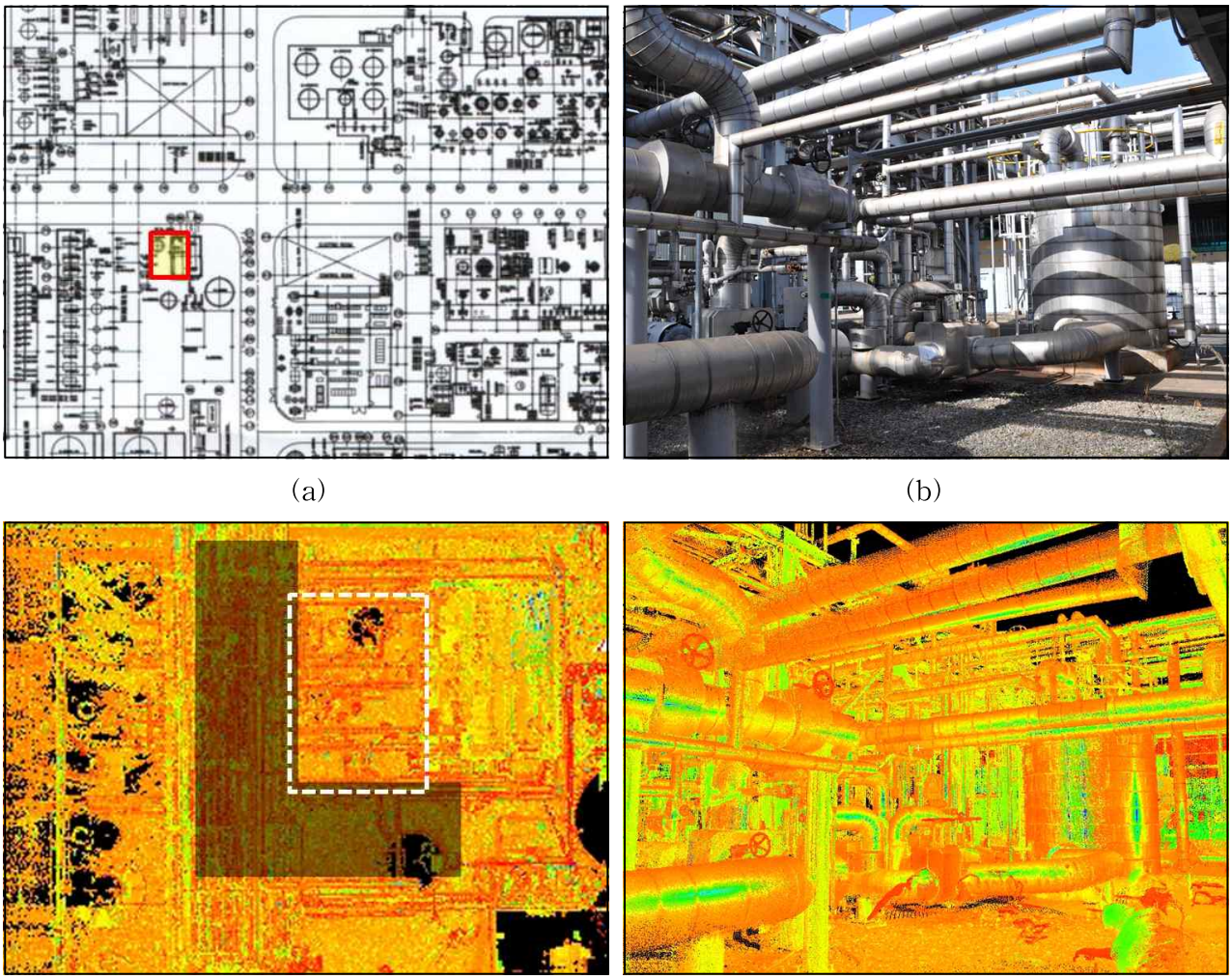
(c)



(d)

<그림 2-3-75> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 8에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

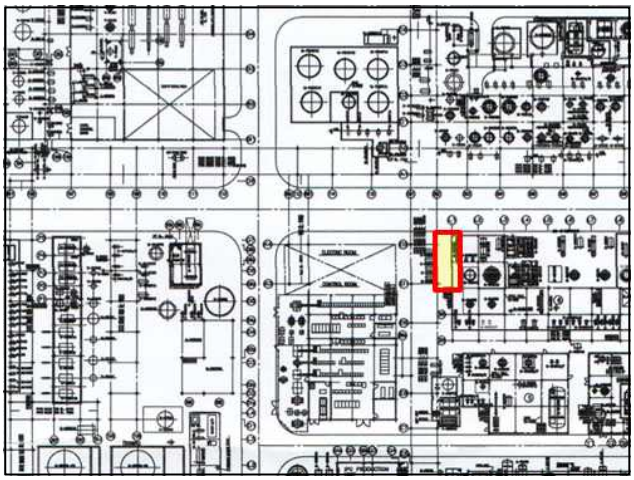
- 다음 <그림 2-3-76>과 <그림 2-3-77>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 9, 구역 10에 대한 2차원 도면과 2014년 10월 01일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

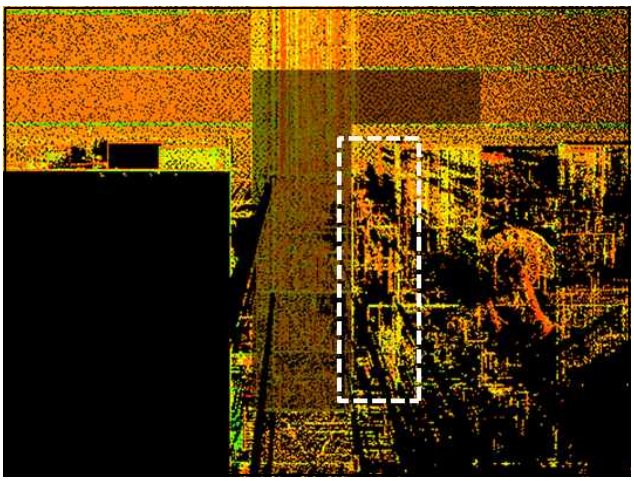
<그림 2-3-76> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 9에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



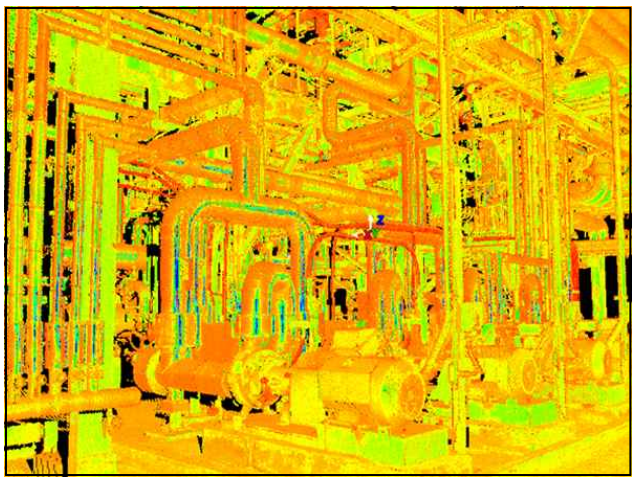
(a)



(b)



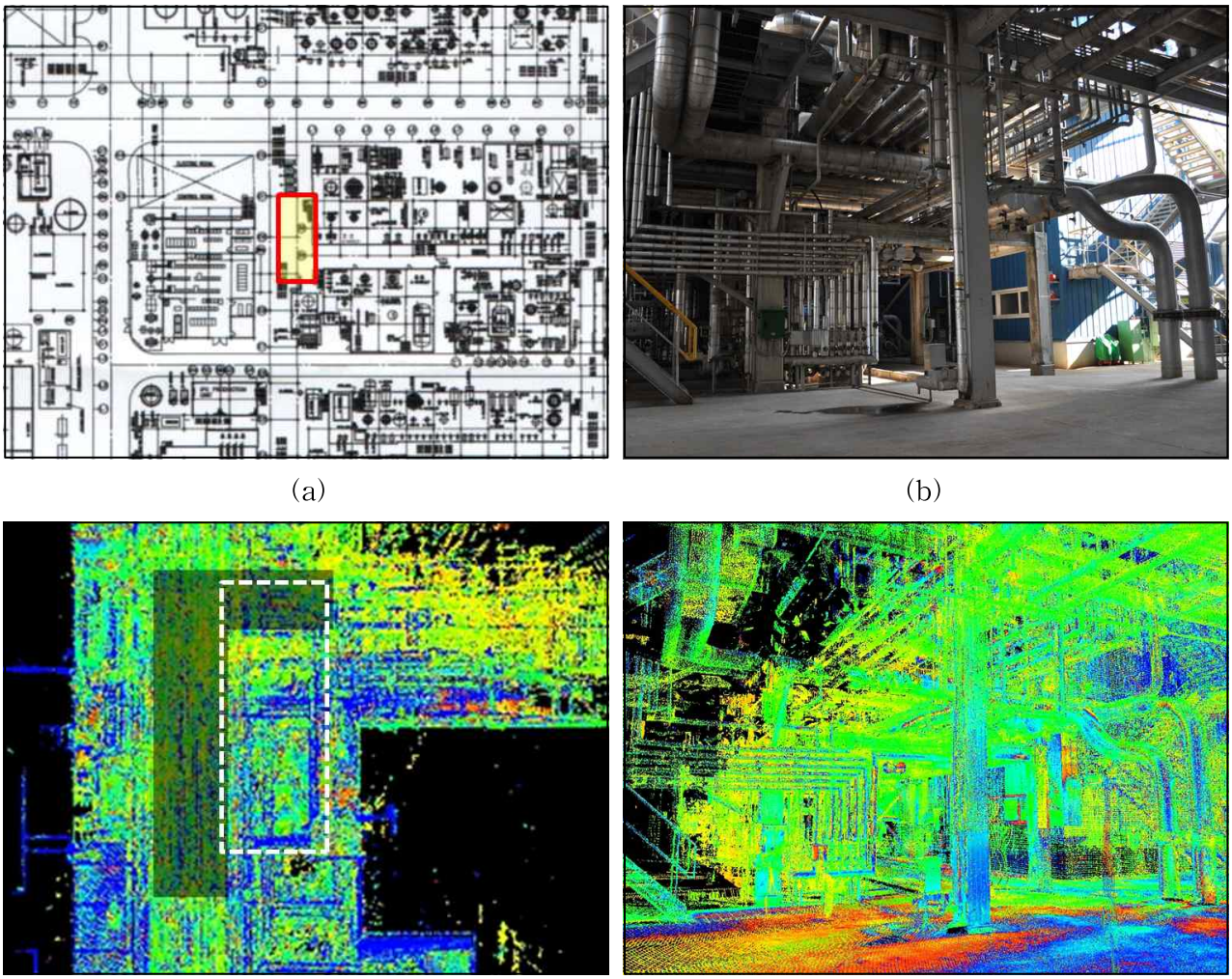
(c)



(d)

<그림 2-3-77> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 10에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

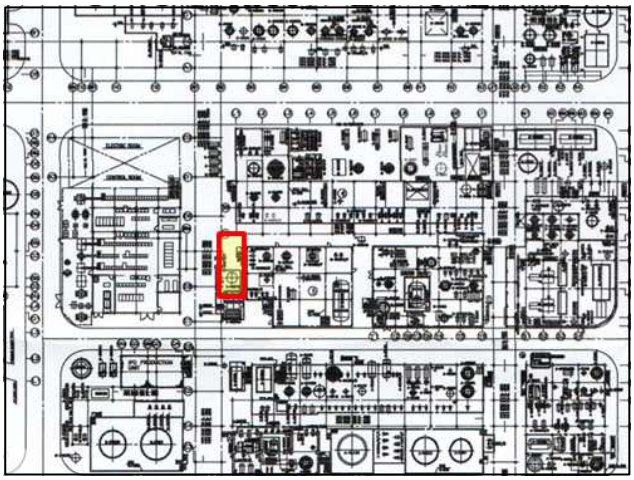
- 다음 <그림 2-3-78>과 <그림 2-3-79>는 금호미쓰이화학 여수공장 구역 11, 구역 12에 대한 2차원 도면과 2014년 10월 23일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

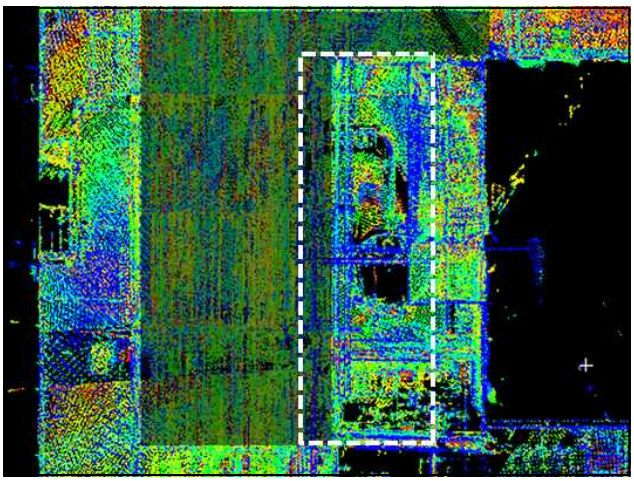
<그림 2-3-78> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 11에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



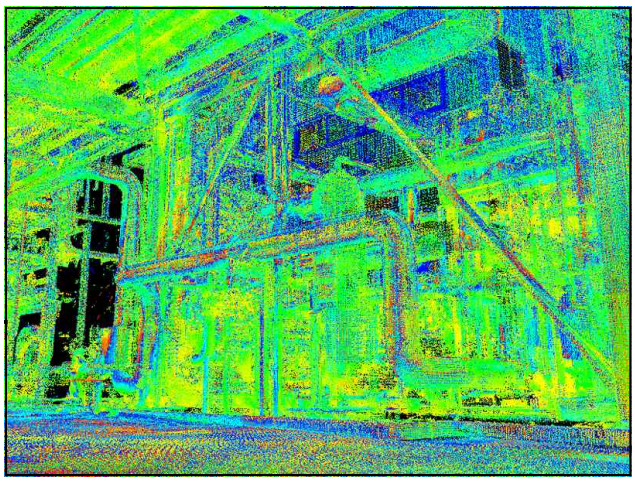
(a)



(b)



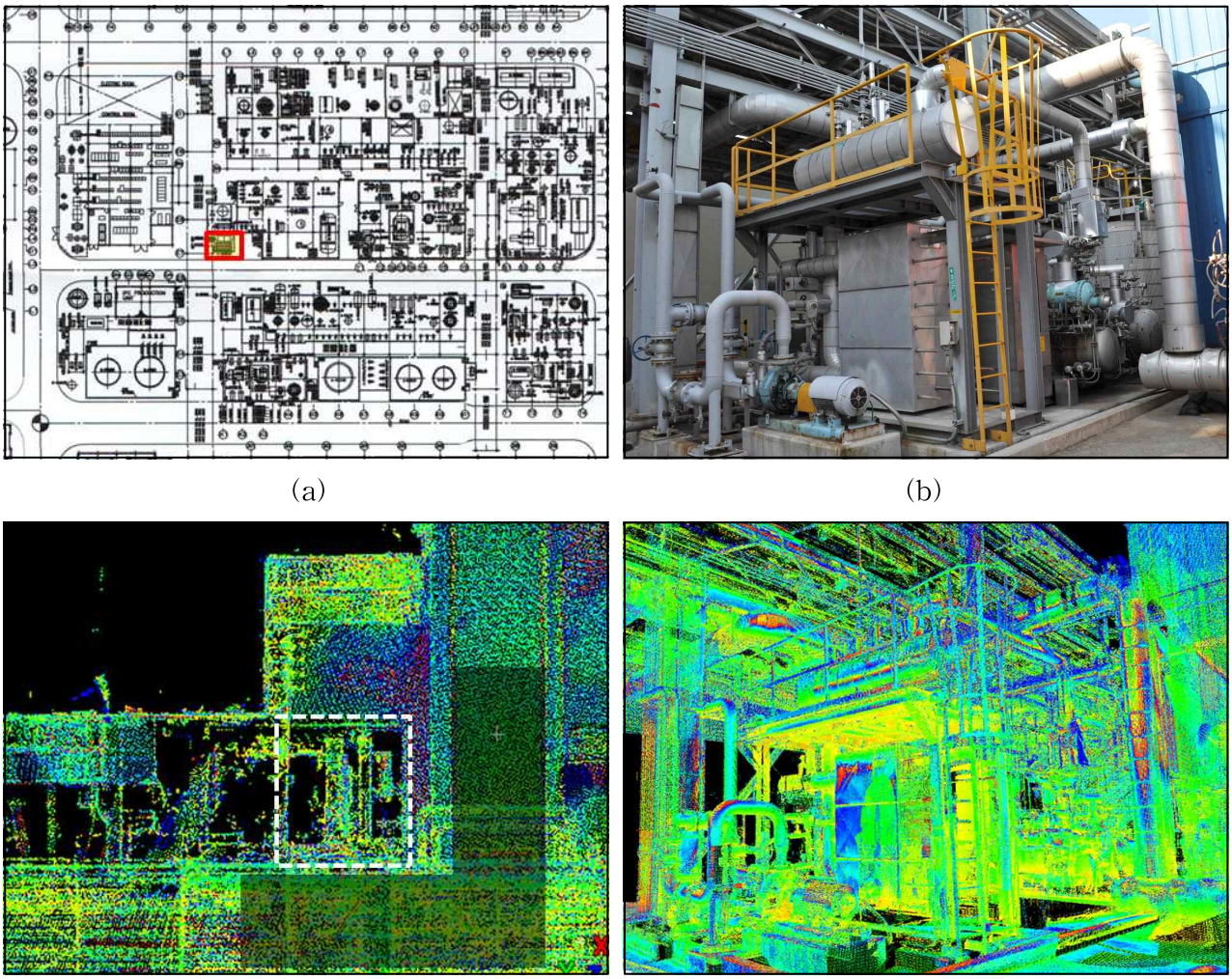
(c)



(d)

<그림 2-3-79> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 12에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

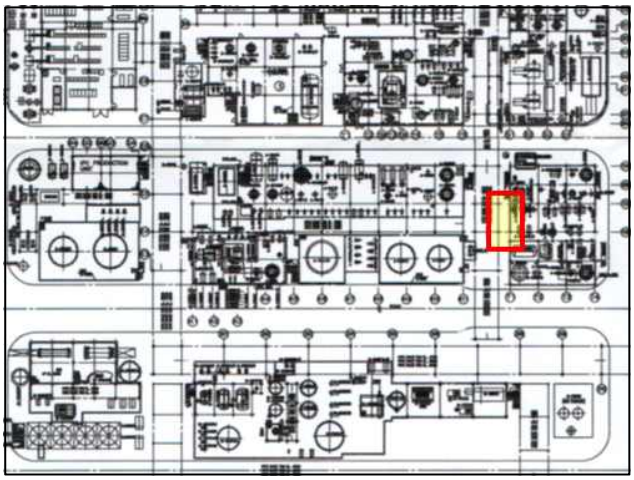
- 다음 <그림 2-3-80>과 <그림 2-3-81>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 13, 구역 14에 대한 2차원 도면과 2014년 10월 24일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

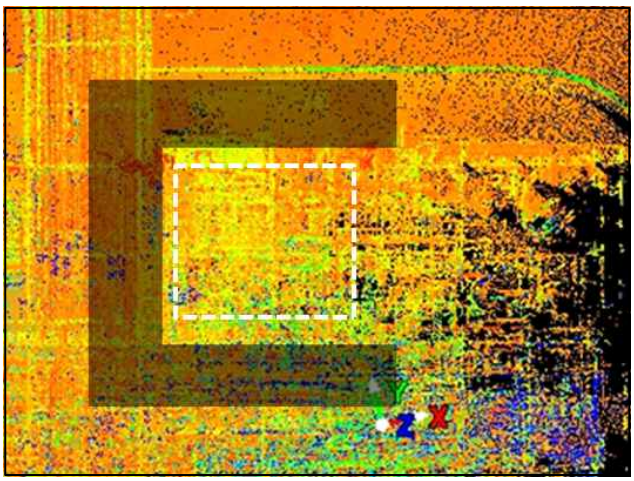
<그림 2-3-80> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 13에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



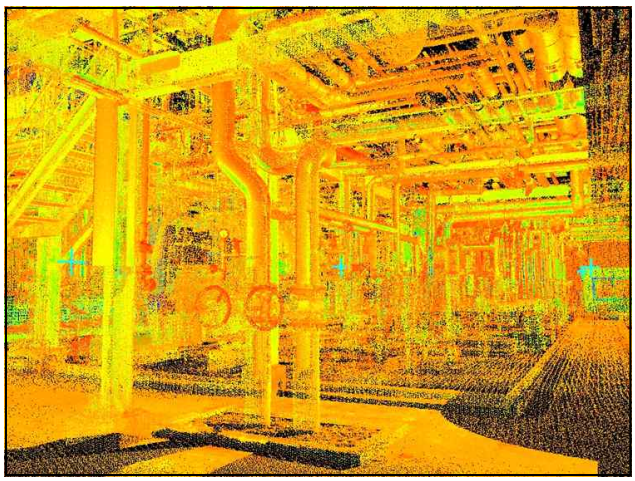
(a)



(b)



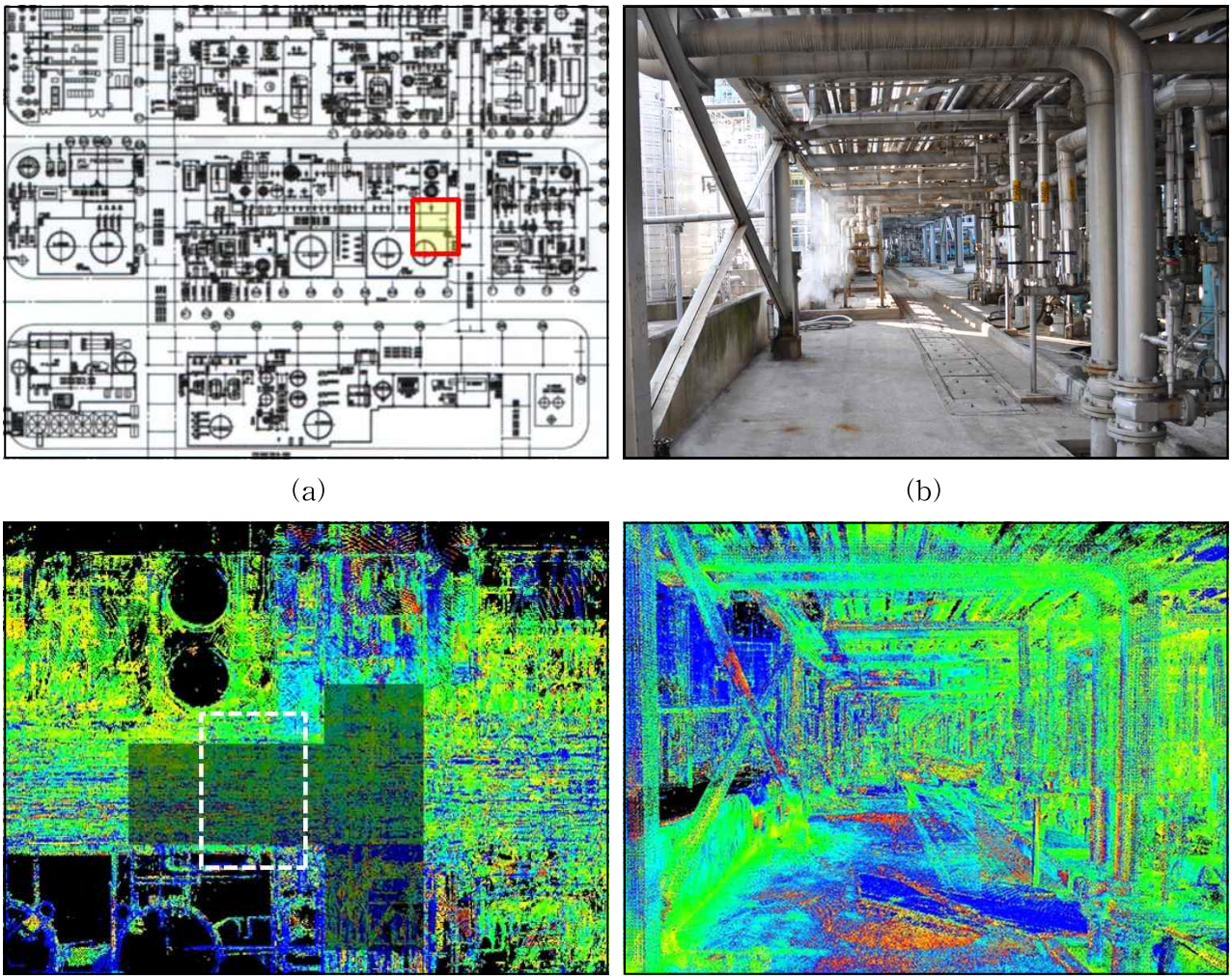
(c)



(d)

<그림 2-3-81> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 14에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

- 다음 <그림 2-3-82>는 금호미쓰이화학 여수공장 구역 15에 대한 2차원 도면과 2014년 10월 29일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.

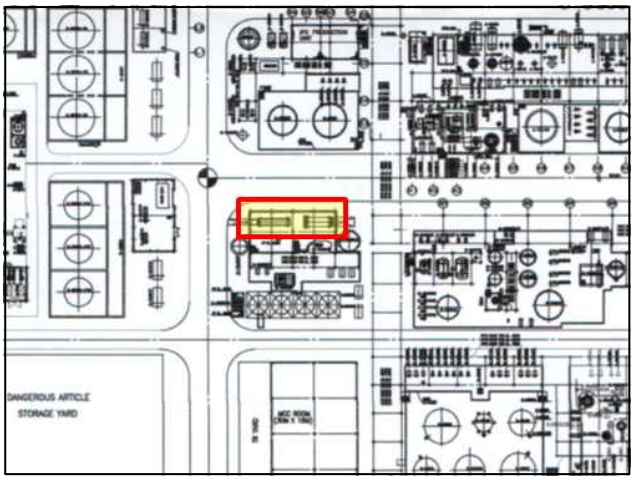


(a) (b)

(c) (d)

<그림 2-3-82> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 15에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

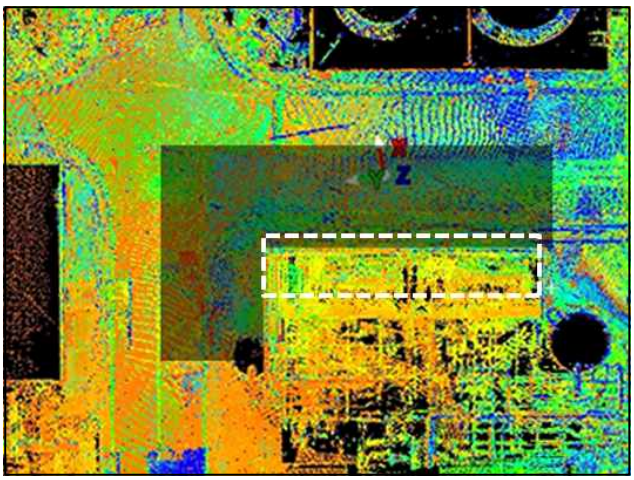
- 다음 <그림 2-3-83>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 16에 대한 2차원 도면과 2014년 10월 30일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



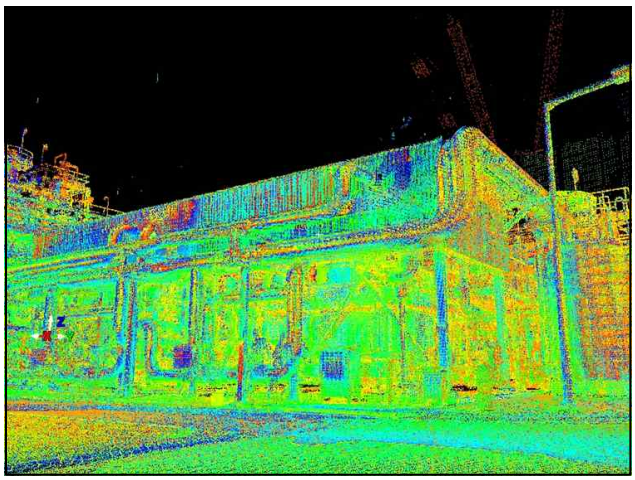
(a)



(b)



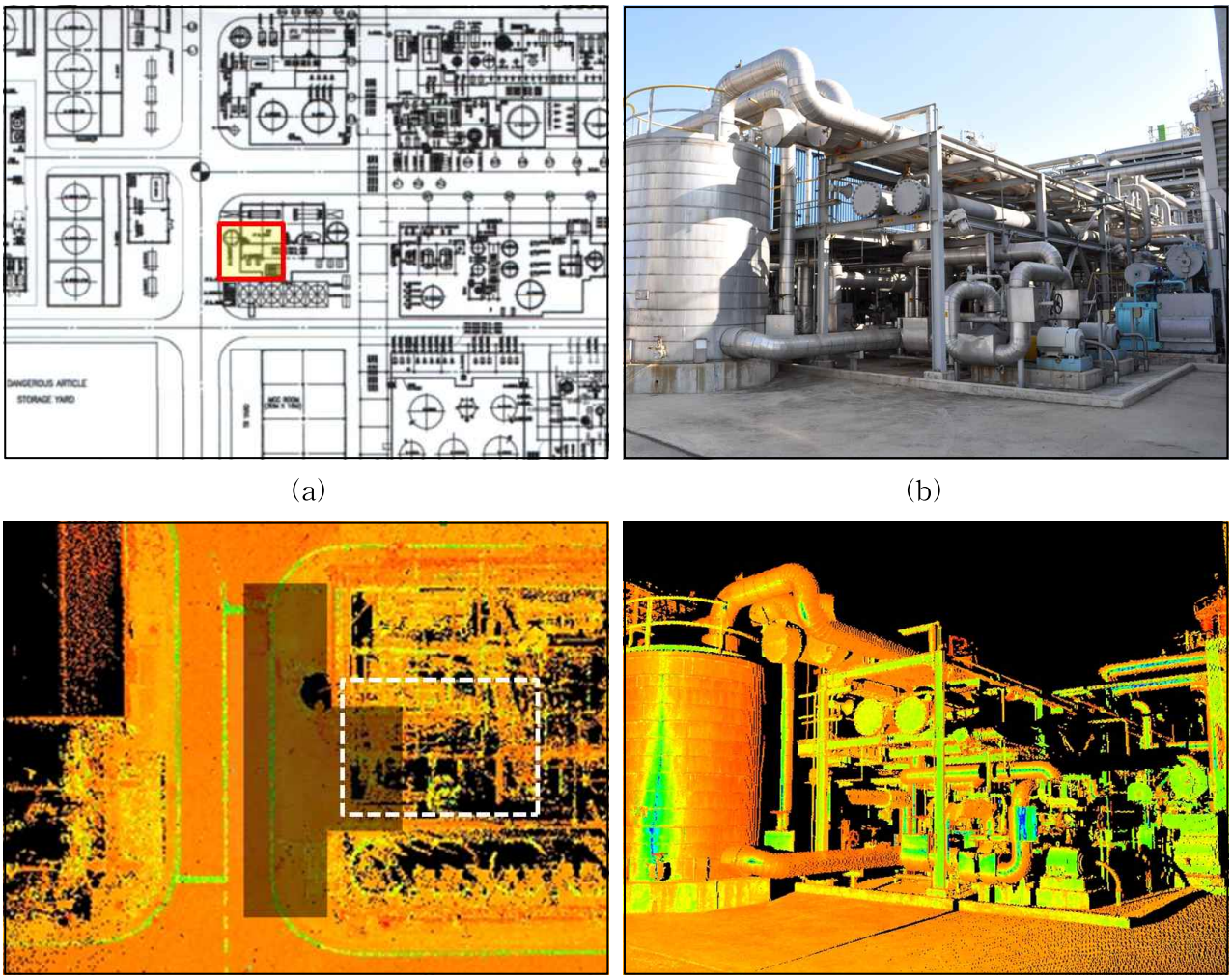
(c)



(d)

<그림 2-3-83> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 16에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

- 다음 <그림 2-3-84>는 금호미쓰이화학 여수공장 구역 17에 대한 2차원 도면과 2014년 10월 31일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.

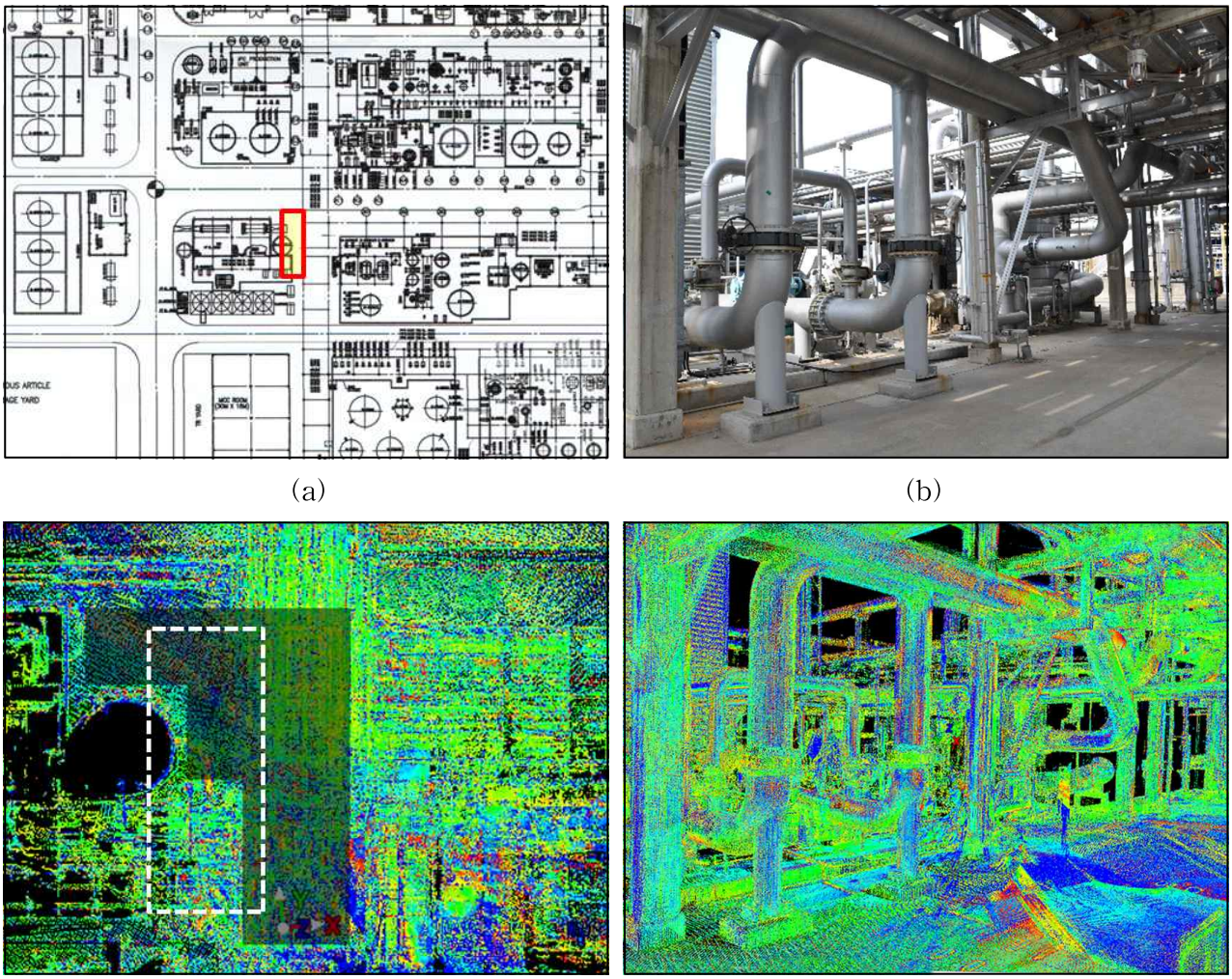


(a) (b)

(c) (d)

<그림 2-3-84> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 17에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

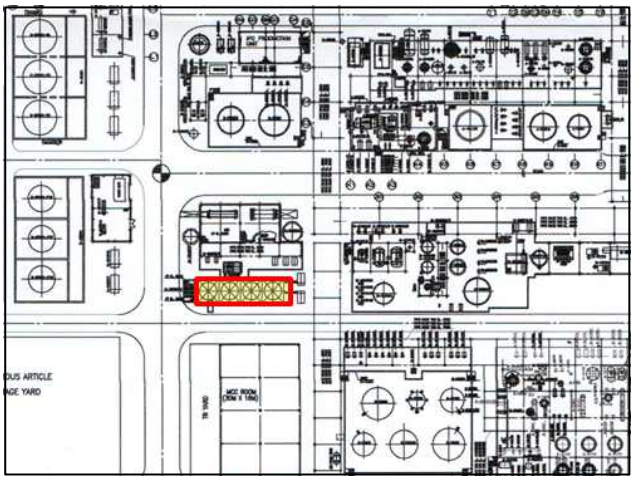
- 다음 <그림 2-3-85>와 <그림 2-3-86>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 18, 구역 19에 대한 2차원 도면과 2014년 11월 05일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

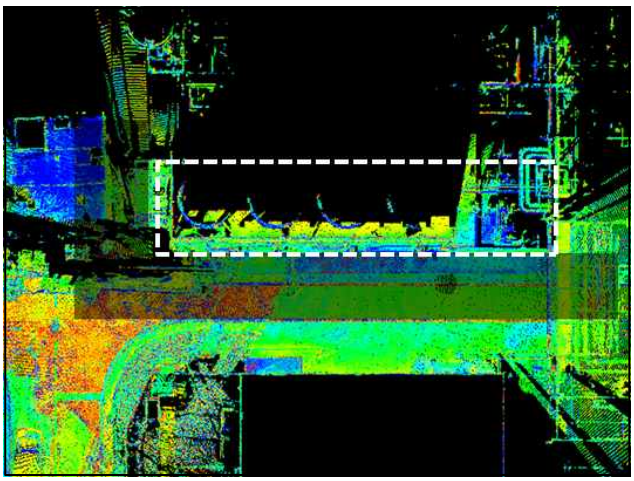
<그림 2-3-85> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 18에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



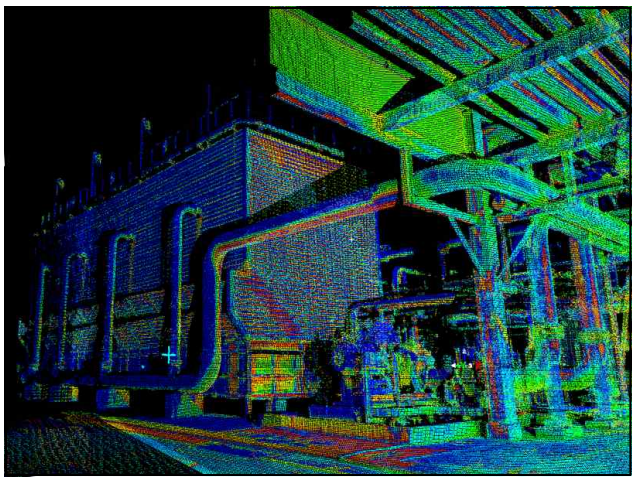
(a)



(b)



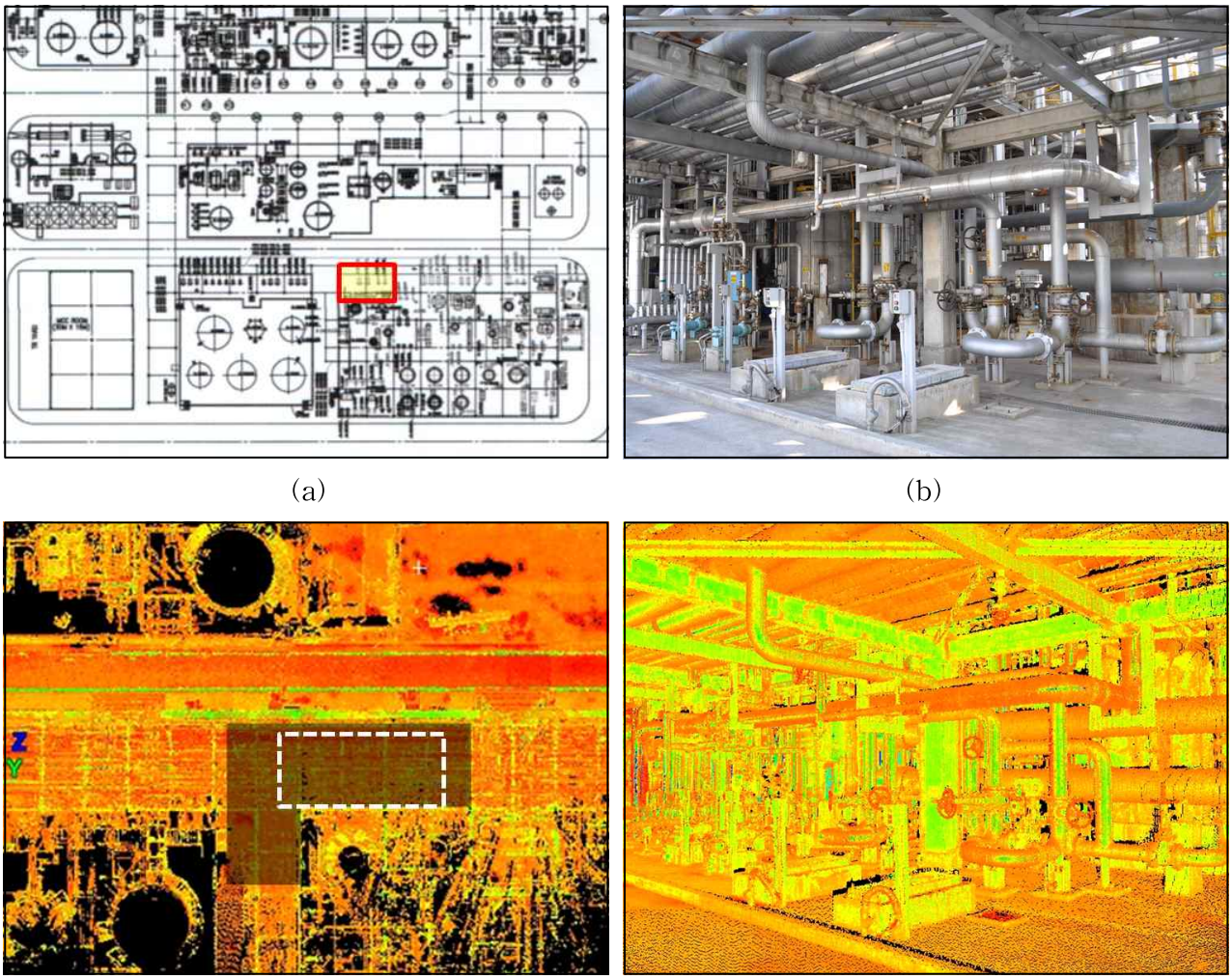
(c)



(d)

<그림 2-3-86> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 19에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

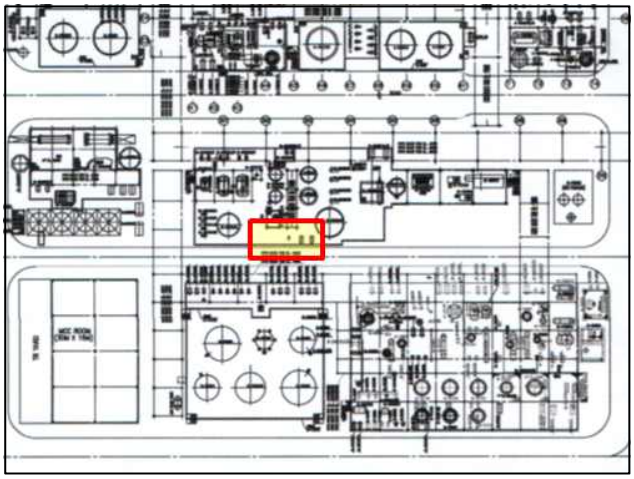
- 다음 <그림 2-3-87>과 <그림 2-3-88>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 20, 구역 21에 대한 2차원 도면과 2014년 11월 07일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

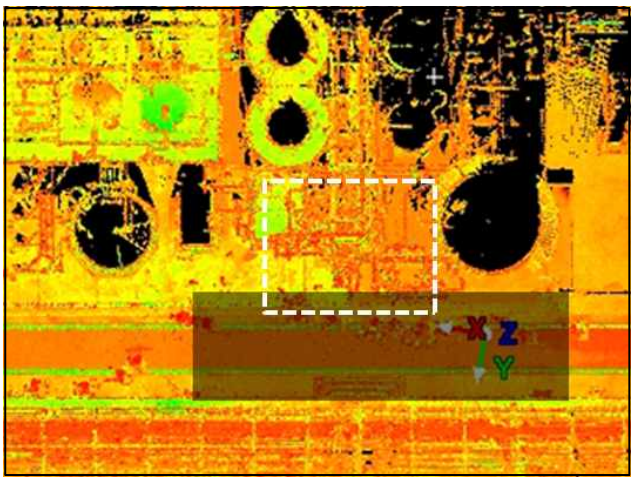
<그림 2-3-87> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 20에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



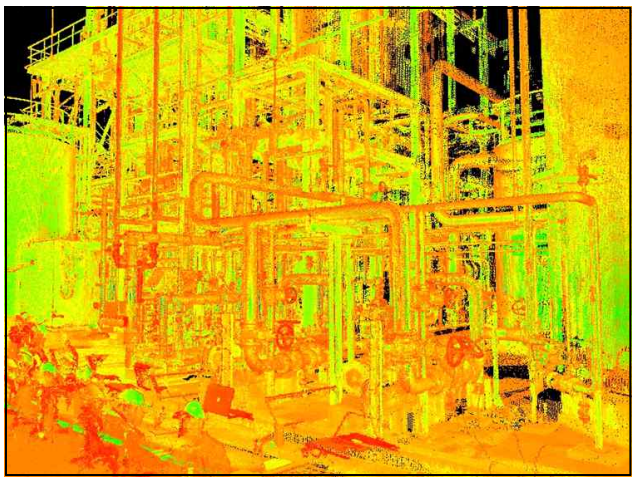
(a)



(b)



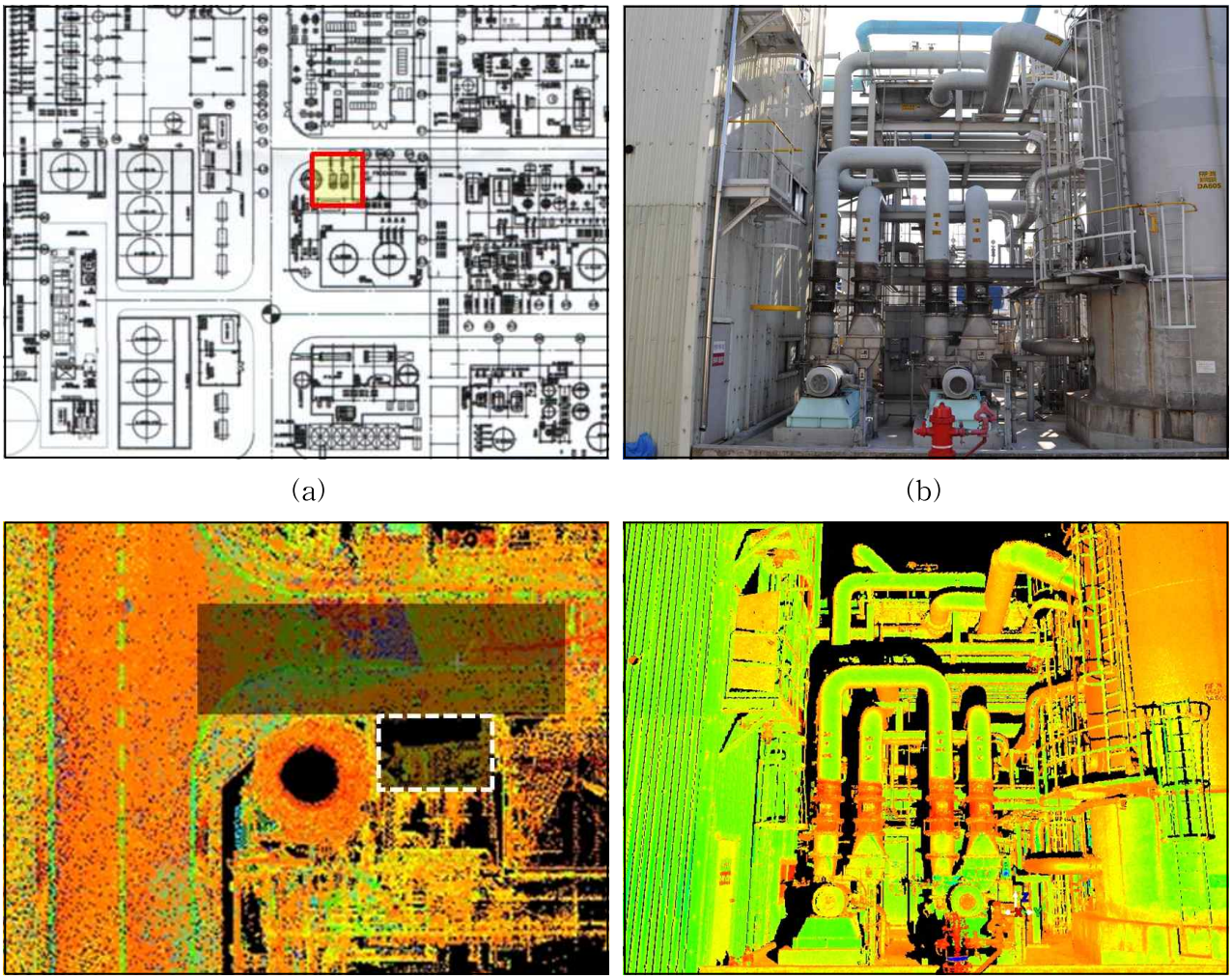
(c)



(d)

<그림 2-3-88> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 21에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

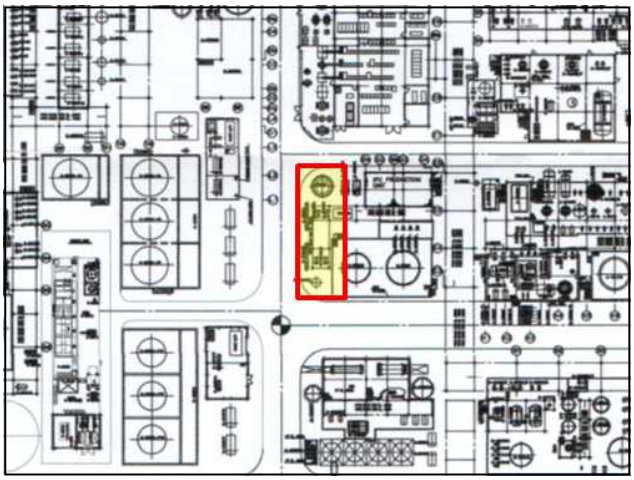
- 다음 <그림 2-3-89>와 <그림 2-3-90>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 22, 구역 23에 대한 2차원 도면과 2014년 11월 12일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

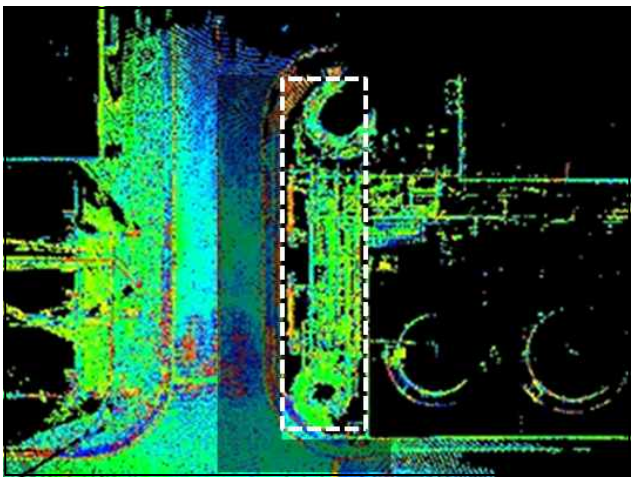
<그림 2-3-89> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 22에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



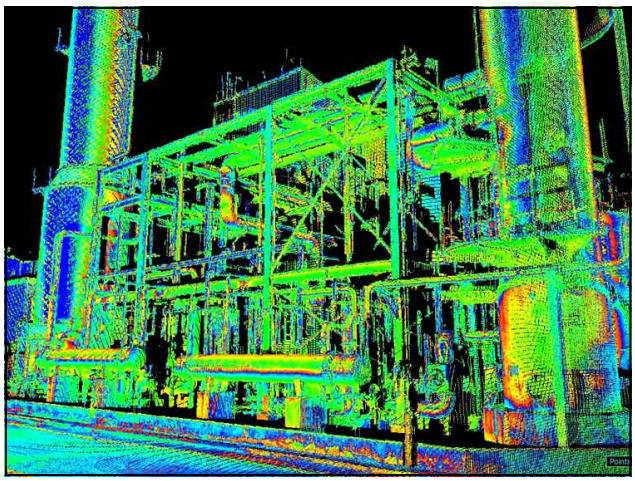
(a)



(b)



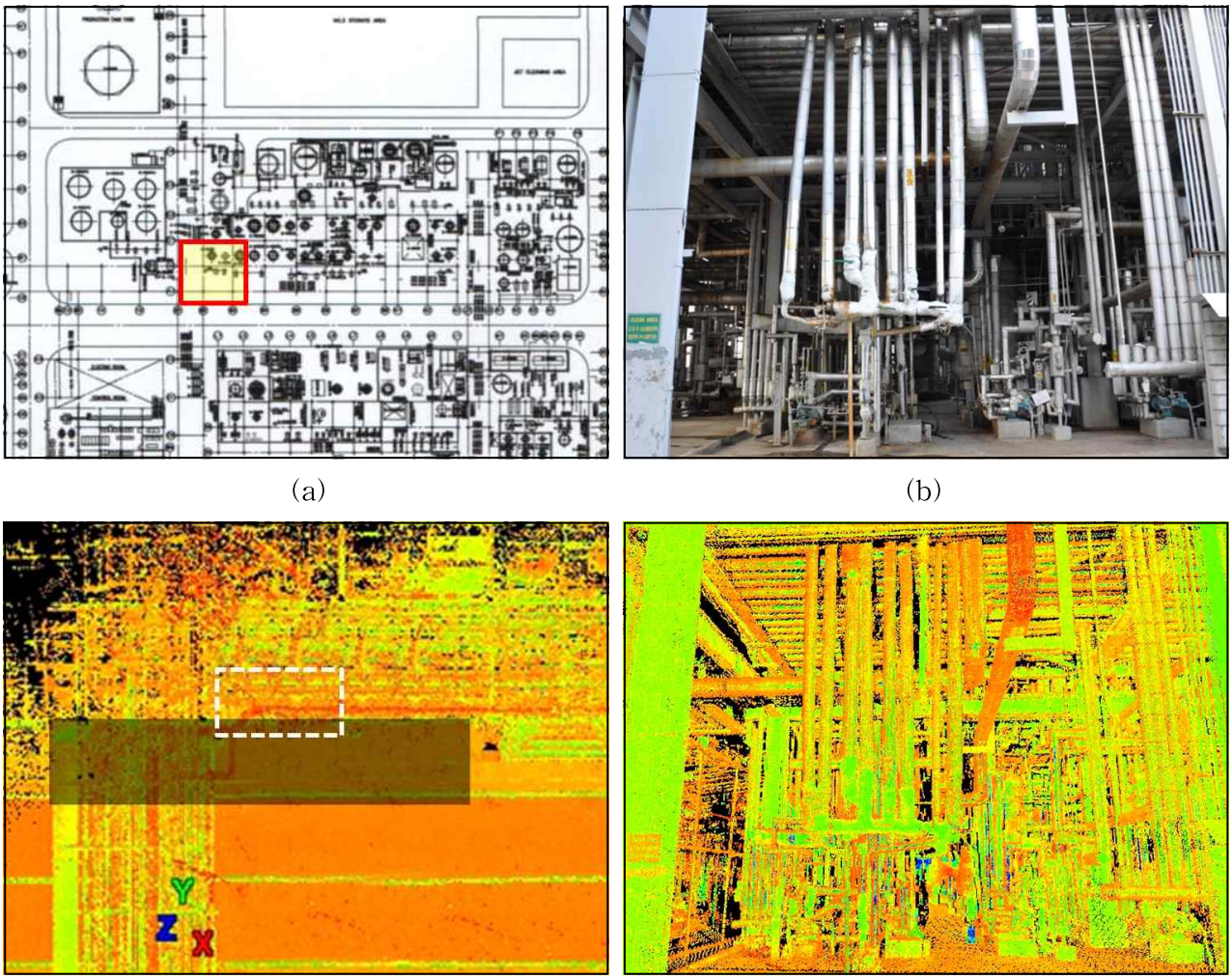
(c)



(d)

<그림 2-3-90> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 23에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

- 다음 <그림 2-3-91>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 24에 대한 2차원 도면과 2014년 11월 14일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

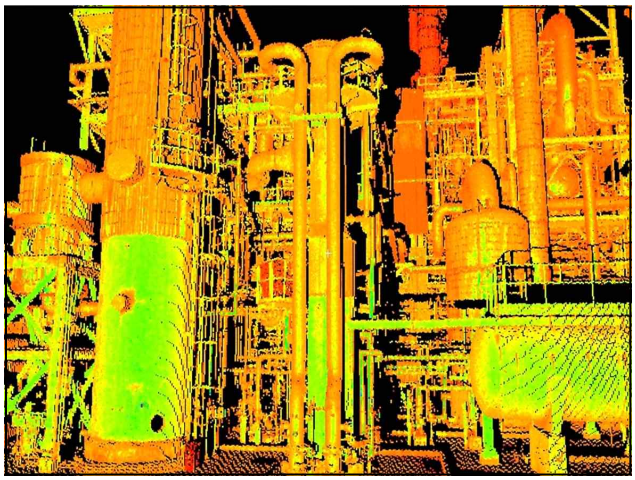
(c) (d)

<그림 2-3-91> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 24에 대한 데이터 획득 결과
(a) 2차원 도면, (b) 현장 사진, (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

- 여천NCC 여수공장을 대상으로 한 데이터 획득 현황
  - 여천NCC 여수공장을 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2014년 11월 13일부터 12월 12일까지 총 4회에 걸쳐 공장을 방문하였으며, 네 개 구역에 대해 총 45곳의 위치에서 데이터를 획득을 완료함.
  - 다음 <그림 2-3-92>는 2014년 11월 13일, 2014년 12월 08일, 2014년 12월 10일에 여천NCC 여수공장 구역 1, 2, 3에 대해 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



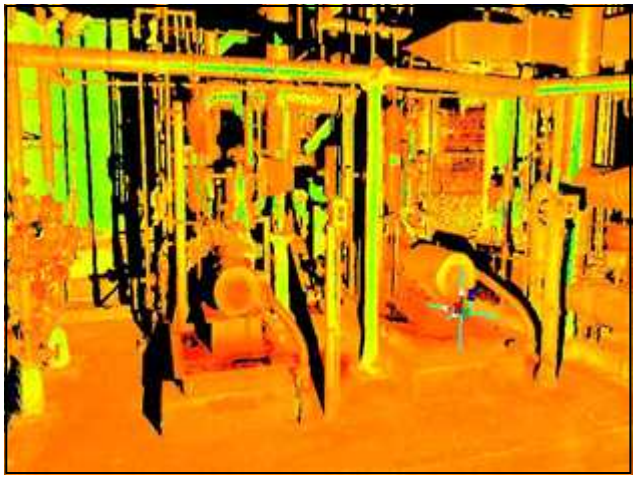
(a)



(b)



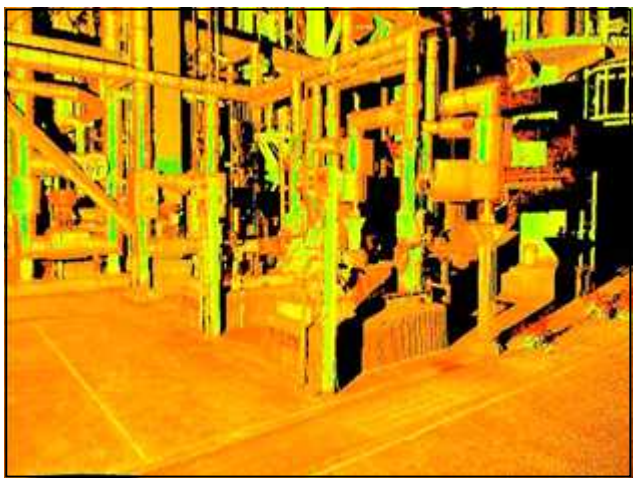
(c)



(d)



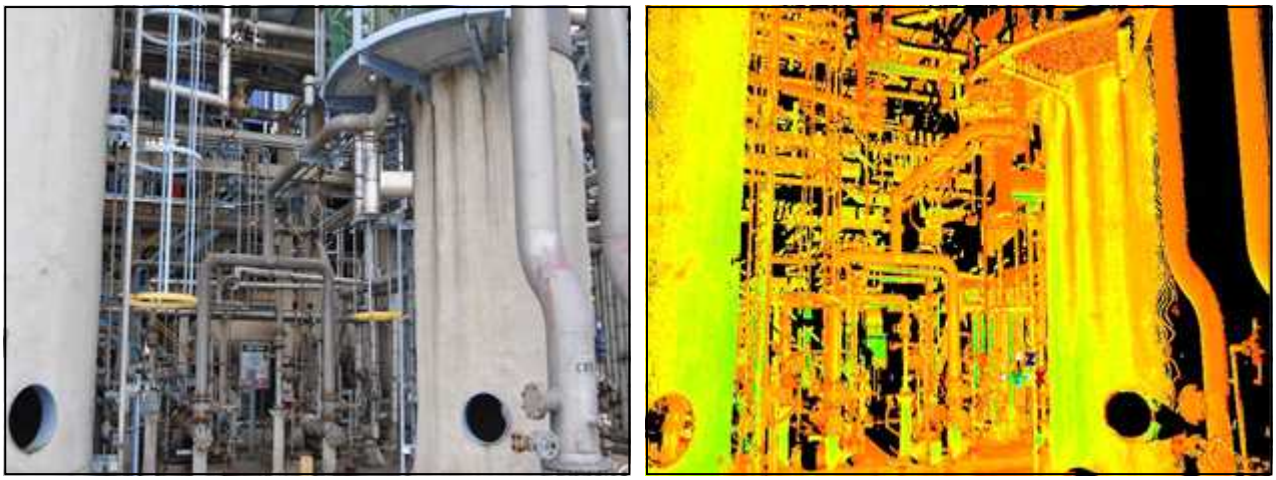
(e)



(f)

<그림 2-3-92> (a) 여천NCC 여수공장 구역 1에 대한 현장 사진, (b) 여천NCC 여수공장 구역 1에 대한 점군 데이터 (3D View), (c) 여천NCC 여수공장 구역 2에 대한 현장 사진, (d) 여천NCC 여수공장 구역 2에 대한 점군 데이터 (3D View), (e) 여천NCC 여수공장 구역 3에 대한 현장 사진, (f) 여천NCC 여수공장 구역 3에 대한 점군 데이터 (3D View)

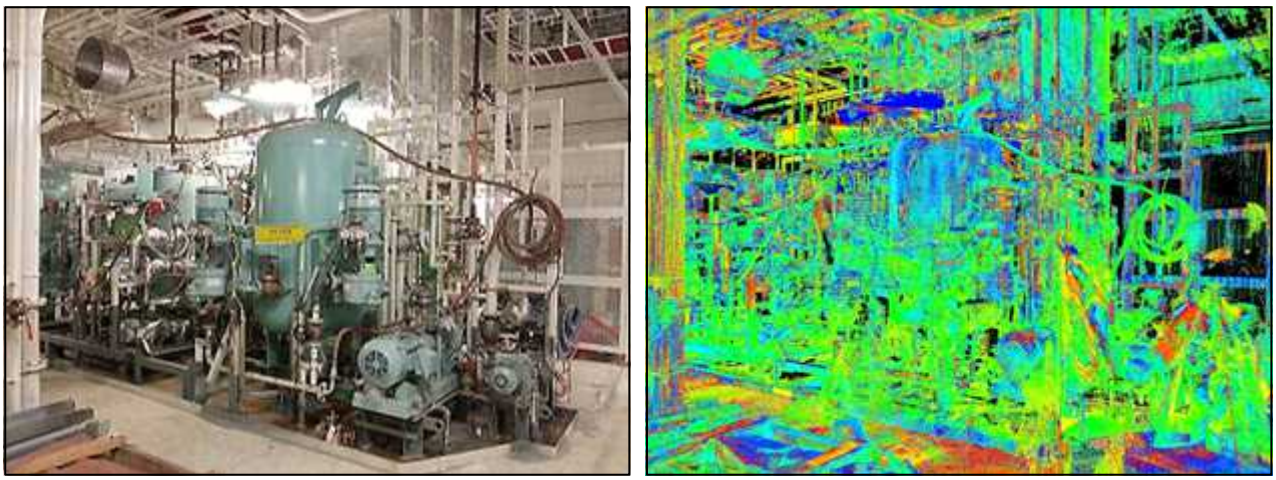
- 다음 <그림 2-3-93>은 2014년 12월 12일에 여천NCC 여수공장 구역 4에 대해 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-93> 여천NCC 여수공장 구역 4에 대한 데이터 획득 결과 (a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

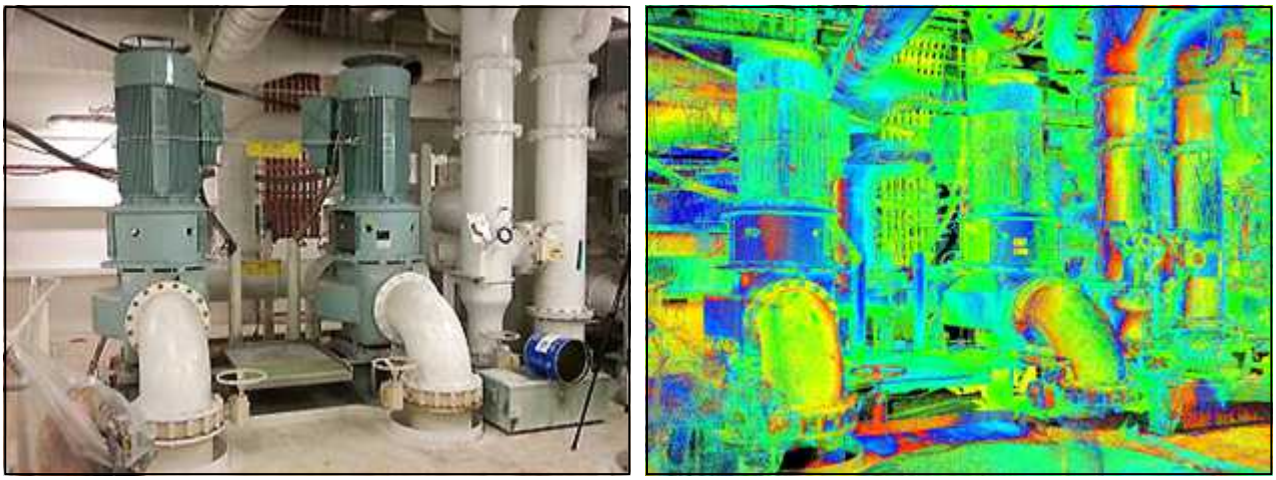
- 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트를 대상으로 한 데이터 획득 현황
  - 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트를 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2014년 11월 21일부터 12월 5일까지 총 2회에 걸쳐 공장을 방문하였으며, 두 개 구역에 대해 총 21곳의 위치에서 데이터를 획득을 완료함.
  - 다음 <그림 2-3-94>는 2014년 11월 21일에 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 1에 대해 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-94> 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 1에 대한 데이터 획득 결과 (a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

- 다음 <그림 2-3-95>는 2014년 12월 05일에 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 2에 대해 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-95> 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 2에 대한 데이터 획득 결과 (a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

- 두산중공업 창원공장을 대상으로 한 데이터 획득 현황
  - 두산중공업 창원공장을 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2015년 01월 22일에 공장을 방문하였으며, 한 개 구역에 대해 총 28곳의 위치에서 데이터를 획득을 완료함.
  - 다음 <그림 2-3-96>은 2015년 01월 22일에 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 1에 대해 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-3-96> 두산중공업 창원공장 구역 1에 대한 데이터 획득 결과 (a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

- 한국중부발전 서울화력발전소를 대상으로 한 데이터 획득 현황
  - 한국중부발전 서울화력발전소를 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2015년 01월 27일에 공장을 방문하였으며, 한 개 구역에 대해 총 19곳의 위치에서 데이터를 획득을 완료함. 다음 <그림 2-3-97>은 2015년 01월 27일에 한국중부발전 서울화력발전소 구역 1에 대해 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.

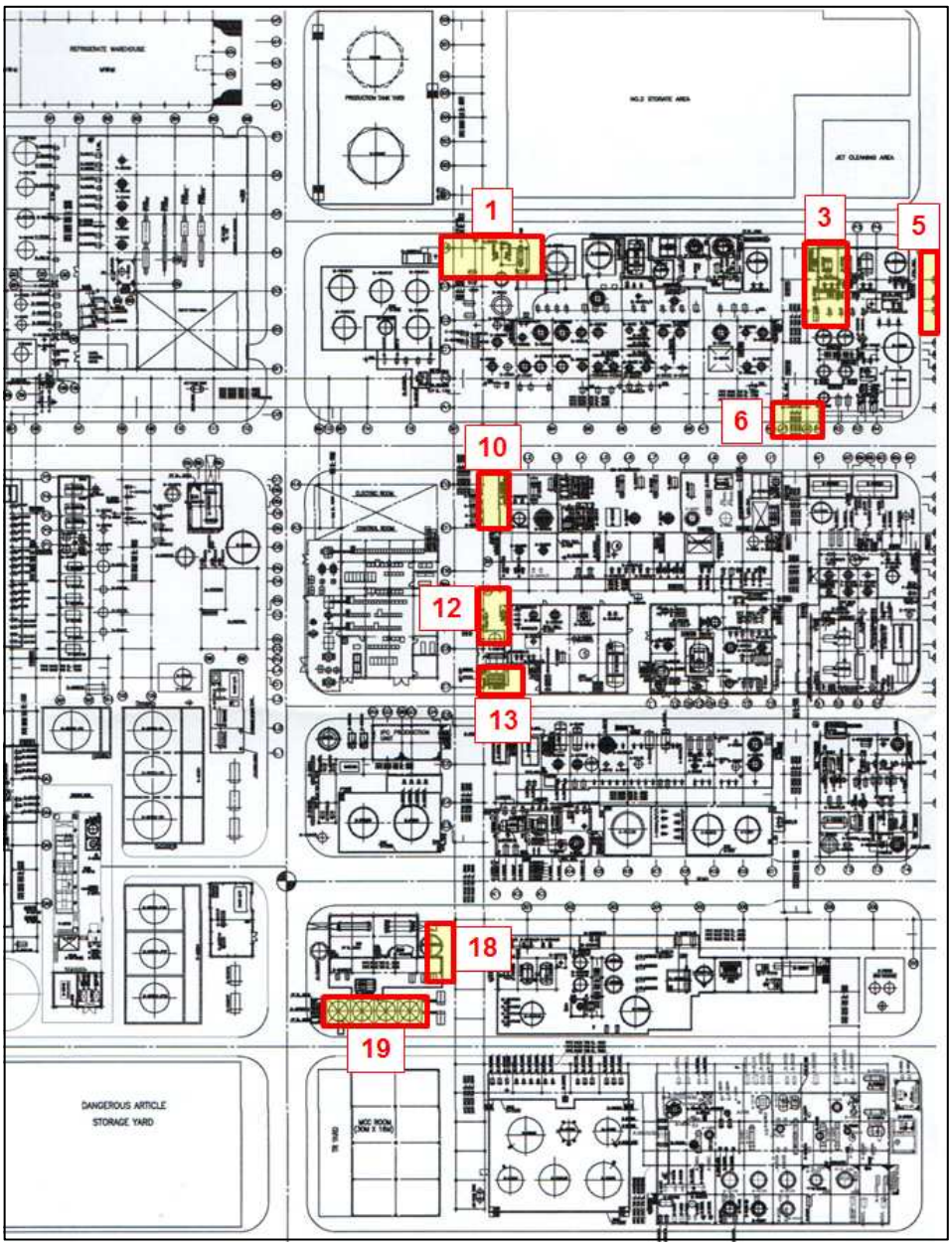


(a) (b)

<그림 2-3-97> 한국중부발전 서울화력발전소 구역 1에 대한 데이터 획득 결과 (a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

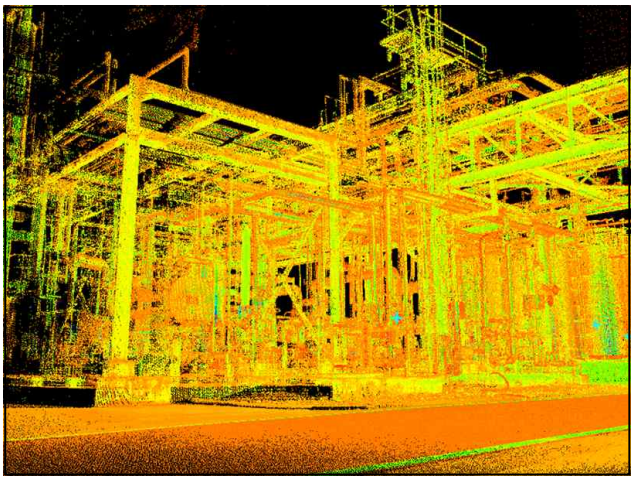
○ 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 적용 결과

- 각 테스트베드에 대해 개발된 기술의 적용을 통한 분석을 완료하였으며, 각 구역의 위치는 다음 <그림 2-3-98>을 통해 확인할 수 있음.

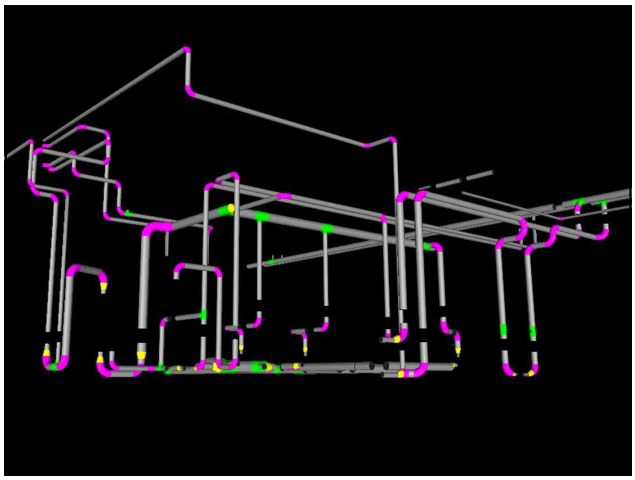


<그림 2-3-98> 금호미쓰이화학 여수공장의 도면 및 분석을 수행한 구역별 위치

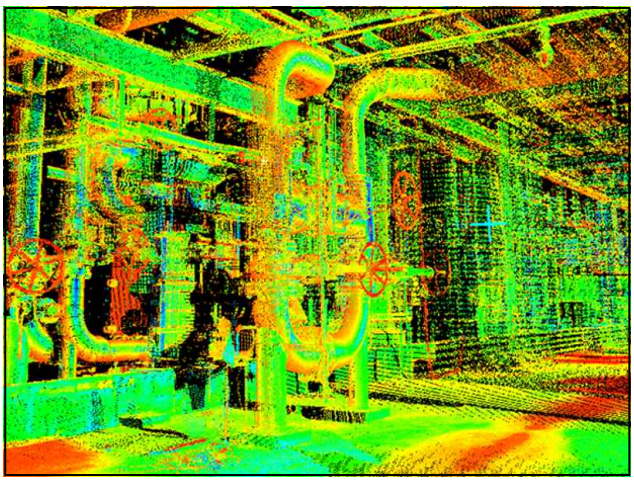
- 다음 <그림 2-3-99>~<그림 2-3-101>은 금호미쓰이화학 여수공장의 일부 구역 (구역 1, 3, 5, 6, 10, 12, 13, 18, 19)에 대해 개발한 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템을 적용한 결과를 나타냄. 이어 <그림 2-3-102>~<그림 2-3-110>은 구역 1, 3, 5, 6, 10, 12, 13, 18, 19에 대한 플랜트 배관 정보 모델 구축 결과의 상세 결과를 나타냄.



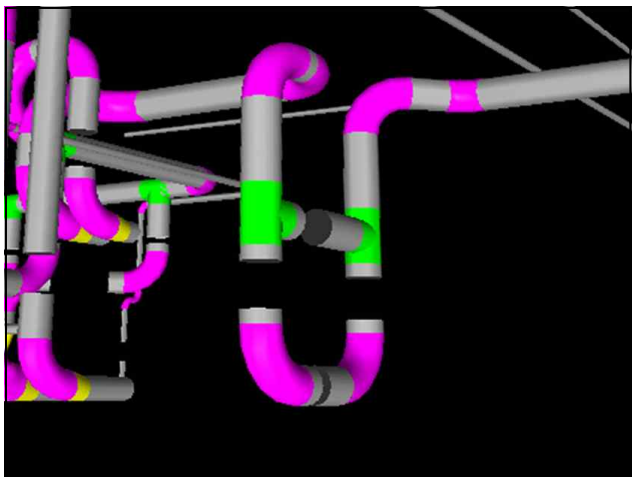
(a)



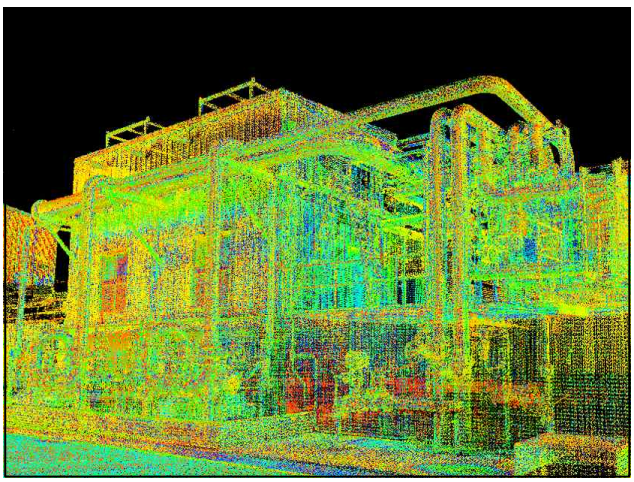
(b)



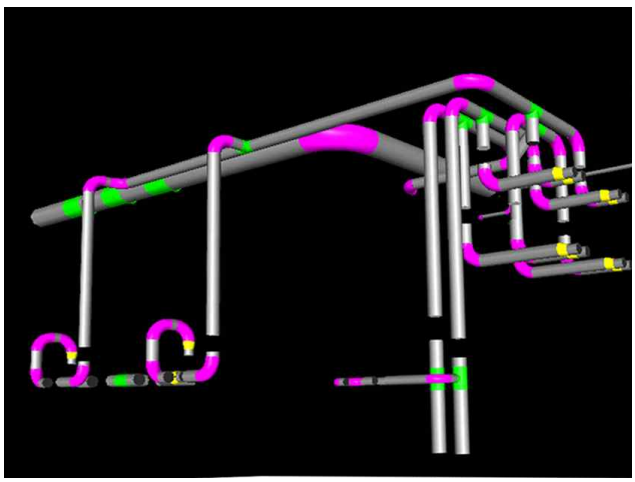
(c)



(d)

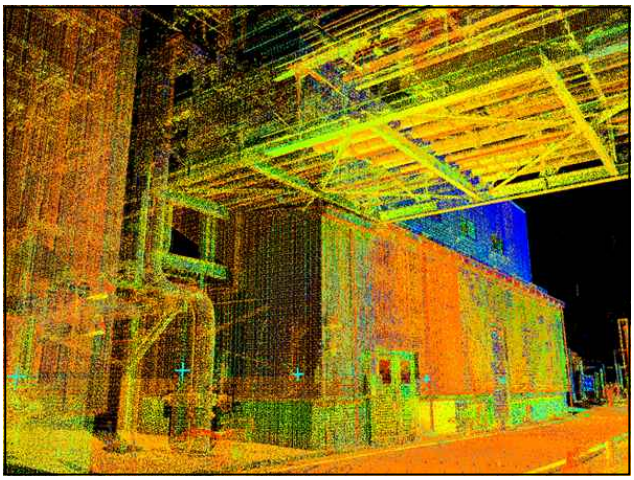


(e)

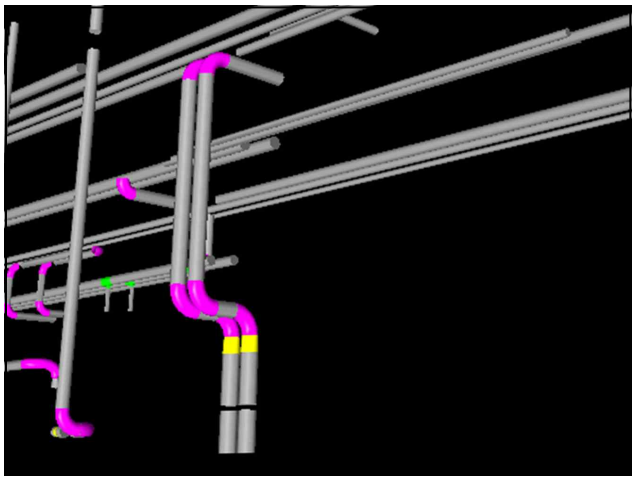


(f)

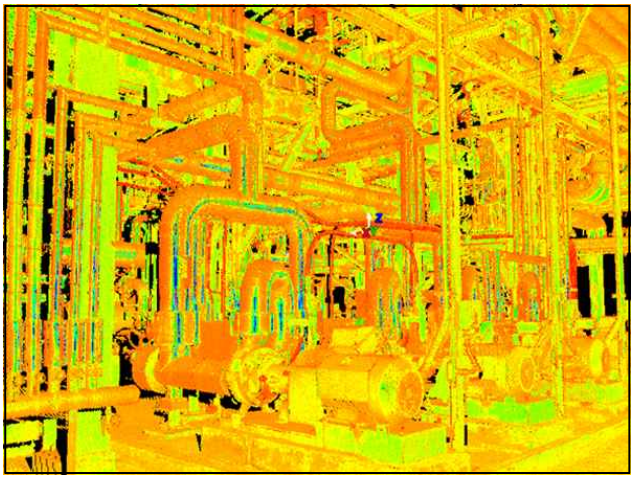
<그림 2-3-99> (a) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 1에 대한 점군 데이터 (3D View), (b) (a)에 대한 배관 정보 모델 구축 결과, (c) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 3에 대한 점군 데이터 (3D View), (d) (c)에 대한 배관 정보 모델 구축 결과, (e) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 5에 대한 점군 데이터 (3D View), (f) (e)에 대한 배관 정보 모델 구축 결과



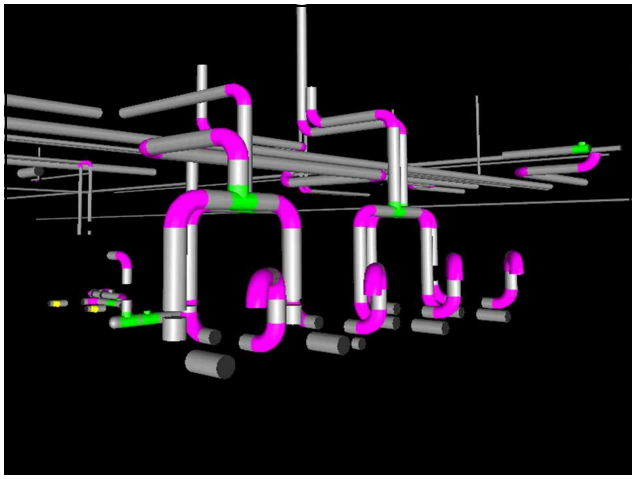
(a)



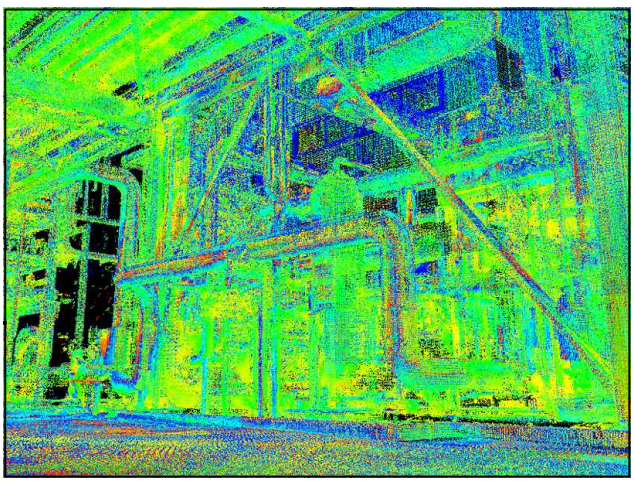
(b)



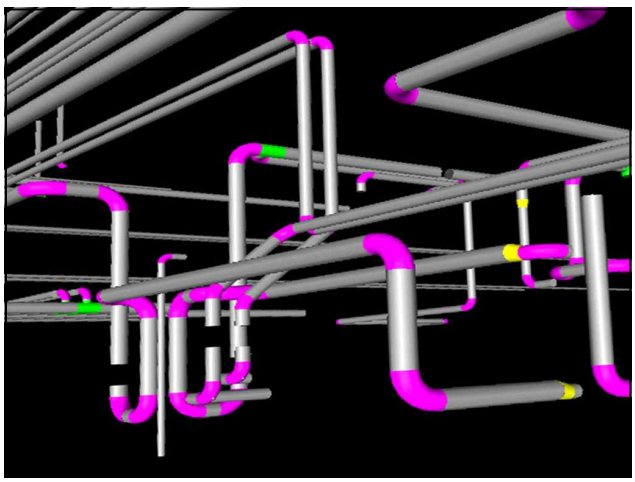
(c)



(d)

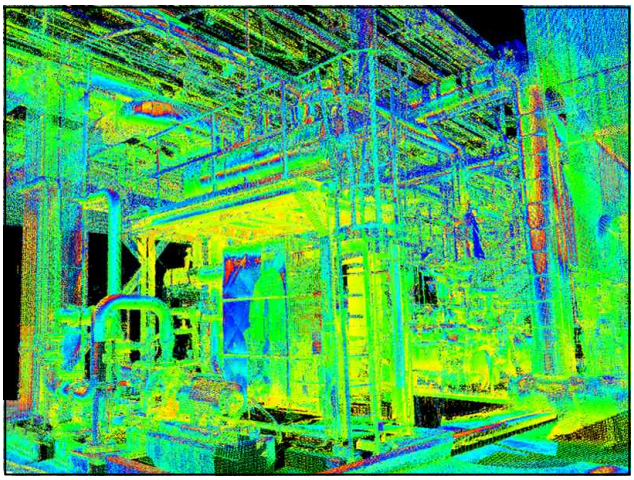


(e)

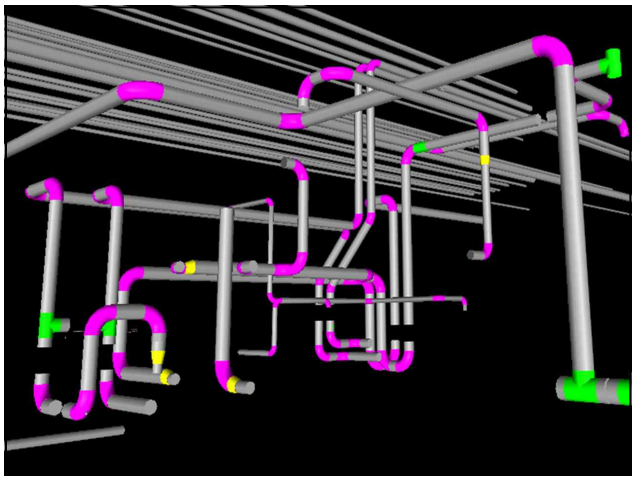


(f)

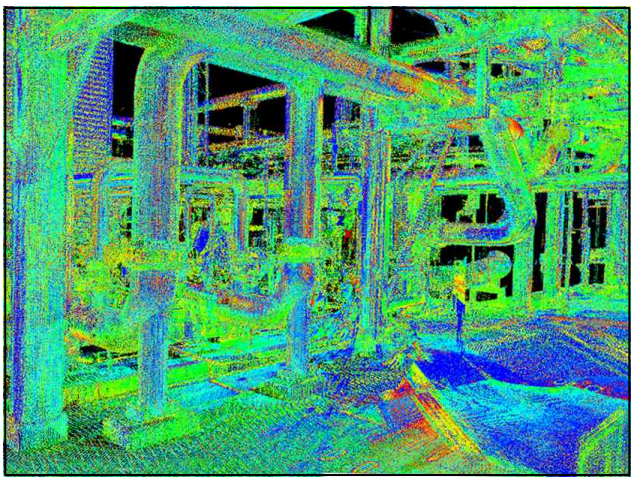
<그림 2-3-100> (a) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 6에 대한 점군 데이터 (3D View), (b) (a)에 대한 배관 정보 모델 구축 결과, (c) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 10에 대한 점군 데이터 (3D View), (d) (c)에 대한 배관 정보 모델 구축 결과, (e) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 12에 대한 점군 데이터 (3D View), (f) (e)에 대한 배관 정보 모델 구축 결과



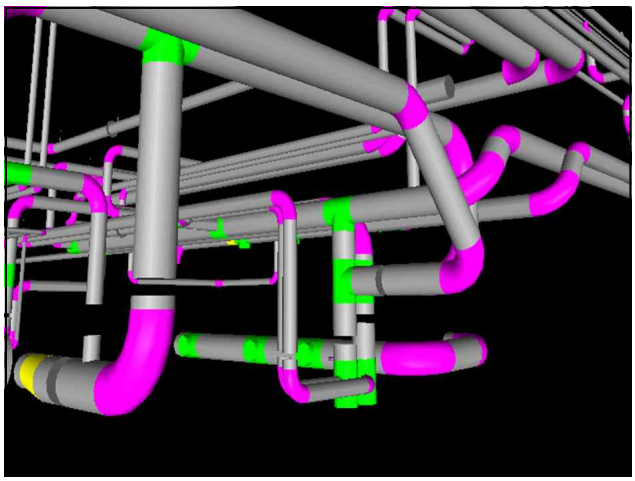
(a)



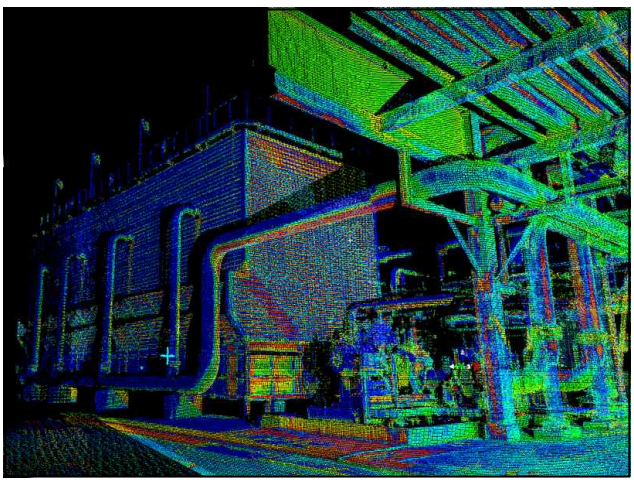
(b)



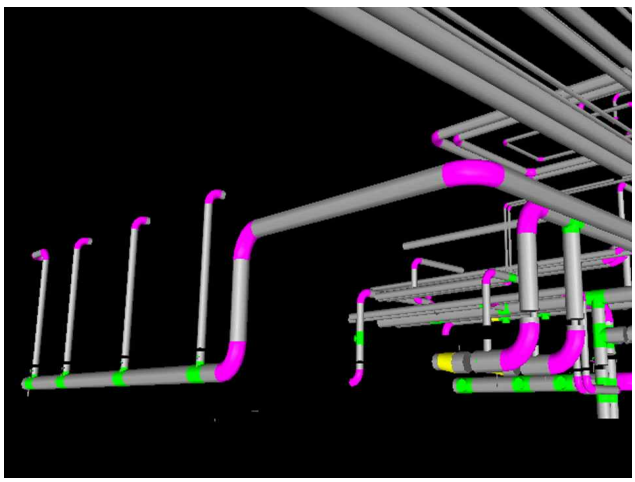
(c)



(d)



(e)

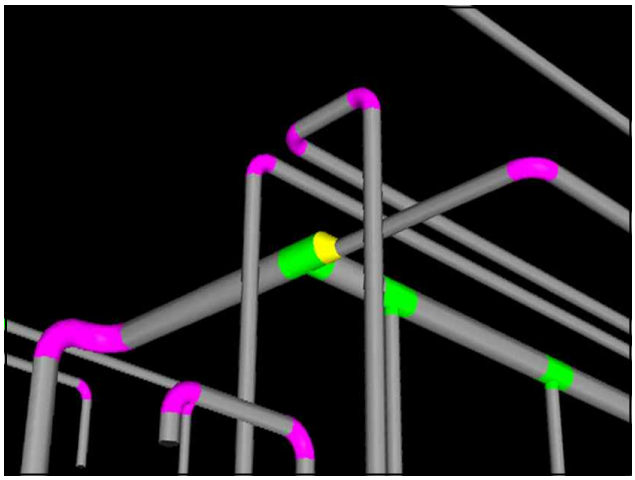


(f)

<그림 2-3-101> (a) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 13에 대한 점군 데이터 (3D View), (b) (a)에 대한 배관 정보 모델 구축 결과, (c) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 18에 대한 점군 데이터 (3D View), (d) (c)에 대한 배관 정보 모델 구축 결과, (e) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 19에 대한 점군 데이터 (3D View), (f) (e)에 대한 배관 정보 모델 구축 결과



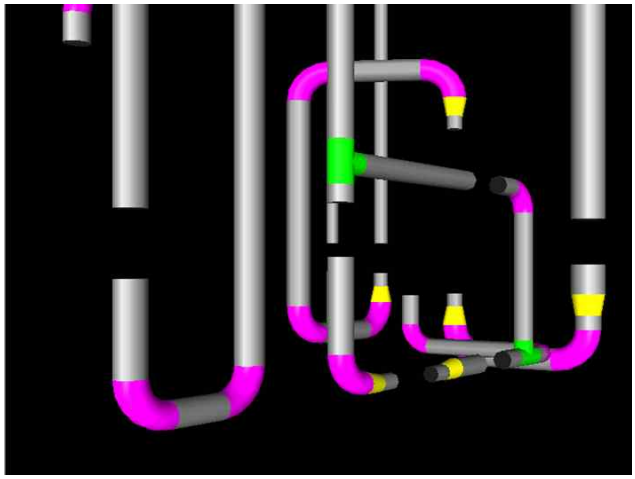
(a)



(b)



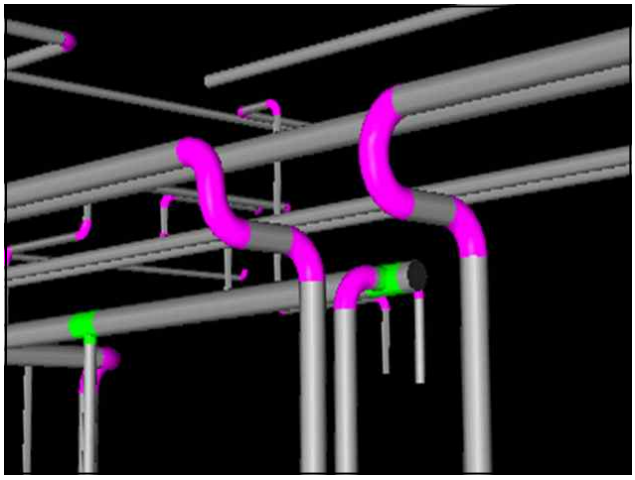
(c)



(d)

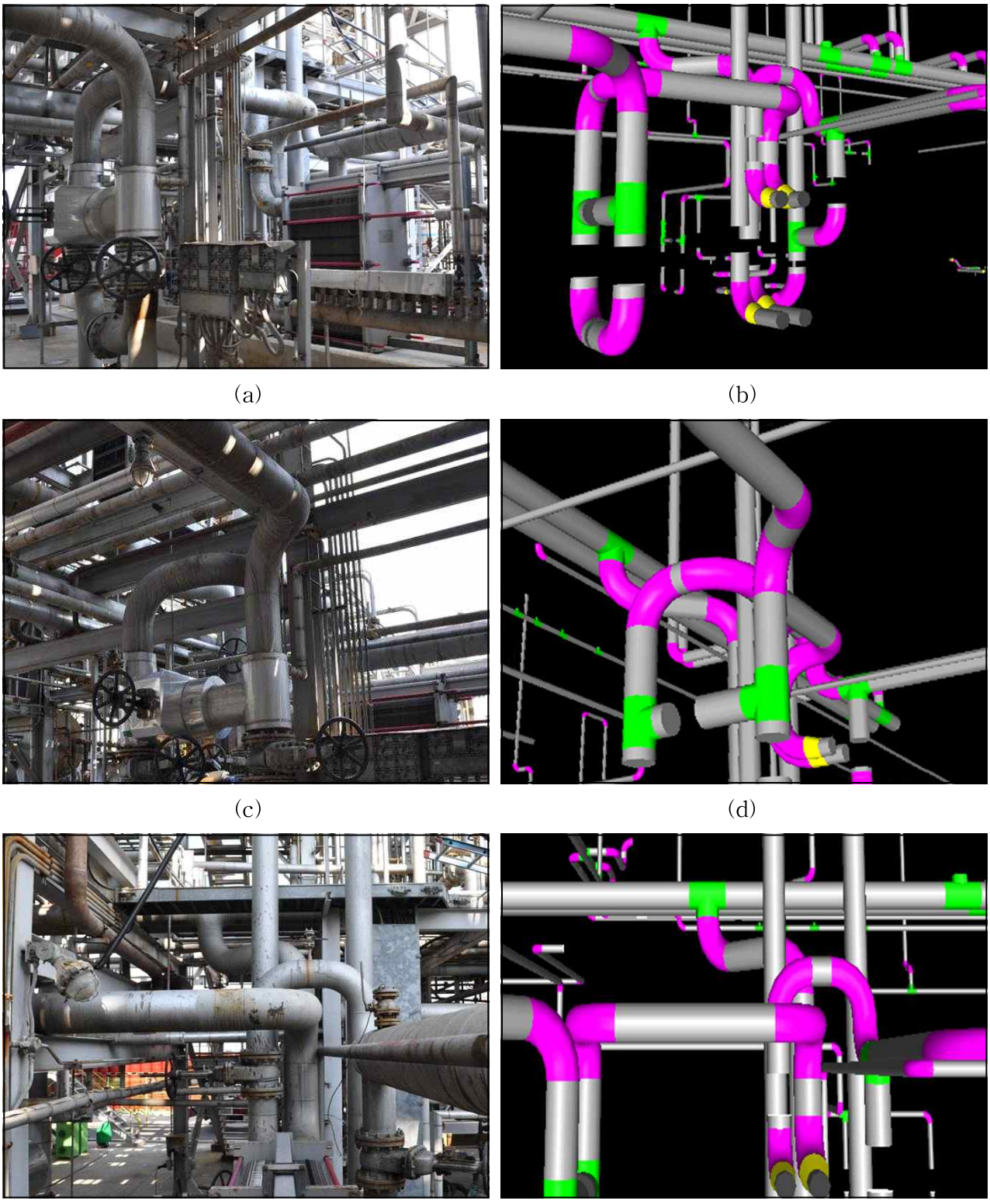


(e)



(f)

<그림 2-3-102> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 1에 대한 배관 모델 구축 결과 상세 (a) 해당 구역의 상세 사진 1, (b) 기술 적용 결과 (상세 1), (c) 해당 구역의 상세 사진 2, (d) 기술 적용 결과 (상세 2), (e) 해당 구역의 상세 사진 3, (f) 기술 적용 결과 (상세 3)

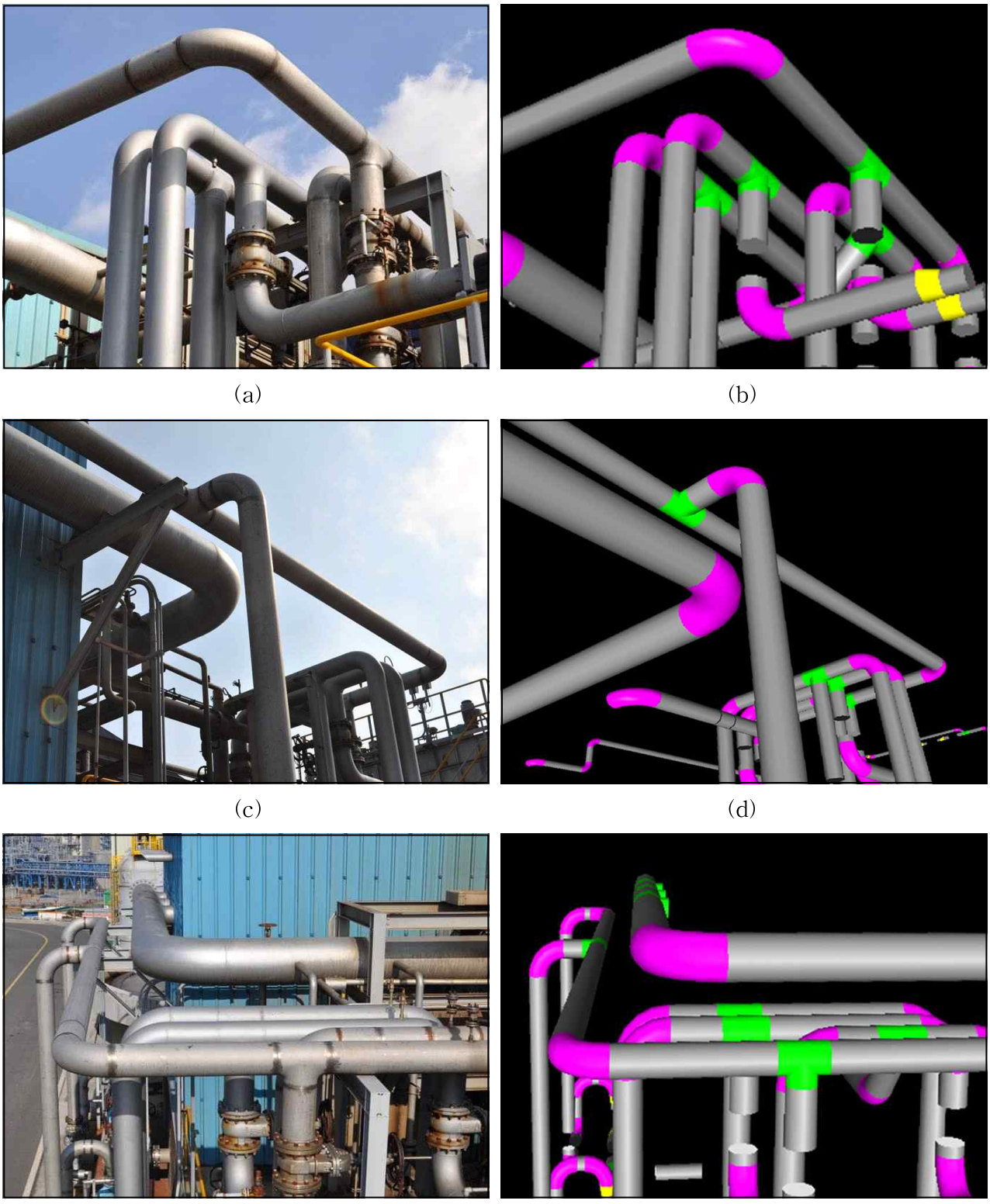


(a) (b)

(c) (d)

(e) (f)

<그림 2-3-103> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 3에 대한 배관 모델 구축 결과 상세 (a) 해당 구역의 상세 사진 1, (b) 기술 적용 결과 (상세 1), (c) 해당 구역의 상세 사진 2, (d) 기술 적용 결과 (상세 2), (e) 해당 구역의 상세 사진 3, (f) 기술 적용 결과 (상세 3)



(a) (b)

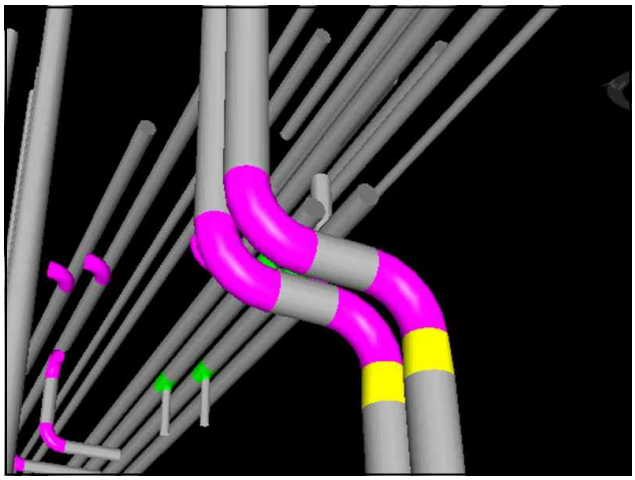
(c) (d)

(e) (f)

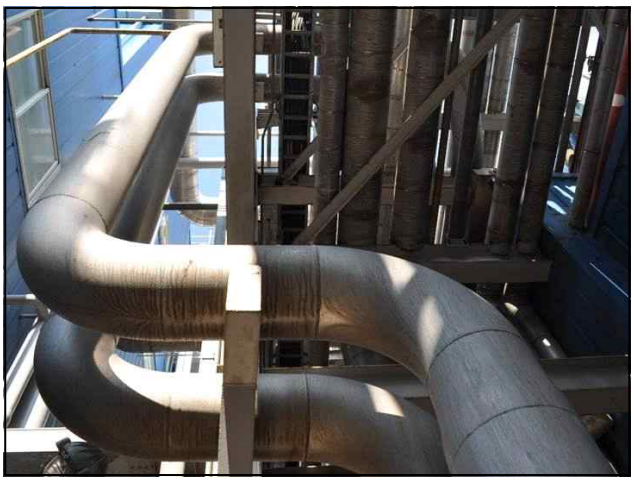
<그림 2-3-104> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 5에 대한 배관 모델 구축 결과 상세 (a) 해당 구역의 상세 사진 1, (b) 기술 적용 결과 (상세 1), (c) 해당 구역의 상세 사진 2, (d) 기술 적용 결과 (상세 2), (e) 해당 구역의 상세 사진 3, (f) 기술 적용 결과 (상세 3)



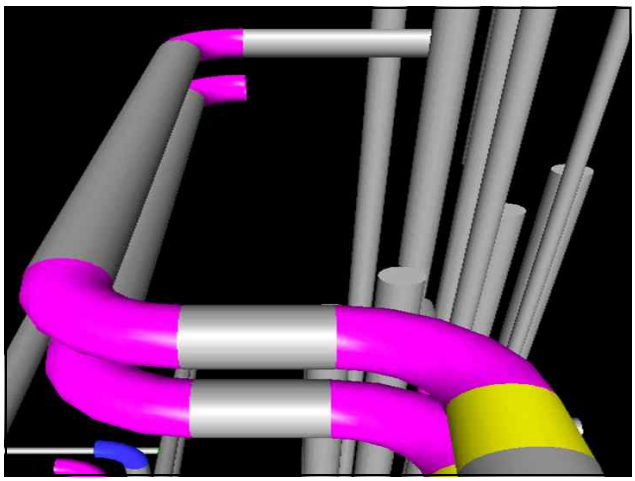
(a)



(b)



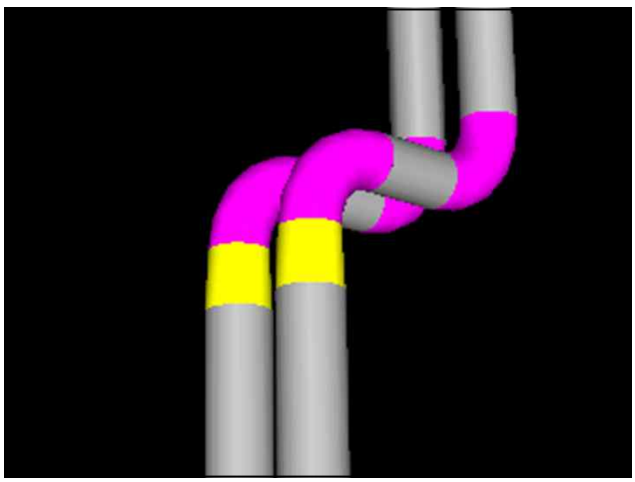
(c)



(d)



(e)

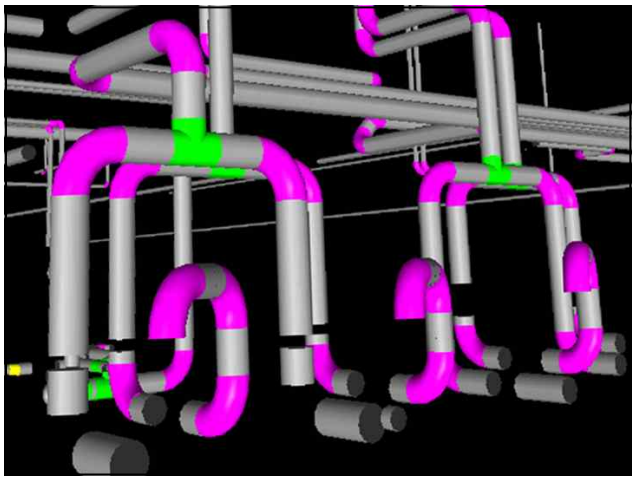


(f)

<그림 2-3-105> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 6에 대한 배관 모델 구축 결과 상세 (a) 해당 구역의 상세 사진 1, (b) 기술 적용 결과 (상세 1), (c) 해당 구역의 상세 사진 2, (d) 기술 적용 결과 (상세 2), (e) 해당 구역의 상세 사진 3, (f) 기술 적용 결과 (상세 3)



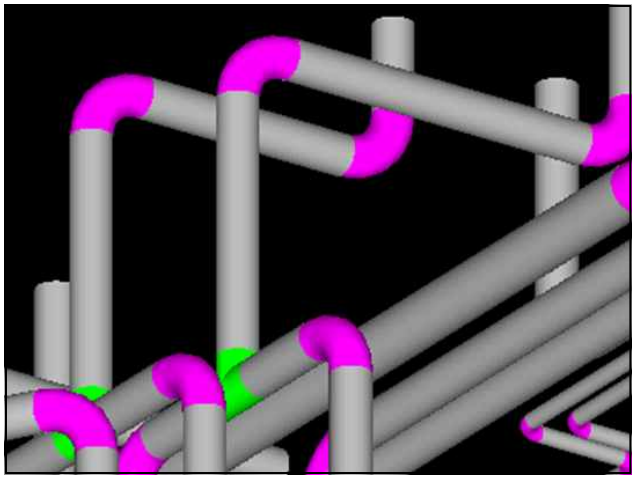
(a)



(b)



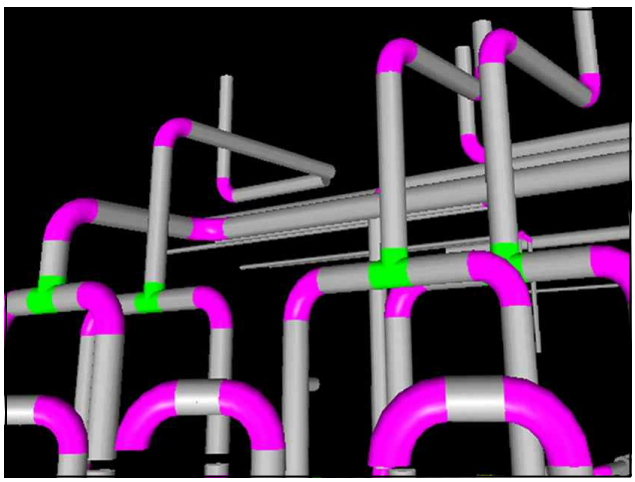
(c)



(d)



(e)

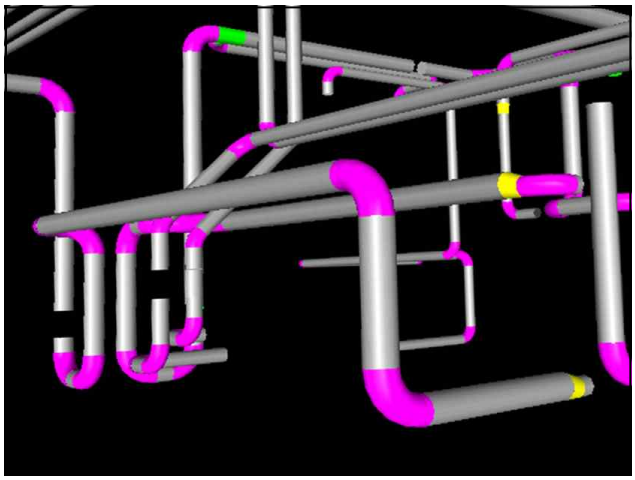


(f)

<그림 2-3-106> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 10에 대한 배관 모델 구축 결과 상세 (a) 해당 구역의 상세 사진 1, (b) 기술 적용 결과 (상세 1), (c) 해당 구역의 상세 사진 2, (d) 기술 적용 결과 (상세 2), (e) 해당 구역의 상세 사진 3, (f) 기술 적용 결과 (상세 3)



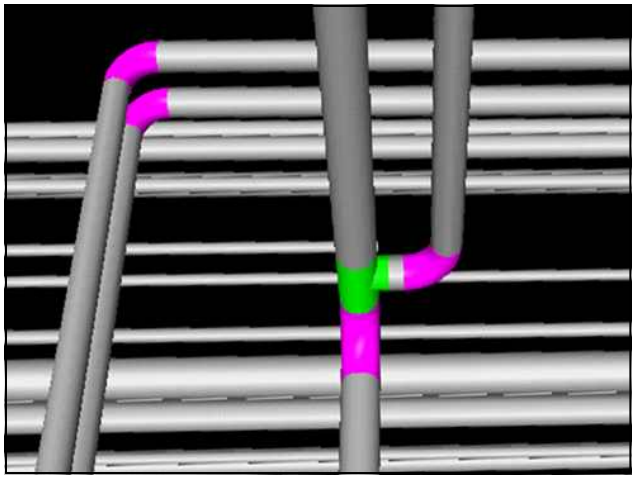
(a)



(b)



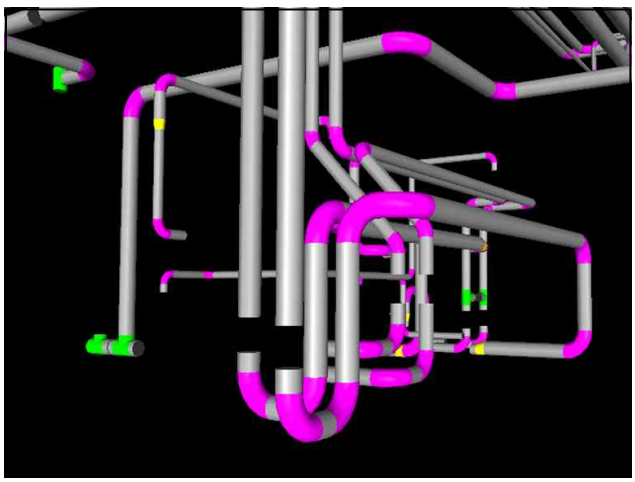
(c)



(d)



(e)

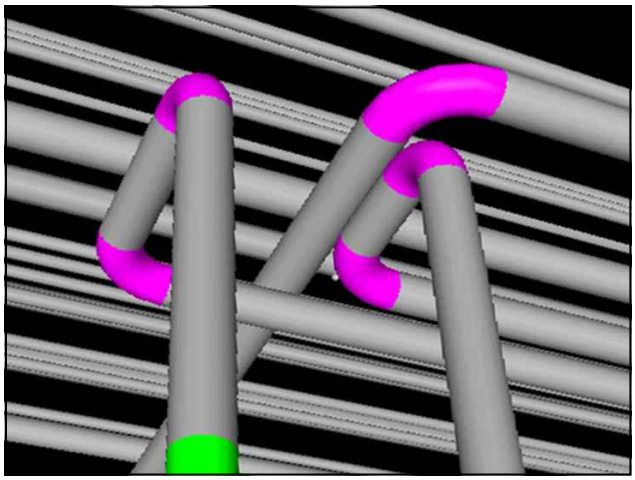


(f)

<그림 2-3-107> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 12에 대한 배관 모델 구축 결과 상세 (a) 해당 구역의 상세 사진 1, (b) 기술 적용 결과 (상세 1), (c) 해당 구역의 상세 사진 2, (d) 기술 적용 결과 (상세 2), (e) 해당 구역의 상세 사진 3, (f) 기술 적용 결과 (상세 3)



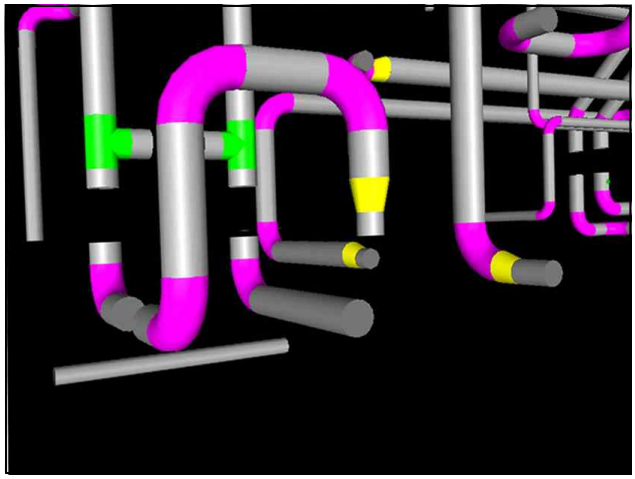
(a)



(b)



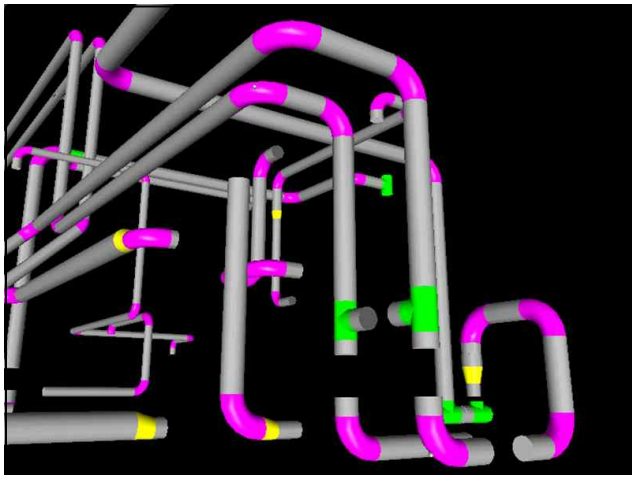
(c)



(d)

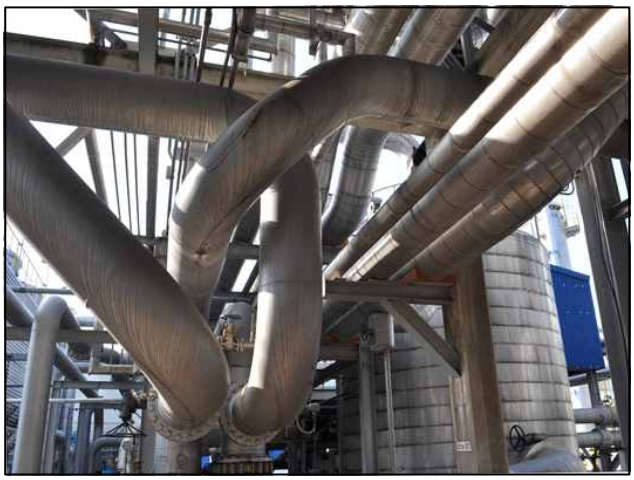


(e)

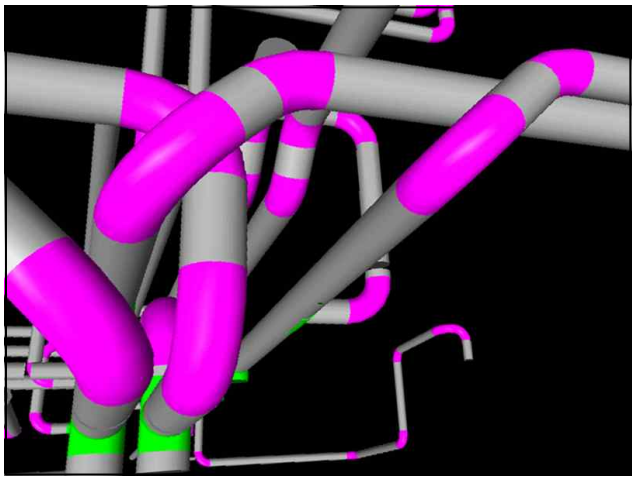


(f)

<그림 2-3-108> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 13에 대한 배관 모델 구축 결과 상세 (a) 해당 구역의 상세 사진 1, (b) 기술 적용 결과 (상세 1), (c) 해당 구역의 상세 사진 2, (d) 기술 적용 결과 (상세 2), (e) 해당 구역의 상세 사진 3, (f) 기술 적용 결과 (상세 3)



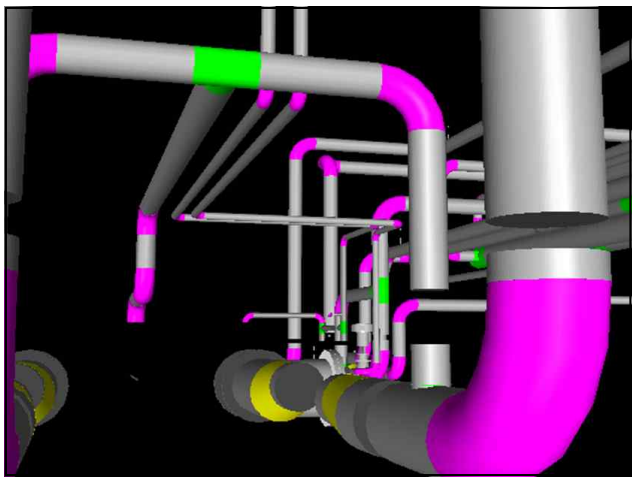
(a)



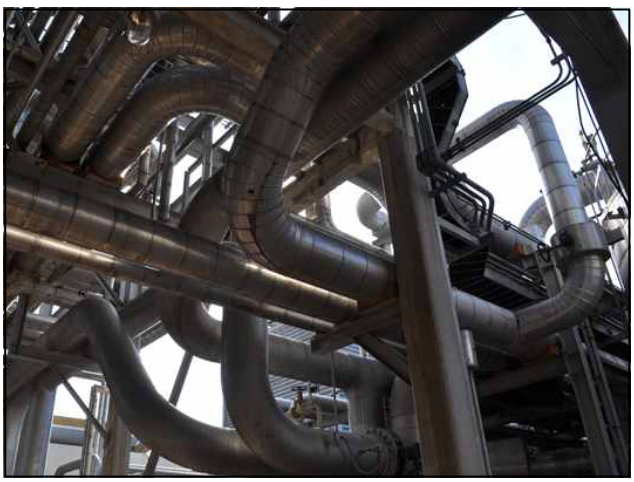
(b)



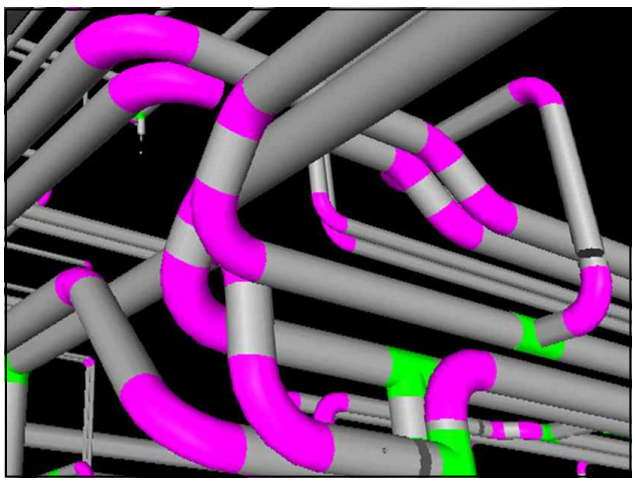
(c)



(d)



(e)

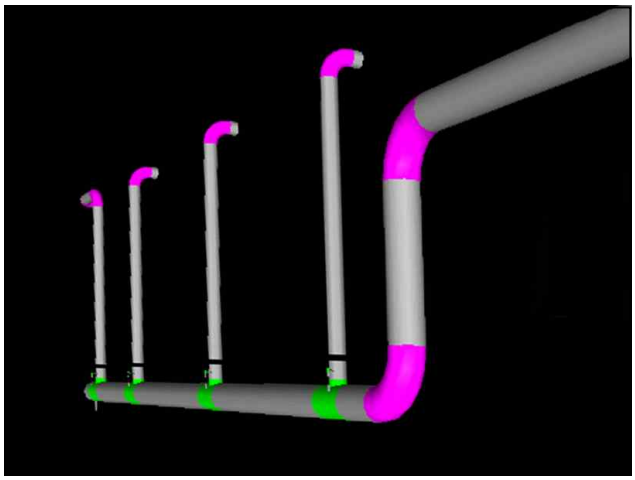


(f)

<그림 2-3-109> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 18에 대한 배관 모델 구축 결과 상세 (a) 해당 구역의 상세 사진 1, (b) 기술 적용 결과 (상세 1), (c) 해당 구역의 상세 사진 2, (d) 기술 적용 결과 (상세 2), (e) 해당 구역의 상세 사진 3, (f) 기술 적용 결과 (상세 3)



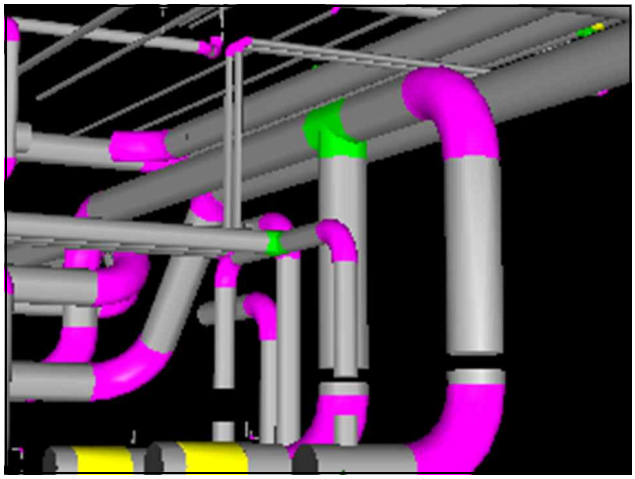
(a)



(b)



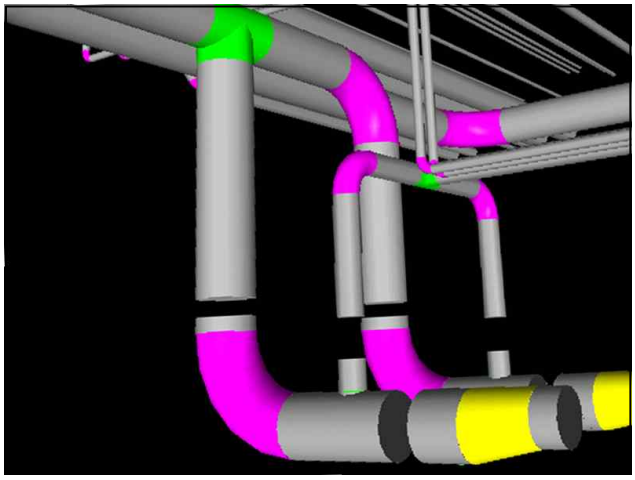
(c)



(d)



(e)



(f)

<그림 2-3-110> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 19에 대한 배관 모델 구축 결과 상세 (a) 해당 구역의 상세 사진 1, (b) 기술 적용 결과 (상세 1), (c) 해당 구역의 상세 사진 2, (d) 기술 적용 결과 (상세 2), (e) 해당 구역의 상세 사진 3, (f) 기술 적용 결과 (상세 3)

제4절 연구개발 주요내용 - 핵심성과 3

1. 세부 연구목표와 주요 연구수행 내용

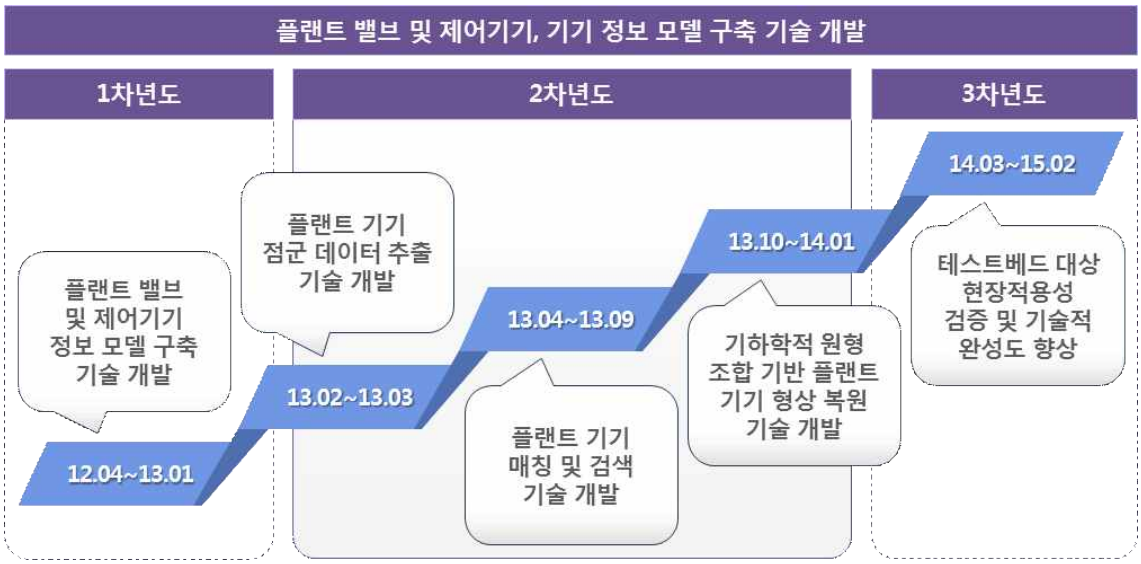
○ “핵심성과 3: 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발”에 관한 연차별 세부 연구목표와 주요 연구수행 내용을 요약하면 다음 <표 2-4-1>과 같음.

<표 2-4-1> 핵심성과 3의 연차별 세부 연구목표와 주요 연구수행 내용

연차	세부 연구목표	주요 연구수행 내용
1차년도	Ⅲ-Ⅰ. 플랜트 밸브 및 제어기기의 3차원 모델 구축 기술 개발	(1) 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어 기기에 대한 점군 추출 기술 개발
		(2) 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발
		(3) 밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발
2차년도	Ⅲ-Ⅱ. 플랜트 기기의 3차원 모델 구축 기술 개발	(4) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발
		(5) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발
		(6) 기하학적 원형 조합 기반 기기 형상 복원 기술 개발
3차년도	Ⅲ-Ⅲ. 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완	(7) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완

2. 기술 개발을 위한 단계적 접근

○ 다음 <그림 2-4-1>은 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 (이하 "플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델"이라 함) 구축 기술 개발을 위한 단계적 접근 전략을 나타냄.



<그림 2-4-1> 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발을 위한 단계적 접근

○ 1차년도에는 플랜트 시설에서 획득한 전체 점군 데이터로부터 자동으로 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터만을 추출하고, 데이터베이스 내에 존재하는 후보 모델과의 매칭 및 검색을 통해 자동으로 3차원 As-Built 플랜트 밸브 및 제어기기 정보 모델 (이하 "플랜트 밸브 및 제어기기 정보 모델"이라 함)을 구축하는 기술을 성공적으로 개발함.

○ 2차년도에는 1차년도 기술 개발 성과를 토대로 3차원 As-Built 플랜트 기기 정보 모델 (이하 "플랜트 기기 정보 모델"이라 함) 구축을 위한 기술 개발을 단계적으로 추진하여 플랜트 기기 정보 모델 구축 기술 개발을 완료함. 최종으로 3차년도에는 테스트베드를 대상으로 개발한 기술의 현장적용성을 검증하고 보완을 거쳐 기술적 완성도를 향상시킴.

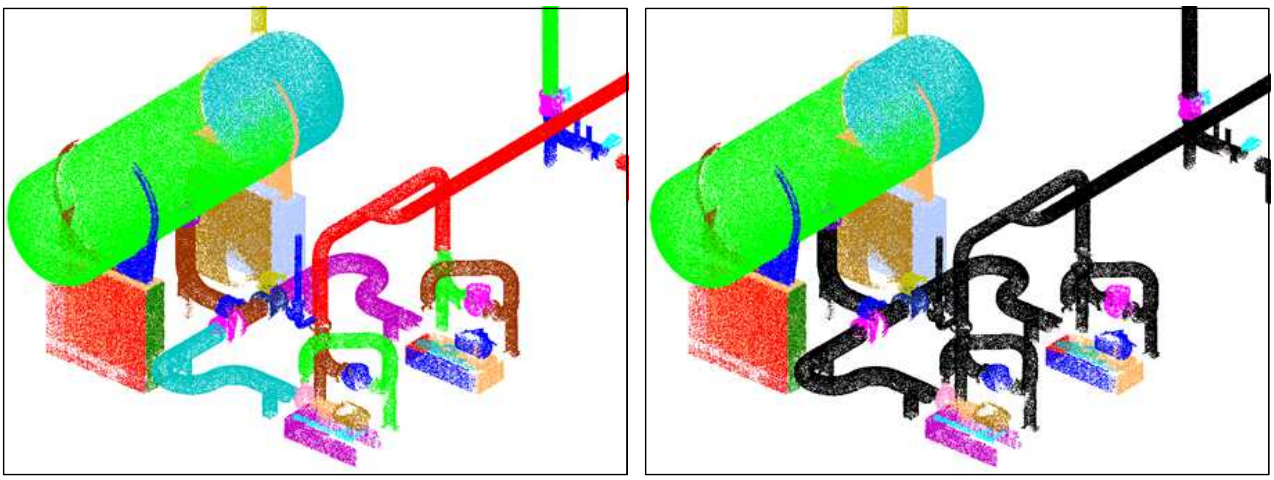
3. 상세 연구 내용 및 결과

(1) 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발

○ 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과, 플랜트 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 점군 데이터가 존재함. 본 연구에서는 추출된 배관과 밸브 및 제어기기 간의 위치 관계를 이용하여 본 연구과제에 적합한 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술을 정립하고, 이를 바탕으로 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발을 완료함. 또한 테스트베드를 대상으로 개발된 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술을 적용하고, 해당 기술을 평가함.

(가) 데이터 특성에 적합한 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 정립

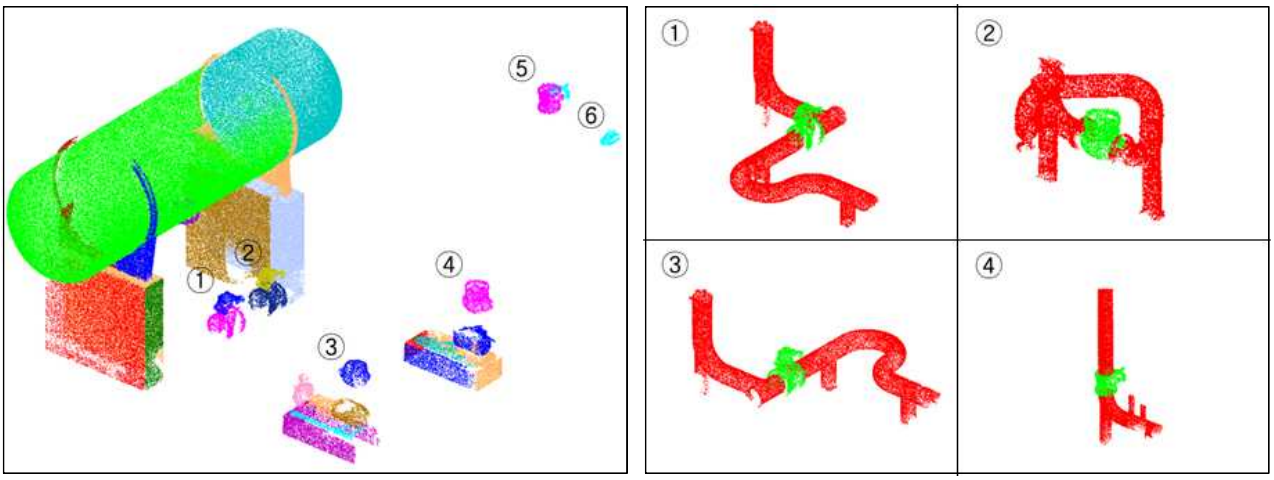
○ 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 내 밸브 및 제어기기 데이터의 특성 파악
- 다음 <그림 2-4-2(a)>은 3차원 점군 데이터에 대한 Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 결과를 나타내며, <그림 2-4-2(b)>는 개선된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-2> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발을 위한 특성 파악 (a) Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 결과, (b) 개선된 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용 결과

- 다음 <그림 2-4-3(a)는 추출된 배관에 대한 점군 데이터를 제거한 이후 점군 데이터 내에 존재하는 6개의 밸브 및 제어기기에 대한 위치를 나타냄. <그림 2-4-3(b)-①,②,③,④>는 각각 <그림 2-4-3(a)> 내의 ①, ④, ②, ⑤번 밸브와 해당 밸브 주변에 기 추출된 배관에 대한 점군 데이터와의 관계를 나타냄. 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터 추출 기술 개발을 위한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터의 특성을 파악하기 위해 이를 분석한 결과, <그림 2-4-3(b)>와 같이, 기 추출된 배관과 배관 사이에 밸브 및 제어기기가 존재하는 위치 관계를 파악함.



(a) (b)

<그림 2-4-3> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발을 위한 특성 파악 (c) 추출된 배관에 대한 점군 데이터를 제거 결과, (d) 밸브 및 제어기기와 주변 배관과의 위치 관계

○ 밸브 및 제어기기 데이터 특성에 적합한 점군 추출 프레임워크 구축

- 추출된 배관에 대한 점군 데이터를 제거한 이후 점군 데이터 내에 밸브 및 제어기기와 주변 배관과의 위치 관계를 고려하여 본 연구에서는 바운딩 박스를 이용한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술을 정립하고, 프레임워크를 구축함. 바운딩 박스는 3차원 공간상에 존재하는 물체의 각 가로, 세로, 높이 방향으로의 최대값과 최소값들로부터 물체를 포괄할 수 있는 하나의 직육면체를 생성함으로써, 해당 물체가 3차원 공간상에 차지하고 있는 범위를 계산하는 방법임 (Crow, 1977).
- 따라서 바운딩 박스를 사용하면 해당 물체가 차지하고 있는 범위 및 크기를 대략적으로 계산할 수 있어, 본 연구에서는 바운딩 박스의 특성을 밸브 및 제어기기의 점군 추출을 위한 기술 개발에 활용함.
- 밸브 및 제어기기의 점군 추출을 위해 이전 프로세스에서 분할된 전체 점군 데이터에서 추출된 배관에 대한 점군 데이터를 제거한 이후 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 데이터가 포함된 분할 데이터를 입력값으로 사용함. 입력된 Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 결과는 단일 물체라 하더라도 점군 분할 방법의 조건에 의거하여 각도가 급격히 변하는 부분에서는 서로 다른 데이터로 분할됨.

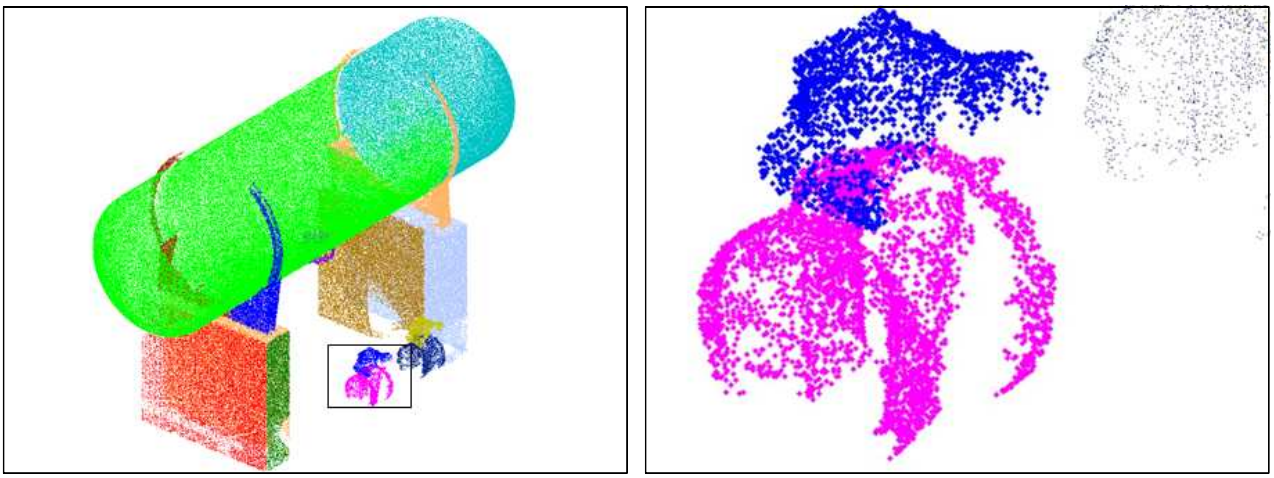
- 따라서 단일 물체를 단일 분할 데이터로 재결합하는 프로세스가 요구됨. 이를 위해 특정 분할 영역을 기준으로 일정 거리 내의 분할 데이터들을 1차적으로 추출하고, 이후 추출된 데이터들 간의 최근접 이웃을 계산하여 각각의 물체를 대변할 수 있는 분할 데이터 그룹을 생성함. 생성된 그룹 데이터의 종류는 크게 밸브 및 제어기기, 기기로 구성되어 있으며, 기기에 대한 바운딩 박스의 크기는 밸브 및 제어기기에 대한 바운딩 박스의 크기와 비교할 때, 확연한 차이를 보임. 따라서 그룹 간 바운딩 박스의 특징이 상이한 특징을 활용하여 밸브 및 제어기기에 해당하는 점군과 기기에 해당하는 점군을 구분하여 추출함.

(나) 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발

○ 기술 정립을 통해 구축된 프레임워크를 기반으로 하여 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술을 개발 완료함. GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 획득한 점군 데이터에 개발된 기술을 적용하여 현장적용성을 분석 및 평가한 결과, 개발된 기술을 통해 효과적으로 대규모의 복잡한 플랜트 시설로부터 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출이 가능함을 파악함.

○ 다음은 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 적용 결과를 요약하여 나타낸 것임.

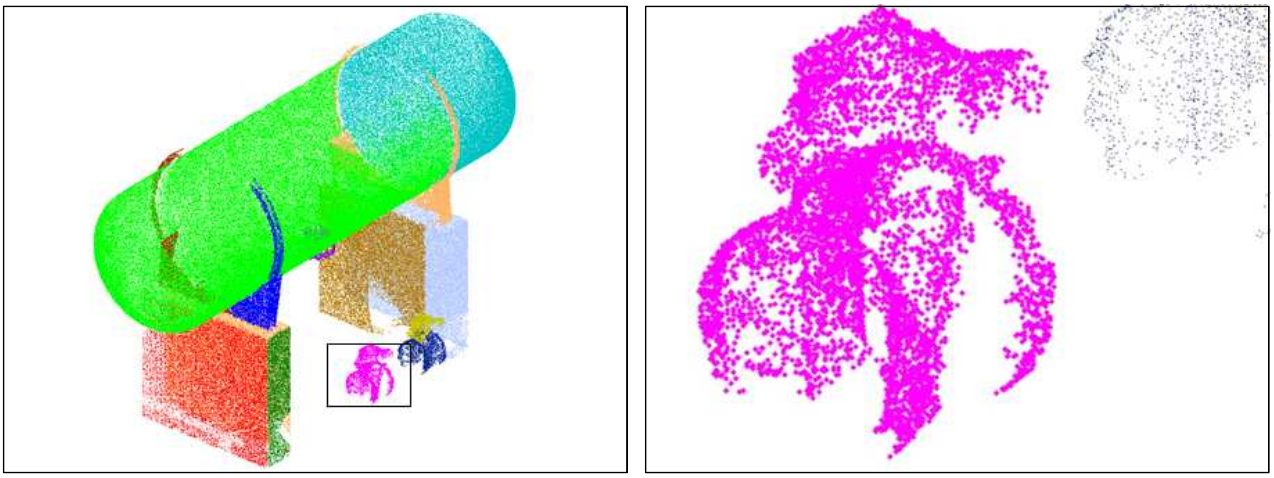
- GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 적용 결과
  - 다음 <그림 2-4-4(a)>는 플랜트 시설의 점군 데이터에 대한 분할 결과에서 추출된 배관에 대한 점군 데이터를 제거한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-4> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 적용 결과 (a) 추출된 배관에 대한 점군 데이터를 제거 결과, (b) (a)의 일부분 확대

- 다음 <그림 2-4-5(b)>는 기준 분할 데이터 (분홍색)로부터 분할 데이터를 그룹화함으로써 밸브 및 제어기기에 대한 점군이 단일 분할 데이터로 추출된 결과를 나타냄.



(a) (b)

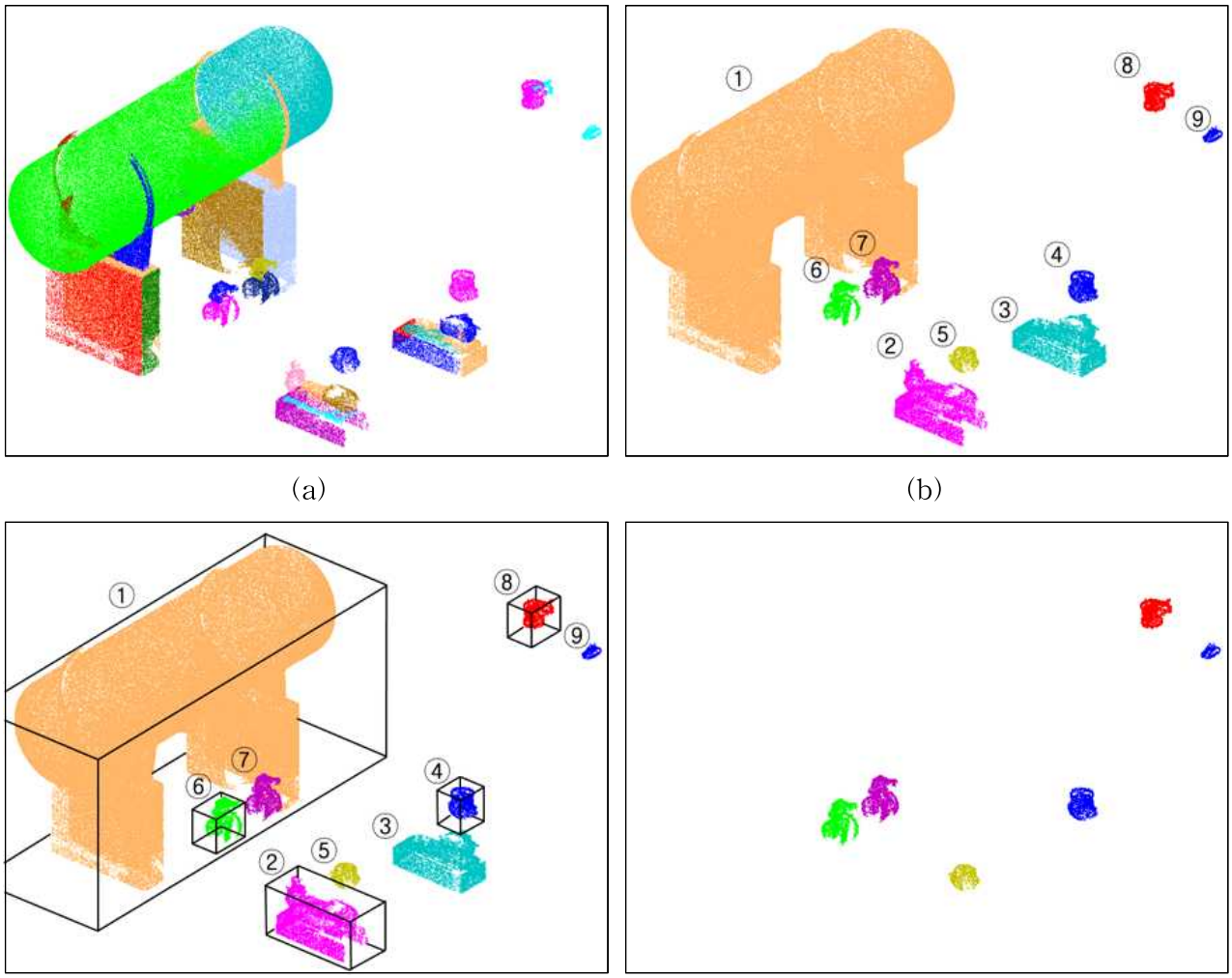
<그림 2-4-5> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 적용 결과 (a) 기준 분할 데이터 (분홍색)로부터의 분할 데이터 그룹화 결과, (b) (a)의 일부분 확대

(다) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가

○ 밸브 및 제어기기 점군 추출 기술에 대한 테스트베드 적용
- 본 연구에서는 테스트베드를 대상으로 데이터 특성에 적합한 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술을 적용하고, 해당 기술에 대한 현장적용성을 평가함.

○ 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 한 개발 기술 평가
- 다음 <그림 2-4-6(a)>는 배관에 대한 점군 데이터를 제거한 결과를 나타내며, <그림 2-4-6(b)>는 기준 분할 데이터로부터 분할 데이터를 그룹화함으로써 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 점군이 단일 분할 데이터로 그룹화된 결과를 나타냄. <그림 2-4-6(c)>는 그룹화된 개별 분할 데이터에 대한 바운딩 박스 계산 결과를 나타내며, <그림 2-4-6(d)>는 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터 추출 결과를 나타냄.

○ 다음 <표 2-4-2>은 <그림 2-4-6(c)>에 나타낸 바운딩 바운딩 박스 계산을 통한 개별 점군 분할 데이터의 크기를 나타냄. 결과에 따르면, 제안된 기술의 적용에 따른 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 정확도는 100%로 나타남.



<그림 2-4-6> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 적용 결과 (a) 추출된 배관에 대한 점군 데이터를 제거 결과, (b) 기준 분할 데이터로부터의 분할 데이터 그룹화 결과, (c) 그룹화된 개별 분할 데이터별 바운딩 박스 계산, (d) 밸브 및 제어기기의 점군 추출

<표 2-4-2> 개별 점군 분할 데이터의 크기

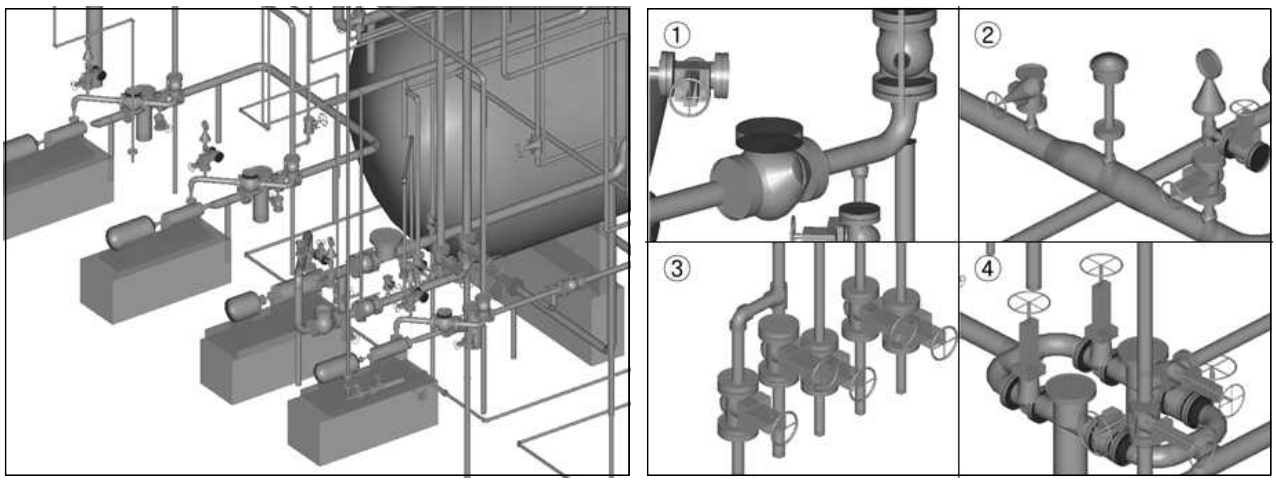
번호	그룹	가로 (mm)	세로 (mm)	높이 (mm)
①	기기	7,800	2,400	4,800
②	기기	1,700	800	1,200
③	기기	1,700	800	1,200
④	밸브	400	400	800
⑤	밸브	400	400	500
⑥	밸브	500	500	800
⑦	밸브	500	500	800
⑧	밸브	550	450	550
⑨	제어기기	250	100	100

(2) 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발

○ 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 적용 결과를 바탕으로 본격적인 3차원 As-Built 플랜트 밸브 및 제어기기 모델 구축을 위한 기술 개발에 착수함. 본 연구에서는 추출된 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭을 통해 밸브 및 제어기기를 모델하기 위한 기술을 정립하고, 이를 바탕으로 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 모델 매칭 기술 개발을 완료함. 또한 테스트베드를 대상으로 개발된 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 모델 매칭 기술을 적용하고, 해당 기술을 평가함.

(가) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 요구사항 분석

○ 밸브 및 제어기기에 대한 특성 파악
- 다음 <그림 2-4-7(a)>는 플랜트 데이터베이스를 나타내며, <그림 2-4-7(b)>는 밸브 및 제어기기 모델의 예시를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-7> (a) 플랜트 데이터베이스, (b) 밸브 및 제어기기 모델 예시

- 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 개발을 위한 데이터베이스 내 밸브 및 제어기기에 대한 모델의 특성을 파악하기 위해 이를 분석한 결과, 플랜트 데이터베이스 내 밸브의 종류는 다섯 가지 타입 (게이트 밸브, 글로브 밸브, 버터플라이 밸브, 볼 밸브, 체크 밸브)으로 구분됨 (<표 2-4-3> 참조).

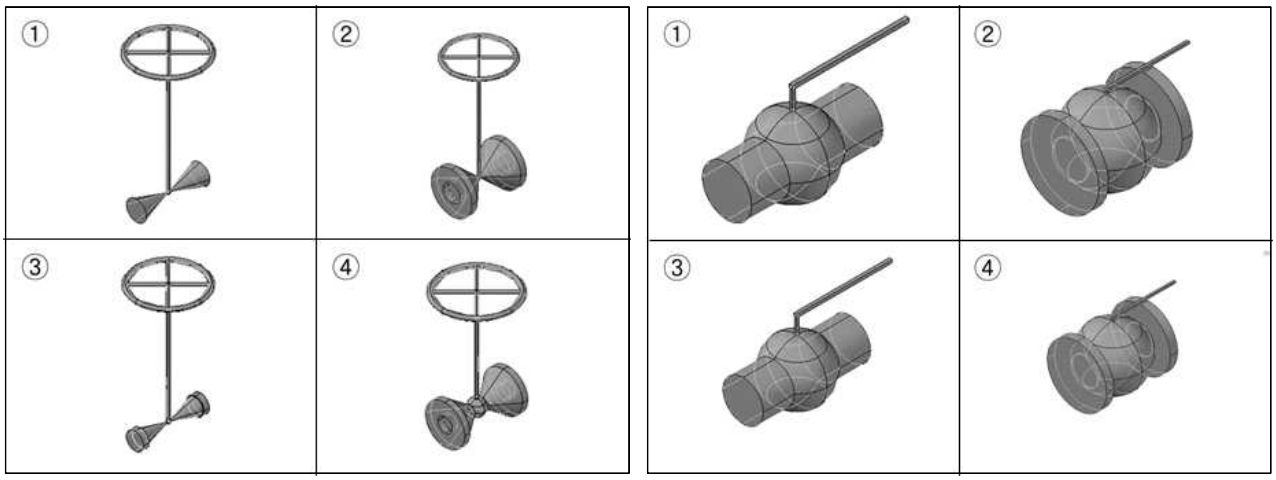
<표 2-4-3> 플랜트 데이터베이스 내 밸브 종류 및 특징 (다음 페이지에 계속)

종류	특징
게이트 밸브 (Gate Valve)	유량 차단 목적, 3/8인치~200인치까지 제작 가능
글로브 밸브 (Globe Valve)	차단 및 유량제어 목적

<표 2-4-3> 플랜트 데이터베이스 내 밸브 종류 및 특징 (이전 페이지에 이어)

종류	특징
버터플라이 밸브 (Butterfly Valve)	한정된 공간 체적 극복 목적, 20인치 이상 밸브에 많이 사용
볼 밸브 (Ball Valve)	90도 회전 밸브, 개폐 속도 높음
체크 밸브 (Check Valve)	유체의 흐름을 한 방향으로만 유지, 역류 방지

- 다음 <그림 2-4-8>은 다섯 가지 밸브 타입 중 게이트 밸브 모델 (<그림 2-4-8(a)>와 볼 밸브 모델 (<그림 2-4-8(b))에 대한 모델 분석 예시를 나타냄. 밸브 및 제어기기에 대한 모델 분석 결과, 동일한 타입의 밸브라 하더라도 인접 배관의 구경에 따라 다양한 크기를 가지는 것을 파악함.



(a) (b)

<그림 2-4-8> (a) 게이트 밸브 모델, (b) 볼 밸브 모델

○ 밸브 및 제어기기에 대한 모델 매칭 기술 요구사항 도출
- 플랜트 데이터베이스 내 밸브 및 제어기기에 대한 모델 분석 결과에 따르면, 동일한 타입의 밸브라 하더라도 인접 배관의 구경에 따라 다양한 크기를 가질 수 있음. 이에 본 연구에서는 밸브 및 제어기기에 대한 모델 매칭 기술 선정 시, 스케일에 불변한 특징을 가지는지 여부를 가장 우선적으로 고려함.

(나) 데이터 특성에 적합한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 정립

○ 밸브 및 제어기기 데이터의 특성을 고려한 모델 매칭 기술 관련 문헌 분석
- 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 모델 간의 효과적인 매칭 기술 개발을 위해 매칭 기술의 장·단점 분석을 위한 문헌 분석을 수행함. 모델 매칭 기술 개발 관련 문헌 분석 결과는 다음 <표 2-4-4>에 요약함.

<표 2-4-4> 모델 매칭 기술 개발 관련 문헌 분석 결과

구분	정합 기술	특성			
		노이즈	밀도	가림현상	속도
Voting Method	Geometric Hashing (Lamdan과 Holfson, 1988)	○	×	○	△
	Hough Transform (Ballard, 1981)	×	△	×	×
	Tensor Matching (Yang 등, 2008)	×	△	×	×
Correspondence Matching Method	3D Shape Context (Forme 등, 2004)	×	○	○	△
	Spherical Harmonics (Saupe과 Vranic, 2001)	○	○	○	○
	Intrinsic Isometry Invariant (Sun 등, 2009)	×	△	X	×
	Local Feature Histogram (Zhang 등, 2005)	×	○	X	×
	Point Signature (Chua와 Jarvis, 1997)	△	○	X	△
	Spin-Image (Johnson과 Hebert, 1999)	△	○	○	○
	Surface Signature (Yamany와 Farag, 2002)	△	○	X	△

※ ○: 정확도에 영향을 받지 않음, △: 정확도에 부분적으로 영향을 받음, ×: 정확도에 민감하게 영향을 받음

○ 밸브 및 제어기기 데이터 특성에 적합한 모델 매칭 프레임워크 구축

- 모델 매칭 기술의 장·단점 분석을 통해 본 연구에서는 3차원 점군 데이터 정합 기술을 정립하고, Spherical Harmonics 기반의 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 모델 간 매칭 프레임워크를 구축함.

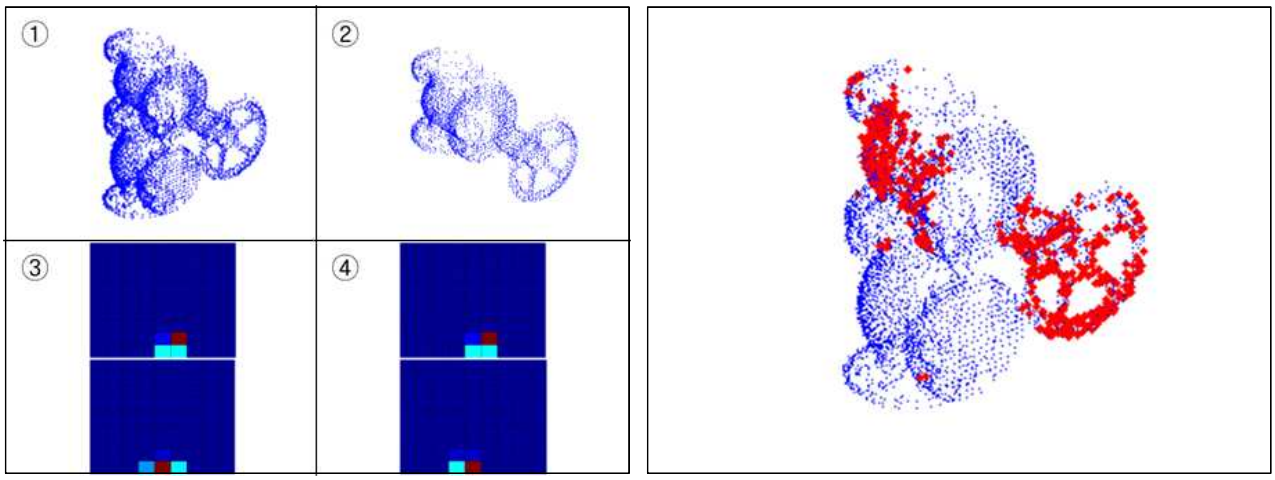
- Spherical Harmonics 기반의 점군 데이터와 모델 간 매칭
  - Spherical Harmonics 기반의 점군 데이터와 모델 간 매칭 방법은 3차원 모델의 복잡성에 관계없이 3차원 모델들을 효과적으로 매칭 할 수 있는 방법으로 최근 다양한 분야에서 활용되고 있음 (Huang 등, 2005). Spherical Harmonics 기반의 점군 데이터와 모델 간 매칭 기술은 구면 함수 (Spherical Function)를 이용해 3차원 모델의 특성값을 계산하는 방식임. 그리고 이 값은 3차원 모델이 회전하더라도 변하지 않기 때문에 3차원 모델의 회전에 관계없이 3차원 모델을 효과적으로 매칭 할 수 있는 장점을 가짐 (Biswas 등, 2006).
  - Spherical Harmonics 기반의 점군 데이터와 모델 간 매칭 과정은 다음과 같음. 가장 먼저 기존 3차원 모델을 다수의 Harmonics로 분할하고, 분할된 Harmonics에 구면함수를 통해 3차원 모델이 회전하더라도 변하지 않는 특성값을 계산함. 그리고 이 특성 값에 따른 빈도를 계산하여 3차원 모델들 간의 유사도를 측정하고 이 유사도를 이용해 3차원 모델들을 서로 매칭 시킴 (Kazhdan 등, 2003)

(다) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 개발

○ 기술 정립을 통해 구축된 프레임워크를 기반으로 하여 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 모델 매칭 기술을 개발 완료함. GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 획득한 점군 데이터에 개발된 기술을 적용하여 현장적용성을 분석 및 평가한 결과, 개발된 기술을 통해 효과적으로 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭이 가능함을 파악함.

○ 다음은 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 적용 결과를 요약하여 나타낸 것임.

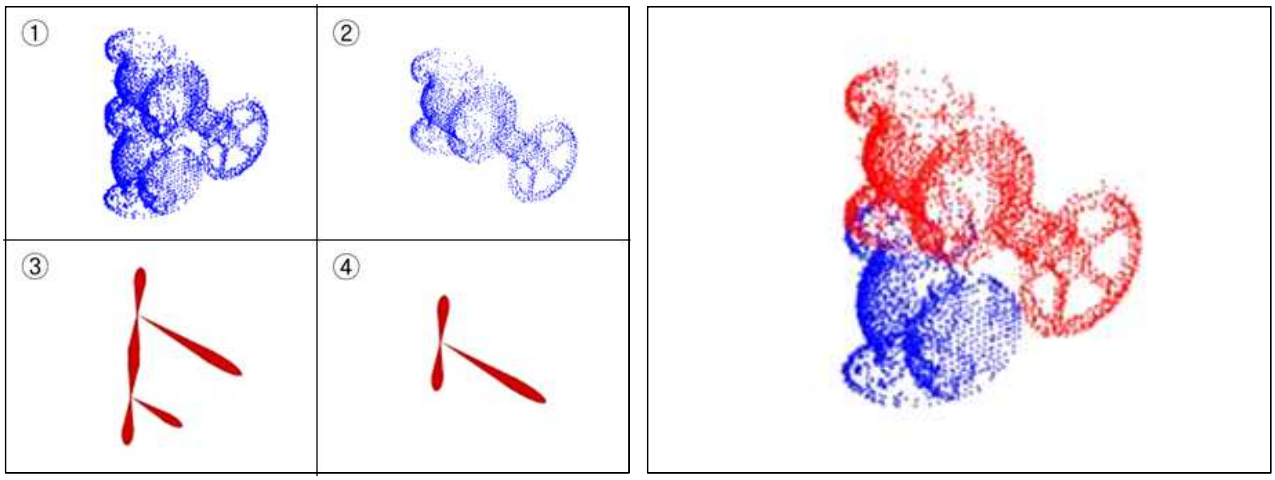
- GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 적용 결과
  - 다음 <그림 2-4-9(a)>와 <그림 2-4-9(b)>는 Spin-Image를 기반으로 한 점군 데이터 모델 간의 매칭 기술 적용 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-9> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기와 모델 간 매칭 기술 적용 결과 (a) Spin-Image 특징값 계산, (b) Spin-Image 기반의 점군 데이터와 모델 간 매칭 결과

  - 다음 <그림 2-4-10(a)>와 <그림 2-4-10(b)>는 본 연구에서 제안·개발된 Spherical Harmonics 기반으로 한 점군 데이터와 모델 간의 매칭 기술 적용 결과를 나타냄. 결과에 따르면, 제안된 Spherical Harmonics를 기반으로 한 점군 데이터와 모델 간의 매칭 기술이 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 시 Spin-Image를 기반으로 한 기술에 비해 효과적임이 나타남.



(a) (b)

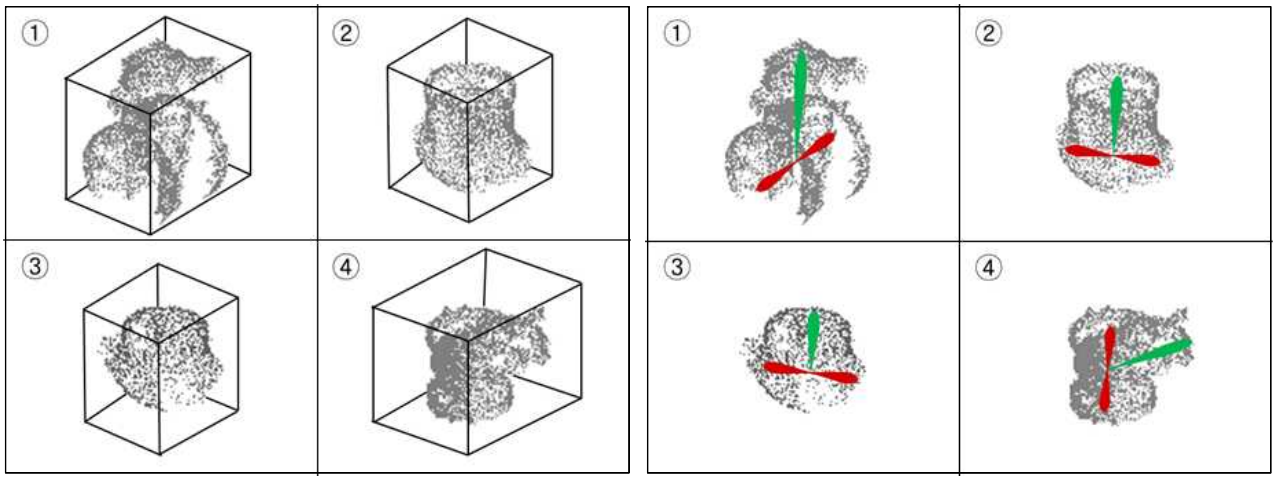
<그림 2-4-10> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기와 모델 간 매칭 기술 적용 결과 (a) Spherical Harmonics 특징값 계산, (b) Spherical Harmonics 기반의 점군 데이터와 모델 간 매칭 결과

(3) 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발

○ 개발된 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 모델 매칭 기술 적용을 통해 개별 밸브 및 제어기기에 대한 플랜트 데이터베이스 내의 모델이 매칭 및 선정됨. 이러한 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 모델 매칭 기술 적용 결과를 바탕으로 본 연구에서는 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 매칭 및 선정된 플랜트 데이터베이스 내의 모델을 정합하기 위한 기술을 정립하고, 이를 바탕으로 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 모델 정합 기술 개발을 완료함. 또한 테스트베드를 대상으로 개발된 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 모델 정합 기술을 적용하고, 해당 기술을 평가함.

(가) 데이터 특성에 적합한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 정립

○ 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 내 밸브 및 제어기기 데이터의 특성 파악
- 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 개발을 위한 밸브 및 제어기기에 대한 데이터의 점군 데이터의 특성 및 모델의 특성을 분석한 결과, 다음 <그림 2-4-11>과 같이 다양한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터의 바운딩 박스의 장변 방향과 Spherical Harmonics 기반의 매칭 기술 적용 결과 내의 장변 방향이 일치하는 특성을 가짐을 파악함.



(a) (b)

<그림 2-4-11> (a) 다양한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터의 바운딩 박스 장변 방향, (b) 다양한 밸브 및 제어기기에 대한 플랜트 데이터베이스 내 모델의 Spherical Harmonics 장변 방향

○ 데이터 특성을 고려한 점군 데이터와 모델 간 정합 기술 개발 관련 문헌 분석

- 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 모델 간의 효과적인 정합 기술 개발을 위해 정합 기술의 장·단점 분석을 위한 문헌 분석을 수행함. 3차원 점군 데이터 최종 정합 기술 개발 관련 문헌 분석 결과는 다음 <표 2-4-5>에 요약되어 있음.

<표 2-4-5> 3차원 점군 데이터 최종 정합 기술 개발 관련 문헌 분석 결과

구분	정합 기술 (출처)	특성			
		노이즈	밀도	가림현상	속도
최종 정합	Iterative Closest Point (Besl과 McKay, 1992)	×	○	×	보통
최종 정합	Signed Distance Fields (Masuda, 2001)	△	○	○	느림
최종 정합	Levenberg-Marquardt Iterative Closest Point (Fitzgibbon, 2001)	○	○	○	보통

※ ○: 정확도에 영향을 받지 않음, △: 정확도에 부분적으로 영향을 받음, ×: 정확도에 민감하게 영향을 받음

- 최종 정합의 대표적인 방법은 Signed Distance Field 알고리즘 (Masuda, 2001), Genetic 알고리즘 (Chow 등, 2004), ICP (Iterative Closest Point) 알고리즘 (Besl과 McKay, 1992; Chen과 Medioni, 1991) 등이 있음. Singed Distance Fields 알고리즘은 정합에 사용되는 점군 데이터가 Surface Patch 형태일 경우에만 사용 가능하다는 한계를 가짐 (Tubic 등, 2002; Salvi 등, 2007). Genetic 알고리즘은 많은 시간이 소모되는 단점이 있음 (Silva 등, 2005).

- 일반적으로 최종 정합에 활용되는 알고리즘은 ICP (Iterative Closest Point) 알고리즘이나, 이상치 제거 과정을 거치더라도, 플랜트 시설 내 다른 물체에 대한 점군 데이터가 존재할 경우 정합의 정확도가 저하되는 단점이 존재함. LM-ICP (Levenberg-Marquardt Iterative Closest Point) 알고리즘 (Fitzgibbon 2001)은 변형된 ICP 알고리즘을 이용하는 최종 정합 방식 알고리즘으로, 이상치와 현장 내 다른 물체에 대한 점군 데이터가 존재하더라도 빠르고 정확성 높은 최종 정합이 가능하게 하는 알고리즘임 (Duan 등, 2008; Breitenreicher와 Schnorr, 2010). 따라서 본 연구에서는 최종 정합을 위해 LM-ICP 기반의 알고리즘을 선정함.

○ 밸브 및 제어기기 데이터 특성에 적합한 모델 정합 프레임워크 구축
- 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터의 특성 파악, 3차원 점군 데이터 정합 기술의 장·단점 분석을 통해 본 연구에서는 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 개발된 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 모델 매칭 기술 적용을 통해 매칭 및 선정된 개별 밸브 및 제어기기에 대한 플랜트 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술을 정립하고, 프레임워크를 구축함. 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 개발된 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 모델 매칭 기술 적용을 통해 매칭 및 선정된 개별 밸브 및 제어기기에 대한 플랜트 데이터베이스 내의 모델을 정합하기 위한 과정은 1) 다양한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터의 바운딩 박스의 장변 방향과 Spherical Harmonics 기반의 매칭 기술 적용 결과 내의 장변 방향을 이용한 초기 정합과 2) LM-ICP 기반의 점군 데이터 간 최종 정합의 두 단계로 구성함. 이러한 정합 과정을 통해 서로 다른 위치에서 획득된 점군 데이터가 일치될 수 있는 회전 변환 행렬과 이동벡터가 추정됨 (Salvi 등, 2007). 초기 정합을 통해 개략적인 점군 데이터와 모델 간의 일치가 수행되며, 최종 정합은 반복적으로 초기 정합 결과를 개선시킴으로써 보다 정확한 정합을 수행하기 위하여 적용됨 (Mian 등, 2005; Salvi 등, 2007).

- 점군 데이터와 모델 간 초기 정합
  - 점군 데이터와 모델 간 초기 정합은 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터의 바운딩 박스의 장변 방향과 Spherical Harmonics 기반의 매칭 기술 적용 결과 내의 장변 방향을 기반으로 점군 데이터와 모델이 정합 될 수 있는 회전 행렬과 이동 행렬을 구함으로써 점군 데이터와 모델의 초기 정합을 수행함.

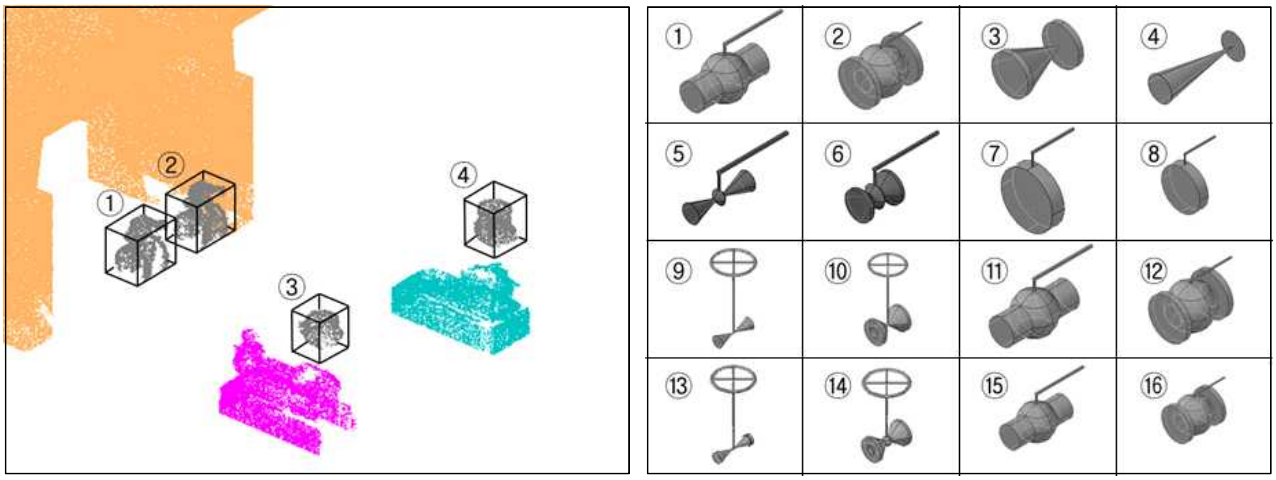
- LM-ICP 기반의 점군 데이터와 모델 간 최종 정합
  - LM-ICP 기반의 최종 정합은 두 단계로 구성됨. 첫 번째 단계는 초기 정합이 수행된 점군 데이터와 모델에서 가장 가까운 점들 간에 연관성을 생성하는 것임. 두 번째 단계에서는 서로 연관된 점들 간의 거리를 제곱한 값의 평균이 최소가 되도록 반복적으로 회전 벡터와 이동 벡터의 계산을 수행함. 반복적으로 회전 벡터와 이동 벡터의 계산을 수행할 때, Levenberg-Marquardt 알고리즘은 비선형적인 방법을 통해 서로 연관된 점들 간의 거리를 제곱한 값의 평균이 최소가 되도록 회전 벡터와 이동 벡터를 계산함으로써 정확한 정합이 수행됨.

(나) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 개발

○ 기술 정립을 통해 구축된 프레임워크를 기반으로 하여 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 모델 정합 기술을 개발 완료함. GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 획득한 점군 데이터에 개발된 기술을 적용하여 현장적용성을 분석 및 평가한 결과, 개발된 기술을 통해 효과적으로 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합이 가능함을 파악함.

○ 다음은 GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 적용 결과를 요약하여 나타낸 것임.

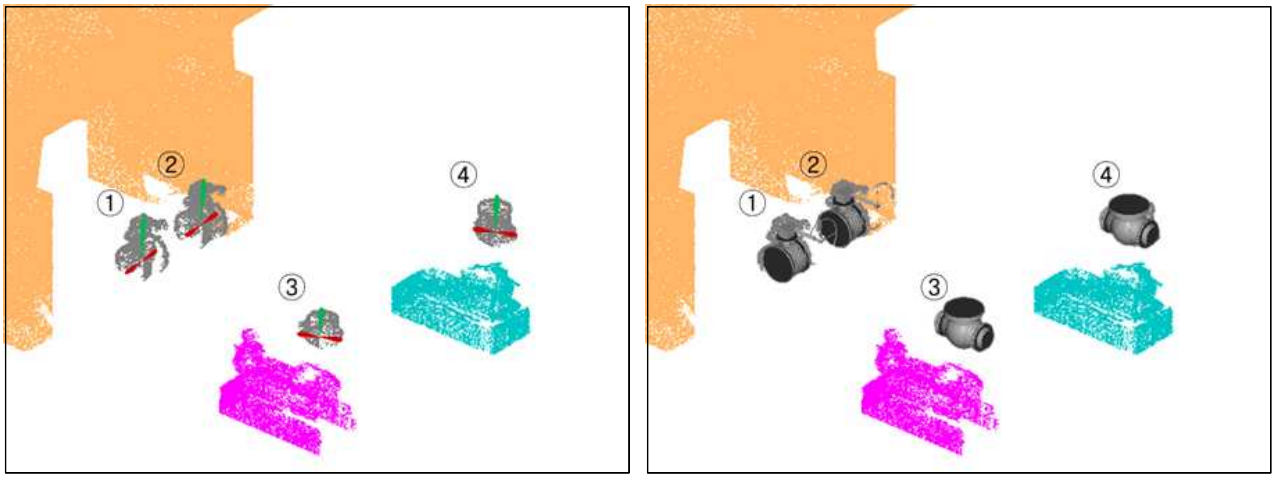
- GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 적용 결과
  - 다음 <그림 2-4-12>와 <그림 2-4-13>은 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 모델 간의 정합 기술 적용 결과를 나타냄. <그림 2-4-11(a)>와 <그림 2-4-11(b)>는 각각 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터의 바운딩 박스 계산 결과, 밸브 및 제어기기에 대한 플랜트 데이터베이스를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-12> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 적용 결과 (a) 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터의 바운딩 박스 계산 결과, (b) 밸브 및 제어기기에 대한 플랜트 데이터베이스

  - <그림 2-4-13(a)>와 <그림 2-4-13(b)>는 각각 밸브 및 제어기기에 대한 모델의 Spherical Harmonics 계산 결과, 점군 데이터와 모델 간의 정합 결과를 나타냄.



(a) (b)

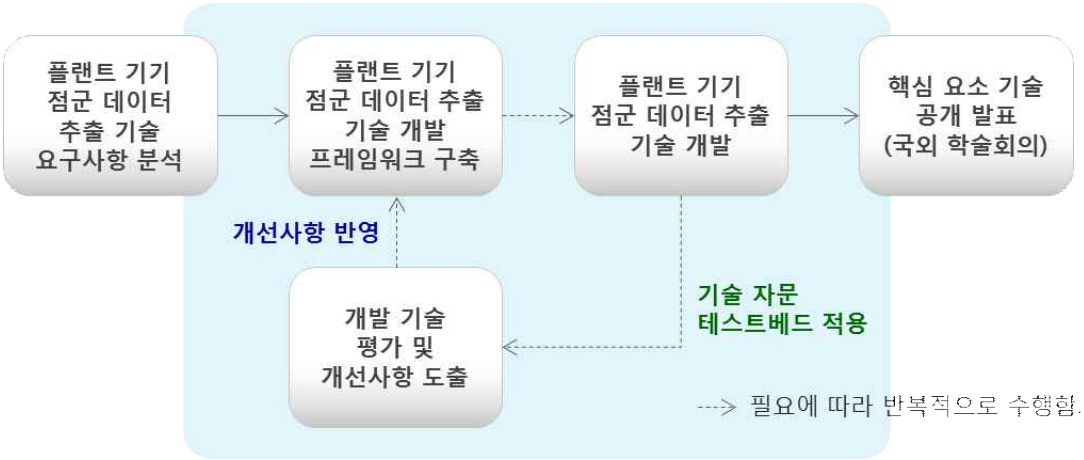
<그림 2-4-13> GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장을 대상으로 한 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 적용 결과 (a) 밸브 및 제어기기에 대한 모델의 Spherical Harmonics 계산 결과, (b) 점군 데이터와 모델 간의 정합 결과

(4) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발

○ 플랜트 시설에서 획득한 전체 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 배관 점군 데이터 추출 기술과 밸브 및 제어기기 점군 데이터 추출 기술을 적용하면, 플랜트 기기와 구조물에 대한 점군 데이터가 남음. 본 연구과제에서는 앞서 추출한 배관 점군 데이터와 밸브 및 제어기기 점군 데이터, 그리고 남아 있는 점군 데이터 간의 위상학적 관계를 이용하여 플랜트 기기 점군 데이터 추출에 최적화된 기술 개발을 위한 프레임워크를 정립 및 구축함.

○ 구축된 프레임워크를 기반으로 2013년 2월부터 3월까지 2개월간 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발을 추진함. 이 과정에서 연구결과의 최종성과물을 현업에 적용 할 수 있도록 하기 위해 테스트베드를 대상으로 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성을 평가함. 동시에 기술 자문을 통해 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고, 이를 개선하기 위한 방안을 마련하고 전략을 도출함. 앞서 도출한 문제점과 개선사항을 바탕으로 기존에 구축된 기술 개발 프레임워크를 개선하고, 이를 다시 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발에 반영함.

○ 본 연구에서 최종 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술은 2013년 8월, 국제 건설 자동화 및 로봇 학회 (International Association for Automation and Robotics in Construction, IAARC)가 주관하는 "International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2013)" 국외 학술회의에서 발표함 (<그림 2-4-14> 참조).

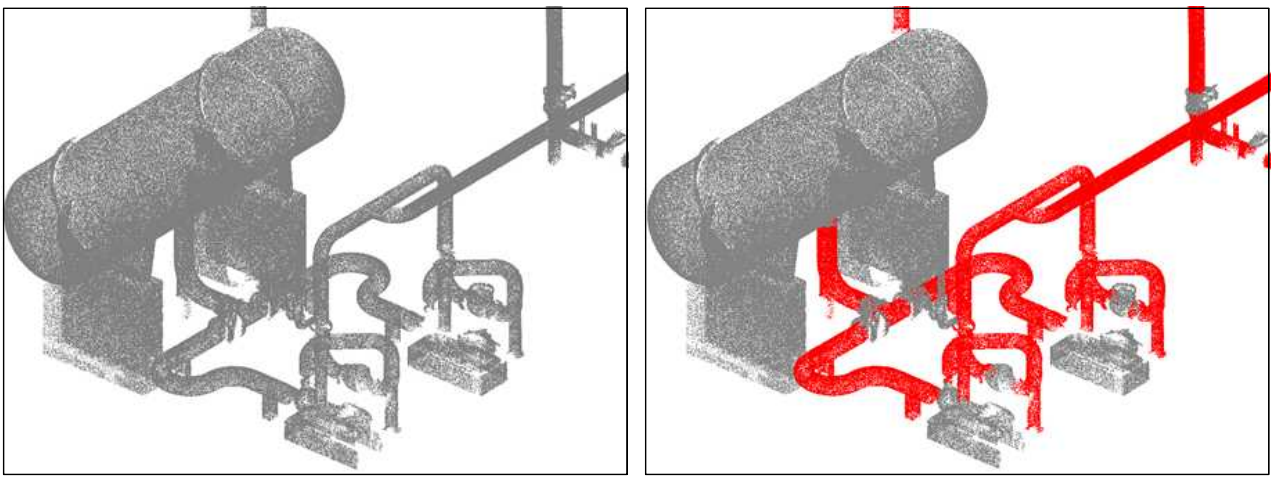


<그림 2-4-14> 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 절차 및 성과

(가) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 요구사항 분석

○ 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 내 기기 점군 데이터의 특성 파악

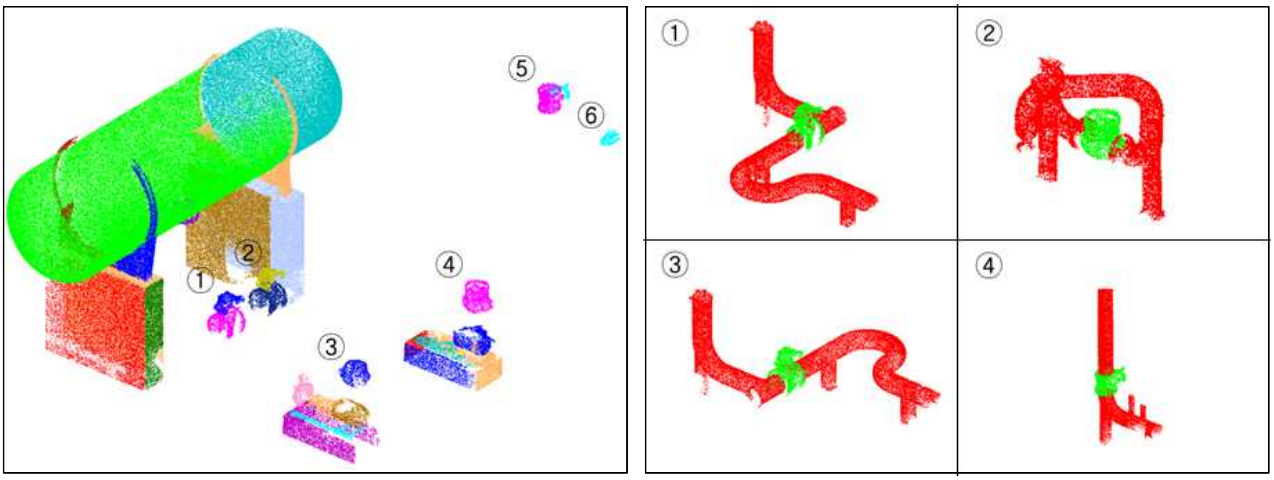
- 다음 <그림 2-4-15>와 <그림 2-4-16>은 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술과 플랜트 밸브 및 제어기기 점군 데이터 추출 기술 적용 과정을 요약하여 나타냄. <그림 2-4-15(a)>는 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터의 원본을 나타내며, 원본데이터로부터 개발한 기술을 적용하여 추출된 배관 점군 데이터는 <그림 2-4-15(b)>에 붉은색으로 표시함.



(a) (b)

<그림 2-4-15> (a) LG화학 CA/EDC 현장에서 획득한 점군 데이터의 일부, (b) 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 추출 기술 적용 결과

- 다음 <그림 2-4-16(a)>는 추출된 배관 점군 데이터를 제거하고 남은 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체에 대한 점군 데이터를 나타냄. <그림 2-4-16(b)> 내의 ①, ②, ③, ④번 그림은 각각 <그림 2-4-16(a)>에 보이는 ①, ④, ②, ⑤번 밸브 및 제어기기와 그 주변에 추출된 배관 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-16> (a) 추출된 배관 점군 데이터 제거 결과, (b) 밸브 및 제어기기와 인접한 배관 점군 데이터 간의 연결 관계

- 이처럼 밸브 및 제어기기는 인접한 배관 점군 데이터 사이에 위치하는 특성을 가짐. 이러한 특성을 바탕으로 1차년도에는 플랜트 밸브 및 제어기기 점군 데이터 추출 기술을 개발함. 여기서 기기는 밸브 및 제어기기와 달리, 추출된 배관 점군 데이터의 한쪽 끝 단면에 위치하는 특성을 가짐.

(나) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

○ 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 프레임워크
- 본 연구과제에서는 추출된 배관 점군 데이터와 밸브 및 제어기기 점군 데이터를 제거하고 남은 기기 점군 데이터와 제거한 배관 점군 데이터 간의 위상학적 관계를 이용한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 프레임워크를 구축함. 또한 보다 정확한 기기 점군 데이터 추출을 위해 고유 벡터의 특성을 활용함.

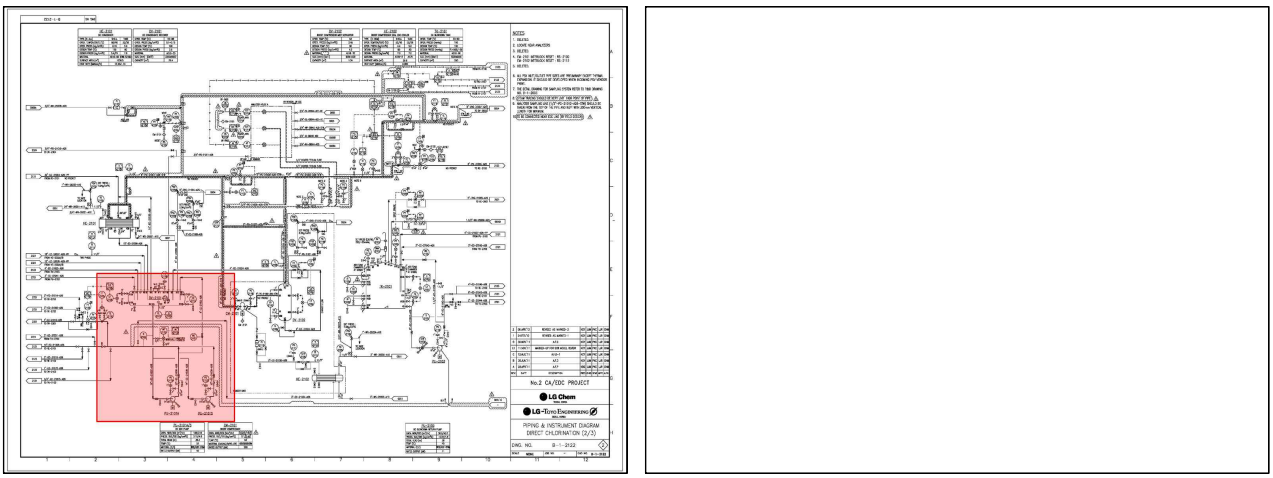
○ 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 프레임워크 상세
- 플랜트 기기 점군 데이터 추출 시에는 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술과 플랜트 밸브 및 제어기기 점군 데이터 추출 기술을 적용하고 남은 기기, 구조체에 대한 분할된 점군 데이터를 입력받음. 입력된 Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 결과는 단일 물체라 하더라도 점군 분할 방법의 조건에 의해 각도가 급격하게 변하는 부분에서 서로 다른 데이터로 분할됨.
- 따라서 단일 물체임에도 불구하고, 서로 다른 데이터로 분할된 데이터를 다시 재결합하는 과정이 요구됨. 이를 위해 특정 분할 영역을 기준으로 일정 거리 내의 분할 데이터를 재결합 후보군으로 계산하고, 후보군 분할 데이터 간의 최근접 이웃을 계산함으로써 단일 물체에 대한 분할 데이터 재결합이 가능함.
- 상기 과정을 거쳐 결합된 점군 데이터 그룹은 크게 기기 또는 구조체로 구성되며, 기기에 대한 고유 벡터는 x, y, z 세 방향으로 분해하였을 때 모든 방향으로 일정한 크기를 가지나 구조체에 대한 고유 벡터는 한 방향 또는 두 방향으로만 일정한 크기를 가지는 특성을 보임.

- 따라서 결합된 점군 데이터 그룹 간의 고유 벡터 특성의 차이를 활용하여 구조체 점군 데이터로부터 기기 점군 데이터를 구분함.

(다) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 및 테스트베드 적용

○ 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술의 테스트베드 적용 결과

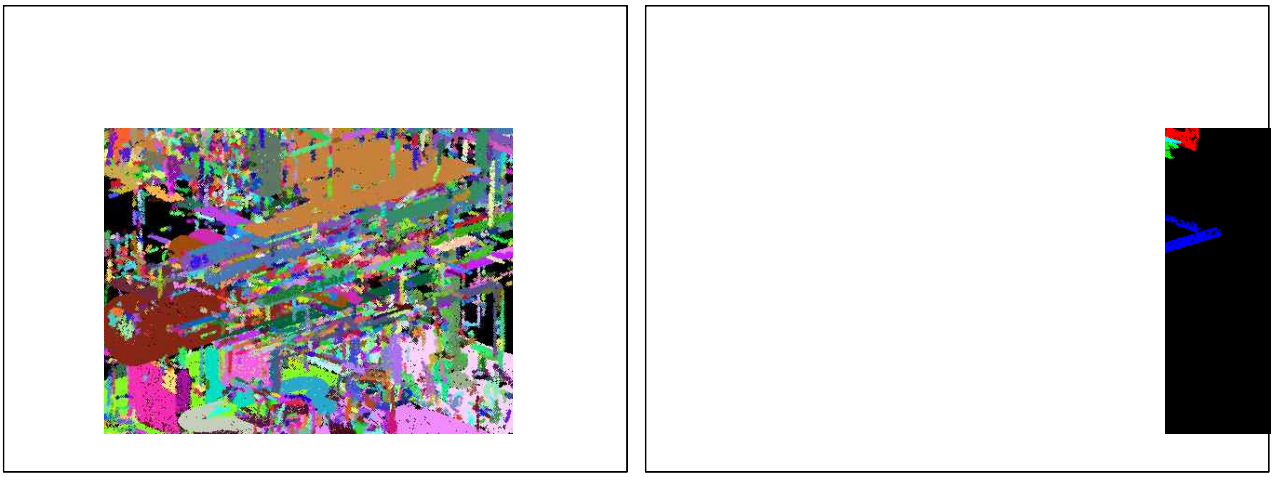
- 다음은 LG화학 CA/EDC 현장에서 획득한 점군 데이터를 대상으로 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성 평가 결과를 요약하여 나타낸 것임.
- 다음 <그림 2-4-17(a)>는 LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-4-17(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 대한 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-17> (a) LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도 일부, (b) 공정배관계장도 내 붉은색으로 표시한 영역에 대한 점군 데이터

- 다음 <그림 2-4-18(a)>는 1차년도에 개발한 Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 기술 적용 결과를 나타내며, <그림 2-4-18(b)>는 점군 데이터 분할 결과를 입력받아 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술 적용을 통해 추출된 배관 점군 데이터를 나타냄. 여기서 서로 다른 구경의 배관 점군 데이터는 서로 다른 색상으로 표시함.



(a) (b)

<그림 2-4-18> (a) 1차년도에 개발한 Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 기술 적용 결과, (b) 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술 적용 결과

- 다음 <그림 2-4-19>는 원본 점군 데이터와 추출된 배관 점군 데이터를 중첩하여 나타낸 것임. 그림에서 보는 바와 같이, 배관 점군 데이터와 밸브 및 제어기기 점군 데이터를 제거한다 하더라도 이후 남아 있는 기기, 구조체에 대한 점군 데이터가 서로 복잡하게 얽혀있음. 따라서 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 시, 후보군 분할 데이터를 계산하고 이후 단일 물체 (단일 기기 또는 구조체)에 대한 분할 데이터 재결합 시 오류가 발생함을 파악함.



<그림 2-4-19> 원본 점군 데이터와 추출된 배관 점군 데이터 중첩 결과

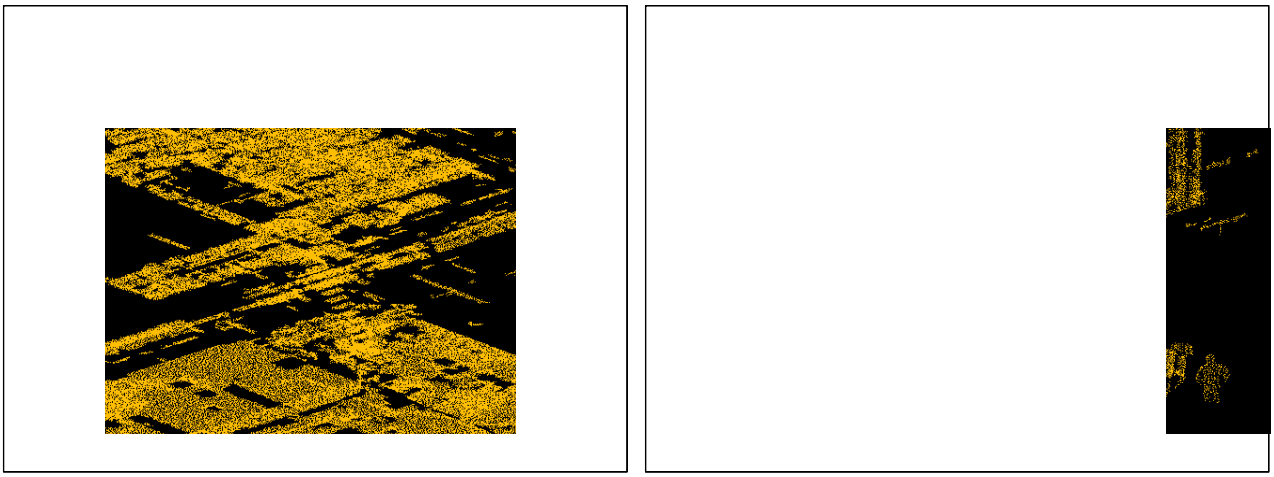
○ 기술 자문을 통한 기술 적용 결과 검토 및 개선사항 도출

- 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 해당 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고, 이에 대한 개선사항을 도출하기 위해 2차년도 연구기간 동안 중앙대학교 컴퓨터 공학과 소속 손봉수 교수가 내부 연구진으로 참여하여 기술 자문을 실시함.

- 기술 적용 검토 결과, 실제 운영 중인 플랜트 시설에는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체가 복잡하게 얽혀 있으므로 효율적인 기기 점군 데이터 추출을 위한 구조체 점군 데이터 제거 과정 도입의 필요성이 제기됨. 플랜트 기기 점군 데이터 추출 시, 구조체 점군 데이터 제거 과정을 도입할 경우 다음과 같은 효과를 기대할 수 있음.
  - 첫째, Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 기술 적용 이후 구조체 점군 데이터 제거 과정을 수행하면, 공간상에 서로 떨어져 있는 물체에 대한 점군 데이터만 남게 되어 후보군 분할 데이터를 계산하고 단일 물체에 대한 분할 데이터 재결합 시 오류를 최소화 할 수 있음.
  - 둘째, 플랜트 시설에서 획득한 점군 데이터에서 구조체 점군 데이터는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기에 비해 상대적으로 높은 비중을 차지하는 특성이 있기 때문에 플랜트 정보 모델 구축 과정 초기에 이를 제거함으로써 이후 과정에서 점군 데이터 분석 속도를 현저히 개선할 수 있음.

(라) 개선사항 반영을 통한 기술 개선 및 고도화

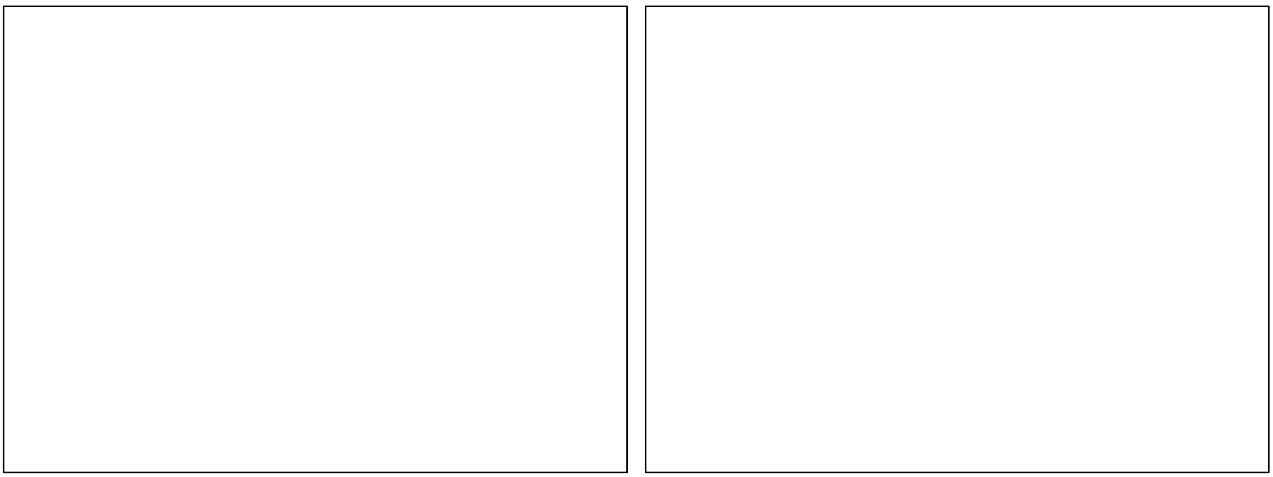
○ 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 프레임워크 개선
- 앞선 기술 적용 검토 결과에서 제기된 의견에 따라 Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 기술 적용 이후 구조체 점군 데이터 제거 과정을 도입하기 위한 개선 방안을 도출함. 이에 따라 기존에 구축된 기술 개발 프레임워크를 개선하고, 이를 다시 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발에 반영함.
- 플랜트 시설 내에 구조체의 종류는 바닥 슬라브, 기둥, 계단, 벽 등이 있으며, 구조체 점군 데이터는 지역적 곡률 (Local Curvature)이 0에 수렴하는 특성을 가짐. 따라서 Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 기술 적용 결과를 입력받아 특정 분할 데이터 내의 한 점과 그 점을 중심으로 설정한 제한된 크기의 공간 내부에 존재하는 주변 점들로부터 계산한 지역적 곡률이 0에 수렴할 때 이를 구조체 점군 데이터로 간주하여 제거함.
- 다음 <그림 2-4-20>은 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개선 및 고도화를 위해 추가로 개발한 구조체 점군 데이터 제거 기술 적용 과정을 요약하여 나타냄. <그림 2-4-20(a)>는 바닥 슬라브, 계단 등과 같이 지면과 평행한 구조체의 점군 데이터를 추출한 결과를 나타내며, <그림 2-4-20(b)>는 기둥, 벽 등과 같이 지면과 수직한 구조체의 점군 데이터를 추출한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-20> (a) 지면과 평행한 구조체 점군 데이터 추출 결과, (b) 지면과 수직한 구조체 점군 데이터 추출 결과

- 다음 <그림 2-4-21(a)>는 상기 <그림 2-4-20(a)>와 <그림 2-4-20(b)>를 합한 결과를 나타내며, <그림 2-4-21(b)>는 <그림 2-4-17(b)>에 대한 구조체 점군 데이터 제거 결과를 나타냄.



(a) (b)

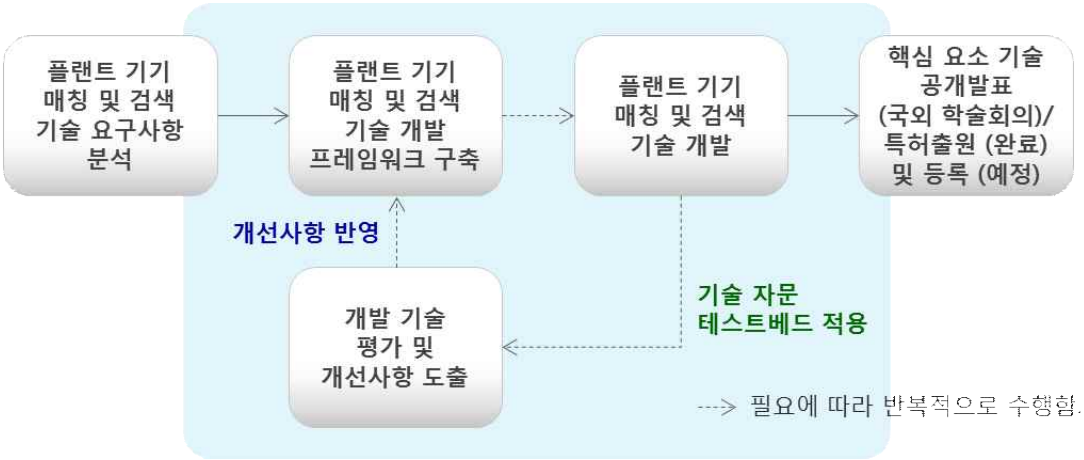
<그림 2-4-21> (a) 구조체 점군 데이터 추출 결과, (d) 구조체 점군 데이터 제거 결과

(5) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발

○ 플랜트 시설에서 획득한 전체 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 배관 점군 데이터 추출 기술과 밸브 및 제어기기 점군 데이터 추출 기술, 마지막으로 2차년도에 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술을 적용함으로써 성공적으로 개별 플랜트 기기에 대한 점군 데이터 추출이 가능함. 본 연구과제에서는 앞서 추출한 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 점군 데이터 간의 위상학적 관계를 바탕으로 공정배관계장도 내의 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 간의 관계 정보, 플랜트 3차원 데이터베이스 내의 기기 모델 형상 정보를 활용하여 최적화된 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발을 위한 프레임워크를 정립 및 구축함.

○ 구축된 프레임워크를 기반으로 2013년 4월부터 9월까지 6개월간 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발을 추진함. 연구결과의 최종성과물을 현업에 적용 할 수 있도록 하기 위해 테스트베드를 대상으로 개발한 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성을 평가함. 이와 동시에 기술 자문을 통해 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고, 이를 개선하기 위한 방안을 마련하고 전략을 도출함. 앞서 도출한 문제점과 개선사항을 바탕으로 기존에 구축된 기술 개발 프레임워크를 개선하고, 이를 다시 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발에 반영함.

○ 본 연구에서 최종 개발한 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술은 2014년 5월, 미국 토목 학회(American Society of Civil Engineers, ASCE)에서 주관하는 "Construction Research Congress (CRC 2014)" 국외 학술회의에서 발표함. 또한 핵심 요소 기술에 대한 특허 선점 및 기술력 확보를 통해 관련 분야에서 세계적인 기술 우위를 확보하기 위해 특허출원을 완료함 (<그림 2-4-22> 참조).



<그림 2-4-22> 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 절차 및 성과

(가) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 요구사항 분석

○ 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터 내 플랜트 기기 점군 데이터의 특성 파악

- 대규모의 복잡한 플랜트 시설의 완전한 점군 데이터 획득을 위해 2차년도에 개발한 3차원 점군 데이터 정합 및 데이터 개선 소프트웨어를 이용하여 여러 위치에서 획득한 데이터 간의 정합 및 데이터 개선을 수행함. 정합이 완료된 점군 데이터 내 기기 점군 데이터의 특성을 요약하면 다음과 같음.

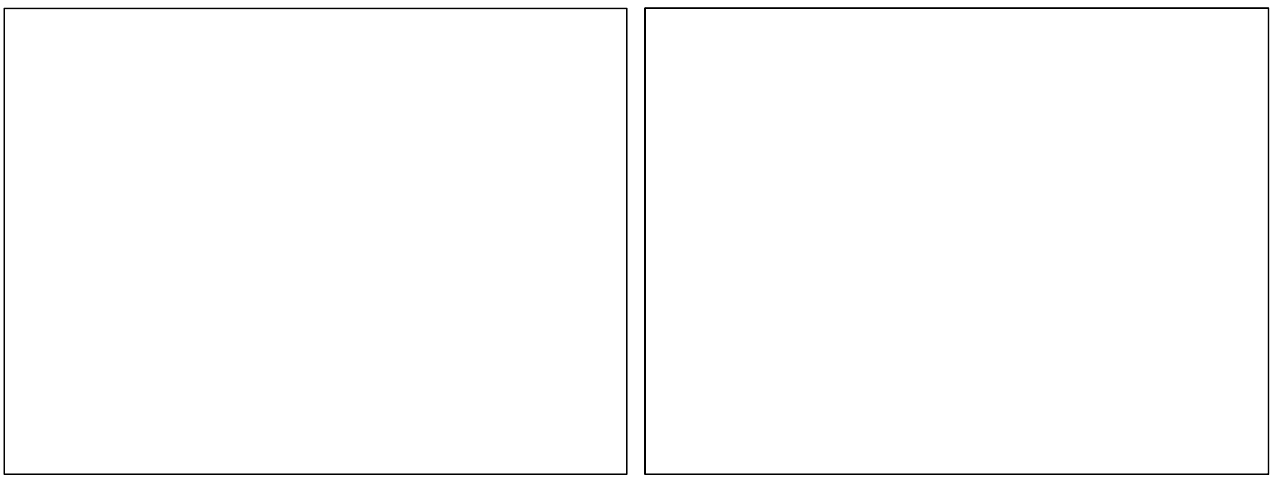
- 기기 표면 점군 데이터의 불균일 분포 (Density Irregularity)
  - 2차년도에 개발한 3차원 점군 데이터 정합 및 데이터 개선 소프트웨어를 통해 정합 및 개선이 완료된 점군 데이터는 플랜트 기기 표면에 불균일하게 분산되는 불균일 분포 특성을 가짐. 기기 표면 점군 데이터의 불균일 분포 특성은 데이터베이스 내에 존재하는 후보 모델과의 매칭 및 검색 시에 유사도를 계산하는 과정에서 오차를 발생시키는 요인이 되므로 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 시 고려가 필요함.

- 기기 표면 점군 데이터의 불완전성 (Incompleteness 또는 Partialness)
  - 플랜트 시설은 다수의 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조물 등이 복잡하게 얽혀있는 특성이 있어 다수의 위치에서 데이터를 획득한다 하더라도 가시선 (Line of Sight)이 제한됨. 가시선의 제한에 의한 가림현상 외에도 서로 다른 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조물 등에 의한 가림현상이 발생함. 이러한 기기 표면 점군 데이터의 불완전한 특성은 데이터베이스 내에 존재하는 후보 모델과의 매칭 및 검색 시에 유사도를 계산하는 과정에서 오차를 발생시키는 요인이 되므로 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 시 고려가 필요함.

- 기기 표면 점군 데이터의 부정확성 (Inaccuracy 또는 Noise Corruption)
  - 기기 표면은 반사율이 높은 특성을 가지며, 표면의 곡률에 따라 레이저 펄스가 빗겨서 입사되므로 기기 표면에 대한 점군 데이터는 노이즈를 수반할 가능성이 높음. 뿐만 아니라, 플랜트 시설과 같은 야외 환경에서 레이저 스캐너를 이용한 데이터 획득 시에는 대기의 온도, 습도, 바람, 먼지 등에 의해 오차가 발생될 수 있음. 이처럼 기기 표면의 점군 데이터는 부정확한 특성을 가지므로 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 시 고려가 필요함.

○ 플랜트 3차원 데이터베이스 내 기기 특성 파악
- 실무에서는 플랜트 기기 설계 시에 주로 3차원 데이터베이스를 활용하기 때문에 플랜트 기기 정보 모델 구축 시에 플랜트 시설을 구성하는 다양한 종류의 기기에 대한 3차원 데이터베이스의 활용이 가능함. 단, 기기 점군 데이터와의 매칭 및 검색을 통한 정확한 기기 모델 구축을 위해서는 플랜트 3차원 데이터베이스 내에 존재하는 기기 모델에 대한 특성을 파악하고, 이를 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 시 고려하여야 함. 플랜트 3차원 데이터베이스 내에 존재하는 기기 모델에 대한 특성을 요약하면 다음과 같음.

- 기기 종류의 다양성
  - 플랜트 3차원 데이터베이스 내에는 다음 <그림 2-4-23(a)>의 예시에서 보는 바와 같이 다양한 종류의 기기가 존재함.



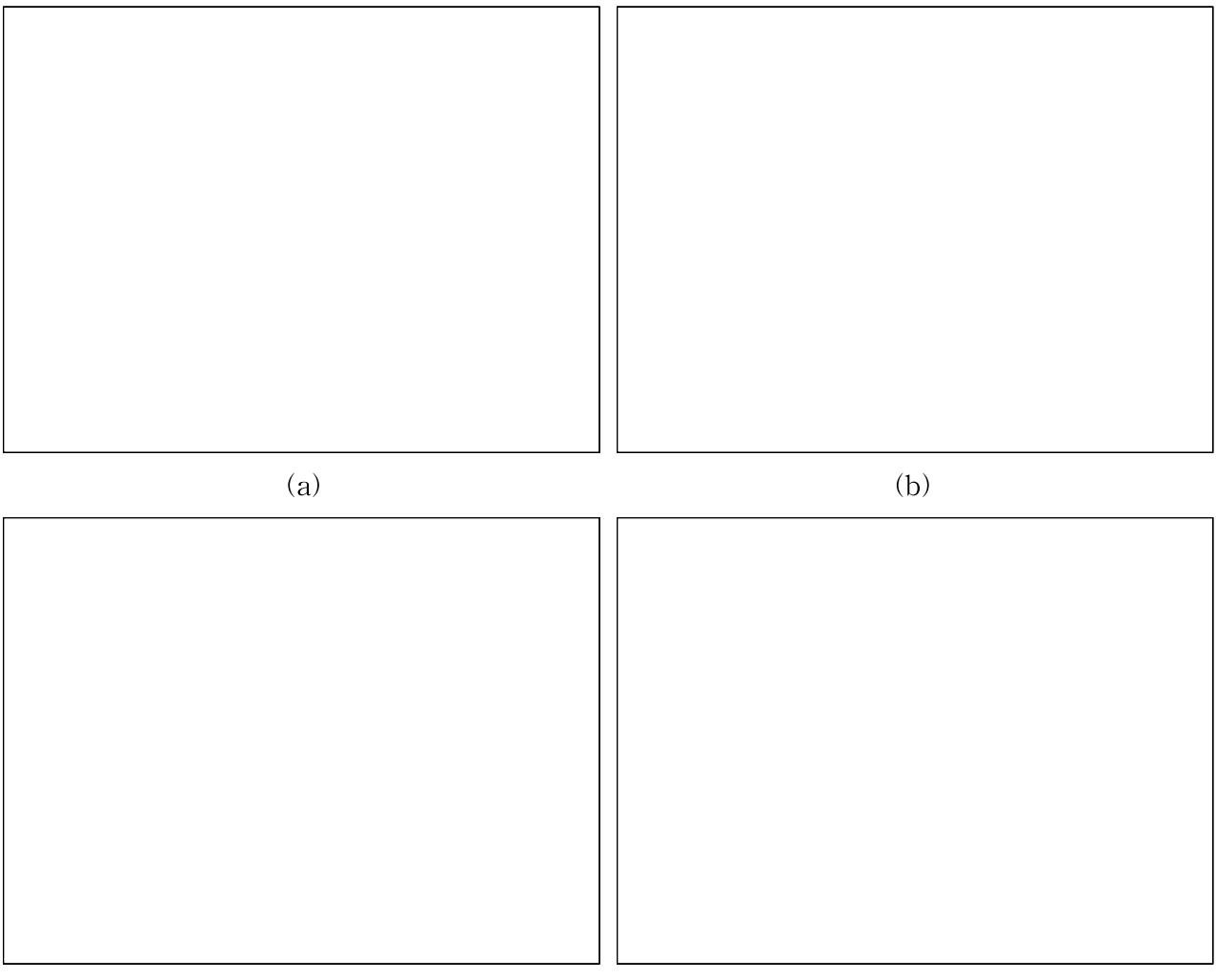
(a) (b)

<그림 2-4-23> 플랜트 데이터베이스의 예시 (a) 기기 종류의 다양성, (b) 동종 기기의 다양성

- 이러한 이유로 사용자가 직접 기기 점군 데이터에 해당하는 기기 모델을 찾는 과정은 플랜트 기기에 대한 지식이 요구되며, 오랜 시간이 소요되어 비효율적일 뿐만 아니라 플랜트 정보 모델 구축 결과가 부정확하고 일부 누락될 가능성이 있음.

- 동종 기기의 다양성
  - 플랜트 3차원 데이터베이스 내에는 다음 <그림 2-4-23(b)>의 예시에서 보는 바와 같이 동종 기기라 하더라도 다양한 형태가 존재함. 뿐만 아니라, 이러한 다양한 형태의 동종 기기는 붉은색 상자에 보이는 바와 같이 실제로 가까운 위치에 설치하는 경우가 발생함.

- 다음 <그림 2-4-24>는 상기 <그림 2-4-23(b)>에서 붉은색 상자로 표시한 영역을 확대하여 나타낸 것임. <그림 2-4-24(c)>와 <그림 2-4-24(d)>는 <그림 2-4-24(a)>와 <그림 2-4-24(b)>의 모델을 각각 확대하여 나타낸 것임. 그림에 나타낸 두 가지 펌프 모델은 매우 유사한 형태이나 배관과의 연결부와 바디 부분에서 분명한 차이를 보임.



(a) (b)

(c) (d)

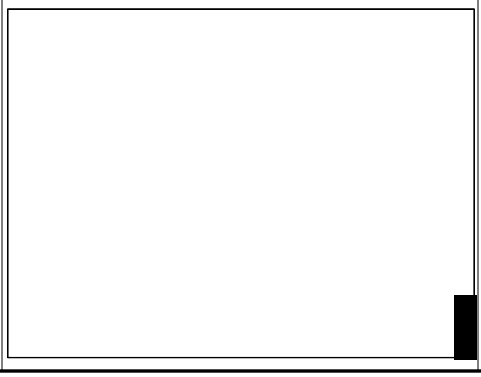
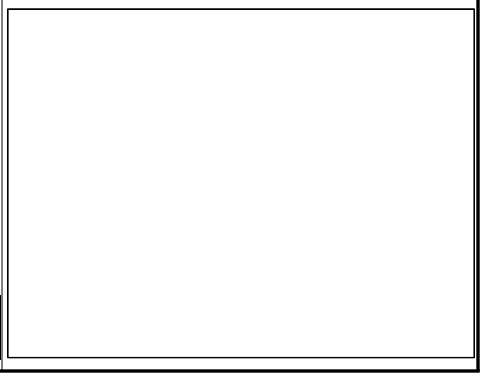
<그림 2-4-24> 유사한 형태의 동종 기기 예시 (펌프) (a) 예시 1, (b) 예시 2, (c) (a) 확대, (d) (b) 확대

- 다음 <표 2-4-6>은 동종 기기 형태의 다양성을 나타냄. 열교환기는 펌프에 비해 형태의 다양성이 높은 것을 알 수 있음.

<표 2-4-6> 동종 기기 형태의 다양성 예시 (다음 페이지에 계속)

구분	펌프	열교환기
예시 1		
예시 2		
예시 3		
예시 4		

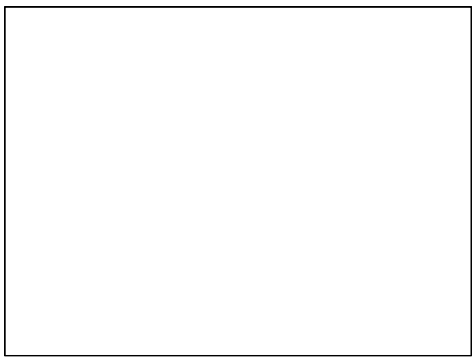
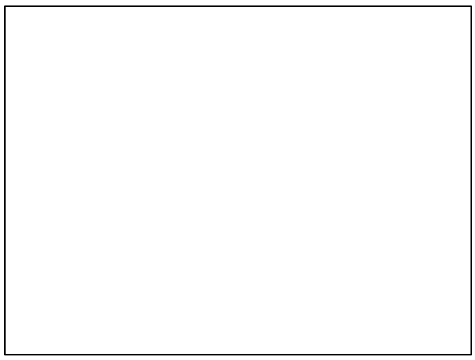
<표 2-4-6> 동종 기기 형태의 다양성 예시 (이전 페이지에 이어)

구분	펌프	열교환기
예시 5		

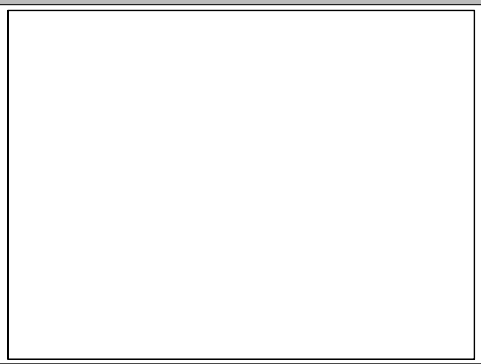
- 플랜트 3차원 데이터베이스 내에는 앞서 설명한 동종 기기 형태의 다양성 뿐만 아니라, 유사한 형태라 하더라도 다양한 크기의 기기가 존재함 (<표 2-4-7> 참조). 이러한 동종 기기의 형태 및 크기 다양성은 사용자가 직접 기기 점군 데이터에 해당하는 기기 모델을 찾는 과정을 더욱 어렵게 함.

○ 기기 점군 데이터의 특성과 플랜트 3차원 데이터베이스 내에 존재하는 기기 모델의 특성 분석 결과를 종합하여 볼 때, 이러한 다양한 특성을 모두 고려함으로써 플랜트 분야에 특화된 자동화된 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발의 필요성이 절실함.

<표 2-4-7> 동종 기기 크기의 다양성 예시 (다음 페이지에 계속)

구분	데빗
예시 1	
예시 2	

<표 2-4-7> 동종 기기 크기의 다양성 예시 (이전 페이지에 이어)

구분	데빗
예시 3	

(나) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

○ 기존 연구에서 3차원 물체 매칭 및 검색을 위해 제안된 방법은 다음 <표 2-4-8>과 같이 크게 특징 기반과 그래프 기반 방법으로 구분됨 (Tangelder와 Veltkamp, 2008). 특징 기반 방법은 사용되는 특징 값에 따라 전역적 특징, 전역적 특징 분포, 공간 맵, 지역적 특징을 사용하는 방법으로 구분됨. 그래프 기반 방법은 사용되는 특징 값에 따라 모델 그래프, 스켈레톤, Reeb 그래프를 사용하는 방법으로 구분됨.

<표 2-4-8> 3차원 물체 매칭 및 검색 방법 분류 (Tangelder와 Veltkamp, 2008)

구분	사용되는 특징 값
특징 기반	▪ 전역적 특징 (Johnson과 Hebert, 1999; Paquet 등, 2000; Elad 등, 2001; Zhang과 Chen, 2001; Corney 등, 2002) ▪ 전역적 특징 분포 (Ip 등, 2002; Ip 등, 2003; Ohbuchi 등, 2002; Osada 등, 2002; Ohbuchi 등, 2003) ▪ 공간 맵 (Ankerst 등, 1999; Funkhouser 등, 2003; Kazhdan 등, 2003; Kriegel 등, 2003; Vranic, 2003; Yu 등, 2003) ▪ 지역적 특징 (Shum 등, 1996; Chua와 Jarvis, 1997; Johnson과 Hebert, 1999; Zaharia와 Preteux, 2001)
그래프 기반	▪ 모델 그래프 (Cicirello와 Regli, 2001; Elad 등, 2001; McWherter 등, 2001; Funkhouser 등, 2003; El-Mehalawi와 Miller, 2003) ▪ 스켈레톤 (Iyer 등, 2003; Lou 등, 2003; Sundar 등, 2003) ▪ Reeb 그래프 (Hilaga 등, 2001; Bespalov 등, 2003; Biasotti 등, 2003; Tung과 Schmitt, 2005)

○ 앞서 분석한 기기 점군 데이터의 특성과 플랜트 데이터베이스 내 기기 모델의 특성별로 기존 연구에서 제안된 특징 기반과 그래프 기반 방법 적용 시 기대 수준을 비교하여 요약하면 다음 <표 2-4-9>와 같음. 기존 연구 분석 결과에 따르면, 기기 점군 데이터의 특성과 플랜트 3차원 데이터베이스 내에 존재하는 기기 모델의 특성을 모두 고려할 때, 플랜트 기기 매칭 및 검색에 적합한 방법이 전무한 실정임을 알 수 있음.

<표 2-4-9> 기존 연구에서 제안된 3차원 물체 매칭 및 검색 방법 적용 시 기대 수준 비교

매칭 및 검색 방법 / 플랜트 기기 특성	특징 기반				그래프 기반		
	전역적 특징	전역적 특징 분포	공간 맵	지역적 특징	모델 그래프	스켈레톤	Reeb 그래프
기기 표면 점군 데이터의 불균일 분포	낮음	낮음	낮음	높음	높음	높음	높음
데이터 분석 효율성	높음	높음	높음	중간	중간	중간	중간
분류 정확도	낮음	중간	높음	중간	중간	중간	중간
기기 점군 데이터의 불완전성	불가	불가	불가	가능	가능	가능	가능
기기 표면 점군 데이터의 부정확성	높음	높음	높음	중간	중간	중간	중간

○ 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 프레임워크

- 본 연구과제에서는 앞서 추출한 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 점군 데이터 간의 위상학적 관계를 바탕으로 공정배관계장도 내의 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 간의 관계 정보를 활용하여 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 프레임워크를 구축함.

○ 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 프레임워크 상세

- 플랜트 기기 매칭 및 검색 시에는 앞서 추출한 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 점군 데이터, 그리고 점군 데이터 간의 위상학적 관계를 입력받음. 입력된 점군 데이터의 형상 정보와 위상학적 관계 정보는 공정배관계장도 및 플랜트 3차원 데이터베이스로부터 추출한 정보와의 비교를 위해 그래프 형태로 변환함.
- 이와 동시에 해당 공정배관계장도 및 플랜트 3차원 데이터베이스를 입력받게 되며, 공정배관계장도 및 플랜트 3차원 데이터베이스로부터 추출하는 정보를 요약하면 다음 <표 2-4-10>과 <표 2-4-11>과 같음. 플랜트 기기 매칭 및 검색을 위해 공정배관계장도 및 플랜트 3차원 데이터베이스로부터 추출하는 분석 대상 정보, 형상 정보, 위상학적 정보는 모두 그래프 형태로 변환함.

<표 2-4-10> 공정배관계장도 및 플랜트 3차원 데이터베이스로부터 추출하는 분석 대상 및 형상 정보 (다음 페이지에 계속)

구분	종류	정보 예시 (태그 또는 규격)
분석 대상 정보	기기	DV-2101
		PU-2101A
		PU-2101S
	밸브 및 제어기기	Check Valve 1-10″
		Gate Valve 1-10″
		Gate Valve 2-10″
		Globe Valve 2-10″
		Globe Valve 1-14″

<표 2-4-10> 공정배관계장도 및 플랜트 3차원 데이터베이스로부터 추출하는 분석 대상 및 형상 정보 (이전 페이지에 이어)

구분	종류	정보 예시 (태그 또는 규격)
분석 대상 정보	배관	10″-EC-21006-A26
		10″-EC-21008-A26
		10″-EC-21039-A26
		14″-EC-21007-A26
		14″-EC-21038-A26
형상 정보	기기	2,600*7,700*5,200 (mm)
		1,750*750*1,200 (mm)
		1,750*750*1,200 (mm)
	밸브 및 제어기기	400*400*1,400 (mm)
		400*400*1,400 (mm)
		600*650*1,100 (mm)
		600*550*600 (mm)
		650*850*950 (mm)
형상 정보	배관	127.0 (mm)
		127.0 (mm)
		127.0 (mm)
		177.8 (mm)
		177.8 (mm)

<표 2-4-11> 공정배관계장도로부터 추출하는 위상학적 정보

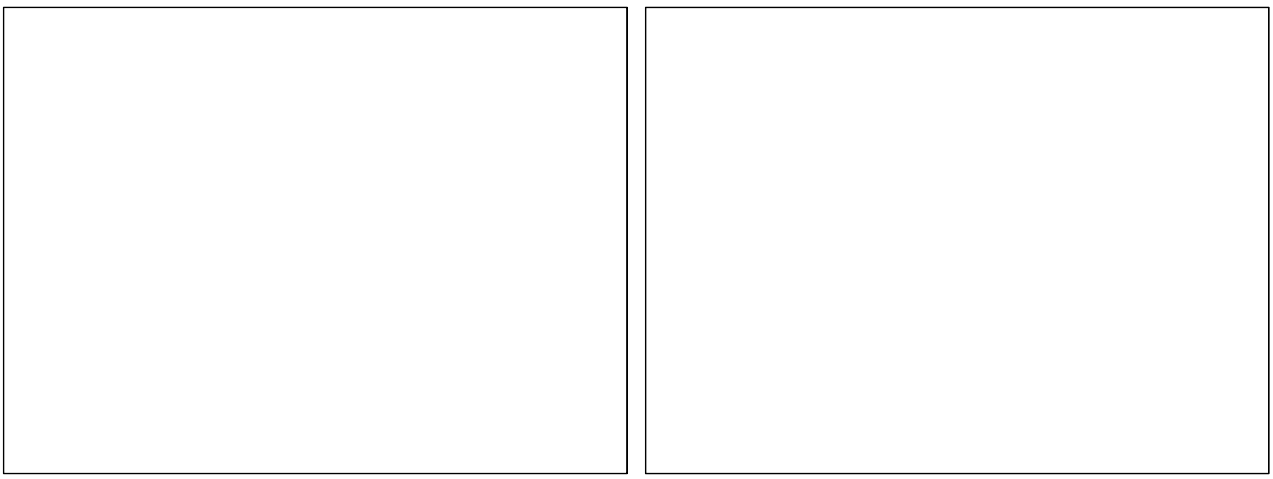
태그	To	From	밸브 및 제어기기
10″-EC-21006	DV-2101	HE-2101	-
10″-EC-21008	RE-2101	PU-2101A	Check Valve 1-10″ Gate Valve 1-10″ Gate Valve 2-10″ Globe Valve 2-10″
10″-EC-21039	10″-EC-21008-A26	PU-2101S	Check Valve 1-10″ Globe Valve 2-10″
14″-EC-21007	PU-2101A	DV-2101	Globe Valve 1-14″
14″-EC-21038	PU-2101S	14″-EC-21007	Globe Valve 1-14″

- 배관, 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 점군 데이터와 공정배관계장도 및 플랜트 3차원 데이터베이스로부터 변환된 그래프 간의 그래프 매칭 방법을 이용하여 입력받은 데이터 내의 모든 그래프 쌍에 대한 유사도 계산을 수행하며, 두 그래프 간의 유사도가 가장 높은 모델이 최종으로 검색됨.

(다) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 및 테스트베드 적용

○ 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술의 테스트베드 적용 결과

- 다음은 LG화학 CA/EDC 현장에서 획득한 점군 데이터를 대상으로 개발한 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성 평가 결과를 요약하여 나타낸 것임.
  - 다음 <그림 2-4-25(a)>는 가까운 위치에 설치되어 있는 서로 다른 형태의 펌프를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-25> (a) PU-2801A (상), PU-2801S (하), (b) PU-2805A (상), PU-2805S (하)

  - 다음 <표 2-4-12>와 <표 2-4-13>은 공정배관계장도로부터 추출한 정보를 배관과 기기를 기준으로 정리하여 나타낸 것임.

<표 2-4-12> 공정배관계장도로부터 추출한 배관과 기기 간의 연결 관계 예시 (배관 기준)

태그	규격	To	From
2″-WW-28044-A10	2″	DV-2802	**PU-2801A**
2″-WW-28046-A10	2″	2″-WW-28044-A10	**PU-2801S**
3″-WW-28043-A10	3″	**PU-2801A**	DV-2801
3″-WW-28045-A10	3″	**PU-2801S**	3″-WW-28043-A10
4″-WW-28011-A10	4″	**PU-2805A**	TK-2801
4″-WW-28013-A10	4″	**PU-2805S**	4″-WW-28011-A10
3″-WW-28012-A10	3″	HE-2801A	**PU-2805A**
3″-WW-28014-A10	3″	3″-WW-28012-A10	**PU-2805S**
1″-WW-28021-A10	1″	TK-2801	**PU-2805A**

<표 2-4-13> 공정배관계장도로부터 추출한 배관과 기기 간의 연결 관계 예시 (기기 기준)

태그	To	From
PU-2302S	6″-EC-23044-A26-N	4″-EC-23045-A26-N
PU-2302A	6″-EC-23044-A26-N	4″-EC-23005-A26-N
PU-2305S	3″-EC-23065-A26-N	3″-EC-23066-A26-N
PU-2805A	3″-EC-23013-A26-N	3″-EC-23014-A26-N
PU-2808A	8″-EC-28003-A26-N	6″-EC-28004-A26-N
PU-2303A	6″-EC-23008-A26-N	3″-EC-23009-A26-N
PU-2303S	6″-EC-23046-A26-N	3″-EC-23047-A26-N
PU-2301A	2″-EC-23006-A26-PP	2″-EC-23007-A26-PP
PU-2301S	2″-EC-23042-A26-PP	2″-EC-23043-A26-PP

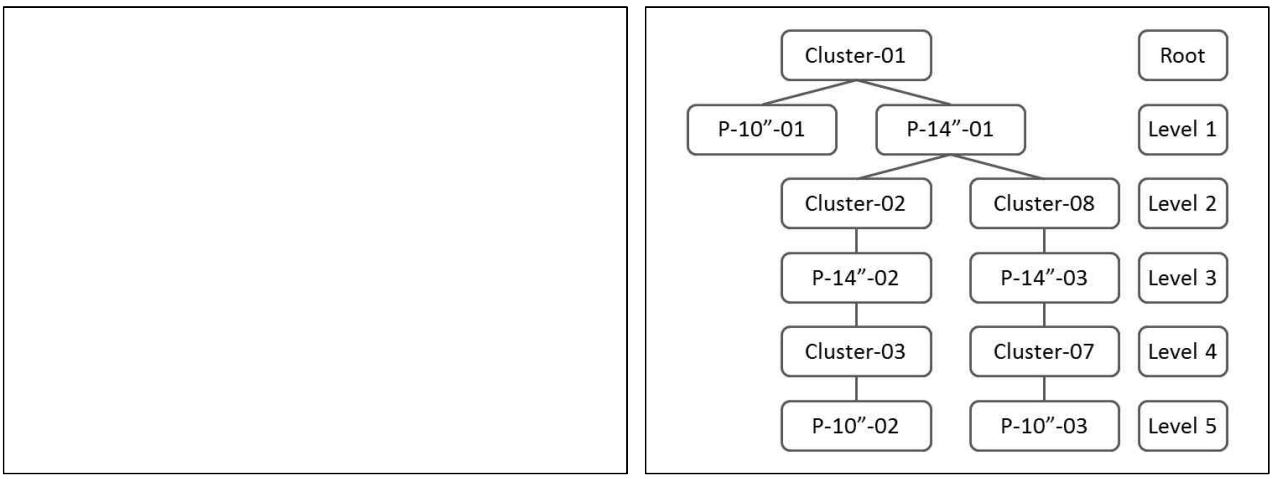
- 제안된 기술의 적용에 따른 플랜트 기기 매칭 및 검색 정확도는 100%로 나타남. 개발한 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술의 적용 검토 결과가 비록 뛰어난 성능을 보였으나 기술 자문을 통해 추후 제안된 기술 적용 시 발생 가능한 문제점 및 한계점을 논의함.

○ 기술 자문을 통한 기술 적용 결과 검토 및 개선사항 도출
- 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 추후 적용 시 발생 가능한 해당 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고, 이에 대한 개선사항을 도출하기 위해 손봉수 교수가 내부 연구진으로 참여하여 기술 자문을 실시함.
- 기술 적용 검토 결과, 실제 운영 중인 플랜트 시설에는 배관과 밸브 및 제어기기 사이 또는 배관과 기기 사이의 가림현상으로 인한 데이터 불완전성이 매우 높음. 따라서 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 점군 데이터로부터의 위상학적 정보 추출 시 가림현상으로 인해 배관과 밸브 및 제어기기 연결 또는 배관과 기기 연결 부분에 대한 데이터가 일부 누락된 경우에도 적용 가능한 관계 정보 유추 과정 도입의 필요성이 제기됨. 관계 정보 유추 과정을 도입할 경우 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체가 복잡하게 얽혀있어 불완전성이 높다 하더라도 배관 점군 데이터, 밸브 및 제어기기 점군 데이터, 기기 점군 데이터 간의 위상학적 정보 추출이 가능하여 플랜트 기기 매칭 및 검색 시 오류를 최소화 할 수 있음.

(라) 개선사항 반영을 통한 기술 개선 및 고도화

○ 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 프레임워크 개선
- 앞선 기술 적용 검토 결과에서 제기된 의견에 따라 배관 점군 데이터, 밸브 및 제어기기 점군 데이터, 기기 점군 데이터 간의 위상학적 정보 추출 시, 관계 정보 유추 과정을 도입하기 위한 개선 방안을 도출함. 이에 따라 기존에 구축된 기술 개발 프레임워크를 개선하고, 이를 다시 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발에 반영함.
- 다음 <그림 2-4-26>은 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개선 및 고도화를 위해 추가로 개발한 관계 정보 유추 기술 적용 과정을 요약하여 나타냄.

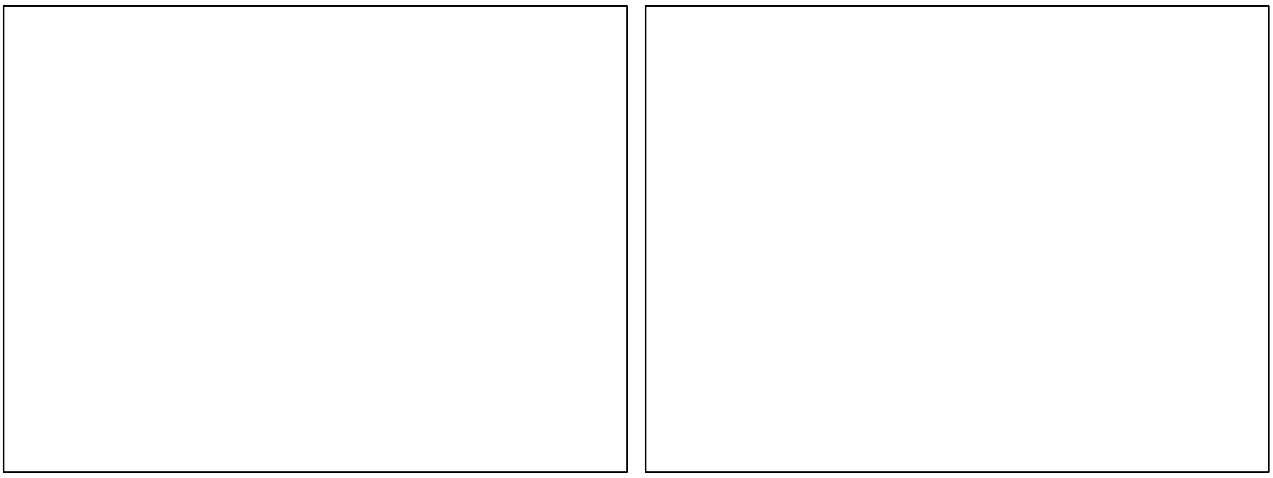
- <그림 2-4-26(a)>는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 점군 데이터 추출 결과를 나타냄. <그림 2-4-26(b)>는 <그림 2-4-26(a)> 내의 배관, 밸브 및 제어기기, 또는 기기 점군 데이터로부터 관계 정보 유추를 통해 추출한 위상학적 정보를 그래프 형태로 나타낸 것임.



(a) (b)

<그림 2-4-26> (a) 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 점군 데이터 추출 결과, (b) 관계 정보 유추를 통해 추출한 위상학적 정보의 그래프 표현 예시

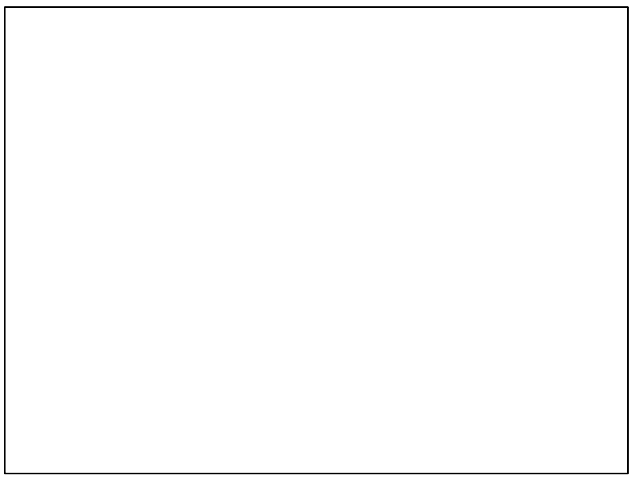
- 다음 <그림 2-4-27>은 공정배관계장도로부터의 위상학적 정보 추출 및 표현 과정을 요약하여 나타낸 것임. <그림 2-4-27(a)>는 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-4-27(b)>는 <그림 2-4-27(a)>로부터 추출한 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 간의 위상학적 정보를 그래프 형태로 나타낸 것임.



(a) (b)

<그림 2-4-27> (a) LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도 일부, (b) 공정배관계장도로부터 추출한 위상학적 정보의 그래프 표현 예시

- 다음 <그림 2-4-28>은 입력받은 데이터 내의 모든 그래프 쌍에 대해 <그림 2-4-27(a)>와 <그림 2-4-27(b)>에 예시로 표현한 그래프 간의 그래프 매칭 방법을 이용하여 수행한 유사도 계산 결과를 나타냄. 두 그래프 간의 유사도가 가장 높은 모델이 최종으로 검색되어 점군 데이터에 정합된 결과를 나타냄.

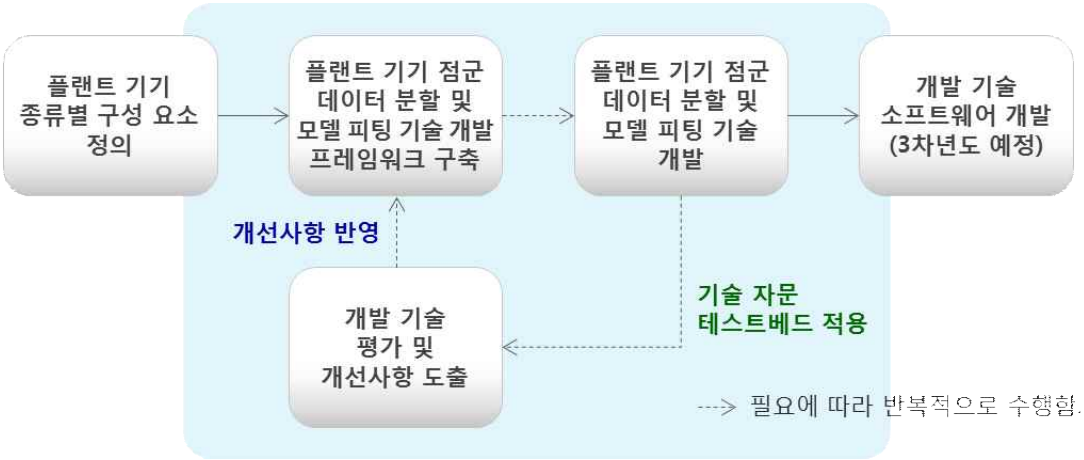


<그림 2-4-28> 고도화된 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 적용 결과

(6) 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발

○ 플랜트 시설에서 획득한 전체 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 배관 점군 데이터 추출 기술과 밸브 및 제어기기 점군 데이터 추출 기술, 마지막으로 2차년도에 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술을 적용함으로써 성공적으로 개별 플랜트 기기에 대한 점군 데이터 추출이 가능함. 본 연구과제에서는 추출된 개별 플랜트 기기에 대한 점군 데이터로부터 플랜트 기기 정보 모델을 구축하기 위해 앞서 기술한 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술을 개발함. 여기서 극히 일부 기기의 경우, 플랜트 3차원 데이터베이스 내에 해당 기기 모델이 존재하지 않아 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술을 이용하여 모델을 구축하는 과정에서 오류가 발생함. 따라서 본 연구과제에서는 앞서 개발한 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 적용 시 오류가 발생하는 기기에 대해, 기기를 구성하는 기하학적 원형을 조합하여 해당 기기의 형상을 복원하는 기술 개발을 위한 프레임워크를 정립 및 구축함. 구축된 프레임워크를 기반으로 2013년 10월부터 4개월간 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발을 추진함.

○ 이 과정에서 이론적 수준의 기술 개발에 그치는 것이 아니라, 연구결과의 최종성과물을 현업에 적용 할 수 있도록 하기 위해 테스트베드를 대상으로 개발한 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성을 평가함. 이와 동시에 기술 자문을 통해 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고, 이를 개선하기 위한 방안을 마련하고 전략을 도출함. 앞서 도출한 문제점과 개선사항을 바탕으로 기존에 구축된 기술 개발 프레임워크를 개선하고, 이를 다시 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발에 반영함 (<그림 2-4-29> 참조).



<그림 2-4-29> 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 절차

(가) 플랜트 기기 종류별 구성 요소 정의

○ 플랜트 기기는 사전 정의된 구성 요소의 조합을 통해 설계하기 때문에 플랜트 기기 설계 시에 사용되는 다양한 종류의 구성 요소에 대한 특성을 파악하고, 이를 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 시 고려하여야 함. 다음 <표 2-4-14>와 <표 2-4-15>는 각각 플랜트 기기 설계 시에 사용되는 헤드 (Head) 부와 연결 (Expansion) 부의 구성 요소를 나타냄.

<표 2-4-14> 플랜트 기기 구성 요소 - 헤드

구성 요소	구성 요소 명칭	예시 그림
헤드 (Head)	Elliptical 헤드 (또는 Torispheric 헤드)	
	반구형 헤드	

<표 2-4-15> 플랜트 기기 구성 요소 - 연결 (다음 페이지에 계속)

구성 요소	구성 요소 명칭	예시 그림
연결 (Expansion)	큐브	
연결 (Expansion)	콘	
	실린더	
	피라미드	

<표 2-4-15> 플랜트 기기 구성 요소 - 연결 (이전 페이지에 이어)

구성 요소	구성 요소 명칭	예시 그림
연결 (Expansion)	Round to Rectangle	

○ 다음 <표 2-4-16>은 앞서 나타낸 헤드부와 연결부의 구성 요소를 이용한 필터 설계의 예시를 나타냄. 표에서 보는 바와 같이, 해당 필터는 Elliptical 헤드와 반구형 헤드로 구성되어 있으며, 그 사이는 실린더-실린더-콘-실린더-콘 순으로 연결되어 있음.

○ 이와 같이, 플랜트 기기의 설계 과정은 기기의 종류에 따라 사전 정의된 구성 요소별로 규격을 정의하기 위한 구성 요소별 매개 변수 정의를 통해 이루어짐.

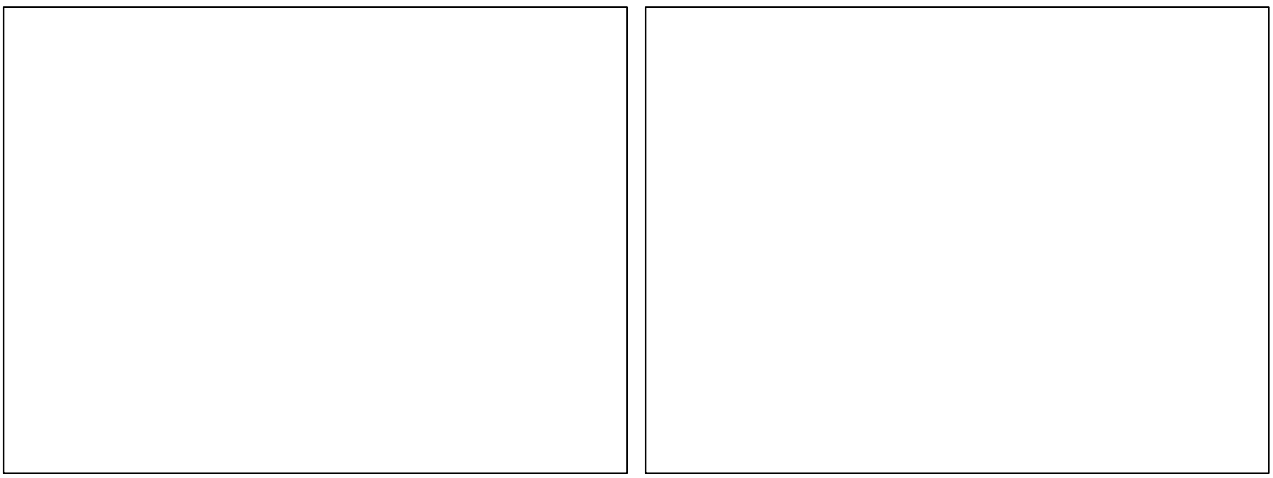
<표 2-4-16> 플랜트 기기 설계 예시 - 필터

기기 종류	구성 요소	
필터		

(나) 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

○ 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 프레임워크
- 본 연구에서는 앞서 분석한 기기 점군 데이터의 특성과 플랜트 기기 설계 시 사용되는 사전 정의된 다양한 구성 요소의 특성을 고려하여 추출된 플랜트 기기 점군 데이터를 기기 구성 요소 단위로 분할하고, 분할된 기기 구성 요소별로 기하학적 원형을 피팅하여 플랜트 기기의 형상을 복원하기 위한 기술 개발 프레임워크를 구축함.

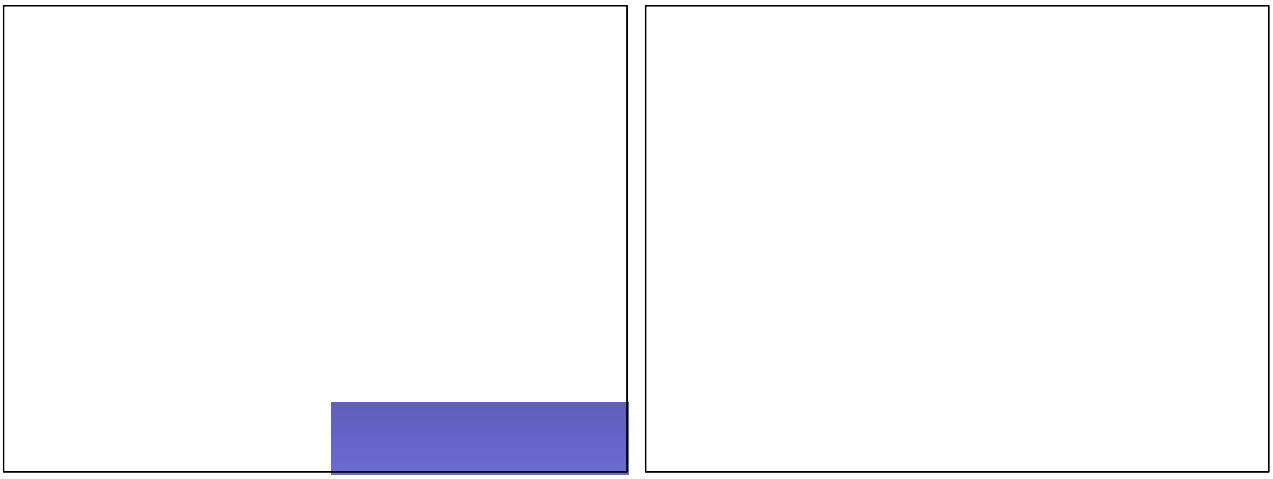
○ 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 프레임워크 상세
- 점군 데이터를 기하학적 원형 단위로 분할하기 위한 방법은 기계 장치, 전자 부품 등에 대한 역설계 (Reverse Engineering) 분야에서 활발하게 연구됨.
- 다음 <그림 2-4-30>은 기계 부품을 역설계하기 위해 해당 점군 데이터를 기하학적 원형 단위로 분할한 연구의 예시를 나타냄. 이들 연구에서는 점군 데이터를 기하학적 원형 단위로 분할하기 위해 지역적 표면 법선을 특징으로 사용함.



(a) (b)

<그림 2-4-30> 기계 부품을 역설계하기 위해 해당 점군 데이터를 기하학적 원형 단위로 분할한 연구 (a) 예시 1 (Chetverikov, 2003), (b) 예시 2 (Goyal 등, 2012)

- 다음 <그림 2-4-31>은 본 연구에서는 2차년도에 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 결과를 나타내며, 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 결과를 입력받아, 지역적 표면 법선 특징을 사용하여 플랜트 기기를 구성하는 구성 요소 단위로 이를 분할함.



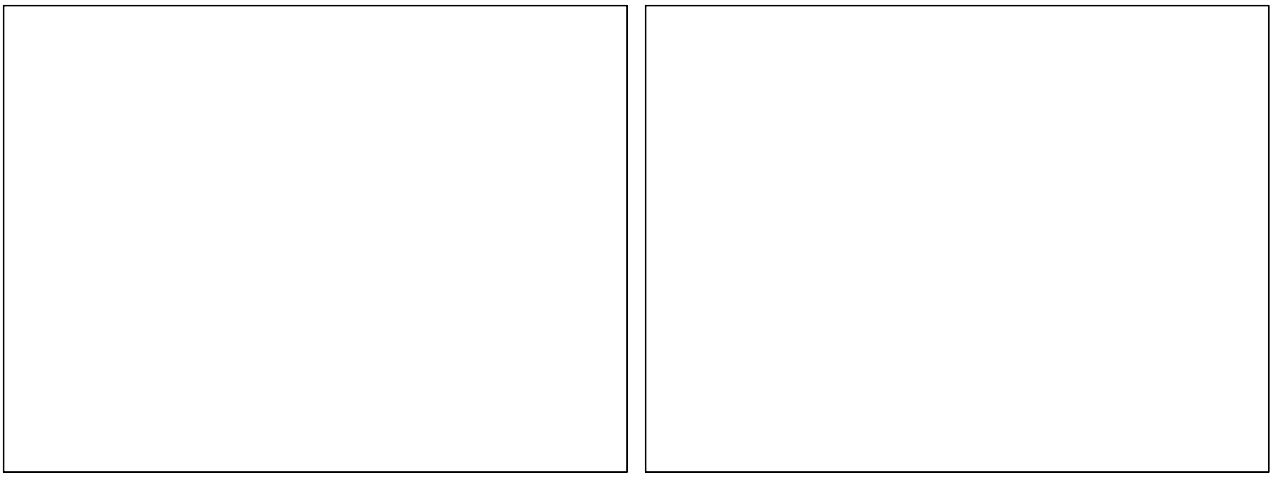
(a) (b)

<그림 2-4-31> 2차년도에 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 결과 (a) 펌프, (b) 열교환기

(다) 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토

○ 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술에 대한 기술 자문을 통한 기술 검토 및 개선사항 도출

- 구축된 기술 개발 프레임워크를 기반으로 하여 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발을 완료함에 따라, 다음은 기술 자문을 위해 LG화학 CA/EDC 현장을 대상으로 하여 개발한 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 적용 결과를 요약하여 나타낸 것임.
  - 다음 <그림 2-4-32(a)>와 <그림 2-4-32(b)>는 각각 상기 <그림 2-4-31(a)>와 <그림 2-4-31(b)>의 기기에 대한 점군 데이터를 입력받아, 개발한 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술을 적용한 결과를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-32> 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 적용 결과 (a) 펌프, (b) 열교환기

- 지역적 표면 법선 특징을 이용하여 플랜트 기기를 구성하는 구성 요소 단위로 분할하고, 분할된 기기 구성 요소별로 기하학적 원형을 피팅하는 과정을 거쳐 최종으로 복원된 플랜트 기기의 형상을 나타냄.

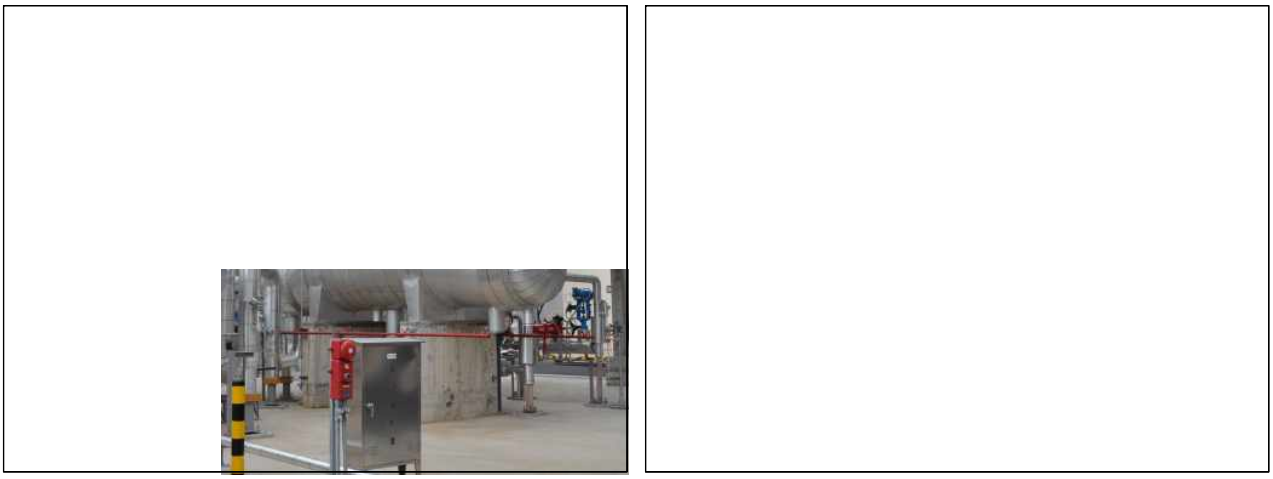
○ 기술 자문을 통한 기술 적용 결과 검토 및 개선사항 도출
- 제안된 기술의 적용에 따른 플랜트 기기 형상 복원 기술의 적용 검토 결과가 비록 뛰어난 성능을 보였으나 기술 자문을 통해 추후 제안된 기술 적용 시 발생 가능한 문제점 및 한계점을 논의함.
- 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 추후 적용 시 발생 가능한 해당 기술의 문제점 및 한계점을 검토하고, 이에 대한 개선사항을 도출하기 위해 손봉수 교수가 내부 연구진으로 참여하여 기술 자문을 실시함.
- 플랜트 기기 표면의 점군 데이터는 표면의 높은 반사율, 야외 환경에서의 레이저 스캐너를 이용한 데이터 획득 등으로 인해 노이즈를 수반하여 부정확한 특성을 가짐. 제안된 지역적 표면 법선 특징을 사용한 점군 데이터 분할 방법은 점군 데이터의 부정확한 특성에 민감한 단점이 있음. 따라서 점군 데이터의 부정확한 특성에도 효과적으로 점군 데이터를 분할할 수 있는 방법의 필요성이 제기됨. 이를 통해 부정확성이 높은 점군 데이터의 분할 시 오류를 최소화 할 수 있음.

○ 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 프레임워크 개선
- 앞선 기술 적용 검토 결과에서 제기된 의견에 따라 점군 데이터의 부정확한 특성에도 효과적으로 점군 데이터를 분할할 수 있는 방법을 개발하기 위한 방안을 도출함. 점군 데이터 분할 시에 지역적 표면 법선 특징이 갖는 한계점을 보완하기 위해 지역적 표면 일관성 (Local Surface Consistency) 특징을 분할 과정에 추가함 (Weinmann 등, 2013). 이에 따라 기존에 구축된 기술 개발 프레임워크를 개선하고, 이를 다시 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발에 반영함.

(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

○ 테스트베드를 대상으로 개발한 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성을 분석 및 평가하고자 함. 테스트베드를 대상으로 획득한 점군 데이터를 선정하여 개발한 기술을 적용하고 현장적용성을 분석 및 평가한 결과, 점군 데이터의 부정확한 특성에도 불구하고 효과적으로 플랜트 기기 형상 복원이 가능함을 파악함.

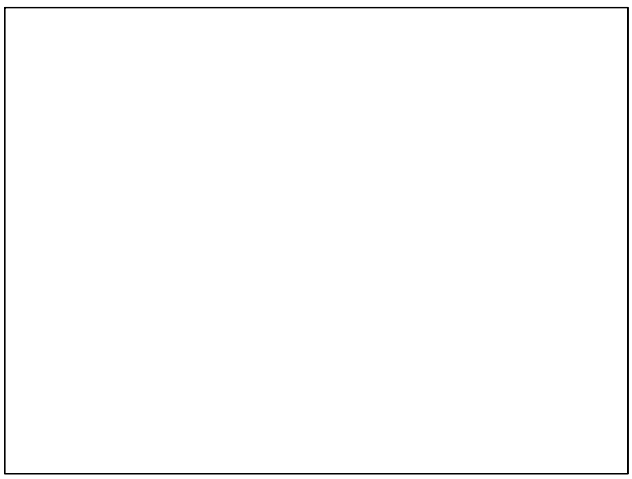
○ 다음은 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 실험 결과에 대한 일부를 요약하여 나타낸 것임.
- 다음은 LG화학 4AA 현장에서 획득한 점군 데이터를 대상으로 개발한 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성 평가 결과를 요약하여 나타낸 것임.
  - 다음 <그림 2-4-33>은 서로 다른 방향에서 바라본 실험 대상에 대한 사진을 나타냄.



(a) (b)

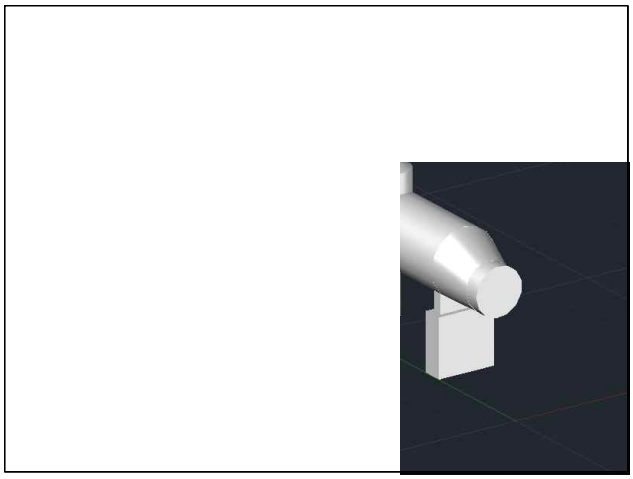
<그림 2-4-33> LG화학 4AA 현장을 대상으로 한 기술 적용 대상 사진 (a) 방향 1, (b) 방향 2

- 다음 <그림 2-4-34>는 LG화학 4AA 현장에서 획득한 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술, 플랜트 밸브 및 제어기기 점군 데이터 추출 기술, 2차년도에 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술을 적용한 결과를 나타냄.



<그림 2-4-34> 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술, 플랜트 밸브 및 제어기기 점군 데이터 추출 기술, 그리고 2차년도에 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 결과

- 다음 <그림 2-4-35>는 플랜트 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 점군 데이터를 입력받아 고도화된 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 적용을 통해 복원된 플랜트 기기 정보 모델을 나타냄.



<그림 2-4-35> 고도화된 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 적용 결과

(7) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완

(가) 운영 중인 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축

○ 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립

- 개발한 기술의 현장적용성을 평가하기 위해서는 대규모 플랜트 시설 내에 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 파악할 수 있는 3차원 점군 데이터의 확보가 요구됨. 플랜트 시설 내에는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체가 복잡하게 얽혀 있어 단일 위치에서 점군 데이터를 획득하는 경우, 서로 다른 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체에 의한 가림현상이 발생함.
- 이와 같이 복잡한 플랜트 시설에서 레이저 스캐너를 이용하여 완전한 플랜트 점군 데이터를 확보하기 위해서는 여러 위치에서 점군 데이터를 획득하여야 함. 다섯 개의 테스트베드는 각각 배관, 밸브 및 제어기기, 기기, 구조체의 종류 및 배치가 상이함. 이에 따라 테스트베드별 특성을 고려한 점군 데이터 획득 계획 수립이 필요함.
- 규모가 크고 복잡한 플랜트 시설 내에 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 포함하도록 점군 데이터를 획득하기 위해 본 연구과제에서는 공정배관계장도 (Piping and Instrument Diagram, P&ID)를 활용함. 공정배관계장도는 플랜트 시설 내에 설치되어 있는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 정보를 포함하고 있어, 이를 활용하여 배관으로 연결되는 기기와 기기 간의 관계를 미리 파악함으로써 점군 데이터 획득 위치를 선정하기 위한 계획을 수립함.

- 테스트베드별 데이터 획득 계획 수립 결과
  - 선정된 다섯 개의 테스트베드는 각각 담당하는 공정이 달라 설치되어 있는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기의 종류가 서로 상이한 특성을 지님. 따라서 테스트베드별로 데이터 획득 일정, 획득 위치 및 횟수, 투입 인원, 사용 장비 종류를 계획함. 다음 <표 2-4-17>은 다섯 개의 테스트베드를 대상으로 총 620회에 걸친 점군 데이터 획득 실험을 위한 점군 데이터 획득 계획을 요약하여 나타냄.

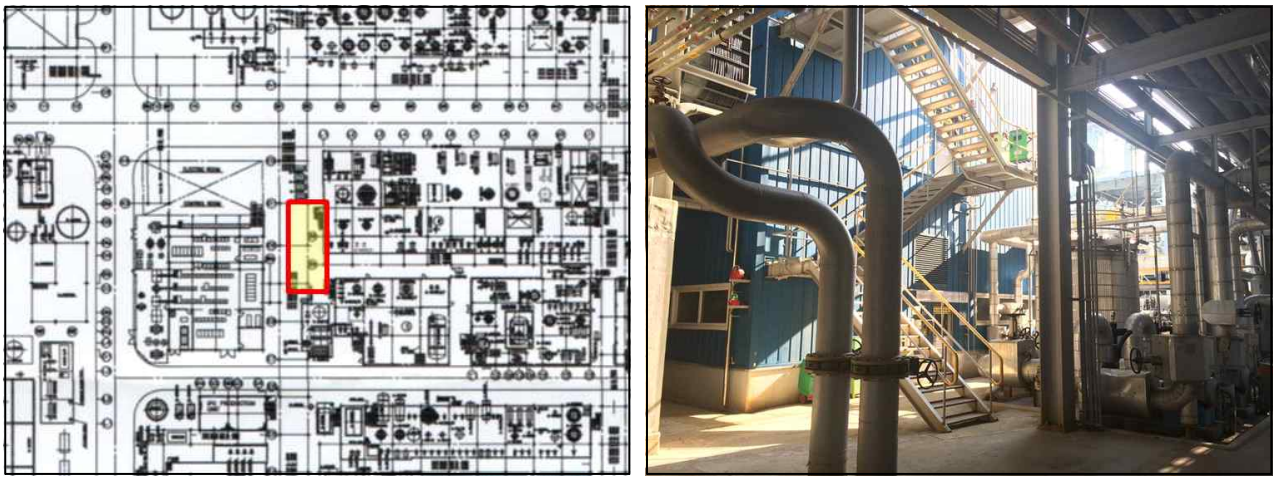
<표 2-4-17> 다섯 개의 테스트베드에 대한 점군 데이터 획득 계획

대상	데이터 획득 일시	인원	데이터 획득 횟수	사용 장비
금호미쓰이화학 여수공장	2014년 11월 14일 09:30~18:00	5	18	C10, Focus^{3D}
	2014년 11월 19일 09:30~18:00	4	15	C10
	2014년 11월 20일 09:30~18:00	4	15	C10
	2014년 11월 26일 09:30~18:00	4	29	C10, Focus^{3D}
	2014년 11월 27일 09:30~18:00	4	31	C10, Focus^{3D}
여천NCC 여수공장	2014년 11월 13일 09:30~11:00	2	6	C10, Focus^{3D}
	2014년 12월 08일 09:30~18:00	4	16	C10, DPI-7
	2014년 12월 10일 09:30~18:00	4	16	C10, Focus^{3D}
	2014년 12월 12일 09:30~18:00	5	11	C10, Focus^{3D}
대우조선해양 옥포조선소	2014년 11월 21일 11:00~17:30	5	14	C10
	2014년 12월 05일 09:30~18:00	5	13	C10, Focus^{3D}, DPI-7
두산중공업 창원공장	2015년 01월 22일 09:30~18:00	5	15	C10, Focus^{3D}
한국중부발전 서울화력발전소	2015년 01월 27일 09:30~18:00	5	13	C10, P20

○ 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득

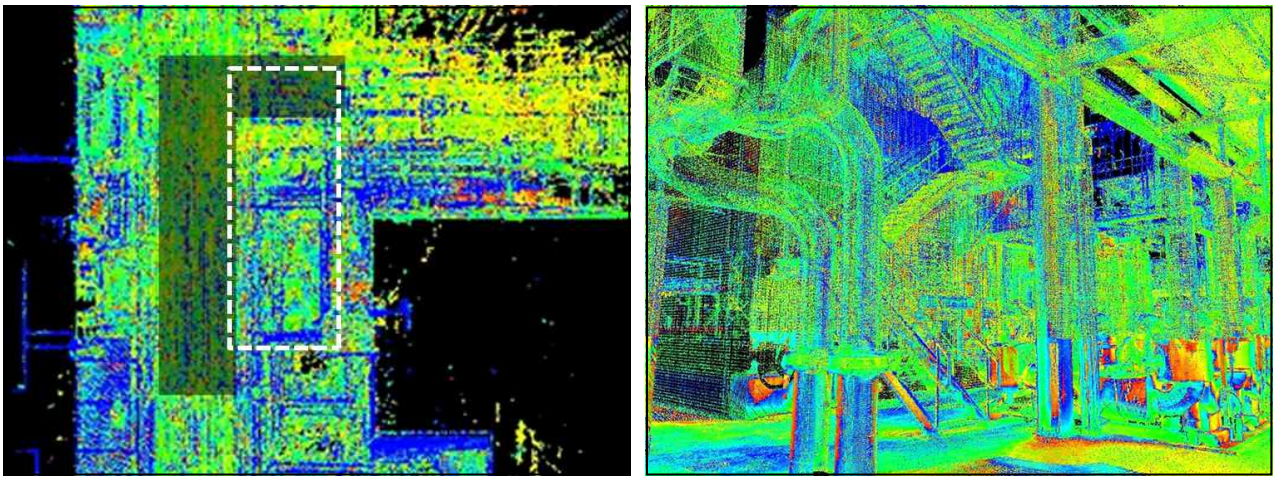
- 금호미쓰이 여수공장을 대상으로 한 데이터 획득 현황

  - 금호미쓰이 여수공장을 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2014년 11월 14일부터 11월 27일까지 총 5회에 걸쳐 공장을 방문하였으며, 일곱 개 구역에 대해 총 108곳의 위치에서 데이터를 획득을 완료함. 다음 <그림 2-4-36>과 <그림 2-4-37>은 금호미쓰이 여수공장 구역 1에 대한 2차원 도면과 2014년 11월 14일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

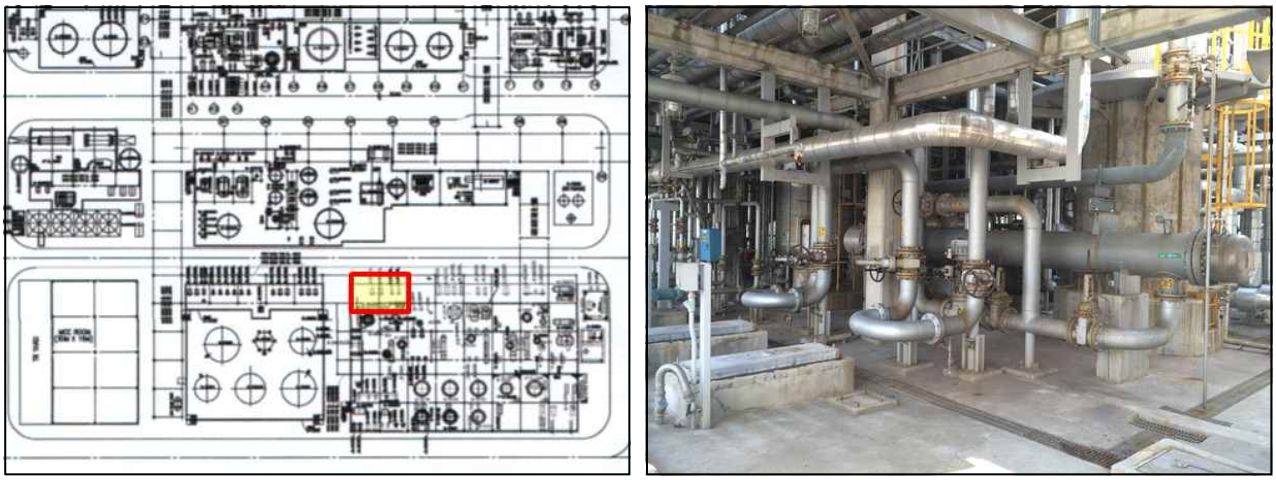
<그림 2-4-36> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 1에 대한 데이터 획득 결과
(a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)



(a) (b)

<그림 2-4-37> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 1에 대한 데이터 획득 결과 (a) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (b) 점군 데이터 (3D View)

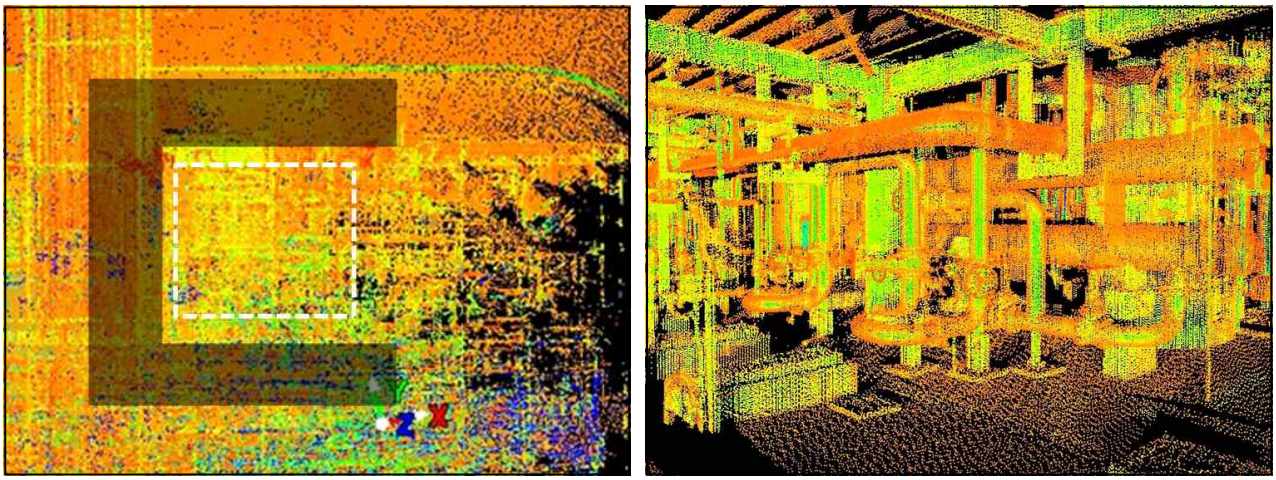
- 다음 <그림 2-4-38>은 금호미쓰이 여수공장 구역 2에 대한 2차원 도면과 2014년 11월 19일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-38> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 2에 대한 데이터 획득 결과 (a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

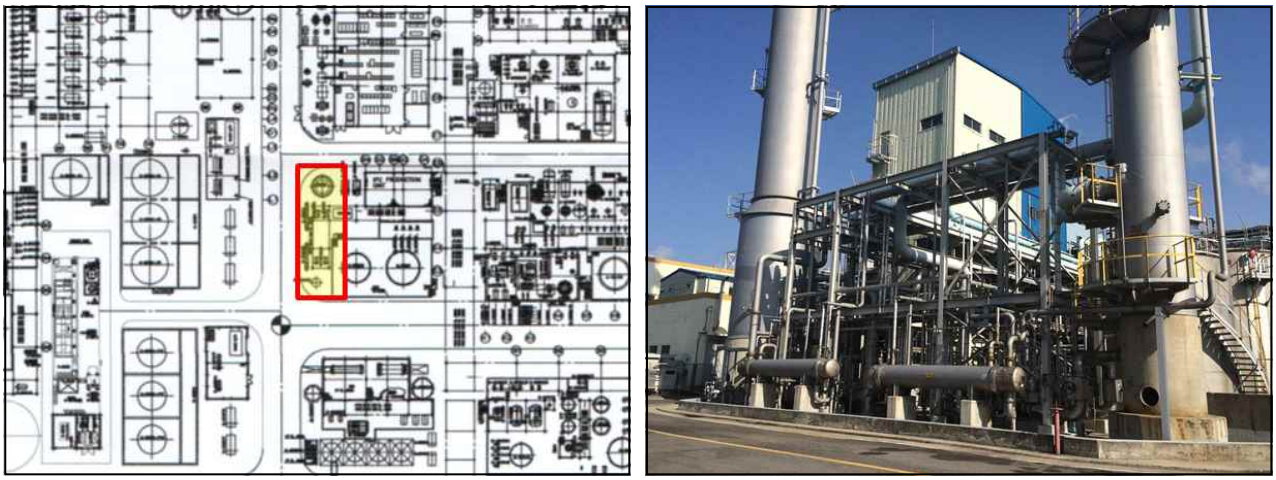
- 다음 <그림 2-4-39>는 금호미쓰이 여수공장 구역 2에 대해 2014년 11월 19일에 해당 구역에서 획득한 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-39> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 2에 대한 데이터 획득 결과
(a) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (b) 점군 데이터 (3D View)

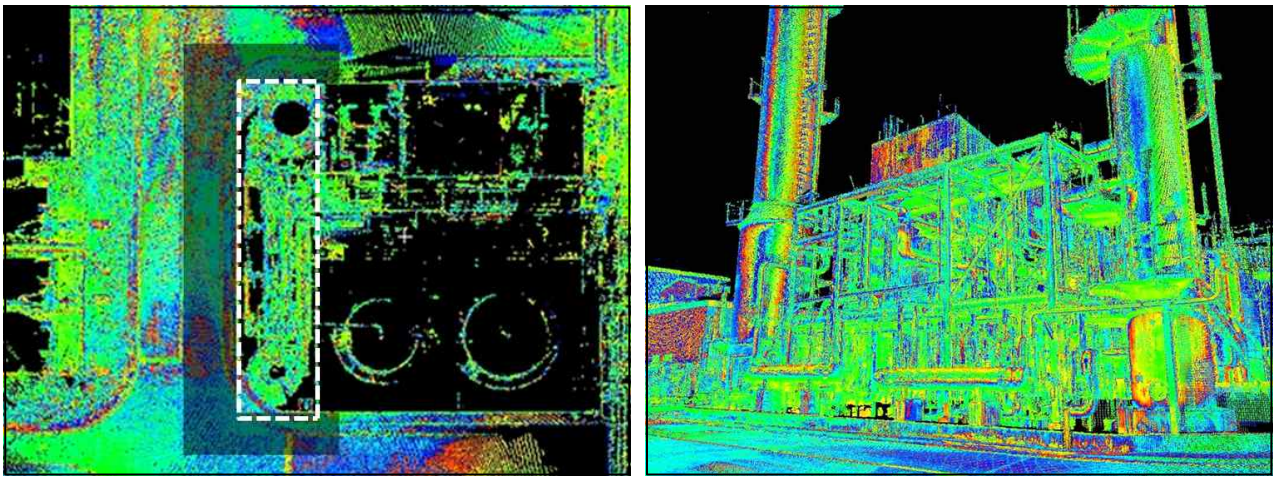
- 다음 <그림 2-4-40>은 금호미쓰이 여수공장 구역 3에 대한 2차원 도면과 2014년 11월 20일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진을 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-40> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 3에 대한 데이터 획득 결과
(a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

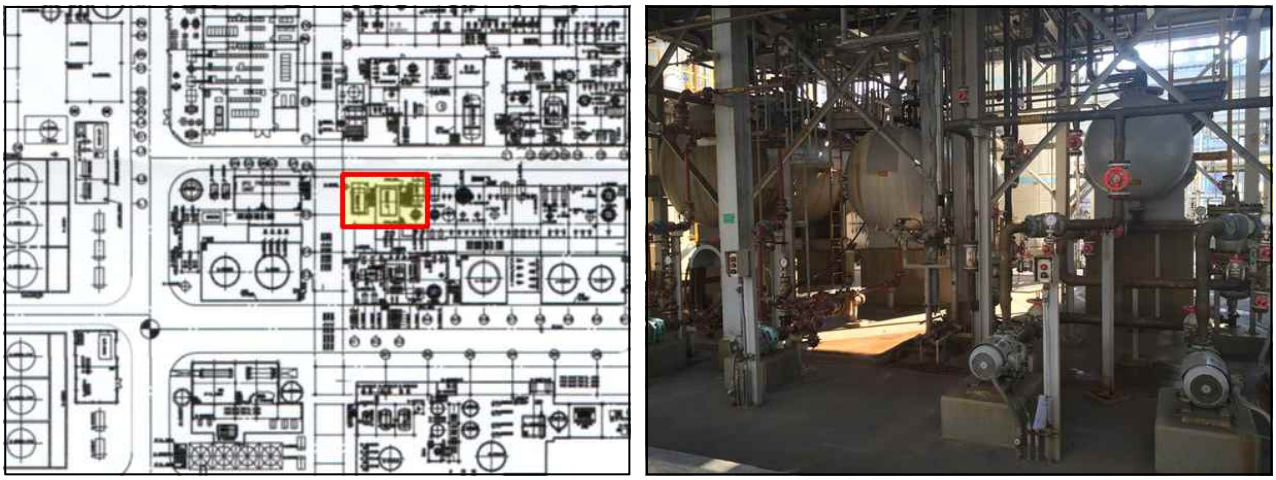
- 다음 <그림 2-4-41>은 금호미쓰이 여수공장 구역 3에 대해 2014년 11월 20일에 해당 구역에서 획득한 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-41> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 3에 대한 데이터 획득 결과
(a) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (b) 점군 데이터 (3D View)

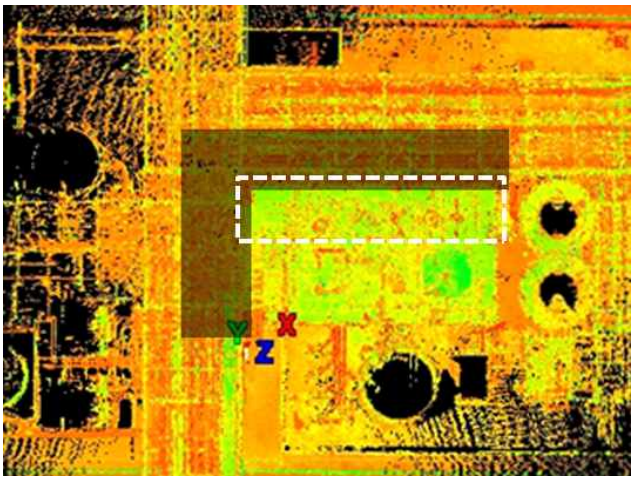
- 다음 <그림 2-4-42>는 금호미쓰이 여수공장 구역 4에 대한 2차원 도면과 2014년 11월 26일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진을 나타냄.



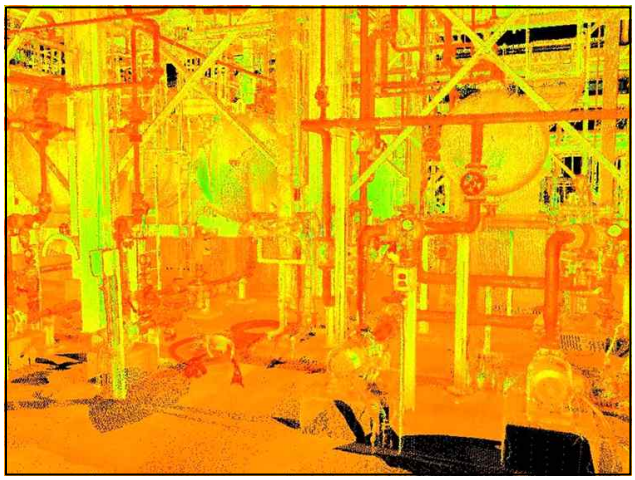
(a) (b)

<그림 2-4-42> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 4에 대한 데이터 획득 결과
(a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

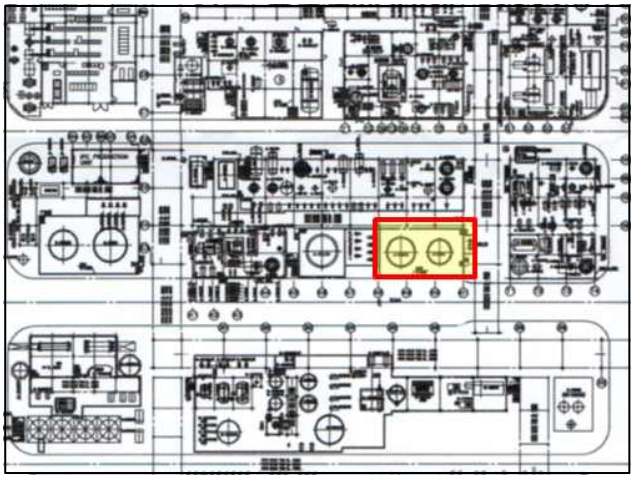
- 다음 <그림 2-4-43>은 금호미쓰이 여수공장 구역 4에 대해 2014년 11월 26일에 해당 구역에서 획득한 점군 데이터와 구역 5에 대한 2차원 도면과 동일 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a)



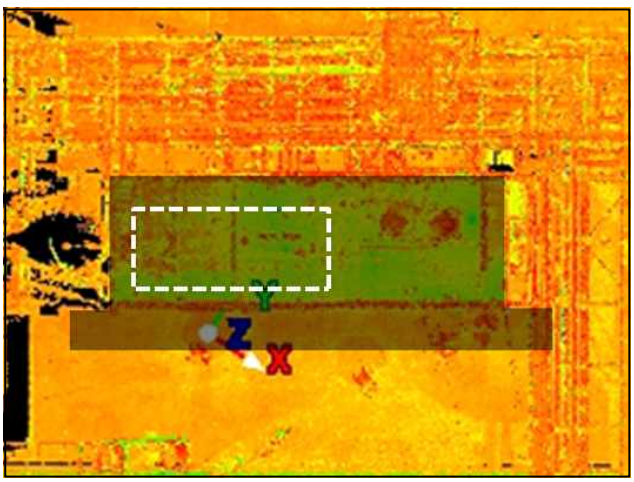
(b)



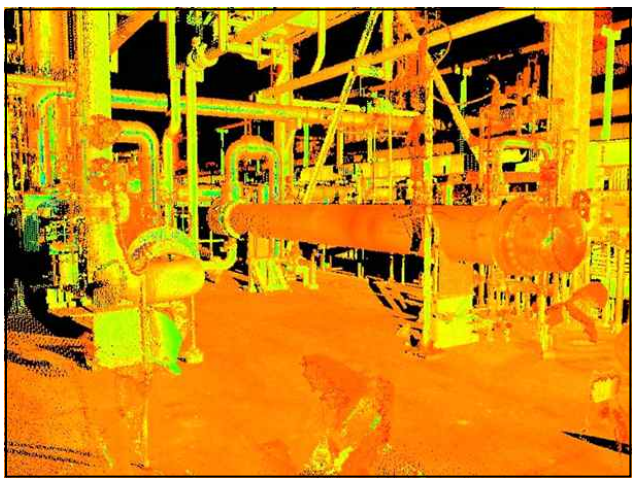
(c)



(d)



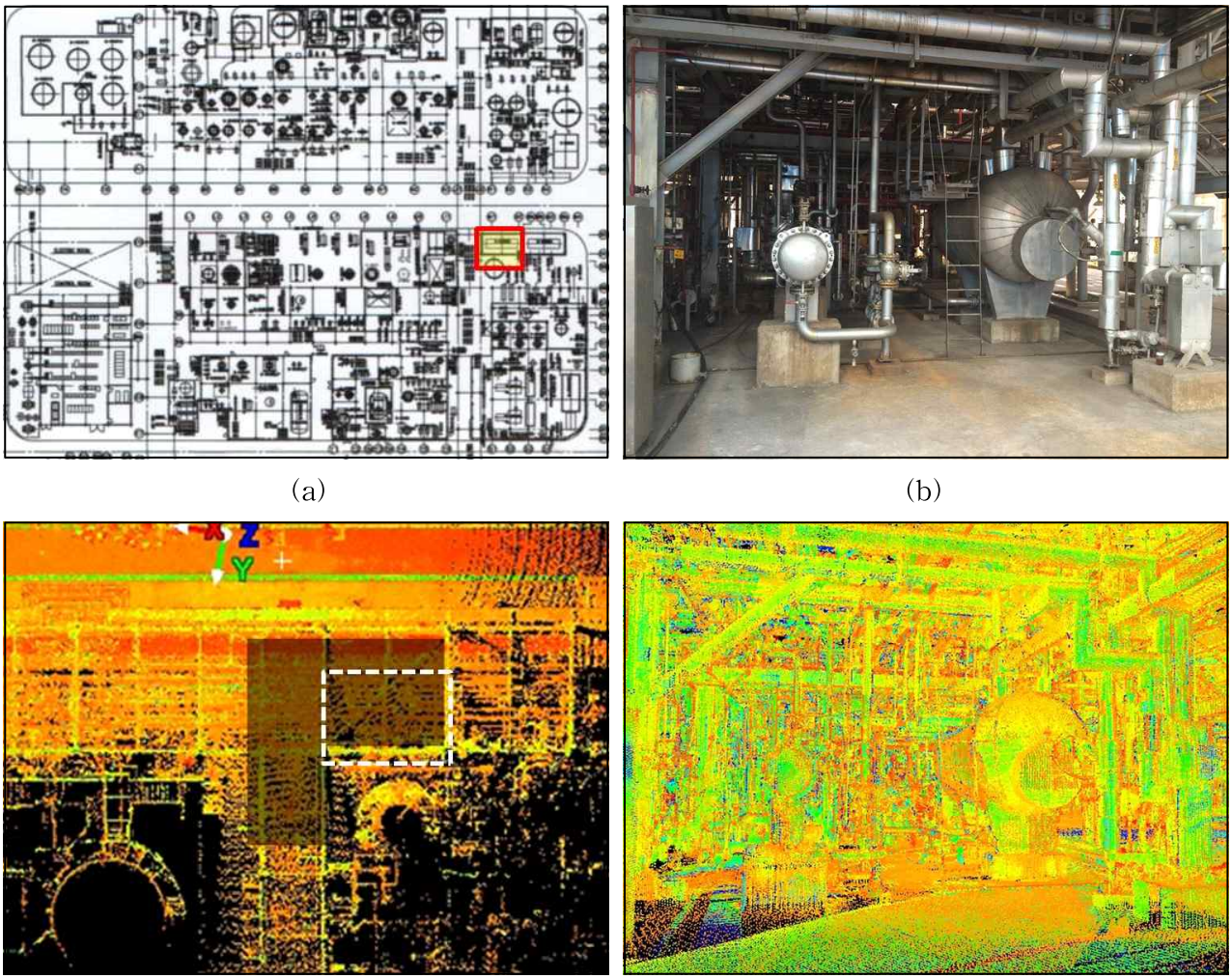
(e)



(f)

<그림 2-4-43> (a) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 4에 대한 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (b) (a)의 3D View, (c) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 5에 대한 현장 사진, (d) (c)에 대한 점군 데이터, (e) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (f) 점군 데이터 (3D View)

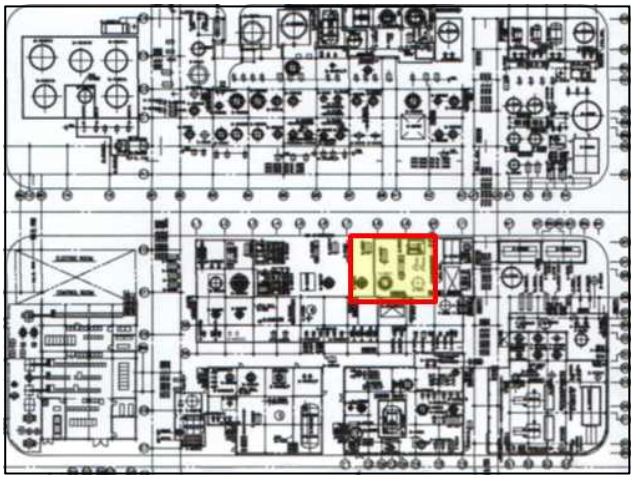
- 다음 <그림 2-4-44>와 <그림 2-4-45>는 금호미쓰이 여수공장 구역 6, 구역 7에 대한 2차원 도면과 2014년 11월 27일에 해당 구역에서 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

(c) (d)

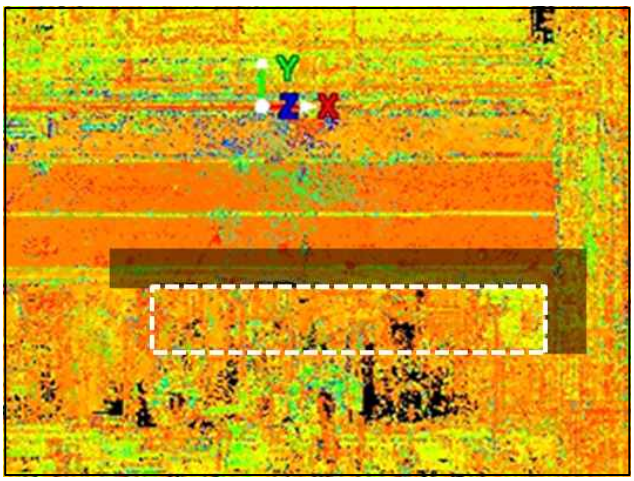
<그림 2-4-44> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 6에 대한 데이터 획득 결과
(a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View), (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)



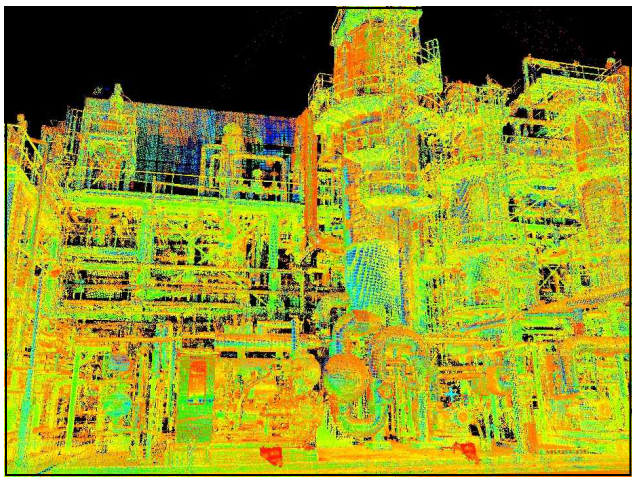
(a)



(b)



(c)



(d)

<그림 2-4-45> 금호미쓰이화학 여수공장 구역 7에 대한 데이터 획득 결과
(a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View), (c) 점군 데이터 (Top View) - 스캐너 설치 및 접근 가능 구역 표시, (d) 점군 데이터 (3D View)

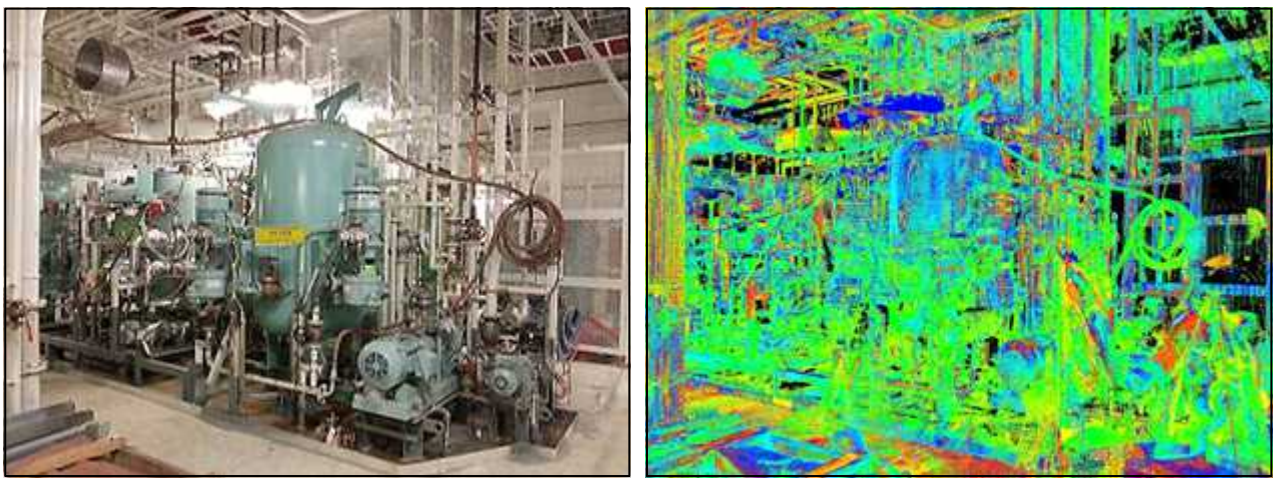
- 여천NCC 여수공장을 대상으로 한 데이터 획득 현황
  - 여천NCC 여수공장을 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2014년 11월 13일부터 12월 12일까지 총 4회에 걸쳐 공장을 방문하였으며, 네 개 구역에 대해 총 56곳의 위치에서 데이터를 획득을 완료함.
  - 다음 <그림 2-4-46>은 2014년 11월 13일에 여천NCC 여수공장 구역 1에 대해 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-46> 여천NCC 여수공장 구역 1에 대한 데이터 획득 결과 (a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

- 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트를 대상으로 한 데이터 획득 현황
  - 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트를 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2014년 11월 21일부터 12월 5일까지 총 2회에 걸쳐 공장을 방문하였으며, 두 개 구역에 대해 총 34곳의 위치에서 데이터를 획득을 완료함.
  - 다음 <그림 2-4-47>은 2014년 11월 21일에 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 1에 대해 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.

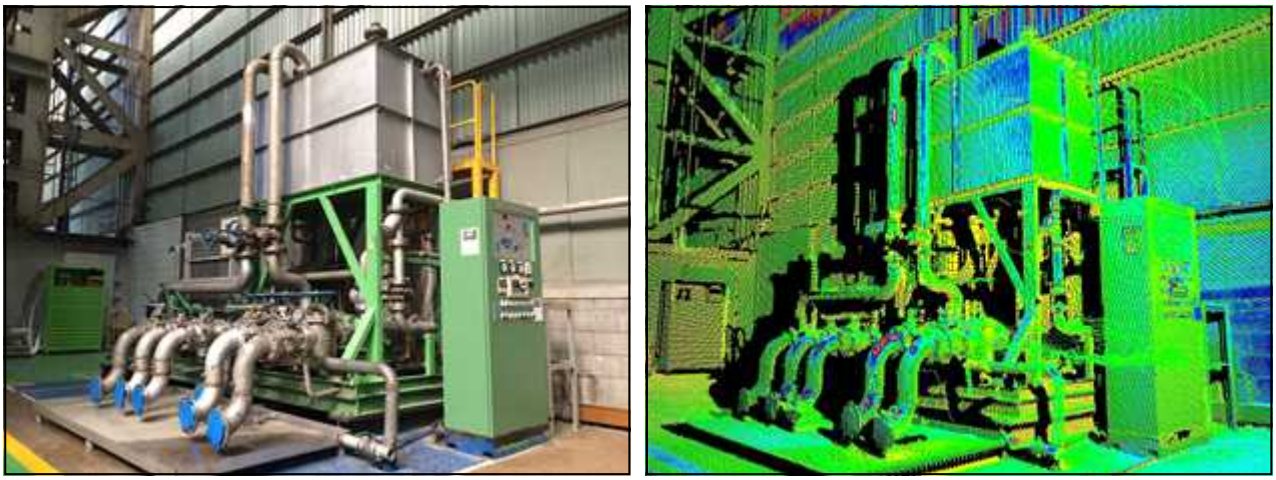


(a) (b)

<그림 2-4-47> 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 1에 대한 데이터 획득 결과 (a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

- 두산중공업 창원공장을 대상으로 한 데이터 획득 현황
  - 두산중공업 창원공장을 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2015년 01월 22일에 공장을 방문하였으며, 한 개 구역에 대해 총 43곳의 위치에서 데이터를 획득을 완료함.

- 다음 <그림 2-4-48>은 2015년 01월 22일에 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 1에 대해 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-48> 두산중공업 창원공장 구역 1에 대한 데이터 획득 결과 (a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

- 한국중부발전 서울화력발전소를 대상으로 한 데이터 획득 현황
  - 한국중부발전 서울화력발전소를 대상으로 점군 데이터를 획득하기 위해 2015년 01월 27일에 공장을 방문하였으며, 한 개 구역에 대해 총 32곳의 위치에서 데이터를 획득을 완료함.
  - 다음 <그림 2-4-49>는 2015년 01월 27일에 한국중부발전 서울화력발전소 구역 1에 대해 획득한 현장 사진 및 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

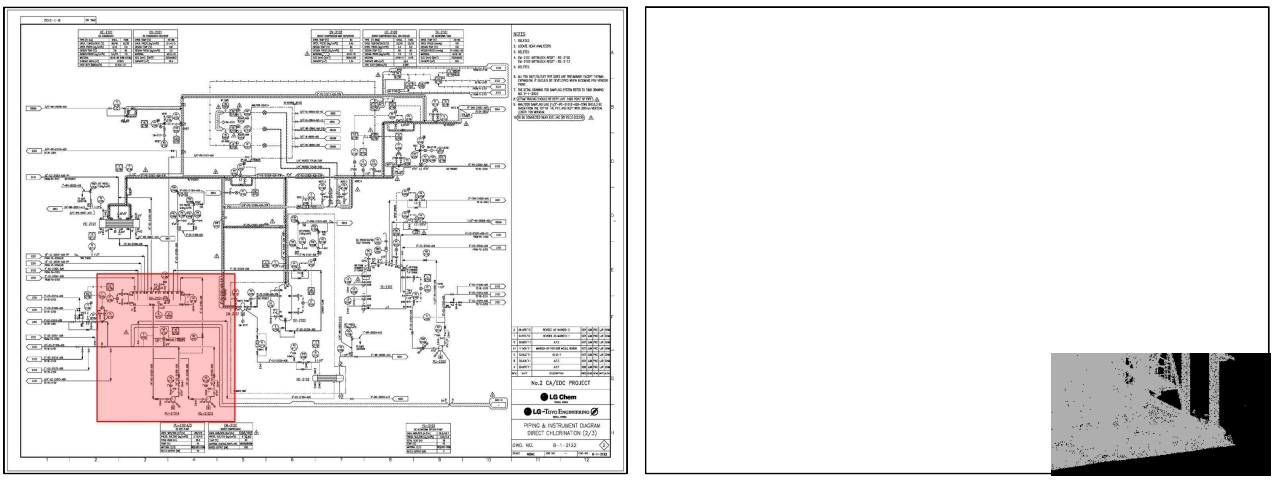
<그림 2-4-49> 한국중부발전 서울화력발전소 구역 1에 대한 데이터 획득 결과 (a) 현장 사진, (b) 점군 데이터 (3D View)

(나) 자동화된 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완

○ 고도화된 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술의 테스트베드 적용 결과

- 다음은 LG화학 CA/EDC 현장에서 획득한 점군 데이터를 대상으로 개선사항 반영을 통해 고도화된 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성 평가 결과를 요약하여 나타낸 것임.

- 다음 <그림 2-4-50(a)>는 LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-4-50(b)>는 공정배관계장도 내에 붉은색으로 표시한 영역에 대한 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-50> (a) LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도 일부, (b) 공정배관계장도 내 붉은색으로 표시한 영역에 대한 점군 데이터

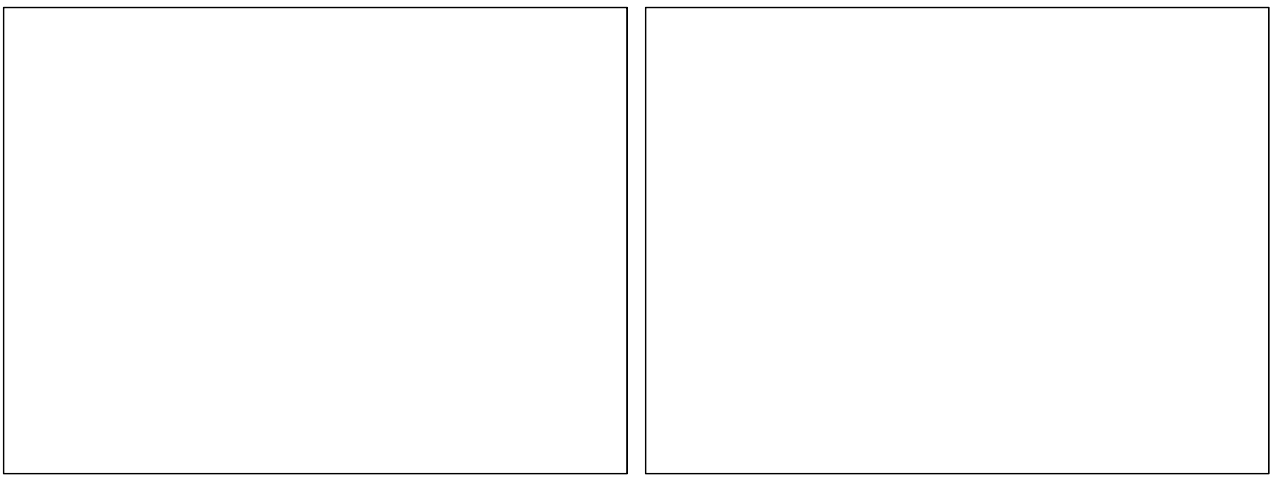
- 다음 <그림 2-4-51(a)>는 1차년도에 개발한 점군 데이터 분할 기술 적용 결과를 나타내며, <그림 2-4-51(b)>는 기술 개선 및 고도화 과정에서 추가로 개발한 구조체 점군 데이터 제거 기술 적용을 통한 구조체 점군 데이터 추출 결과를 나타냄. 플랜트 배관 추출 기술 적용에 앞서 원본 점군 데이터로부터 구조체 점군 데이터 추출 결과를 제거함.



(a) (b)

<그림 2-4-51> (a) 1차년도에 개발한 Smoothness Constraint 기반의 점군 데이터 분할 기술 적용 결과, (b) 구조체 점군 데이터 추출 결과

- 다음 <그림 2-4-52(a)>는 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술 적용 결과를 나타내며, <그림 2-4-52(b)>는 구조체 점군 데이터 제거 과정을 추가함으로써 고도화된 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 결과를 나타냄. 그림에서 보는 바와 같이, 기술의 한계점으로 지적되었던 구조체 점군 데이터 과정의 도입을 통해 현장적용성을 극대화함.

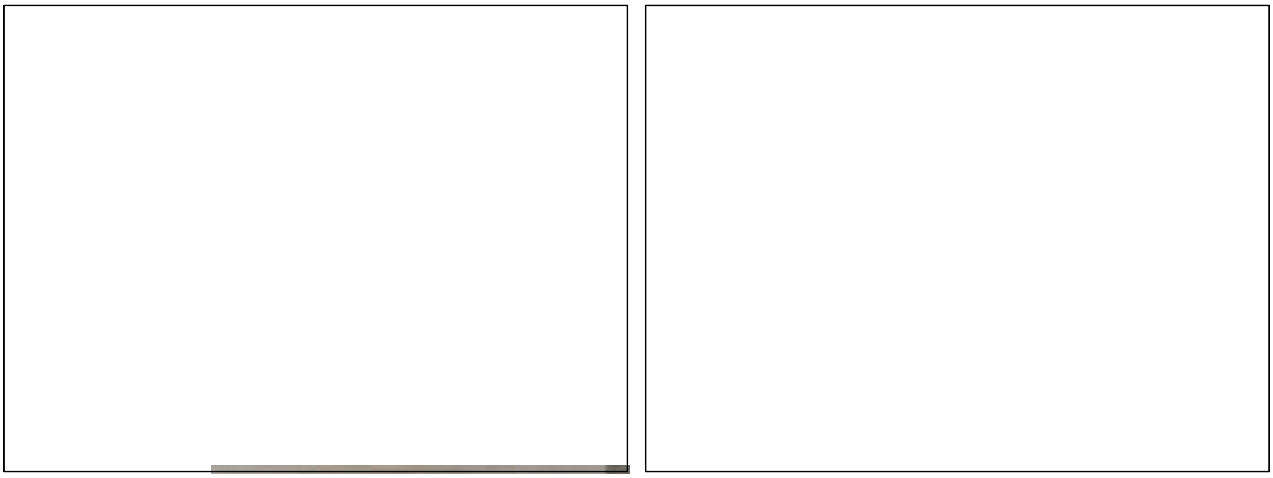


(a) (b)

<그림 2-4-52> (a) 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술 적용 결과, (b) 고도화된 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 결과

○ 고도화된 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술의 테스트베드 적용 결과

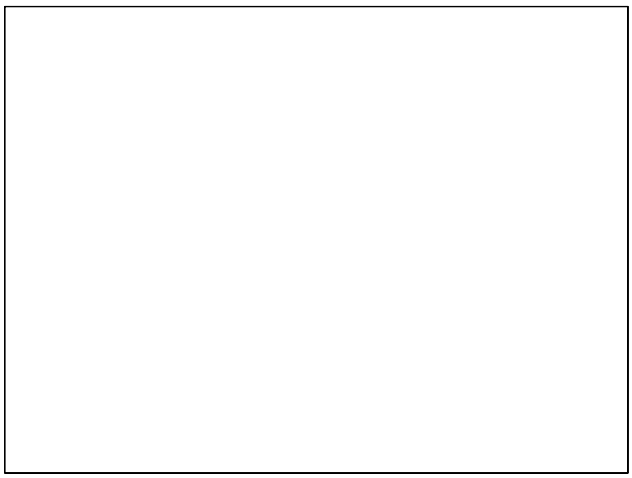
- 다음 <그림 2-4-53>은 서로 다른 방향에서 바라본 실험 대상에 대한 사진을 나타냄.



(a) (b)

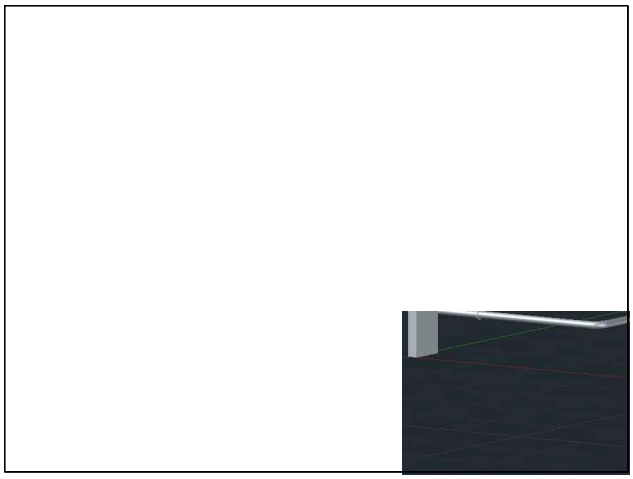
<그림 2-4-53> LG화학 4AA 현장을 대상으로 한 기술 적용 대상 사진 (a) 방향 1, (b) 방향 2

- 다음 <그림 2-4-54>는 LG화학 4AA 현장에서 획득한 점군 데이터로부터 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술, 플랜트 밸브 및 제어기기 점군 데이터 추출 기술, 2차년도에 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술을 적용한 결과를 나타냄.



<그림 2-4-54> 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술, 플랜트 밸브 및 제어기기 점군 데이터 추출 기술, 그리고 2차년도에 개발한 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 결과

- 다음 <그림 2-4-55>는 플랜트 배관, 밸브 및 제어기기, 기기 점군 데이터를 입력받아 고도화된 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 적용을 통해 복원된 플랜트 기기 정보 모델을 나타냄.

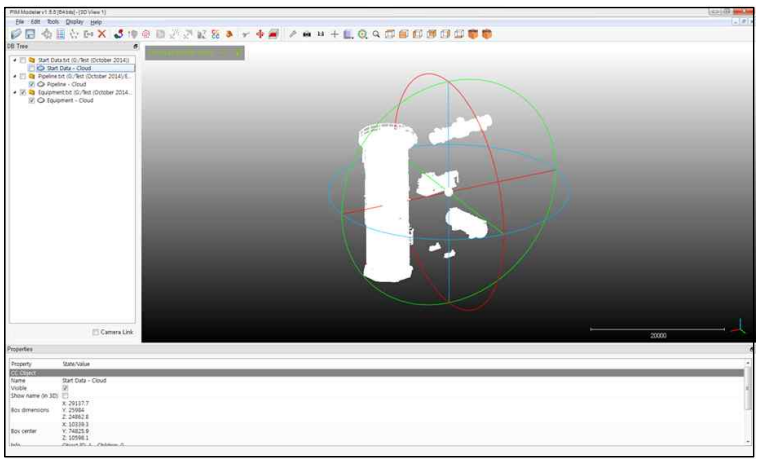


<그림 2-4-55> 고도화된 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 적용 결과

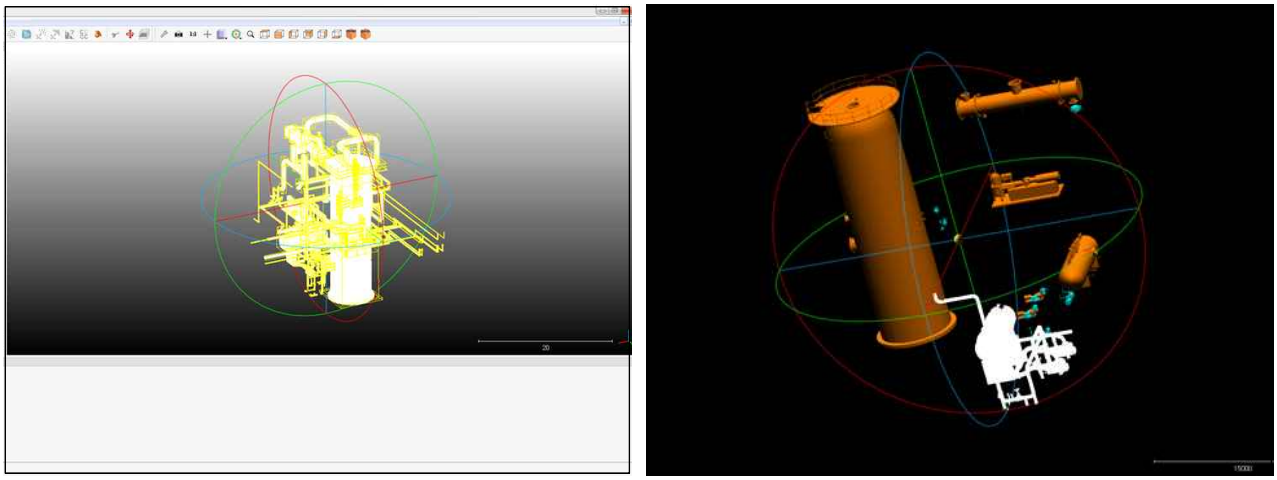
(다) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 결과

○ 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 시스템 개발

- 3차년도 핵심성과인 "자동화된 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 시스템" 개발을 위한 세부 핵심 기술별 모듈 개발 및 통합을 추진함. 사용자의 편의와 3차원 As-Built 모델 구축 작업의 효율성을 고려한 사용자 인터페이스 설계를 위해 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 업체별 소프트웨어의 수동 모델 구축 기능에 대한 사용자 인터페이스 분석을 수행함. 이를 바탕으로 세부 핵심 기술에 대한 기술력 확보를 위해 세부 핵심 기술별 모듈 개발 및 통합 시스템 개발을 수행하였으며, 이를 통해 소프트웨어 개발 및 등록을 완료함. 다음 <그림 2-4-56>과 <그림 2-4-57>은 세부 핵심기술 모듈 개발 결과의 일부를 나타냄.



<그림 2-4-56> 3차원 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 모델 구축 시스템 개발 결과 화면 예시 (PIM Modeler v1.5.5) - 고도화된 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 결과

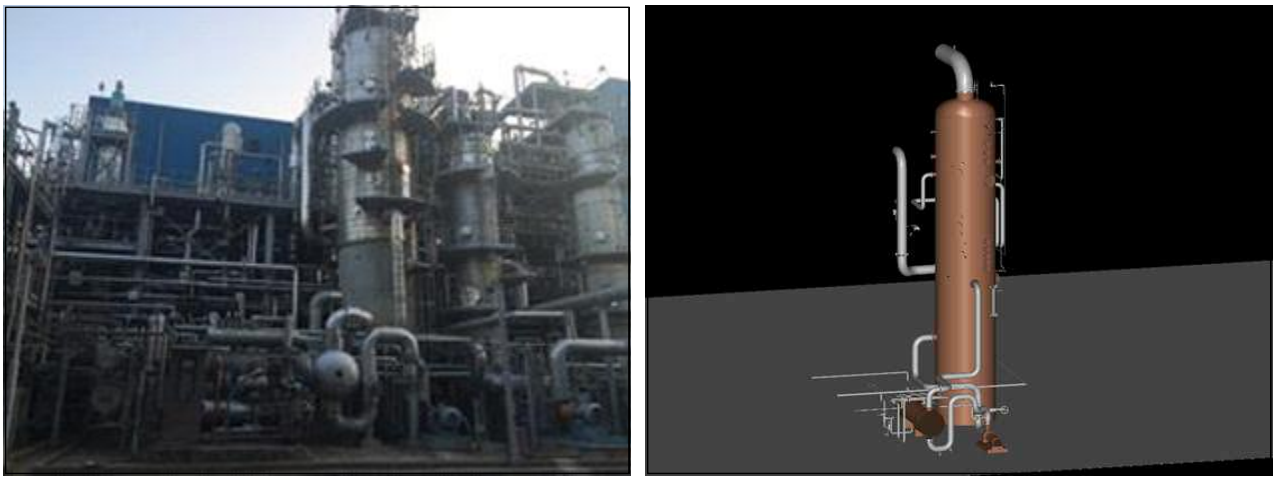


(a) (b)

<그림 2-4-57> (a) 3차원 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 모델 구축 시스템 개발 결과 화면 예시 (PIM Modeler v1.5.5) - 고도화된 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 적용 결과, (b) 사용자 선택에 따른 시각화 방법 변경 (PIM Modeler v1.4.2)

○ 고도화된 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술의 테스트베드 적용 결과

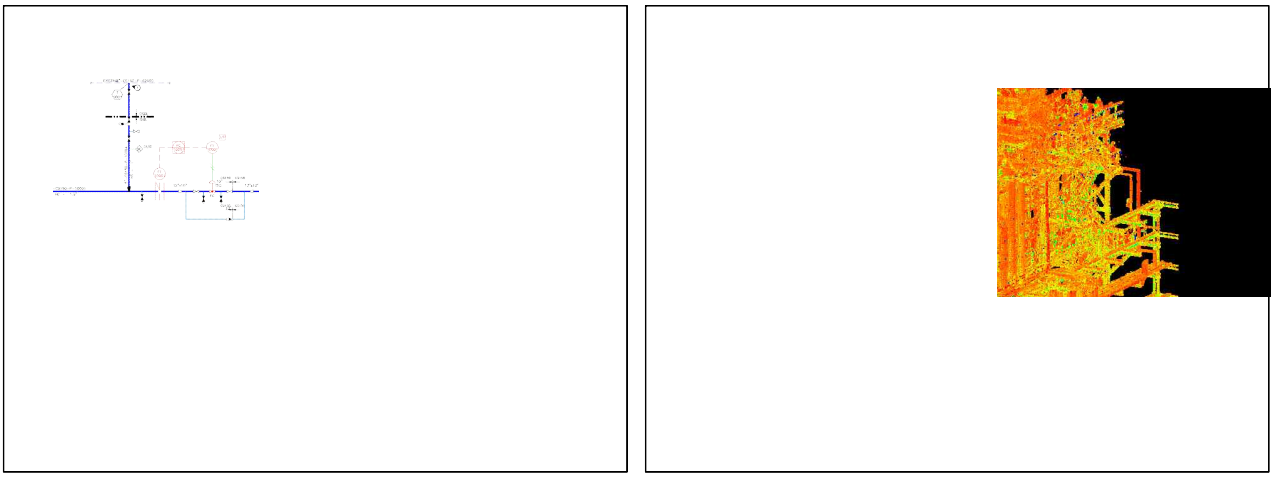
- 다음 <그림 2-4-58>은 금호미쓰이화학 여수공장 구역 2에서 획득한 점군 데이터를 대상으로 개선사항 반영을 통해 고도화된 플랜트 기기 매칭 및 개선 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성 평가 결과를 요약하여 나타낸 것임.



(a) (b)

<그림 2-4-58> (a) 금호미쓰이화학 여수공장 구역 2에 대한 현장 사진, (b) 고도화된 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 적용 결과

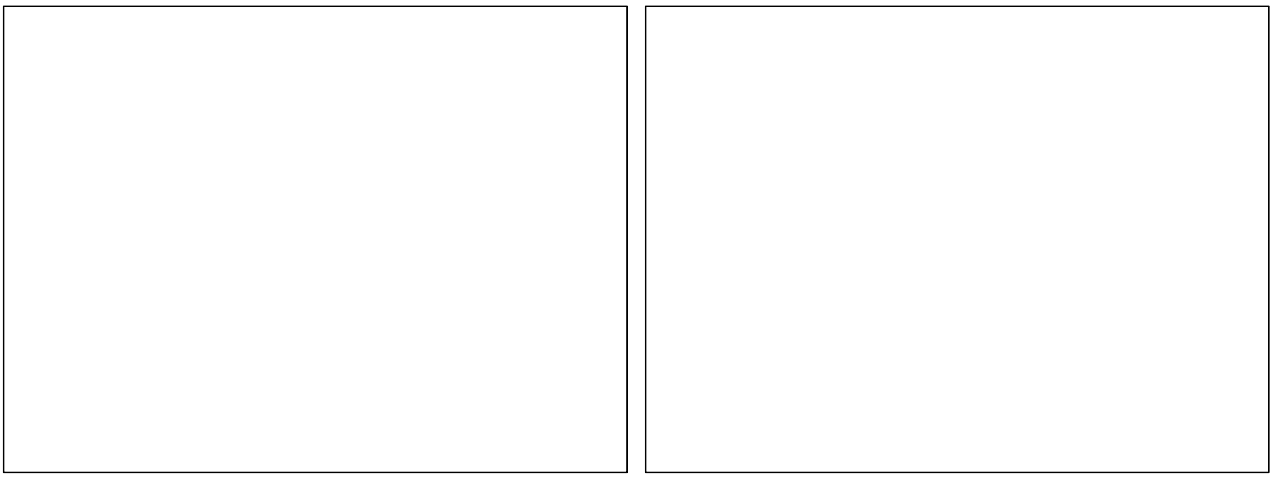
- 다음은 LG화학 CA/EDC 현장에서 획득한 점군 데이터를 대상으로 개선사항 반영을 통해 고도화된 플랜트 기기 매칭 및 개선 기술을 적용하고, 해당 기술의 현장적용성 평가 결과를 요약하여 나타낸 것임. 다음 <그림 2-4-59(a)>는 LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도의 일부를 나타내며, <그림 2-4-59(b)>는 공정배관계장도 내의 영역에 대한 점군 데이터를 나타냄.



(a) (b)

<그림 2-4-59> (a) LG화학 CA/EDC 현장에 대한 공정배관계장도 일부, (b) 공정배관계장도 내의 영역에 대한 점군 데이터

- 다음 <그림 2-4-60(a)>는 1차년도에 개발한 플랜트 배관 점군 데이터 추출 기술 적용 과정에 구조체 점군 데이터 제거 과정을 추가함으로써 고도화된 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 결과를 나타냄.
- <그림 2-4-60(b)>는 점군 데이터 간의 관계 정보 유추 과정을 추가함으로써 고도화된 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 적용 결과를 나타냄. 그림에서 보는 바와 같이, 기술의 한계점으로 지적되었던 불완전한 점군 데이터 간의 관계 정보 유추 과정의 도입을 통해 현장적용성을 극대화함.



(a) (b)

<그림 2-4-60> (a) 고도화된 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 적용 결과, (b) 고도화된 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 적용 결과

제3장 연구목표 달성도

제1절 연구개발 목표 달성도

1. 연차별 연구개발 목표 달성도

가. 1차년도

○ 본 연구과제의 최종목표를 달성하기 위해 수행한 1차년도 연구개발 수행 진도율은 다음 <표 3-1-1>과 같음.

<표 3-1-1> 1차년도 연구개발 수행 진도율

구분 / 핵심성과별 연구개발내용		연구개발기간 ('12.04~'13.02)											진도(%)
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득												100
	완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발												100
	플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발												100
자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템	플랜트 시설에 대한 전체 3차원 점군 데이터로부터 플랜트 배관에 대한 점군 분할을 위한 특성 파악												100
	플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발												100
As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발												100
	개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발												100
	밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발												100

※ : 당초계획, : 실적

○ 본 연구과제의 최종목표를 달성하기 위해 수행한 2차년도 연구개발 수행 진도율은 다음 <표 3-1-2>와 같음.

<표 3-1-2> 2차년도 연구개발 수행 진도율

구분 / 핵심성과별 연구개발내용		연구개발기간 ('13.02~'14.02)													진도(%)
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 As-Built 플랜트 데이터 획득 및 개선														100
	자동화된 3차원 As-Built 플랜트 데이터 획득 및 개선 기술의 검증 및 보완														100
	테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가														100
자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템	플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 개발														100
	플랜트 배관의 중심축을 기반으로 종류 별 배관 분할														100
	분할된 배관의 파라메트릭 모델링 기법을 이용한 표면 모델 구축 기술 개발														100
As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 기기에 대한 점군 추출 기술 개발														100
	개별 기기에 대한 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발														100
	개별 기기의 구성 요소에 대한 모델 단위로의 분할 및 모델 피팅 기술 개발														100

※ : 당초계획, : 실적

○ 본 연구과제의 최종목표를 달성하기 위해 수행한 2차년도 연구개발 수행 진도율은 다음 <표 3-1-3>과 같음.

<표 3-1-3> 3차년도 연구개발 수행 진도율

구분 / 핵심성과별 연구개발내용		연구개발기간 ('14.03~'15.02)												진도 (%)
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템	플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축	■	■											100
	As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완			■	■	■	■	■	■	■				100
	테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가										■	■	■	100
As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축	■	■	■	■	■	■							100
	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완						■	■	■					100
	테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가								■	■	■	■	■	100

2. 핵심성과별 연구개발 목표 달성도

가. 핵심성과 1: 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발

○ 본 연구과제의 핵심성과 1에 대한 연차별 연구개발 목표의 달성도는 다음 <표 3-1-4>와 같음.

<표 3-1-4> 핵심성과 1에 대한 연차별 연구개발 목표의 달성도 (다음 페이지에 계속)

연도	연구수행 내용	달성도 (%)	연구 결과
1차년도	(1) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득	100	(가) 플랜트 시설에 관한 테스트베드 협의/선정
			(나) 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립
			(다) 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력
			(라) 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득

<표 3-1-4> 핵심성과 1에 대한 연차별 연구개발 목표의 달성도 (이전 페이지에 이어)

연도	연구수행 내용	달성도 (%)	연구 결과
1차년도	(2) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발	100	(가) 데이터 특성에 적합한 3차원 점군 데이터 정합 기술 정립
			(나) 플랜트 정보 모델 구축 업체와의 기술교류 및 협력
			(다) 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
	(3) 플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발	100	(가) 데이터 특성에 적합한 이상치 제거 기술 정립
			(나) 전문가 자문을 통한 이상치 제거 기술 검토
			(다) 이상치 데이터 제거 기술 개발
2차년도	(4) 운영 중인 플랜트 시설에서 획득한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선	100	(가) 운영 중인 플랜트 시설에 대한 테스트베드 협의 및 선정
			(나) 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립
			(다) 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득
			(라) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선
	(5) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 검증 및 보완	100	(가) 개발한 기술의 검증 및 보완을 위한 전략 체계 구축
			(나) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 개선사항 도출 및 기술적 보완
			(다) 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템 개발 및 등록
	(6) 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 기술의 현장적용성 평가	100	(가) 테스트베드 적용 계획 수립
			(나) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 현장적용성 평가 계획 수립
			(다) 해당 기술의 테스트베드 적용 및 현장적용성 평가

나. 핵심성과 2: 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발

○ 본 연구과제의 핵심성과 2에 대한 연차별 연구개발 목표의 달성도는 다음 <표 3-1-5>와 같음.

<표 3-1-5> 핵심성과 2에 대한 연차별 연구개발 목표의 달성도 (다음 페이지에 계속)

연도	연구수행 내용	달성도 (%)	연구 결과
1차년도	(1) 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터로부터 플랜트 배관에 대한 점군 분할을 위한 특성 파악	100	(가) 국내/외 플랜트 정보 모델 구축 관련 기술 수준 및 기술 동향 파악
			(나) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 요구사항 분석
			(다) 수요자 요구 반영을 위한 설문

<표 3-1-5> 핵심성과 2에 대한 연차별 연구개발 목표의 달성도 (이전 페이지에 이어)

연도	연구수행 내용	달성도 (%)	연구 결과
1차년도	(2) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발	100	(가) 데이터 특성에 적합한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 정립
			(나) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발
			(다) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완
2차년도	(3) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발	100	(가) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 요구사항 분석
			(나) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
			(다) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
			(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완
	(4) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발	100	(가) 플랜트 배관 파트별 특성 및 파트 간 연결 관계 분석
			(나) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
			(다) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
			(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완
	(5) 플랜트 배관 표면 모델 구축 기술 개발	100	(가) 플랜트 배관 파트별 파라메트릭 모델 자동 생성을 위한 매개 변수 정의
			(나) 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
			(다) 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
			(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완
3차년도	(6) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완	100	(가) 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축
			(나) As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완
			(다) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가

다. 핵심성과 3: 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발

○ 본 연구과제의 핵심성과 3에 대한 연차별 연구개발 목표의 달성도는 다음 <표 3-1-6>과 같음.

<표 3-1-6> 핵심성과 3에 대한 연차별 연구개발 목표의 달성도 (다음 페이지에 계속)

연도	연구수행 내용	달성도 (%)	연구 결과
1차년도	(1) 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발	100	(가) 데이터 특성에 적합한 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 정립
			(나) 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발
			(다) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가
	(2) 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발	100	(가) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 요구사항 분석
			(나) 데이터 특성에 적합한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 정립
			(다) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 개발
	(3) 밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발	100	(가) 데이터 특성에 적합한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 정립
			(나) 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 개발
2차년도	(4) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발	100	(가) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 요구사항 분석
			(나) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
			(다) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 및 테스트베드 적용
			(라) 개선사항 반영을 통한 기술 개선 및 고도화
	(5) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발	100	(가) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 요구사항 분석
			(나) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
			(다) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 및 테스트베드 적용
			(라) 개선사항 반영을 통한 기술 개선 및 고도화
	(6) 기하학적 원형 조합 기반 기기 형상 복원 기술 개발	100	(가) 플랜트 기기 종류별 구성 요소 정의
			(나) 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
			(다) 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
			(라) 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

<표 3-1-6> 핵심성과 3에 대한 연차별 연구개발 목표의 달성도 (이전 페이지에 이어)

연도	연구수행 내용	달성도 (%)	연구 결과
3차년도	(7) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완	100	(가) 운영 중인 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축
			(나) 자동화된 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완
			(다) 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가

제2절 연구개발 성과지표 달성도

1. 총괄 성과지표 달성도

○ 본 연구과제의 총 연구수행기간 동안의 성과지표 달성도는 다음 <표 3-2-1>과 같음.

<표 3-2-1> 총괄 성과지표 달성도 (다음 페이지에 이어)

구분	성과지표	측정방법	목표치	가중치†	달성치
질적 달성 성과	산학연간 기술지원	산학 연간 기술지원 (현장 기술 지도, 기술 상담) 건수	6건	2.67%	10건
	전문가 의견 반영 실적	전문가 의견 수렴 반영 (설문조사, 회의 등) 건수	8건	3.67%	43건
	테스트베드 시험결과의 반영 실적	테스트베드 시험결과의 반영 건수	8건	12.33%	13건
	테스트베드 활용 건수 (횟수/시간)	테스트베드 활용 횟수	8회	12.33%	56회
	현장 적용 건수	기술개발 결과물의 현장 적용 건수	6건	12.33%	42건
	플랜트 배관 모델 구축 기술 개발	플랜트 전문가의 기술에 대한 현장 적용성 검토 평가	2 (높음)	0.67%	2 (높음)
	플랜트 기기 모델 구축 기술 개발	플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가	2 (높음)	0.67%	2 (높음)
	공정 및 공사기간 단축 효과	결과의 적용으로 인한 (기대되는) 관련 공정 단축율 (%)	20% 이상	0.67%	60.95%
	인력 감축 효과	결과의 적용으로 인한 (기대되는)인력 감축에 기여한 정도	20% 이상	0.67%	65%
	기술수준 향상 효과	과제 수행 전과 비교한 관련 기술 수준 향상 정도 (%)	100%	1.00%	106.19%

※ 가중치† 는 소수점 셋째자리에서 반올림하여 소수점 둘째자리까지 표시함.

<표 3-2-1> 총괄 성과지표 달성도 (이전 페이지에 이어)

구분	성과지표	측정방법	목표치	가중치†	달성치
질적 달성 성과	기술격차 축소 효과	선진국과의 기술능력 격차 연수	0년	1.00%	0년
	수요자 요구 반영 실적	수요자 요구 반영 (설문조사) 건수	1건	1.00%	12건
	기술 동향 조사 실적 (국내/외)	시장/산업/기술동향조사 건수	1건	1.33%	1건
양적 달성 성과	SCI급 학술지 게재 논문 건수	국외 SCI급 학술지 게재 논문 건수	4건	16.33%	3건
	학술회의 발표 논문 건수 (국내/외)	국외 학술회의 발표 논문 건수	6건	9.33%	8건
	특허 건수 (국내/외)	총 특허출원/등록 건수	6건	12.00%	11건
	소프트웨어 (S/W) 등록 건수	소프트웨어 (S/W) 등록 건수	3건	5.00%	3건
양적 달성 성과	국제 협력 활성화	국제회의 (워크샵) 개최 횟수	3회	1.67%	4회
		해외 기관과의 국제협약 체결 건수	-		4회 (추가 달성*)
	연구개발 관련 홍보	홍보 (세미나, 워크샵, 정기간행물 발간) 건수	3건	2.00%	4건
	인력 양성 배출 실적	인력 양성 배출 실적	석사 2명	1.33%	석사 5명, 학사 2명
	지침/매뉴얼의 개발 및 보급	관리 지침/매뉴얼의 개발 건수	1건	2.00%	1건
	국내/외 학술단체 수상 건수	국내/외 학술단체 수상 건수	-	-	2 (추가 달성*)
총 계				100%	300.3%

※ 가중치† 는 소수점 셋째자리에서 반올림하여 소수점 둘째자리까지 표시함.
※ 추가 달성*이란, 협약 당시 연구개발계획서를 기준으로 최종목표를 달성하기 위해 연차별로 설정한 정량적 성과목표에는 포함되어 있지 않으나, 당해연차 연구기간 내 본 연구진의 노력을 통해 추가로 달성한 성과지표를 의미함.

2. 연차별 성과지표 달성도

가. 1차년도

○ 본 연구과제의 1차년도 연구수행기간 동안의 성과지표 달성도는 다음 <표 3-2-2>와 같음.

<표 3-2-2> 1차년도 성과지표 달성도 (다음 페이지에 계속)

성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
I. 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발	학술회의 발표 논문 건수 (국내/외)	국외 학술회의 발표 논문 건수	2건	15	2건
	특허출원 건수 (국내/외)	총 특허출원 건수	1건	15	1건

<표 3-2-2> 1차년도 성과지표 달성도 (이전 페이지에 이어)

성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
I. 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발	테스트베드 활용 건수 (횟수/시간)	테스트베드 활용 횟수	2건	17	11건
	테스트베드 시험결과의 반영 실적	테스트베드 시험결과의 반영 건수	2건	17	8건
	현장적용 건수	기술개발 결과물의 현장 적용 건수	1건	15	8건
	전문가 의견 반영 실적	전문가 의견수렴 반영 (설문조사, 회의 등) 건수	1건	4	12건
	국제 협력 활성화	국제회의 (워크샵) 개최 횟수	1회	3	2회
	산학연간 기술지원	산학연간 기술지원 (현장 기술지도, 기술상담) 건수	2건	3	2건
	국내/외 학술단체 수상 건수	국내/외 학술단체 수상 건수	-	-	1 (추가 달성*)
	해외 기관과의 국제협약 체결 건수	해외 기관과의 국제협약 체결 건수	-	-	1 (추가 달성*)
II. 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발	연구개발 관련 홍보	홍보 (세미나, 워크샵, 정기간행물 발간) 건수	1건	2	2건
	기술 동향 조사 실적 (국내/외)	시장/산업/기술 동향조사 건수	1건	4	1건
	수요자 요구 반영 실적	수요자 요구 반영 (설문조사) 건수	1건	3	12건
	인력 양성 배출 실적	인력 양성 배출 실적	석사 1명	2	석사 1명
총 계				100%	414.5%

※ 추가 달성*이란, 협약 당시 연구개발계획서를 기준으로 최종목표를 달성하기 위해 연차별로 설정한 정량적 성과목표에는 포함되어 있지 않으나, 당해연차 연구기간 내 본 연구진의 노력을 통해 추가로 달성한 성과지표를 의미함.

나. 2차년도

○ 본 연구과제의 2차년도 연구수행기간 동안의 성과지표 달성도는 다음 <표 3-2-3>과 같음.

<표 3-2-3> 2차년도 성과지표 달성도 (다음 페이지에 계속)

성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
I. 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발	소프트웨어 (S/W) 등록 건수	소프트웨어 (S/W) 등록 건수	2건	9%	2건
	테스트베드 활용 건수 (횟수/시간)	테스트베드 활용 횟수	4회	12%	12회
	학술회의 발표 논문건수 (국내/외)	국외 학술회의 발표 논문 건수	2건	8%	4건

<표 3-2-3> 2차년도 성과지표 달성도 (이전 페이지에 이어)

성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
II. 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발	SCI급 학술지 게재 논문 건수	국외 SCI급 학술지 게재 논문 건수	2건	17%	1건
	특허 건수 (국내/외)	총 특허출원/등록 건수	3건	15%	3건
	테스트베드 시험결과의 반영 실적	테스트베드 시험결과의 반영 건수	4건	12%	3건
	현장 적용 건수	기술개발 결과물의 현장 적용 건수	4건	12%	9건
	플랜트 배관 모델 구축 기술 개발	플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가	2 (높음)	2%	2 (높음)
	전문가 의견 반영 실적	전문가 의견수렴 반영 (설문조사, 회의 등) 건수	6건	4%	10건
III. 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발	국제 협력 활성화	국제회의 (워크샵) 개최 횟수	2회	2%	2회
	산학연간 기술지원	산학연간 기술지원 (현장 기술지도, 기술상담) 건수	2건	3%	2건
	연구개발 관련 홍보	홍보 (세미나, 워크샵, 정기간행물 발간) 건수	1건	2%	1건
	플랜트 기기 모델 구축 기술 개발	플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가	2 (높음)	2%	2 (높음)
	인력 양성 배출 실적	학위별 인력 배출 수	-	-	석사 3명, 학사 1명 (추가 달성*)
	국내/외 학술단체 수상 건수	국내/외 학술단체 수상 건수	-	-	1 (추가 달성*)
	해외 기관과의 국제협약 체결 건수	해외 기관과의 국제협약 체결 건수	-	-	3 (추가 달성*)
총 계				**100%**	**138.2%**

※ 추가 달성*이란, 협약 당시 연구개발계획서를 기준으로 최종목표를 달성하기 위해 연차별로 설정한 정량적 성과목표에는 포함되어 있지 않으나, 당해연차 연구기간 내 본 연구진의 노력을 통해 추가로 달성한 성과지표를 의미함.

다. 3차년도

○ 본 연구과제의 3차년도 연구수행기간 동안의 성과지표 달성도는 다음 <표 3-2-4>와 같음.

<표 3-2-4> 3차년도 성과지표 달성도 (다음 페이지에 계속)

성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
II. 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발	소프트웨어 (S/W) 등록 건수	소프트웨어 (S/W) 등록 건수	1건	6%	1건
	지침/매뉴얼의 개발 및 보급	관리 지침/매뉴얼의 개발 건수	1건	6%	1건

<표 3-2-4> 3차년도 성과지표 달성도 (이전 페이지에 이어)

성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
III. 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발	학술회의 발표 논문건수 (국내/외)	국외 학술회의 발표 논문 건수	2건	5%	2건
	SCI급 학술지 게재 논문 건수	국외 SCI급 학술지 게재 논문 건수	2건	32%	2건
	특허 건수 (국내/외)	총 특허출원/등록 건수	2건	6%	7건
	기술수준 향상 효과	과제수행 전과 비교한 관련 기술 수준 향상 정도 (%)	100%	3%	106.19%
	기술격차 축소 효과	선진국과의 기술능력 격차 연수	0년	3%	0년
	테스트베드 활용 건수 (횟수/시간)	테스트베드 활용 횟수	2회	8%	33회
	테스트베드 시험결과의 반영 실적	테스트베드 시험결과의 반영 건수	2건	8%	2건
	현장 적용 건수	기술개발 결과물의 현장 적용 건수	1건	10%	25건
	공정 및 공사기간 단축 효과	결과의 적용으로 인한 (기대되는) 관련 공정 단축율 (%)	20% 이상	2%	60.95%
	인력 감축 효과	결과의 적용으로 인한 (기대되는) 인력감축에 기여한 정도	20% 이상	2%	65%
	전문가 의견 반영 실적	전문가 의견수렴 반영 (설문조사, 회의 등) 건수	1건	3%	21건
	산학연간 기술지원	산학연간 기술지원 (현장 기술지도, 기술상담) 건수	2건	2%	6건
	연구개발 관련 홍보	홍보 (세미나, 워크샵, 정기간행물 발간) 건수	1건	2%	1건
	인력 양성 배출 실적	학위별 인력 배출 수	석사 1명	2%	석사 1명, 학사 1명
총 계				**100%**	**545%**

제4장 최종 연구성과 및 적용실적

제1절 핵심성과별 질적연구성과

1. 핵심성과 1: 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템

가. 테스트베드 구축 및 활용 성과

○ 다음 <표 4-1-1>은 핵심성과 1에 대한 테스트베드 시험결과의 반영 실적을 나타냄.

<표 4-1-1> 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 8건

대상	실시일자	주요내용
GS건설 VGOFCC Project	2012.07.09	플랜트 배관에 대한 점군 추출을 위한 3차원 점군 데이터 분할 기술 적용
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.08.31	텐서 보팅 알고리즘 기반의 이상치 제거 기술 적용
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.09.09	데이터 마이닝 기반의 배관 분류 기술 적용
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.09.24	플랜트 배관에 대한 점군을 추출하기 위한 데이터베이스 구축
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.10.10	배관 분류 기술의 적용을 위한 최적화된 선정
GS건설 VGOFCC Project GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.09	데이터 마이닝 기반의 배관 분류 기술 적용 및 곡률을 활용한 배관 분류 기술 적용
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.26	밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 적용
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.12.31	플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 매칭 기술 적용

○ 다음 <표 4-1-2>는 핵심성과 1에 대한 테스트베드 활용 실적을 나타냄.

<표 4-1-2> 테스트베드 활용 실적 - 23회 (다음 페이지에 계속)

대상	실시일자	주요내용
GS건설 VGOFCC Project	2012.06.01	테스트베드로 VGOFCC Project 현장 선정에 대한 적합성 파악
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.06.08	테스트베드로 No. 2 CA/EDC Project 현장 선정에 대한 적합성 파악
GS건설 LG Chem 4AA Project	2012.06.08	테스트베드로 LG Chem 4AA Project 현장 선정에 대한 적합성 파악
GS건설 VGOFCC Project	2012.07.09	VGOFCC Project 현장에 대한 3차원 점군 데이터 획득
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.07.09	No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 1차 3차원 점군 데이터 획득

<표 4-1-2> 테스트베드 활용 실적 - 23회 (이전 페이지에 이어)

대상	실시일자	주요내용
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.08.31	No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 2차 3차원 점군 데이터 획득
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.20	No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 3차 3차원 점군 데이터 획득
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.21	No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 4차 3차원 점군 데이터 획득
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.22	No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 5차 3차원 점군 데이터 획득
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.23	No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 6차 3차원 점군 데이터 획득
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.29	No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 7차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 외 3개 플랜트 시설	2013.08.23	금호미쓰이화학 여수공장 외 3개 플랜트 시설에 대한 테스트베드 적합성 검토
금호미쓰이화학 여수공장 구역 1	2013.10.24	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 1차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 1	2013.10.25	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 2차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 1	2013.10.31	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 3차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 2	2013.11.01	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 4차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 2	2013.11.14	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 5차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 3	2013.11.15	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 6차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 3	2013.11.21	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 7차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 4	2013.11.22	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 8차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 5	2013.11.28	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 9차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 6	2013.11.29	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 10차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 6	2013.12.06	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 11차 3차원 점군 데이터 획득

나. 현장 적용 성과

○ 다음 <표 4-1-3>은 핵심성과 1에 대한 현장 적용 실적을 나타냄.

<표 4-1-3> 현장 적용 건수 - 8건

대상	실시일자	주요내용
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.29	점군 데이터 정합 기술 개발, 이상치 제거를 통한 개선 기술, 배관에 대한 점군 데이터 분할 기술
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.29	플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술
GS건설 VGOFCC Project	2012.07.09	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.07.09	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.08.31	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.20	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.23	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.29	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발

다. 기획/계획 수립 성과

○ 다음 <표 4-1-4>는 핵심성과 1에 대한 전문가 의견 반영 실적을 나타냄.

<표 4-1-4> 전문가 의견 반영 실적 - 12건 (다음 페이지에 계속)

대상	소속/직급	전문가 의견
장정훈	LG화학/부장	▪ 플랜트 운영 및 유지 관리 업무 관련 (요구 정보, 취득 경로) ▪ 개발 기술의 실무에의 활용을 위한 정보 및 기술 제시 관련
신용호	금호폴리켐/과장	▪ 플랜트 운영 및 유지 관리 업무 관련 (요구 정보, 취득 경로) ▪ 개발 기술의 실무에의 활용을 위한 정보 및 기술 제시 관련
박찬정	GS건설/상무	▪ 실무에서의 플랜트 3차원 모델의 필요성 및 활용 분야 관련 ▪ 테스트베드 협의 관련
손봉수	중앙대학교/부교수	▪ 3차원 점군 데이터의 전처리 프로세스 정의 관련 ▪ 3차원 점군 데이터의 전처리 알고리즘 관련

<표 4-1-4> 전문가 의견 반영 실적 - 12건 (이전 페이지에 이어)

대상	소속/직급	전문가 의견
박찬정	GS건설/상무	▪ GS건설 VGOFCC Project 현장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 및 사전 답사 협조 요청/일정 협의 관련
박찬정	GS건설/상무	▪ GS건설 No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 및 사전 답사 협조 요청/일정 협의 관련
박찬정	GS건설/상무	▪ GS건설 VGOFCC Project, No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 현장 스캔협조 요청 관련 및 스캔 위치 선정/일정 협의 관련
손봉수	중앙대학교/부교수	▪ 워털루 대학에서 수행한 연구 내용 분석 및 본 연구와의 차별성 도출 관련
박찬정	GS건설/상무	▪ No. 2 CA/EDC Project 현장에 대한 현장 스캔협조 요청 관련 및 스캔 위치 선정/일정 협의 관련
손봉수	중앙대학교/부교수	▪ Uniform Resamplng 연구 동향 리뷰 및 점군 데이터 Simplification 관련
손봉수	중앙대학교/부교수	▪ 배관에 대한 점군 데이터 추출의 요구사항 도출 관련 ▪ 향후 연구 방향 제시 관련
손봉수	중앙대학교/부교수	▪ 배관에 대한 점군 데이터 추출 시, 곡률 계산 방법 관련 ▪ 향후 연구 방향 제시 관련

라. 산학연협력 성과

○ 다음 <표 4-1-5>는 핵심성과 1에 대한 산학연간 기술지원 실적을 나타냄.

<표 4-1-5> 산학연간 기술지원 - 2건

일시	구분	내용	대상/직급 소속
2012.06.05	기술 상담	플랜트사업 부분에 대한 TPMS 적용을 위한 방안	박찬정/상무, 전영준 차장 GS건설
2012.06.08	기술 상담	수작업을 통한 3차원 플랜트 모델 구축으로부터 발생되는 비효율성과 부정확성을 해결하기 위한 방안	김영호/부장, 주정석/차장 김민수/대리, 이근용/사원 GS건설

2. 핵심성과 2: 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템

가. 테스트베드 구축 및 활용 성과

○ 다음 <표 4-1-6>은 핵심성과 2에 대한 테스트베드 시험결과의 반영 실적을 나타냄.

<표 4-1-6> 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 3건

대상	실시일자	주요내용
LG화학 CA/EDC 현장	2013.04.30	테스트베드로부터 획득한 3차원 점군 데이터의 리샘플링을 위한 기술 정립
LG화학 CA/EDC 현장	2013.05.01	테스트베드를 대상으로 기 개발한 배관 추출 기술의 적용성 검증
LG화학 CA/EDC 현장	2013.05.30	3차원 점군 데이터에서 구조체에 해당하는 데이터를 제거하기 위한 기술 정립

나. 현장 적용 성과

○ 다음 <표 4-1-7>은 핵심성과 2에 대한 현장 적용 실적을 나타냄.

<표 4-1-7> 현장 적용 실적 - 9건

대상	실시일자	주요내용
LG화학 CA/EDC 현장	2013.05.15	테스트베드를 대상으로 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용
LG화학 CA/EDC 현장	2013.06.26	테스트베드를 대상으로 플랜트 배관 구성 요소별 배관 분할 기술 적용
LG화학 CA/EDC 현장	2013.07.12	테스트베드를 대상으로 플랜트 배관 구성 요소별 표면 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 1	2013.11.04	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 2	2013.11.18	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 3	2013.11.25	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 4	2013.11.28	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 5	2013.12.02	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 6	2014.01.21	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용

다. 기획/계획 수립 성과

○ 다음 <표 4-1-8>은 핵심성과 2에 대한 전문가 의견 반영 실적을 나타냄.

<표 4-1-8> 전문가 의견 반영 실적 - 10건 (다음 페이지에 계속)

대상	소속/직급	전문가 의견
홍수표	폴리미래/주임	▪ 폴리미래 여천공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서의 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
장정훈	LG화학/부장	▪ LG화학 4AA에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 개발한 기술의 현장적용성 검토 및 실무에의 활용 관련
이혁	금호미쓰이화학/부장	▪ 금호미쓰이화학 여수공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
이용민	남해화학/부장	▪ 남해화학 여수공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
김원휘	하이테크/대리	▪ 기존 실무에서 적용 중인 3차원 As-Built 모델 구축 방법의 문제점 관련 ▪ 개발한 기술의 평가 및 현장적용성 검토 관련
이미영	대우조선해양/대리	▪ 육상 플랜트와 해양 플랜트의 설계상 차이에 대한 자문 관련 ▪ 개발한 기술의 해양 플랜트 현장적용성 검토 관련
김화용	현대중공업/부장	▪ 육상 플랜트와 해양 플랜트의 설계상 차이에 대한 자문 관련 ▪ 개발한 기술의 해양 플랜트 현장적용성 검토 관련
손봉수	중앙대학교/교수	▪ 1차년도에 개발한 배관에 대한 중심축 추출 기술 개선을 위한 기술 검토 및 보완 관련
손봉수	중앙대학교/교수	▪ 2차년도에 개발한 플랜트 배관 구성 요소별 배관 분할 기술 개선을 위한 기술 검토 및 보완 관련
손봉수	중앙대학교/교수	▪ 2차년도에 개발한 플랜트 배관 구성 요소별 표면 모델 구축 기술 개선을 위한 기술 검토 및 보완 관련

○ 다음 <표 4-1-9>는 핵심성과 2에 대한 기술 동향 조사 실적을 나타냄.

<표 4-1-9> 기술 동향 조사 실적 (국내/외) - 1건

구분	대상명	작성일
보고서	3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 관련 국내/외 기술 동향조사 보고서	2012.12.01

○ 다음 <표 4-1-10>은 핵심성과 2에 대한 수요자 요구 반영 실적을 나타냄.

<표 4-1-10> 수요자 요구 반영 실적 - 12건 (다음 페이지에 계속)

대상	소속/직급	수요자 요구
주정석	GS건설/차장	특정 프로젝트에서 활용되고 있는 기기들에 대한 모델의 정확한 표현이 필요

<표 4-1-10> 수요자 요구 반영 실적 - 12건 (이전 페이지에 이어)

대상	소속/직급	수요자 요구
김민수	GS건설/대리	단순한 정보만을 포함하는 3차원 모델이 아닌 다양한 분야의 전문가에게 활용될 수 있도록 단순한 정보만이 아닌 다양한 정보의 포함이 필요
이근용	GS건설/사원	다양한 정보를 통일된 양식으로 보여줄 필요가 있으며, 추가적으로 인터페이스가 컴퓨터 활용 능력이 떨어지는 사람들에게도 쉽게 이해할 수 있도록 구성 필요
김시로	위프코(주)/실장	현재 3차원 플랜트 모델은 단순한 정보만을 포함하고 있어 플랜트에 대한 정보를 확인하는데 있어서 효율적이지 못하기 때문에 다양한 정보와 3차원 모델의 연결 필요
정진언	위프코(주)/대리	플랜트 시공 현장에서의 3차원 플랜트 모델 작성에 있어 작업량을 줄임으로써 효과적이면서 효율적으로 3차원 플랜트 모델을 주기적으로 구축 가능한 자동화된 기술이 필요
김비오	위프코(주)/대리	실제 측량을 통해 2차원 도면을 획득한 후 공사를 진행을 하기 위해서는 많은 시간과 인력이 필요하기 때문에 플랜트의 3차원 As-Built 모델이 자동으로 정확하게 구축할 수 있는 기술이 필요
양철규	GS건설/차장	현재의 제한적인 수단에서 벗어나서 다양한 용도로 사용하기 위해 여러 정보를 포괄적으로 포함하는 넓은 의미의 3차원 플랜트 정보 모델 필요
이종성	GS건설/차장	실제 준공 도면을 만들 때 소요되는 시간과 노력을 많이 감축 시킬 수 있는 As-Built 모델 자동 구축 기술 필요
박한준	GS건설/차장	효율적이고 효과적인 3차원 플랜트 모델을 위해서는 각 부재에 대한 정보를 포함하고 그것을 3차원 모델 상에서 확인 할 수 있는 3차원 As-Built 모델 필요
최두환	GS건설/사원	3차원 모델 상에서 모델의 치수나 기본적인 정보들을 활용 할 수 있는 방법이 필요
장정훈	LG화학/부장	플랜트 정보 모델이 지속적으로 업데이트가 가능해야 하며, 현재 사용 중인 프로그램들과의 호환성이 필요
신용호	금호폴리켐/과장	통합적으로 정보를 관리하고 현장의 변동사항이 지속적으로 업데이트 될 수 있는 프로그램의 개발 필요

○ 다음 <표 4-1-11>은 핵심성과 2에 대한 플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가를 위한 설문 실적을 나타냄.

<표 4-1-11> 플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가 설문 실적

내용	성명	소속/직급	작성일
플랜트 전문가의 기술에 대한 현장 적용성 검토 평가 (5점 척도)	박정훈	(주)하이테크 엔지니어링/부장	2013.08.23
	김원휘	(주)하이테크 엔지니어링/대리	
	장정훈	LG화학/부장	

3. 핵심성과 3: As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템

가. 테스트베드 구축 및 활용 성과

○ 다음 <표 4-1-12>는 핵심성과 3에 대한 테스트베드 시험결과의 반영 실적을 나타냄.

<표 4-1-12> 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 2건

대상	실시일자	주요내용
LG화학 4AA 현장	2014.07.28	플랜트 기기에 대한 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 적용
LG화학 4AA 현장	2014.07.29	플랜트 기기에 대한 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 적용

○ 다음 <표 4-1-13>은 핵심성과 3에 대한 테스트베드 활용 실적을 나타냄.

<표 4-1-13> 테스트베드 활용 실적 - 33회 (다음 페이지에 계속)

대상	실시일자	주요내용
금호미쓰이화학 여수공장 플랜트 시설	2014.07.28	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 테스트베드 적합성 검토
금호미쓰이화학 여수공장 구역 1~3	2014.07.28	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 1차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 4~6	2014.07.29	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 2차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 7, 8	2014.09.30	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 3차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 9, 10	2014.10.01	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 4차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 11, 12	2014.10.23	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 5차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 13, 14	2014.10.24	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 6차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 15	2014.10.29	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 7차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 16	2014.10.30	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 8차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 17	2014.10.31	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 9차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 18, 19	2014.11.05	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 10차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 20, 21	2014.11.07	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 11차 3차원 점군 데이터 획득

<표 4-1-13> 테스트베드 활용 실적 - 33회 (이전 페이지에 이어)

대상	실시일자	주요내용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 22, 23	2014.11.12	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 12차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 11, 12	2014.10.23	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 5차 3차원 점군 데이터 획득
여천NCC 여수공장 플랜트 시설	2014.11.13	여천NCC 여수공장에 대한 테스트베드 적합성 검토
여천NCC 여수공장 구역 1	2014.11.13	여천NCC 여수공장에 대한 1차 3차원 점군 데이터 획득
한국바스프 여수공장 플랜트 시설	2014.11.14	한국바스프 여수공장에 대한 테스트베드 적합성 검토
금호미쓰이화학 여수공장 구역 24, 25	2014.11.14	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 13차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 26	2014.11.19	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 14차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 27	2014.11.20	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 15차 3차원 점군 데이터 획득
대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 시설	2014.11.21	대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트에 대한 테스트베드 적합성 검토
대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 1	2014.11.21	대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트에 대한 1차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 28, 29	2014.11.26	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 16차 3차원 점군 데이터 획득
금호미쓰이화학 여수공장 구역 30, 31	2014.11.27	금호미쓰이화학 여수공장에 대한 17차 3차원 점군 데이터 획득
삼성중공업 거제조선소 해양 플랜트 시설	2014.11.28	삼성중공업 거제조선소 내 해양 플랜트에 대한 테스트베드 적합성 검토
금호석유화학 울산공장 플랜트 시설	2014.12.02	금호석유화학 울산공장에 대한 테스트베드 적합성 검토
대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 2	2014.12.05	대우조선해양 옥포조선소에 대한 2차 3차원 점군 데이터 획득
여천NCC 여수공장 플랜트 구역 2	2014.12.08	여천NCC 여수공장에 대한 2차 3차원 점군 데이터 획득
여천NCC 여수공장 플랜트 구역 3	2014.12.10	여천NCC 여수공장에 대한 3차 3차원 점군 데이터 획득
여천NCC 여수공장 플랜트 구역 4	2014.12.12	여천NCC 여수공장에 대한 4차 3차원 점군 데이터 획득
두산중공업 창원공장 플랜트 시설	2015.01.22	두산중공업 창원공장에 대한 테스트베드 적합성 검토
두산중공업 창원공장 플랜트 구역 1	2015.01.22	두산중공업 창원공장에 대한 1차 3차원 점군 데이터 획득
한국중부발전 서울화력발전소 플랜트 시설	2015.01.27	한국중부발전 서울화력발전소에 대한 테스트베드 적합성 검토
한국중부발전 서울화력발전소 플랜트 구역 1	2015.01.27	한국중부발전 서울화력발전소에 대한 1차 3차원 점군 데이터 획득

나. 현장 적용 성과

○ 다음 <표 4-1-14>는 핵심성과 3에 대한 현장 적용 실적을 나타냄.

<표 4-1-14> 현장 적용 실적 - 25건 (다음 페이지에 계속)

대상	실시일자	주요내용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 1	2014.07.28	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 2	2014.07.29	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 3	2014.09.30	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 4	2014.10.01	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 5	2014.10.23	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 6	2014.10.24	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 7	2014.10.29	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 8	2014.10.30	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 9	2014.10.31	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 10	2014.11.05	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 11	2014.11.07	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 12	2014.11.12	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
여천NCC 여수공장 구역 1	2014.11.13	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 13	2014.11.14	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 14	2014.11.19	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 15	2014.11.20	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 1	2014.11.21	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 16	2014.11.26	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
금호미쓰이화학 여수공장 구역 17	2014.11.27	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용

<표 4-1-14> 현장 적용 실적 - 25건 (이전 페이지에 이어)

대상	실시일자	주요내용
대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 구역 2	2014.12.05	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
여천NCC 여수공장 구역 2	2014.12.08	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
여천NCC 여수공장 구역 3	2014.12.10	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
여천NCC 여수공장 구역 4	2014.12.12	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
두산중공업 창원공장 구역 1	2015.01.22	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
한국중부발전 서울화력발전소 구역 1	2014.01.27	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용

다. 기획/계획 수립 성과

○ 다음 <표 4-1-15>는 핵심성과 3에 대한 전문가 의견 반영 실적을 나타냄.

<표 4-1-15> 전문가 의견 반영 실적 - 21건 (다음 페이지에 계속)

대상	소속/직급	전문가 의견
최성욱	대우조선해양	▪ 육상 플랜트와 해양 플랜트의 설계상 차이에 대한 자문 관련 ▪ 개발한 기술의 해양 플랜트 현장적용성 검토 관련
남궁근	대우조선해양/부장	▪ 육상 플랜트와 해양 플랜트의 설계상 차이에 대한 자문 관련 ▪ 개발한 기술의 해양 플랜트 현장적용성 검토 관련
이태진	대우조선해양/부장	▪ 육상 플랜트와 해양 플랜트의 설계상 차이에 대한 자문 관련 ▪ 개발한 기술의 해양 플랜트 현장적용성 검토 관련
정재영	대우조선해양/사원	▪ 육상 플랜트와 해양 플랜트의 설계상 차이에 대한 자문 관련 ▪ 개발한 기술의 해양 플랜트 현장적용성 검토 관련
이석근	여천NCC/부장	▪ 여천NCC 여수공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
이상필	여천NCC/차장	▪ 여천NCC 여수공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
곽인철	여천NCC/차장	▪ 여천NCC 여수공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
박정오	한국바스프/매니저	▪ 한국바스프 여수공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
김연규	삼성중공업/부장	▪ 삼성중공업 에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서의 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
이효중	금호석유화학/과장	▪ 금호석유화학 여수공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련

<표 4-1-15> 전문가 의견반영 실적 - 21건 (이전 페이지에 이어)

대상	소속/직급	전문가 의견
김연규	삼성중공업/부장	▪ 삼성중공업 에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서의 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
이효중	금호석유화학/과장	▪ 금호석유화학 여수공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
방광제	금호석유화학/차장	▪ 금호석유화학 여수공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
방창원	금호석유화학/부장	▪ 금호석유화학 여수공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
이혁	금호미쓰이화학/부장	▪ 기존 실무에서 적용 중인 3차원 As-Built 모델 구축 방법의 문제점 관련 ▪ 개발한 기술의 평가 및 현장적용성 검토 관련
신맹호	금호미쓰이화학/대리	▪ 기존 실무에서 적용 중인 3차원 As-Built 모델 구축 방법의 문제점 관련 ▪ 개발한 기술의 평가 및 현장적용성 검토 관련
이형규	두산중공업/차장	▪ 두산중공업 창원공장에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
장영	하이테크엔지니어링 /대표이사	▪ 기존 실무에서 적용 중인 3차원 As-Built 모델 구축 방법의 문제점 관련 ▪ 개발한 기술의 평가 및 현장적용성 검토 관련
유종평	하이테크엔지니어링/과장	▪ 기존 실무에서 적용 중인 3차원 As-Built 모델 구축 방법의 문제점 관련 ▪ 개발한 기술의 평가 및 현장적용성 검토 관련
김해진	한국중부발전/과장	▪ 한국중부발전 서울화력발전소에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서의 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련
신정철	한국중부발전/차장	▪ 한국중부발전 서울화력발전소에 대한 테스트베드로서의 적합성 판단 관련 ▪ 실무에서의 3차원 As-Built 모델의 필요성 및 적용 분야 관련

○ 다음 <표 4-1-16>은 핵심성과 3에 대한 플랜트 전문가의 기술에 대한 현장 적용성 검토 평가를 위한 설문 실적을 나타냄.

<표 4-1-16> 플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가 설문 실적

내용	성명	소속/직급	작성일
플랜트 전문가의 기술에 대한 현장 적용성 검토 평가 (5점 척도)	홍수표	폴리미래/주임	2013.08.23
	위정환	폴리미래/팀장	
	이혁	금호미쓰이화학/부장	

라. 산학연협력 성과

○ 다음 <표 4-1-17>은 핵심성과 3에 대한 산학연간 기술지원 실적을 나타냄.

<표 4-1-17> 산학연간 기술지원 - 8건

일시	구분	내용	대상/직급 소속
2013.08.23	기술 상담	수작업을 통한 3차원 플랜트 모델 구축으로부터 효율성과 부정확성 문제를 해결하기 위한 방안	장영/이사, 김원휘/대리 (주)하이테크엔지니어링
2013.08.23	기술 상담	플랜트 시설의 운영·유지 관리에 필요한 정보를 3차원 As-built 플랜트 모델에 입력하기 위한 방안	이혁/부장, 신맹호/대리 금호미쓰이화학(주)
2014.11.10	기술 상담	수작업을 통한 3차원 플랜트 모델 구축으로부터 효율성과 부정확성 문제를 해결하기 위한 방안	이태진/부장, 남궁근/과장 대우조선해양 옥포조선소
2014.11.13	기술 상담	수작업을 통한 3차원 플랜트 모델 구축으로부터 효율성과 부정확성 문제를 해결하기 위한 방안	이석근/부장, 이상필/차장 여천NCC 여수공장
2014.11.14	기술 상담	수작업을 통한 3차원 플랜트 모델 구축으로부터 효율성과 부정확성 문제를 해결하기 위한 방안	김석호/부장, 박정오/매니저 한국바스프 여수공장
2014.11.28	기술 상담	플랜트 시설의 운영·유지 관리에 필요한 정보를 3차원 As-Built 플랜트 모델에 입력하기 위한 방안	김연규 부장 삼성중공업 거제조선소
2014.12.02	기술 상담	플랜트 시설의 운영·유지 관리에 필요한 정보를 3차원 As-Built 플랜트 모델에 입력하기 위한 방안	방광제/부장, 방창원/과장 금호석유화학 울산공장
2015.01.27	기술 상담	플랜트 시설의 운영·유지 관리에 필요한 정보를 3차원 As-Built 플랜트 모델에 입력하기 위한 방안	신정철 차장, 김해진/과장 한국중부발전 서울화력발전소

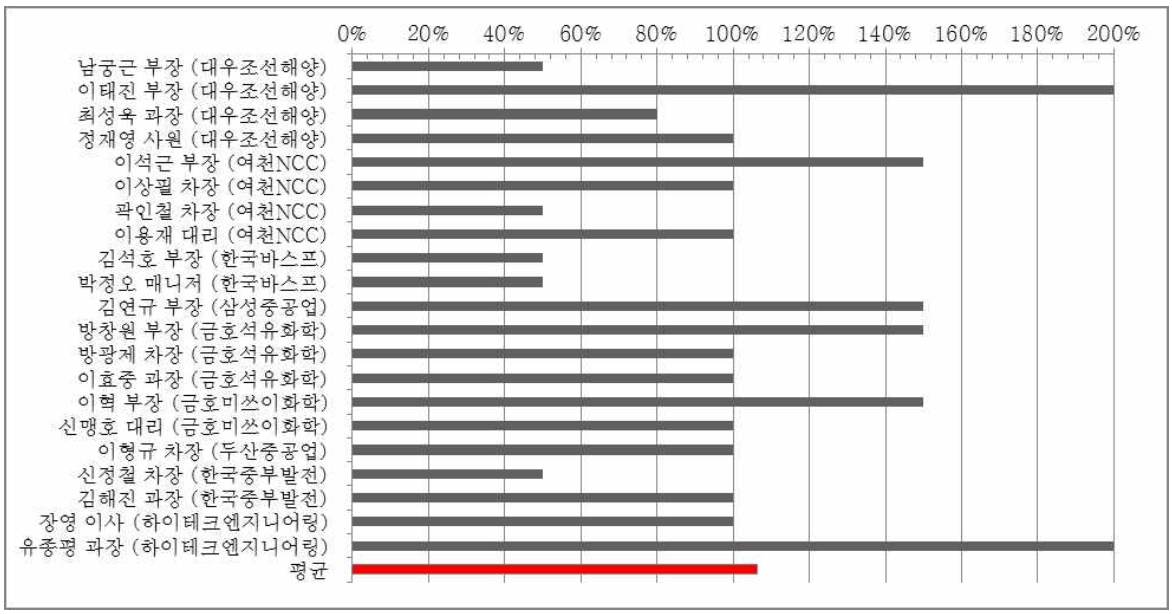
마. 기술선진화

○ 과제 수행 전과 비교한 기술 수준 향상 정도와 선진국과의 기술 능력 격차 연수에 관한 전문가 설문을 실시하였으며, 그 대상은 다음 <표 4-1-18>과 같음.

<표 4-1-18> 설문조사 대상

대상/직급	소속	대상/직급	소속	대상/직급	소속
1	남궁근/부장	8	이용재/대리	15	이혁/부장
	대우조선해양		여천NCC		금호미쓰이화학
2	이태진/부장	9	김석호/부장	16	신맹호/대리
	대우조선해양		한국바스프		금호미쓰이화학
3	최성욱/과장	10	박정오/매니저	17	이형규/차장
	대우조선해양		한국바스프		두산중공업
4	정재영/사원	11	김연규/부장	18	신정철 /차장
	대우조선해양		삼성중공업		한국중부발전
5	이석근/부장	12	방창원/부장	19	김해진/과장
	여천NCC		금호석유화학		한국중부발전
6	이상필/차장	13	방창제/차장	20	장영/이사
	여천NCC		금호석유화학		하이테크엔지니어링
7	곽인철/차장	14	이효중/과장	21	유종평/과장
	여천NCC		금호석유화학		하이테크엔지니어링

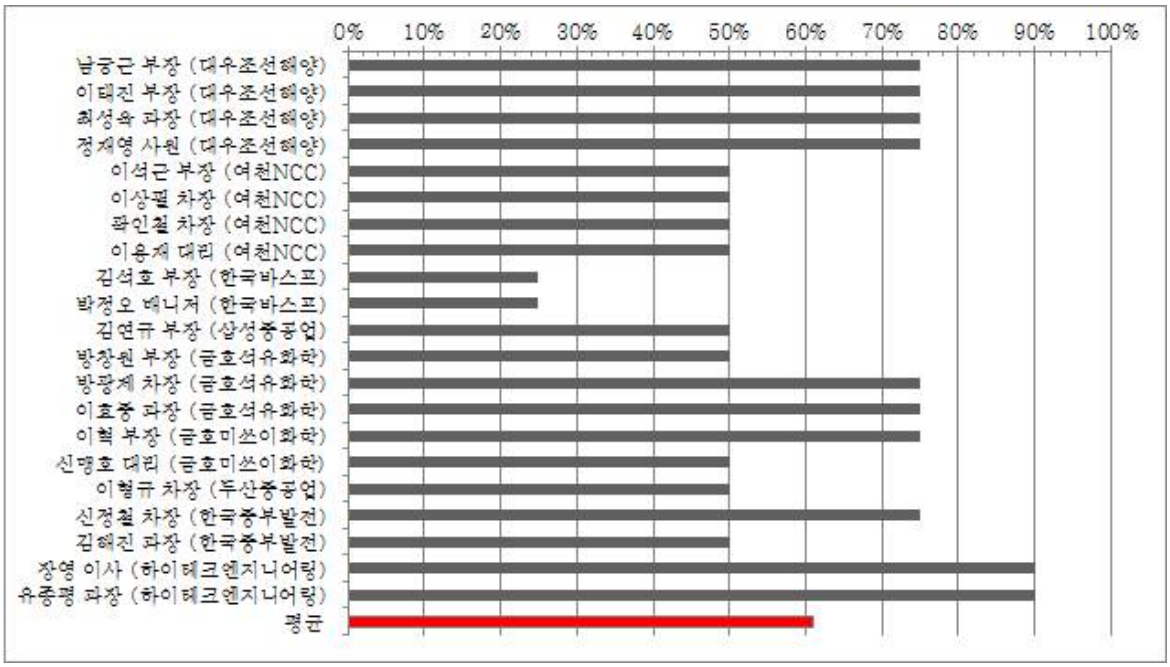
○ 과제 수행 전과 비교한 기술 수준 향상 정도에 관한 전문가 설문조사 결과를 요약하면 다음 <그림 4-1-1>과 같음. 선진국과의 기술 능력 격차 연수에 대해서는 모두 0년이라고 응답함.



<그림 4-1-1> 과제 수행 전과 비교한 기술 수준 향상 정도에 관한 설문조사 결과 요약

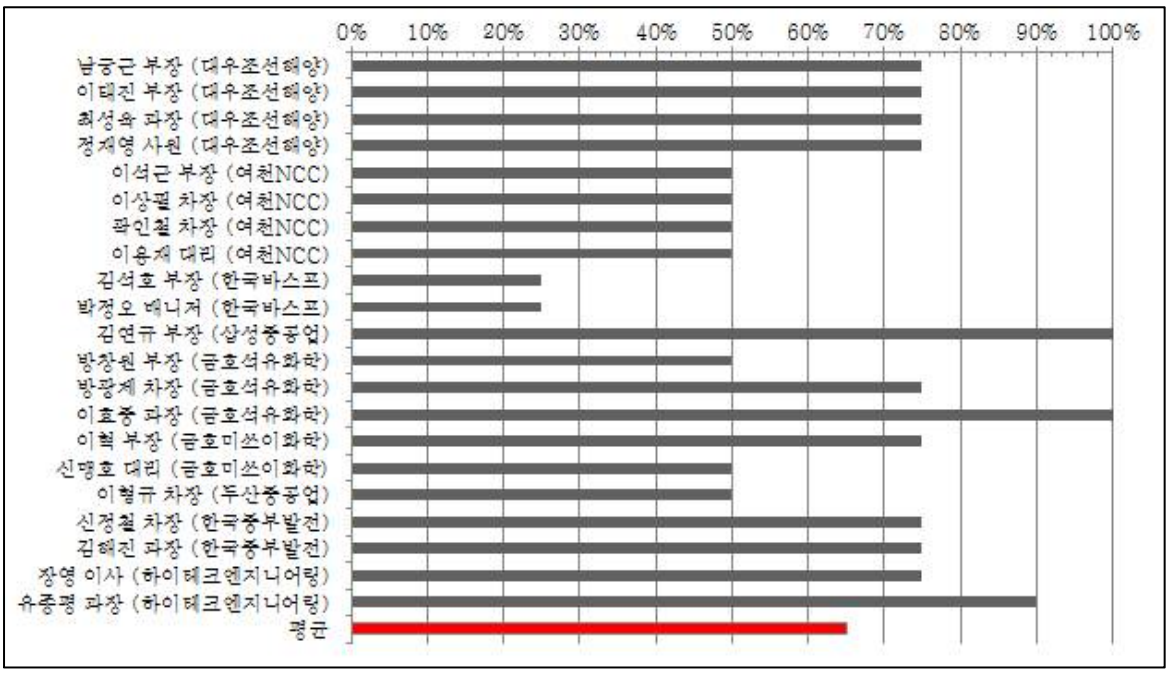
바. 효율성

○ 플랜트 정보 모델 구축 프로세스 단축율에 관한 전문가 (<표 4-1-18> 참조) 설문조사 결과를 요약하면 다음 <그림 4-1-2>와 같음.



<그림 4-1-2> 플랜트 정보 모델 구축 프로세스 단축율에 관한 설문조사 결과 요약

○ 플랜트 정보 모델 구축 인력 감축 효과에 관한 전문가 (<표 4-1-18> 참조) 설문조사 결과를 요약하면 다음 <그림 4-1-3>과 같음.



<그림 4-1-3> 플랜트 정보 모델 구축 인력 감축 효과에 대한 설문조사 결과

제2절 양적연구성과

가. 논문게재 성과

○ 본 연구과제의 수행을 통해 달성한 SCI급 국제 학술지 논문 게재 실적은 다음 <표 4-2-1>과 같음.

<표 4-2-1> SCI급 국제 학술지 논문 게재 실적 - 3건

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내/외 구분	SCI 구분
		주 저자	교신 저자	공동 저자				
2013	Skeleton-Based 3D Reconstruction of As-Built Pipelines from Laser-Scan Data	이주혁	김창완	손효주 김창민	Automation in Construction	35	국외	SCI(E)
2014	Fully Automated As-Built 3D Pipeline Extraction Method from Laser-Scanned Data Based on Curvature Computation	손효주	김창완	김창민	Journal of Computing in Civil Engineering	-	국외	SCI(E)
2015	3D Reconstruction of As-Built Industrial Instrumentation Models from Laser-Scanned Data and 3D CAD Database Based on Prior Knowledge	손효주	김창완	김창민	Automation in Construction	49	국외	SCI(E)

나. 학술 대회 발표 성과

○ 본 연구과제의 수행을 통해 달성한 국제 학술회의 논문 발표 실적은 다음 <표 4-2-2>와 같음.

<표 4-2-2> 국제 학술회의 논문 발표 실적 - 8건 (다음 페이지에 계속)

발표연월	발표 논문명	저자	학술회의명	국내/외 구분
2012.06	An Integrated System for Automated Construction Progress Visualization Using IFC-Based BIM	김창민 손효주 김창완	ISG* ISARC 2012	국외

※ ISG: International Society for Gerontechnology
※ ISARC: International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining

<표 4-2-2> 국제 학술회의 논문 발표 실적 - 8건 (이전 페이지에 이어)

발표연월	발표 논문명	저자	학술회의명	국내/외 구분
2012.06	Automated Pipeline Extraction for Modeling from Laser-Scanned Data	이주혁 김창민 손효주 김창완	ISG* ISARC 2012	국외
2013.06	Fully Automated As-Built 3D Pipeline Segmentation Based on Curvature Computation from Laser-Scanned Data	손효주 김창민 김창완	ASCE IWCCE 2013	국외
2013.06	Development of a System for Automated Schedule Update Using 4D Building Information Model and 3D Point Cloud	김창민 손효주 김창완	ASCE IWCCE 2013	국외
2013.08	Knowledge-Based Approach for 3D Reconstruction of As-Built Industrial Plant Models from Laser-Scan Data	손효주 김창민 김창완	ISARC 2013	국외
2013.08	Automated Reconstruction of 3D As-Built Building Information Model for Building Energy Performance Assessment	김창민 손효주 김창완	ISARC 2013	국외
2014.05	Automatic 3D Reconstruction of As-Built Pipeline Based on Curvature Computations from Laser-Scanned Data	손효주 김창민 김창완	ASCE CRC 2014	국외
2014.07	Detection of Internal Defects in As-Built Pipelines for Structural Health Monitoring: A Sensor Fusion Approach Using Infrared Thermography and 3D Laser-Scanned Data	손효주 김창민 김창완	ISARC 2014	국외

※ ISG: International Society for Gerontechnology
※ ISARC: International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining
※ ASCE: American Society of Civil Engineers
※ IWCCE: International Workshop on Computing in Civil Engineering
※ CRC: Construction Research Congress

다. 특허 성과

○ 본 연구과제의 수행을 통해 달성한 국내/외 특허 출원 및 등록 실적은 다음 <표 4-2-3>과 같음.

<표 4-2-3> 특허 출원 및 등록 실적 - 국내 등록 5건 (출원 5건 포함), 미국 출원 1건

출원/등록된 특허				
출원연도 등록연도	특허명	출원/등록인	출원/등록국	출원번호 등록번호
2012 2014	3차원 데이터로부터 검출 대상체를 추출하는 장치 및 방법	중앙대학교 산학협력단	대한민국	10-2012-0138156 10-1419334
2012 2014	3차원 데이터로부터 검출 대상체를 추출하는 장치 및 방법	중앙대학교 산학협력단	대한민국	10-2012-0138156 10-1419334
2013 2014	3차원 데이터로부터 3차원 산업 모델을 구축하는 시스템 및 방법	중앙대학교 산학협력단	대한민국	10-2013-0128089 10-1388749
2013 2014	3차원 데이터로부터 특정 객체를 추출하는 시스템 및 방법	중앙대학교 산학협력단	대한민국	10-2013-0128090 10-1364375
2014 2015	3차원 스캐닝 데이터를 이용한 배관 모델링 방법 및 장치	중앙대학교 산학협력단	대한민국	10-2014-0160814 10-1493659
2014 2015	3차원 스캐닝 데이터를 이용한 3차원 산업 객체 모델링 방법 및 장치	중앙대학교 산학협력단	대한민국	10-2014-0160825 10-1500911
2014 -	System for 3D Reconstruction of As-Built Industrial Model from 3D Data	중앙대학교 산학협력단	미국	14/313,592 -

라. 소프트웨어 성과

○ 본 연구과제의 수행을 통해 달성한 소프트웨어 (S/W) 등록 실적은 다음 <표 4-2-4>와 같음.

<표 4-2-4> 소프트웨어 (S/W) 등록 실적 - 3건 (다음 페이지에 계속)

등록된 소프트웨어				
등록연도	프로그램 명칭	신청인	신청종류	등록번호
2013	플랜트로부터 획득한 점군 데이터의 자동화된 정합 및 이상치 제거 프로그램	중앙대학교 산학협력단	프로그램 등록	제 C-2013-024553호

<표 4-2-4> 소프트웨어 (S/W) 등록 실적 - 3건 (이전 페이지에 이어)

등록된 소프트웨어				
등록연도	프로그램 명칭	신청인	신청종류	등록번호
2014	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축을 위한 점군 데이터 분할 프로그램	중앙대학교 산학협력단	프로그램 등록	제 C-2014-003231호
2015	자동화된 플랜트 정보 모델 구축을 위한 점군 데이터 분할 프로그램	중앙대학교 산학협력단	프로그램 등록	제 C-2015-001724호

마. 포상 성과

○ 본 연구과제의 수행을 통해 달성한 국제 학술단체 수상 실적은 다음 <표 4-2-5>와 같음.

<표 4-2-5> 국제 학술단체 수상 실적 - 2건

학회명	내용	수상일	수상내용
ISG* ISARC 2012	첨단 센서 기반의 건설 현장 시공 관리를 위한 정보 모델의 활용 기술 개발	2012.06.28	최우수 포스터 논문상 (Best Poster Award)
ASCE IWCCE 2013	플랜트 배관의 3차원 모델 구축 기술 개발	2013.06.25	최우수 논문상 (Best Paper Award)

바. 인력활용/양성 성과

○ 본 연구과제의 수행을 통해 달성한 인력 양성 배출 실적은 다음 <표 4-2-6>과 같음.

<표 4-2-6> 인력 양성 배출 실적 - 7건 (석사 5명, 학사 2명)

지원 총인원	지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역
7		5	2		7		7		

사. 국제화/협력 성과

○ 본 연구과제의 수행을 통해 달성한 국제 회의 (워크샵) 개최 실적은 다음 <표 4-2-7>과 같음.

<표 4-2-7> 국제 회의 (워크샵) 개최 실적 - 4회

명칭	기술분야	규모			개최장소	지원금액 (백만원)
		참가국	인원	기간 (일)		
International Research Meeting	건설 관리를 위한 정보 기술의 활용	2	2	1	미국	1.6
International Workshop on Automated As-Built Plant Information Modeling	3차원 점군 데이터 분석 및 처리	2	12	4	대한민국	4.5
International Workshop on Automated As-Built Plant Information Modeling (3차)	정보 기술과 플랜트 운영·유지 관리의 융합	2	11	1	대한민국	0.0
International Workshop on Automated As-Built Plant Information Modeling (4차)	지속가능한 플랜트 운영·유지 관리	2	24	1	대한민국	2.6

○ 본 연구과제의 수행을 통해 달성한 해외 기관과의 국제 협약 체결 실적은 다음 <표 4-2-8>과 같음.

<표 4-2-8> 해외 기관과의 국제 협약 체결 실적 - 4건

MOU 체결		
대상국	대상기관	체결 건수
미국	Real-time Automated Project Information and Decision Systems Laboratory/ School of Civil and Environmental Engineering/ Georgia Institute of Technology	1
대만	Project Intelligence and Management Laboratory/ Department of Civil and Construction Engineering/ National Taiwan University of Science and Technology	1
미국	School of Sustainable Engineering and the Built Environment/ IRA A. Fulton Schools of Engineering/ Arizona State University	1
미국	Robotics and Intelligent Construction Automation Laboratory/ School of Civil and Environmental Engineering/ Georgia Institute of Technology	1

아. 연구성과 확산 노력 성과

○ 본 연구과제의 연구 개발 결과를 홍보하기 위한 실적은 다음 <표 4-2-9>와 같음.

<표 4-2-9> 연구 개발 결과 홍보 실적 - 4건

홍보내용	홍보일시	비고
연구 성과 (국제 자동화 및 로봇 심포지엄에서의 첨단 센서 기반의 건설 현장 시공 관리를 위한 정보 모델의 활용 기술 개발 관련 최우수 포스터 논문상 수상) 홍보	2012.07.02	중앙대학교 홈페이지 CAU NEWS
연구 성과 (국제 자동화 및 로봇 심포지엄에서의 첨단 센서 기반의 건설 현장 시공 관리를 위한 정보 모델의 활용 기술 개발 관련 최우수 포스터 논문상 수상) 홍보	2012.09.01	KICTEP 웹진 제61호
연구성과 (자동화된 플랜트 배관모델 구축 기술 개발 관련 최우수 논문상 수상 - ASCE IWCCE 2013) 홍보	2013.06.27	중앙대학교 홈페이지 CAU NEWS
연구성과 (자동화된 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발 관련 포스터 제출 - CRC 2014) 홍보	2014.05.19	CRC 2014 학술대회 발표

자. 지침/매뉴얼

○ 본 연구과제의 수행을 통해 달성한 매뉴얼 개발 실적은 다음 <표 4-2-10>과 같음.

<표 4-2-10> 매뉴얼 개발 실적 - 1건

개발내용	비고
3차원 플랜트 정보 모델 구축 소프트웨어의 매뉴얼	

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과 향후 활용방안

○ 다음 <그림 5-1-1>은 본 연구과제를 통해 개발될 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술이 플랜트 프로젝트 시공 및 운영·유지 관리, 개보수 및 증설 단계에서 전반적인 활용이 가능함을 보여줌.

- 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술의 확보는 시공 단계에서의 시공오차 관리뿐만 아니라, 공정 정보와의 연계를 통한 자동화된 진도 관리에도 활용 가능함.
- 준공 단계에서는 정확한 준공도면 작성 및 도면 관리에 활용 가능함.
- 운영·유지 관리 단계에서는 플랜트 시설에 대한 공간 정보 제공과 더불어 수리 및 교체에 필요한 정보 제공을 가능케 함.
- 또한 플랜트 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 기존 시설물에 대한 현 상황 파악을 위한 도면을 제공하여 이를 바탕으로 한 경제적이고 효과적인 개보수 및 증설 계획 수립을 지원함.

○ 이러한 자동화된 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술은 시공 및 운영·유지 관리, 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 획기적인 발전을 가져와 국내 건설업계의 세계적인 경쟁력 확보에 크게 이바지할 것으로 기대됨.



<그림 5-1-1> 최종성과물의 활용 분야

1. 연구성과 활용방안

○ 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술의 확보는 시공 단계에서의 시공오차 관리뿐만 아니라, 공정 정보와의 연계를 통한 자동화된 진도 관리에도 활용 가능함. 준공 단계에서는 정확한 준공도면 작성 및 도면 관리에 활용 가능하며, 운영·유지 관리 단계에서는 플랜트 시설에 대한 공간 정보 제공과 더불어 수리 및 교체에 필요한 정보 제공을 가능케 함. 또한 플랜트 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 기존 시설물에 대한 현 상황 파악을 위한 도면을 제공하여 이를 바탕으로 한 경제적이고 효과적인 개보수 및 증설 계획 수립을 지원함. 이러한 자동화된 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술은 시공 및 운영·유지 관리, 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 획기적인 발전을 가져와 국내 건설업계의 세계적인 경쟁력 확보에 크게 이바지할 것으로 기대됨.

○ 최종성과물의 보급 및 확산에 참여할 수 있는 참여기업 확보
- 본 연구에서는 결과물을 바로 현업에 활용될 수 있도록 국내/외 플랜트 도급순위 상위 대형 건설사를 대상으로 개발된 기술 활용 관련 상호 협조체제를 구축하고, 개발된 기술의 검증을 위한 테스트베드 및 현장 적용 연구를 수행할 예정임.
- 또한 국제 수준에 부합하는 기술을 확보하여 세계시장에서의 실용화를 염두에 두는 상황에서 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 분야를 선도하는 Autodesk사, Bentley사와 같은 선진 업체의 노하우 및 조언이 필수적임. 이들은 FIATECH 연구소의 참여 기업으로 적극적인 기술교류 및 협력체계 구축을 추진하고자 함.

○ 최종성과물의 보완 개발 단계별 특허 출원 및 등록
- 본 연구과제에서는 연구결과의 최종성과물을 바로 현업에 적용할 수 있도록 하는 실용연구에 초점을 맞추었으며, 이에 연구과제 종료 이후 주요 요소기술의 보완 개발이 완료되는 단계별로 국내/외 특허 출원을 계획함. 이를 통해 국내에서의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축에 대한 원천기술 확보가 가능할 것으로 기대됨.

2. 기대성과 및 파급효과

가. 기술적 파급효과

○ 국내 건설 산업의 플랜트 프로젝트 시공 및 운영·유지 관리 기술의 세계적인 경쟁력 확보
- 공사 중이거나 시공된 플랜트 시설물에 대한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 개발을 통해 시공 및 운영·유지 관리의 획기적인 발전을 도모하며 국내 건설업계의 세계적인 경쟁력 확보가 가능함.

○ 국내 건설 산업의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 확보
- 국내 건설 산업은 플랜트 수주 시 경쟁력의 핵심인 엔지니어링 능력이 부족하며, 특히 플랜트 시공 및 운영·유지 관리에 필수적인 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축에 대한 기술력과 R&D 투자가 전무한 실정임. 본 연구과제를 통해 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축에 대한 기술 확보가 가능하며, 이에 대한 집중 투자를 통해 기존 기술의 한계를 극복함으로써 플랜트 정보 모델 구축 기술의 주도국으로서 자리매김이 기대됨.

○ 특화된 정보화 기술의 개발로 신산업 창출

- 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술과 같은 정보화 기술은 비단 건설 산업에 국한되는 것이 아니라, 개발된 원천 기술과 타 산업 분야와의 융합을 통해 새로운 산업 분야의 창출이 가능함. 이러한 새로운 산업 분야 창출을 기반으로 국내/외 산업의 새로운 시장 개척 및 선점이 가능해질 것으로 기대됨.

나. 사회·경제적 파급효과

○ 획기적인 플랜트 프로젝트 효율성 및 생산성 향상 기대

- 기존의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스는 수십 명의 인원이 수개월 이상 작업해야 하는 등 노동집약적인 프로세스에 의해 고비용과 장시간 소요라는 문제점을 안고 있음. 개발될 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술을 통해 시간을 획기적으로 단축하고, 정보의 정확성을 극대화함으로써 플랜트 프로젝트의 시공 및 운영·유지 관리 단계에서 활용 가능하며, 이를 통해 공사 일정의 단축과 더불어 공사금액의 약 8%, 시설물의 수리 및 보수비용의 약 5~15%의 절감 효과를 가져올 것으로 기대됨.

○ 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 소프트웨어 시장에서의 경쟁력 확보

- 자동화된 프로세스를 통해 정확한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축이 가능해 짐으로써, 현재 미국 소프트웨어 회사들이 주도하고 있는 As-Built 플랜트 모델 구축 소프트웨어 시장에서의 경쟁력을 키울 수 있을 것으로 기대됨.

○ 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축을 통한 플랜트 운영·유지 관리와 개보수 및 증설 시장에서의 경쟁력 확보

- 플랜트의 개보수 및 증설 시 요구되는 기존 플랜트 시설에 대한 정확한 As-Built 도면의 제공은 부정확한 As-Built 도면으로부터 발생할 수 있는 설계 변경과 재시공을 미연에 방지하여 보다 경제적이고 효과적인 개보수 및 증설을 가능케 함. 이에 따라 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 개발은 플랜트 운영·유지 관리와 개보수 및 증설 시장에서의 경쟁력 강화에 기여할 것으로 예상됨.

다. 전략적 파급효과

○ 국가 이미지 제고

- 첨단 센서 기반의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 개발로 선진 기술 수준에 근접함으로써 IT 강국으로서의 국가 이미지와 더불어 국가의 선진화 이미지를 제고하고, 개발될 기술을 통한 건설 산업의 첨단화, 효율화를 꾀함으로써 세계시장에서의 국가 경쟁력을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대됨.

○ 건설 산업의 이미지 제고

- 고부가가치 핵심기술 연구개발을 통해 건설 산업의 산업적 위상을 높일 수 있으며, 궁극적으로는 산업 자체의 이미지를 첨단 산업의 이미지로 격상 시킬 수 있을 것으로 기대됨.

○ 전문 인력 양성
- 주관 기관인 중앙대학교는 제안과제의 연구 기간 뿐만 아니라, 연구가 종료된 후에도 자체적인 교육프로그램을 통해 미래 지향적인 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축과 관련된 건설 정보화 기술에 대한 전문 인력을 양성할 예정임.

라. 타 산업에의 파급효과

○ 3차원 점군 데이터의 정합 기술 및 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술은 첨단 센서를 활용하는 다양한 산업에서 필요로 하는 컴퓨터 공학의 핵심 기술로써 전체산업으로 확대 적용이 가능함.

○ 기기와 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술은 기계 산업에서 기기의 제작, 유지 관리를 위해 필요로 하는 기술로, 관련 기술의 발전에 기여할 수 있을 것임.

○ 플랜트 모델의 정보화를 통하여 IT 기술 파급에 기여할 수 있을 것으로 예상되며, 본 연구결과의 활용에 따라 플랜트 정보화를 위한 투자가 촉진되어 국내 IT 분야의 새로운 시장이 형성될 것임.

제2절 추가연구 필요성

1. 개발 기술의 검증 및 보완

○ 개발된 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 및 핵심성과별 최종성과물의 추후 실용화 추진 및 마케팅을 위해서는 다수의 시공 중이거나 운영 중인 플랜트 시설을 대상으로 한 기술의 검증 및 보완이 필수적임. 이에 본 연구진은 연구 종료 이후에도 최종성과물의 검증 및 보완과 보급 및 확산에 참여할 수 있는 참여기업을 확보함으로써 개발된 기술 활용 관련 상호 협조체제를 구축하고, 개발된 기술의 검증을 위한 테스트베드 및 현장 적용 연구를 수행하고자 함.
- 또한 국제 수준에 부합하는 기술을 확보하여 세계시장에서의 실용화를 염두에 두는 상황에서 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 분야를 선도하는 Autodesk사, Bentley사와 같은 선진 업체의 노하우 및 조언이 필수적임. 이들은 FIATECH 연구소의 참여 기업으로 적극적인 기술교류 및 협력체계 구축을 추진하고자 함.

2. 관련 후속 연구개발의 필요성

○ 타 공종에 대한 정보 모델을 구축·관리할 수 있는 통합 정보 모델 기술 개발
- 플랜트 주요 공종인 배관, 밸브 및 제어기기, 기기뿐만 아니라, 타 공종에 대한 정보 모델을 구축·관리할 수 있는 통합 정보 모델 기술의 개발이 필요함.
- 통합 정보 모델 기술을 활용하여 플랜트 전 공종에 대한 정보 모델을 구축하고, 도면을 생성함으로써 플랜트의 유지 보수 등 운영 관리가 가능하도록 하는 연계 기술의 개발이 필요함.

○ 플랜트 변경 관리 시스템 개발

- 다음 <그림 5-2-1>은 금호미쓰이화학 여수공장에서 2013년 10월 22일과 2014년 7월 28일에 획득한 현장 사진을 나타냄. 사진에서 보는 바와 같이 플랜트 운영·유지 관리 단계에서 수행하는 시설물 정비 기간 이후, 일부 배관, 밸브, 제어기기, 기기 등이 해체되거나 새로 설치되며, 이러한 시설물 정비는 연간 여러 차례 수행됨.
- 이처럼 플랜트 운영·유지 관리 단계에서 수행하는 시설물 정비 기간 이후 이전 차시에 획득한 As-Built 데이터로부터 개발된 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술을 활용하여 플랜트 정보 모델을 구축하고, 이후 차시에 획득한 As-Built 데이터와 비교·분석함으로써 해체된 시설과 새로 설치된 시설에 대한 변경 사항을 자동으로 반영할 수 있는 기술의 개발이 필요함.



<그림 5-2-1> 개발된 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술을 기반으로 한 플랜트 변경 관리 시스템 추가 연구개발의 필요성

○ 플랜트 안전 관리 시스템 개발

- 최근 대형 플랜트에서 각종 안전사고가 잇따라 발생하면서, 플랜트 안전사고 예방 및 대응의 중요성이 부각됨. 국회에 제출된 자료에 따르면 대부분의 플랜트 안전사고의 원인은 정기 검사를 받지 않았거나, 안전 관리에 소홀한 데에 있는 것으로 나타남.
- 플랜트 안전사고 예방을 위한 목적으로 다양한 비파괴 검사 기술이 활용되고 있으나, 검사 체계가 미흡할 뿐만 아니라 수동 검사 방식에 따른 시간적, 경제적 비용이 막대함.
- 플랜트 운영·유지 관리 단계에서 개발된 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술을 활용하여 플랜트 정보 모델을 구축하고, 각종 센서를 사용하여 플랜트 배관, 밸브, 기기의 상태에 대한 정보를 입력·관리할 수 있는 플랜트 안전 관리 시스템을 개발함으로써 플랜트 안전 관리 상황을 통합적으로 모니터링하여 사고를 미연에 방지하는데 활용 가능할 것으로 기대됨.

참고문헌

[1] 강인석, 문현석, 박서영, 윤선미 (2006). "플랜트 4D의 효율적 공정연계체계를 위한 일정 및 도면의 개선된 연계방법론 구축." 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집. 559-562.

[2] 강인석, 지상복, 문현석, 안재규 (2007). "비용과 자원을 연계한 플랜트공사 nD CAD 시스템 기능 구성 방안." 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집. 809-813.

[3] 건설경제 (2014) : "현대건설, 9.9억달러 발전・담수플랜트 수주" <http://www.cnews.co.kr/uhtml/read.jsp?idxno=2014070314091568908O9> (2015년 2월).

[4] 건설경제신문 (2013), "내년 건설업계 이끌 새먹거리 'M(Management-Maintenance)'산업" <http://www.cnews.co.kr/uhtml/read.jsp?idxno=2013121814294769305l1>, (2015년 2월).

[5] 데일리안 (2013), "SK건설, 태국서 10억달러 규모의 아로마틱 플랜트 공사 수주" <http://kfp.dailian.co.kr/news/view/390065> (2015년 2월).

[6] 연합뉴스 (2009), "삼성ENG 알제리 3조원 초대형 공사 수주" <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2009/07/04/0200000000AKR20090704042300003.HTML> (2015년 2월).

[7] 연합인포맥스 (2013), "'블랙아웃 공포'에 두산重은 빛 보나" <http://news.einfomax.co.kr/news/articleView.html?idxno=75811> (2015년 2월).

[8] 이광훈 (2006), "2007년 석유화학산업 전망" 기업분석팀, 한화증권, 서울, 대한민국.

[9] 이데일리 (2012), "STX중공업, 1.5억불 이라크 가스터빈 발전플랜트 수주" <http://www.edaily.co.kr/news/NewsRead.edy?SCD=JC31&newsid=01128326599756880&DCD=A00303&OutLnkChk=Y> (2015년 2월).

[10] Amenta, N., Choi, S., and Kolluri, K. (2001). "The Power Crust." Proceedings of Sixth ACM Symposium on Solid Modeling and Applications. Ann Arbor, MI.

[11] Au, O.K.-C., Tai, C.-L., Chu, H.-K., Cohen-Or, D., and Lee, T.-Y. (2008). "Skeleton Extraction by Mesh Contraction." ACM Transactions on Graphics. 27(3), 44:1-44:10.

[12] Ayyagari, V.R., Boughorbel, F., Koschan, A., and Abidi, M.A. (2005). "A New Method for Automatic 3D Face Registration." Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, CA.

[13] Ballard, D.H. (1981). "Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Patterns." Pattern Recognition. 13(2), 111-122.

[14] Besl, P.J., and McKay, N. (1992). "A Method for Registration of 3-D Shapes." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 14(2), 239-256.

[15] Biswas, S., Aggarwal, G., and Chellappa, R. (2006). "Invariant Geometric Representation of 3D Point Clouds for Registration and Matching." Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Atlanta, GA.

[16] Bosche, F. (2010). "Automated Recognition of 3D CAD Model Objects in Laser Scans and Calculation of As-Built Dimensions for Dimensional Compliance Control in Construction." Advanced Engineering Informatics. 24(1), 107-118.

[17] Breitenreicher, D., and Schnorr, C. (2010). "Robust 3D Object Registration without Explicit Correspondence Using Geometric Integration." Machine Vision and Applications. 21(5), 601-611.

[18] Brunnstrom, K., and Stoddart, A. (1996). "Genetic Algorithms for Free-Form Surface Matching." Proceedings of International Conference of Pattern Recognition. Vienna, Austria.

[19] Cao, J., Tagliasacchi, A., Olson, M., Zhang, H., and Su, Z. (2010). "Point Cloud Skeletons via Laplacian-Based Contraction." Proceedings of Shape Modeling International Conference. Aix-en-Provence, France.

[20] Chen, C.S., Hung, Y.P., and Cheng, J.B. (1999). "Ransac-Based Darces: A New Approach to Fast Automatic Registration of Partially Overlapping Range Images." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 21(11), 1229-1234.

[21] Chen, Y., and Medioni, G. (1991). "Object Modeling by Registration of Multiple Range Images." Proceedings of 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Sacramento, CA.

[22] Chetverikov, D. (2003). "Automatic Fusion and Interpretation of 2D and 3D Sensor Data." ERCIM News. (55), October.

[23] Chow, C., Tsui, H., and Lee, T. (2004). "Surface Registration Using A Dynamic Genetic Algorithm." Pattern Recognition. 37(1), 105-117.

[24] Chua, C.S., and Jarvis, R. (1997). "Point Signatures: A New Representation for 3D Object Recognition." International Journal of Computer Vision. 25(1), 63-85.

[25] Chung, D.H., Yun, I.D., and Lee, S.U. (1998). "Registration of Multiple-Range Views Using the Reverse-Calibration Technique." Pattern Recognition. 31(4), 457-464.

[26] Cicirello, V., and Regli, W.C. (2001). "Machining Feature-Based Comparisons of Mechanical Parts." Proceedings of the 2001 International Conference on Shape Modeling and Applications. Genova, Italy.

[27] Cornea, N.D., Silver, D., and Min, P. (2005). "Curve-Skeleton Applications." Proceedings of IEEE Visualization Conference. Minneapolis, MN.

[28] Cornea, N.D., Silver, D., and Min, P. (2007). "Curve-Skeleton Properties, Applications, and Algorithms." IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 13(3), 530-548.

[29] Corney, J., Rea, H., Clark, D., Pritchard, J., Breaks, M., and Macleod, R. (2002). "Coarse Filters for Shape Matching." IEEE Computer Graphics and Applications. 22(3), 65-74.

[30] Crow, F. (1977). "Shadow Algorithms for Computer Graphics." Proceedings of 24th Annual Conference Computer Graphics and Interactive Techniques (Siggraph 77). Newyork, NY.

[31] Dey, T.K., and Zhao, W. (2004). "Approximate Medial Axis as a Voronoi Subcomplex." Computer-Aided Design. 36(2), 195-202.

[32] Duan, W., Kuester, F., Gaudiot, J., and Hammami, O. (2008). "Automatic Object and Image Alignment Using Fourier Descriptors." Image and Vision Computing. 26(9), 1196-1206.

[33] Elad, M., Tal, A., and Ar, S. (2001). "Content Based Retrieval of VRML Objects - An Iterative and Interactive Approach." Proceedings of the Eurographics Workshop. Manchester, United Kingdom.

[34] El-Mehalawi, M., and Miller, R.A. (2003). "A Database System of Mechanical Components Based on Geometric and Topological Similarity. Part II: Indexing, Retrieval, Matching and Similarity Assessment." Computer-Aided Design. 35(1), 95-105.

[35] Feldmar, J., and Ayache, N. (1996). "Rigid, Affine and Locally Affine Registration of Free-Form Surfaces." International Journal of Computer Vision. 18(2), 99-119.

[36] Fishler, M.A., and Bolles, R.C. (1981). "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography." Communications of the ACM. 24(6), 381-395.

[37] Fitzgibbon, A.W. (2001). "Robust Registration of 2D and 3D Point Sets." Proceedings of The British Machine Vision Conference. Manchester, United Kingdom.

[38] Forlani, G., and Nardinocchi, C. (2007). "Adaptive Filtering of Aerial Laser Scanning Data." Proceedings of ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007. Espoo, Finland.

[39] Frome, A., Huber, D., Kolluri, R., Bulow, K., and Malik, J. (2004). "Recognizing Objects in Range Data Using Regional Point Descriptors." Proceedings of Eighth European Conference Computer Vision. Prague, Czech Republic.

[40] Funkhouser, T., Kazhdan, M., Shilane, P., Min, P., Kiefer, W., Tal, A., Rusinkiewicz, S., and Dobkin, D. (2004). "Modeling by Example." ACM Transactions on Graphics. 23(3), 652-663.

[41] Goyal, M., Murugappan, S., Piya, C., Benjamin, W., Fang, Y., Liu, M., and Ramani, K. (2012). "Towards Locally and Globally Shape-Aware Reverse 3D Modeling." Computer-Aided Design. 44(6), 537-553.

[42] Haralick, R.M., Joo, H., Lee, C., Zhuang, X., Vidya, V.G., and Kim, M.B. (1989). "Pose Estimation from Corresponding Point Data." IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 19(6), 1426-1446.

[43] Huang, H., Shen, L., Zhang, R., Makedon, F., Hettleman, B., and Pearlman, J. (2005). "Surface Alignment of 3D Spherical Harmonic Models: Application to Cardiac MRI Analysis." Proceedings of International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention. Palm Springs, CA.

[44] Ip, C.Y., Regli, W.C., Sieger, L., and Shokoufandeh, A. (2003). "Automated Learning of Model Classifications." Proceedings of the 8th ACM Symposium on Solid Modeling and Applications. Seattle, WA.

[45] Ip, C.Y., Lapadat, D., Sieger, L., and Regli, W.C. (2002). "Using Shape Distributions to Compare Solid Models." Proceedings of the 7th ACM Symposium on Solid Modeling and Applications. Saarbr?cken, Germany.

[46] Johnson, A.E., and Hebert, M. (1999). "Using Spin Images for Efficient Object Recognition in Cluttered 3D Scenes." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 21(5), 433-449.

[47] Johnson, A.E. (1997). "Spin-Images: A Representation for 3-D Surface Matching." Ph.D. Thesis, Carnegie Mellon University, USA.

[48] Kawashima, K., Kanai, S., and Date, H. (2011). "Automatic Recognition of a Piping System from Large-Scale Terrestrial Laser Scan Data." Proceedings of ISPRS Workshop on Laser Scanning 2011. Calgary, Canada.

[49] Kazhdan, M., Funkhouser, T., and Rusinkiewicz, S. (2003). "Rotation Invariant Spherical Harmonic Representation of 3D Shape Descriptors." Proceedings of Eurographics Symposium on Geometry Processing. Aire-la-Ville, Switzerland.

[50] Kim, C., Haas, C.T., Liapi, K.A., and Caldas, C.H. (2006). "Human-Assisted Obstacle Avoidance System Using 3D Workspace Modeling for Construction Equipment Operation." Journal of Computing in Civil Engineering. 20(3), 177-186.

[51] Knorr, E.M., Ng, R.T., and Tucakov, V. (2000). "Distance-Based Outliers: Algorithms and Applications." The International Journal on Very Large Data Bases. 8(3-4), 237-253.

[52] Kriegel, H.P., Brecheisen, S., Kroger, P., Pfeifle, M., and Schubert, M. (2003). "Using Sets of Feature Vectors for Similarity Search on Voxelized CAD Objects." Proceedings of the 2003 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. San Diego, CA.

[53] Lamdan, Y., and Wolfson, H.J. (1998). "Geometric Hashing: A General and Efficient Model-Based Recognition Scheme." Proceedings of Second International Conference on Computer Vision Tarpon Springs. Tempa, FL.

[54] Liu, Y., Zhang, J., Hou, J., Ren, J., and Tang, W. (2013). "Cylinder Detection in Large-Scale Point Cloud of Pipeline Plant." IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 19(10), 1700-1707.

[55] Lu, D., Zhao, H., Jiang, M., Zhou, S., and Zhou, T. (2005). "A Surface Reconstruction Method for Highly Noisy Point Clouds." Proceedings of 3rd International Workshop on Variational, Geometric, and Level Set Methods in Computer Vision. Beijing, China.

[56] Masuda, H., and Tanaka, I. (2010). "As-Built 3D Modeling of Large Facilities Based on Interactive Feature Editing." Proceedings of International Conference on Computer-Aided Design. San Jose, CA.

[57] Masuda, T. (2001). "Generation of Geometric Model by Registration and Integration of Multiple Range images." Proceedings of Third International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling. Quebec City, Canada.

[58] McWherter, D., Peabody, M., Regli, W.C., and Shokoufandeh, A. (2001). "Transformation Invariant Shape Similarity Comparison of Solid Models." Proceedings of the 2001 ASME Design Engineering Technical Conferences. Pittsburgh, PA.

[59] Mian, A.S., Bennamoun, M., and Owens, R.A. (2005). "Automatic Correspondence for 3D Modeling: An Extensive Review." International Journal of Shape Modeling. 11(2), 253-291.

[60] Moisan, L., and Stival, B. (2004). "A Probabilistic Criterion to Detect Rigid Point Matches Between Two Images and Estimate the Fundamental Matrix." International Journal of Computer Vision. 57(3), 201-218.

[61] Paquet, E., Rioux, M., Murching, A., Naveen, T., and Tabatabai, A. (2000). "Description of Shape Information for 2-D and 3-D Objects." Signal Processing: Image Communication. 16(1), 103-122.

[62] Rabbani, T., and Van den Heuvel, F. (2005). "Efficient Hough Transform for Automatic Detection of Cylinders in Point Clouds." Proceedings of ISPRS Workshop on Laser Scanning 2005. Enschede, Netherlands.

[63] Rousseeuw, P.J. (1984). "Least Median of Squares Regression." Journal of the American Statistical Association. 79, 871-880.

[64] Sakakubara, S., Kounoike, Y., Shinano, Y., and Shimizu, I. (2007). "Automatic Range Image Registration Using Mixed Integer Linear Programming." Proceedings of 8th Asian Conference on Computer Vision. Tokyo, Japan.

[65] Salvi, J., Matabosch, C., Fofi, D., and Forest, J. (2007). "A Review of Recent Range Image Registration Methods with Accuracy Evaluation." Image and Vision Computing. 25(5), 578-596.

[66] Saupe, D., and Vranic, D.V. (2001). "3D Model Retrieval with Spherical Harmonics and Moments." Pattern Recognition. 2191, 392-397.

[67] Shum, H.-Y., Hebert, M., and Ikeuchi, K. (1996). "On 3D Shape Similarity." Proceedings of the 1996 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco, CA.

[68] Silva, L., Bellon, O.R.P., and Boyer, K.L. (2005). "Precision Range Image Registration Using a Robust Surface Interpenetration Measure and Enhanced Genetic Algorithm." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 27(5), 762-776.

[69] Son, H., and Kim, C. (2010). "3D Structural Component Recognition and Modeling Method Using Color and 3D Data for Construction Progress Monitoring." Automation in Construction. 19(7), 977-1000.

[70] Son, H., Kim, C., and Choi, K. (2010). "Rapid 3D Object Detection and Modeling Using Range Data from 3D Range Imaging Camera for Heavy Equipment Operation." Automation in Construction. 19(7), 898-906.

[71] Sternberg, H., and Kersten, T.P. (2007). "Comparison of Terrestrial Laser Scanning Systems in Industrial As-Built-Documentation Applications." Proceedings of Optical 3-D Measurement Techniques. Zurich, Switzerland.

[72] Sun, J., Ovsjanikov, M., Guibas, L.J. (2009). "A Concise and Provably Informative Multi-Scale Signature Based on Heat Diffusion." Computer Graphics Forum. 28(5), 1383-1392.

[73] Tang, C.K., Medioni, G., and Lee, M.S. (2001). "N-Dimensional Tensor Voting and Application to Epipolar Geometry Estimation." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 23(8), 829-844.

[74] Tangelder, J.W., and Veltkamp, R.C. (2008). "A Survey of Content Based 3D Shape Retrieval Methods." Multimedia Tools and Applications. 39(3), 441-471.

[75] Tarel, J.P., Civi, H., and Copper, D.B. (1998). "Pose Estimation of Free-Form 3D Objects without Point Matching Using Algebraic Surface Models." Proceedings of IEEE Workshop on Model-Based 3D Image Analysis. Mumbai, India.

[76] Telea, A., and Vilanova, A. (2003). "A Robust Level-Set Algorithm for Centerline Extraction." Proceedings of Symposium on Data Visualization 2003. Grenoble, France.

[77] Tubic, D., Hebert, P., Deschenes, J., and Laurendeau, D. (2002). "A Unified Representation for Interactive 3D Modeling." Proceedings of 2nd International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission. Thessaloniki, Greece.

[78] Vranic, D.V. (2003). "An Improvement of Rotation Invariant 3D Shape Descriptor Based on Functions on Concentric Spheres." Proceedings of the 2003 International Conference on Image Processing. Barcelona, Spain.

[79] Weinmann, M., Osep, A., Ruiters, R., and Klein, R. (2013). "Multi-View Normal Field Integration for 3D Reconstruction of Mirroring Objects." Proceedings of International Conference on Computer Vision. Sydney, Australia.

[80] Yamany, S.M., and Farag, A.A. (2002). "Surface Signatures: An Orientation Independent Free-Form Surface Representation Scheme for the Purpose of Objects Registration and Matching." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 24(8), 1105-1120.

[81] Yang, J., Shen, D., Davatzikos, C., and Verma, R. (2008). "Diffusion Tensor Image Registration Using Tensor Geometry and Orientation Features." Proceedings of Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. New York, N.Y.

[82] Yu, M., Atmosukarto, I., Leow, W.K., Huang, Z., and Xu, R. (2003). "3D Model Retrieval with Morphing Based Geometric and Topological Feature Maps." Proceedings of the 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Madison, WI.

[83] Zaharia, T., and Preteux, F.J. (2001). "3D Shape-Based Retrieval within the MPEG-7 Framework." Proceedings of the SPIE Conference on Nonlinear Image Processing and Pattern Analysis XII. San Jose, CA.

[84] Zhang, C., and Chen, T. (2001). "Efficient Feature Extraction for 2D/3D Objects in Mesh Representation." Proceedings of the 2001 International Conference on Image Processing. Atlanta, GA.

[85] Zhang, W., Shan, S., Gao, W., Chen, X., and Zhang, H. (2005). "Local Gabor Binary Pattern Histogram Sequence (LGBPHS): A Novel Non-Statistical Model for Face Representation and Recognition." Proceedings of the Tenth IEEE International Conference on Computer Vision. Beijing, China.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설교통기술촉진연구사업의 최종보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

별 첨

[별첨 1] 연구개발결과 활용계획서 ····· 1

[별첨 2] 연구개발 핵심성과 요약 ····· 35

[별첨 3] 최종성과물 일람 ····· 45

[별첨 1]

연구개발결과 활용계획서

A. 과제 일반정보

<table>
<tr><td rowspan="3">사업명</td><td rowspan="3">건설교통기술촉진연구사업</td><td rowspan="3">과학기술
표준분류</td><td>대분류</td><td>중분류</td><td>소분류</td><td>가중치(%)</td></tr>
<tr><td>EI</td><td>EI04</td><td>EI0404</td><td>70</td></tr>
<tr><td>EI</td><td>EI04</td><td>EI0403</td><td>30</td></tr>
<tr><td>과제유형</td><td colspan="2">□기초 □응용 ☑개발</td><td>실용화
대상여부</td><td colspan="3">□실용화 ☑비실용화</td></tr>
<tr><td>연구과제명</td><td colspan="2">플랜트 시공 및
운영·유지관리를 위한
자동화된 3차원 플랜트 정보
모델 기술 개발</td><td>과제구분</td><td colspan="3">☑일반 □연구단 □사업단</td></tr>
<tr><td>주관연구기관</td><td colspan="2">중앙대학교 산학협력단</td><td>연구
책임자</td><td colspan="3">김 창 완</td></tr>
<tr><td>총연구기간</td><td colspan="6">2012년 04월 10일 ~ 2015년 02월 09일 (34개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">총연구개발비
(단위: 천원)</td><td>정부출연금</td><td colspan="2">민간부담금</td><td colspan="3">합계</td></tr>
<tr><td>590,000</td><td colspan="2">0</td><td colspan="3">590,000</td></tr>
<tr><td>공동연구기관</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>참여기업</td><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td>구분</td><td colspan="2">성과활용책임자</td><td colspan="4">성과활용실무자</td></tr>
<tr><td>성명</td><td colspan="2">김 창 완</td><td colspan="4">손 효 주</td></tr>
<tr><td>소속기관/부서</td><td colspan="2">중앙대학교/ 건축학부</td><td colspan="4">중앙대학교/ 건축학부</td></tr>
<tr><td>E-mail</td><td colspan="2">changwan@cau.ac.kr</td><td colspan="4">hjson0908@cau.ac.kr</td></tr>
<tr><td>연락처</td><td colspan="2">02) 820-5726</td><td colspan="4">02) 825-5726</td></tr>
</table>

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제35조 (연구개발결과의 보고) 제2항에 의거 연구개발결과 활용계획서를 제출합니다.

붙임 1. 성과총람 원고 1부.
2. 기술소개자료 각 1부 (기술별).

2015년 06월 26일

주관(협동) 연구기관장 김 원 용 (직인)

B. 요소기술 정보

□ 요소기술 총괄

연구과제명	해당 기관명	핵심연구성과	요소기술	정부출연금 (백만원)	기술실시 계약대상 여부	비고
플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발	주관: 중앙대학교 산학협력단	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	1. 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	90	비대상	
		자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템	2. 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템	215	비대상	
		As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	3. As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	285	비대상	
소 계				590		
연구단 운영비				※ 해당사항 없음 (일반과제).		
소 계				590		

구분	1
요소기술명	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템
기술개요	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템은 여러 위치에서 획득한 3차원 점군 데이터 간의 정합 및 이상치 데이터 제거를 통한 3차원 점군 데이터 개선 기능을 포함하는 소프트웨어를 나타냄.
관련 키워드	3차원 점군 데이터; 이상치 데이터 제거; 점군 데이터 개선; 점군 데이터 정합; 점군 데이터 획득; 플랜트 시설
기술 분류	실제환경검증
결과물 유형	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ☑S/W □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구분	2
요소기술명	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템
기술개요	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템은 획득된 점군 데이터로부터 배관 점군 데이터 추출, 종류별 배관 분할, 배관 표면 모델 구축 기능을 포함하는 소프트웨어를 나타냄.
관련 키워드	3차원 점군 데이터; 배관 점군 데이터 추출; 배관 표면 모델 구축; 종류별 배관 분할; 점군 데이터 획득; 플랜트 시설
기술 분류	실제환경검증
결과물 유형	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ☑S/W □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구분	3
요소기술명	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템
기술개요	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템은 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축에 활용되는 데이터베이스를 나타냄.
관련 키워드	3차원 점군 데이터; 개별 밸브, 제어기기, 기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭; 플랜트 밸브, 플랜트 밸브, 제어기기, 기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내의 모델 간의 정합; 제어기기, 기기에 대한 점군 추출; 점군 데이터 획득; 플랜트 시설
기술 분류	실제환경검증
결과물 유형	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ☑S/W □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기	□기술도입기 ☑기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

C. 성과활용 네트워크 정보

요소기술 구분	1	요소기술명	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템
구분		주체명	
연구개발결과 시험·검증기관			
연구개발결과 수요기업			
연구개발결과 현장적용 기관·업체			
연구개발결과 추가 R&D (사업비) 투자·자문 기관			

요소기술 구분	2	요소기술명	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템
구분		주체명	
연구개발결과 시험·검증기관			
연구개발결과 수요기업			
연구개발결과 현장적용 기관·업체			
연구개발결과 추가 R&D (사업비) 투자·자문 기관			

요소기술 구분	3	요소기술명	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템
구분		주체명	
연구개발결과 시험·검증기관			
연구개발결과 수요기업			
연구개발결과 현장적용 기관·업체			
연구개발결과 추가 R&D (사업비) 투자·자문 기관			

D. 성과 정보

1. 특허 등록

No.	요소기술 구분	특허명칭	등록번호	등록일	출원인
A-1	2	3차원 데이터로부터 특정 객체를 추출하는 시스템 및 방법	10-1364375	2014.02.11	중앙대학교 산학협력단
A-2	3	3차원 데이터로부터 3차원 산업 모델을 구축하는 시스템 및 방법	10-1388749	2014.04.17	중앙대학교 산학협력단
A-3	1	3차원 데이터로부터 검출 대상체를 추출하는 장치 및 방법	10-1419334	2014.07.08	중앙대학교 산학협력단
A-4	2	3차원 스캐닝 데이터를 이용한 배관 모델링 방법 및 장치	10-1493659	2015.02.09	중앙대학교 산학협력단
A-5	3	3차원 스캐닝 데이터를 이용한 3차원 산업 객체 모델링 방법 및 장치	10-1500911	2015.03.05	중앙대학교 산학협력단

2. 학술지 게재

No.	요소기술 구분	SCI/ 일반	논문명	학술지명	주저자 명	Vol. (No)	페이지		게재 일자
				ISBN/ ISSN			시작	끝	
B-1	2	SCI	Skeleton-Based 3D Reconstruction of As-Built Pipelines from Laser-Scan Data	Automation in Construction 0926-5805	이주혁 김창완	35	199	207	2013. 11
B-2	2	SCI	Fully Automated As-Built 3D Pipeline Extraction Method from Laser-Scanned Data Based on Curvature Computation	Journal of Computing in Civil Engineering 0887-3801	손효주 김창완	-	B401 4003 -1	B401 4003 -9	2014. 07
B-3	3	SCI	3D Reconstruction of As-Built Industrial Instrumentation Models from Laser-Scanned Data and 3D CAD Database Based on Prior Knowledge	Automation in Construction 0926-5805	손효주 김창완	49	193	20	2015. 01

3. 소프트웨어 등록

No.	요소기술 구분	SW명칭	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명
E-1	1	플랜트로부터 획득한 점군 데이터의 자동화된 정합 및 이상치 제거 프로그램	2013.11.05	중앙대학교 산학협력단	2013.11.28	제 C-2013-024553호	중앙대학교 산학협력단
E-2	2	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축을 위한 점군 데이터 분할 프로그램	2014.01.24	중앙대학교 산학협력단	2014.02.11	제 C-2014-003231호	중앙대학교 산학협력단
E-3	3	자동화된 플랜트 정보 모델 구축을 위한 점군 데이터 분할 프로그램	2015.01.08	중앙대학교 산학협력단	2015.01.28	제 C-2015-001724호	중앙대학교 산학협력단

4. 신기술 지정

No.	요소기술 구분		출원일	고시일	보호기간	지정번호
F-1						

5. 시제품 제작

No.	요소기술 구분	시제품명	출시/ 제작일	제작 업체명	설치장소	이용분야
C-1						

6. 현장시험

No.	요소기술 구분	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
D-1	1	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.29	구역 1	점군 데이터 정합 기술 개발, 이상치 제거를 통한 개선 기술, 배관에 대한 점군 데이터 분할 기술
D-2	1	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.29	구역 1	플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술
D-3	1	GS건설 VGOFCC Project	2012.07.09	구역 1	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발

(다음 페이지에 계속)

(이전 페이지에 이어)

No.	요소기술 구분	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
D-4	1	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.07.09	구역 2	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
D-5	1	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.08.31	구역 2	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
D-6	1	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.20	구역 3	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
D-7	1	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.23	구역 3	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
D-8	1	GS건설 No. 2 CA/EDC Project	2012.11.29	구역 3	플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
D-9	2	LG화학 CA/EDC 현장	2013.05.15	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 적용
D-10	2	LG화학 CA/EDC 현장	2013.06.26	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 배관 구성요소별 배관 분할 기술 적용
D-11	2	LG화학 CA/EDC 현장	2013.07.12	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 배관 구성요소별 표면 모델 구축 기술 적용
D-12	2	금호미쓰이화학 여수공장	2013.11.04	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용
D-13	2	금호미쓰이화학 여수공장	2013.11.18	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용
D-14	2	금호미쓰이화학 여수공장	2013.11.25	구역 3	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용
D-15	2	금호미쓰이화학 여수공장	2013.11.28	구역 4	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용
D-16	2	금호미쓰이화학 여수공장	2013.12.02	구역 5	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용

(다음 페이지에 계속)

(이전 페이지에 이어)

No.	요소기술 구분	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
D-17	2	금호미쓰이화학 여수공장	2014.01.21	구역 6	테스트베드를 대상으로 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술 적용
D-18	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.07.28	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-19	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.07.29	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-20	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.09.30	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-21	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.10.01	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-22	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.10.23	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-23	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.10.24	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-24	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.10.29	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-25	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.10.30	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-26	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.10.31	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-27	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.11.05	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-28	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.11.07	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-29	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.11.12	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용

(다음 페이지에 계속)

(이전 페이지에 이어)

No.	요소기술 구분	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
D-30	3	여천NCC 여수공장	2014.11.13	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-31	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.11.14	구역 3	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-32	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.11.19	구역 4	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-33	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.11.20	구역 4	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-34	3	대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트	2014.11.21	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-35	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.11.26	구역 5	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-36	3	금호미쓰이화학 여수공장	2014.11.27	구역 5	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-37	3	대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트	2014.12.05	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-38	3	여천NCC 여수공장	2014.12.08	구역 2	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-39	3	여천NCC 여수공장	2014.12.10	구역 3	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-40	3	여천NCC 여수공장	2014.12.12	구역 4	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-41	3	두산중공업 창원공장	2015.01.22	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용
D-42	3	한국중부발전 서울화력발전소	2014.01.27	구역 1	테스트베드를 대상으로 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 적용

7. 표준/인증

No.	요소기술 구분	인증번호 (규격번호)	인증명	취득일	취득기관	관리기관
K-1						

8. 정책채택

No.	요소기술 구분	구분	정책명	관련기관 (담당부서)	시행일시	채택내용
L-1						

9. 법령반영

No.	요소기술 구분	구분	활용구분 (신규/개선)	명칭	해당 조항	시행 일시	관리 부처	제정/ 개선내용
M-1								

10. 설계기준, 시방서, 지침에 반영

No.	요소기술 구분	구분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	설계기준/시방서/ 지침/명칭	반영일시	반영내용
J-1						

11. 기술실시계약

No.	요소기술 구분	계약명	실시 기업명	계약 체결일	기술사용 시작일	기술사용 종료일	징수일자	징수금액 (천원)	계약 유형
G-1									

12. 사업화/제품화

No.	요소기술 구분	사업화명	사업화내용	업체명	사업자 등록번호	매출액 (천원)	매출발생 년도	고용실적 (명)
H-1								

13. 현장적용 (시공)**

No.	요소기술 구분	발주기관명	시공업체명	적용현장명	공사시작일	공사종료일	공사금액 (천원)***
I-1							

** 현장적용 (시공): 사업화주체 (기업)가 개발기술을 실제 공사현장 (수주)에 적용하여 매출이 발생하는 경우
***공사금액: 당해 기술이 적용된 공사의 총 공사금액

E. 성과활용 정보

구분	1	요소기술명	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템

※ 본 보고서에서 사용하는 “성과의 활용”이란 용어는 아래와 같은 의미를 가지고 있습니다.

“국토교통 R&D 성과의 활용“ 이란?

국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단합니다. 본 조사에서는 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류하고 있습니다. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류합니다.

1. 위 내용을 고려하였을 때 현재시점 (R&D 종료)에서 귀 기관의 R&D 결과물은 그 성과가 활용되었습니까? (2)

   1. 예, 활용되었습니다.　　2. 아니오, 활용되지 않았습니다.

2. 귀 기관이 수행한 건설교통 R&D 사업의 종료 후, 결과물이 활용되기까지 거쳐야 하는 프로세스를 <보기>와 같은 단계로 정의하였습니다. 귀 기관의 R&D 결과물의 활용프로세스 상 현재 단계를 표시하여 주십시오.

<보기> R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계

단계	단계명 (R&D 종료시점)	단계정의
Ⅰ	기술 개발 단계	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계
	☑완료	
Ⅱ	기술 검증・보완 단계	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계
	□준비 ☑진행중 □완료	
Ⅲ	실용화 추진 단계(마케팅)	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안・홍보・입찰 등) 단계
	□준비 □진행중	
Ⅳ	시장수용 단계	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계
	□초기발생 □지속발생	

3. 위 2에서 Ⅰ~Ⅲ단계라고 응답한 경우, R&D 결과물을 활용하기 위해 지속적인 활동을 진행하실 예정입니까? (1)

   1. 예, 계속 활용을 추진할 예정입니다.　　2. 아니오, 활용추진을 중단하였습니다.

4. 귀 기관이 위 2번에서 응답한 단계까지 수행한 주요 활동내용을 구체적으로 설명해 주십시오.

   ※ 만약 귀 기관이 위 2번에서 Ⅲ단계라고 응답한 경우, Ⅰ단계, Ⅱ단계, Ⅲ단계의 주요 활동내용(주체, 시기, 산출물이나 공사명 등을 구체적으로 기입)을 작성해 주십시오.

   ※ 수행한 주요 활동내용을 기재하시고 B. 성과 및 활용정보에서 기재한 활용성과 번호를 함께 기재해 주십시오.

단계	단계명	단계정의
Ⅰ	기술 개발 단계	연구개발 목표 달성 (A-3, E-1)
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	특허 등록을 통해 기술적 타당성 검증 (A-3) 소프트웨어 (E-1)를 개발하고, 해당 기술의 검증 및 보완을 위해 GS건설의 No. 2 CA/EDC Project와 VGOFCC Project를 대상으로 현장 시험 진행 (D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6, D-7, D-8)

구분	2	요소기술명	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템

※ 본 보고서에서 사용하는 “성과의 활용”이란 용어는 아래와 같은 의미를 가지고 있습니다.

“국토교통 R&D 성과의 활용“ 이란?

국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단합니다. 본 조사에서는 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류하고 있습니다. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류합니다.

1. 위 내용을 고려하였을 때 현재시점 (R&D 종료)에서 귀 기관의 R&D 결과물은 그 성과가 활용되었습니까? (2)

   1. 예, 활용되었습니다.　　2. 아니오, 활용되지 않았습니다.

2. 귀 기관이 수행한 건설교통 R&D 사업의 종료 후, 결과물이 활용되기까지 거쳐야 하는 프로세스를 <보기>와 같은 단계로 정의하였습니다. 귀 기관의 R&D 결과물의 활용프로세스 상 현재 단계를 표시하여 주십시오.

<보기> R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계

단계	단계명 (R&D 종료시점)	단계정의
Ⅰ	기술 개발 단계	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계
	☑완료	
Ⅱ	기술 검증・보완 단계	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계
	□준비 ☑진행중 □완료	
Ⅲ	실용화 추진 단계(마케팅)	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안・홍보・입찰 등) 단계
	□준비 □진행중	
Ⅳ	시장수용 단계	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계
	□초기발생 □지속발생	

3. 위 2에서 Ⅰ~Ⅲ단계라고 응답한 경우, R&D 결과물을 활용하기 위해 지속적인 활동을 진행하실 예정입니까? (1)

   1. 예, 계속 활용을 추진할 예정입니다.　　2. 아니오, 활용추진을 중단하였습니다.

4. 귀 기관이 위 2번에서 응답한 단계까지 수행한 주요 활동내용을 구체적으로 설명해 주십시오.

   ※ 만약 귀 기관이 위 2번에서 Ⅲ단계라고 응답한 경우, Ⅰ단계, Ⅱ단계, Ⅲ단계의 주요 활동내용(주체, 시기, 산출물이나 공사명 등을 구체적으로 기입)을 작성해 주십시오.

   ※ 수행한 주요 활동내용을 기재하시고 B. 성과 및 활용정보에서 기재한 활용성과 번호를 함께 기재해 주십시오.

단계	단계명	단계정의
Ⅰ	기술 개발 단계	연구개발 목표 달성 (A-1, A-4, B-1, B-2, E-2)
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	특허 등록을 통해 기술적 타당성 검증 (A-1, A-4) 소프트웨어 (E-2)를 개발하고, 해당 기술의 검증 및 보완을 LG화학 CA/EDC 현장과 금호미쓰이화학 여수공장을 대상으로 현장 시험 진행 (D-9, D-10, D-11, D-12, D-13, D-14, D-15, D-16, D-17)

구분	3	요소기술명	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템

※ 본 보고서에서 사용하는 “성과의 활용”이란 용어는 아래와 같은 의미를 가지고 있습니다.

“국토교통 R&D 성과의 활용“ 이란?

국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단합니다. 본 조사에서는 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류하고 있습니다. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류합니다.

1. 위 내용을 고려하였을 때 현재시점 (R&D 종료)에서 귀 기관의 R&D 결과물은 그 성과가 활용되었습니까? (2)

   1. 예, 활용되었습니다.　　2. 아니오, 활용되지 않았습니다.

2. 귀 기관이 수행한 건설교통 R&D 사업의 종료 후, 결과물이 활용되기까지 거쳐야 하는 프로세스를 <보기>와 같은 단계로 정의하였습니다. 귀 기관의 R&D 결과물의 활용프로세스 상 현재 단계를 표시하여 주십시오.

<보기> R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계

단계	단계명 (R&D 종료시점)	단계정의
Ⅰ	기술 개발 단계	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계
	☑완료	
Ⅱ	기술 검증・보완 단계	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계
	□준비 ☑진행중 □완료	
Ⅲ	실용화 추진 단계(마케팅)	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안・홍보・입찰 등) 단계
	□준비 □진행중	
Ⅳ	시장수용 단계	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계
	□초기발생 □지속발생	

3. 위 2에서 Ⅰ~Ⅲ단계라고 응답한 경우, R&D 결과물을 활용하기 위해 지속적인 활동을 진행하실 예정입니까? (1)

   1. 예, 계속 활용을 추진할 예정입니다.　　2. 아니오, 활용추진을 중단하였습니다.

4. 귀 기관이 위 2번에서 응답한 단계까지 수행한 주요 활동내용을 구체적으로 설명해 주십시오.

   ※ 만약 귀 기관이 위 2번에서 Ⅲ단계라고 응답한 경우, Ⅰ단계, Ⅱ단계, Ⅲ단계의 주요 활동내용(주체, 시기, 산출물이나 공사명 등을 구체적으로 기입)을 작성해 주십시오.

   ※ 수행한 주요 활동내용을 기재하시고 B. 성과 및 활용정보에서 기재한 활용성과 번호를 함께 기재해 주십시오.

단계	단계명	단계정의
Ⅰ	기술 개발 단계	연구개발 목표 달성 (A-2, A-5, B-3, E-3)
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	특허 등록을 통해 기술적 타당성 검증 (A-2) 소프트웨어 (E-3)을 개발하고, 기술의 검증 및 보완을 위해 금호미쓰이화학 여수공장, 여천NCC 여수공장, 대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트, 두산중공업 창원공장, 그리고 한국중부발전 서울화력발전소를 대상으로 현장 시험 진행 (D-18, D-19, D-20, D-21, D-22, D-23, D-24, D-25, D-26, D-27, D-28, D-29, D-30, D-31, D-32, D-33, D-34, D-35, D-36, D-37, D-38, D-39, D-40, D-41, D-42)

F. 성과활용 계획

구분	1	요소기술명	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간 (활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□완료	□완료	□완료	□완료	□완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□준비 □진행중 ☑완료	□준비 □진행중 ☑완료	□준비 □진행중 □완료	□준비 □진행중 □완료	□준비 □진행중 □완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□준비 □진행중	□준비 □진행중	□준비 □진행중	□준비 □진행중	□준비 □진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용 (예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명 (R&D 종료시점)	주요 활동내용			
		주체	성과물/ 개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계				
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	대우조선해양	현장시험/1회	종료후 1년	옥포조선소 내 건조중인 해양플랜트를 대상으로 시험적용
		두산중공업	현장시험/1회	종료후 1년	창원공장 내 운영 중인 플랜트 시설을 대상으로 시험적용
		한국중부발전	현장시험/1회	종료후 1년	서울화력발전소 내 운영 중인 플랜트 시설을 대상으로 시험적용
Ⅲ	실용화 추진 단계(마케팅)				
Ⅳ	시장수용 단계				

(다음 페이지에 계속)

(이전 페이지에 이어)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
   1, 예, 필요합니다.　　2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	2	요소기술명	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간 (활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□완료	□완료	□완료	□완료	□완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□준비 □진행중 ☑완료	□준비 □진행중 ☑완료	□준비 □진행중 □완료	□준비 □진행중 □완료	□준비 □진행중 □완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□준비 □진행중	□준비 □진행중	□준비 □진행중	□준비 □진행중	□준비 □진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용 (예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명 (R&D 종료시점)	주요 활동내용			
		주체	성과물/ 개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계				
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	여천NCC	현장시험/2회	종료후 1년	여수공장 내 운영 중인 플랜트 시설을 대상으로 시험적용
		대우조선해양	현장시험/1회	종료후 2년	옥포조선소 내 건조중인 해양플랜트를 대상으로 시험적용
		두산중공업	현장시험/1회	종료후 2년	창원공장 내 운영 중인 플랜트 시설을 대상으로 시험적용
		한국중부발전	현장시험/1회	종료후 2년	서울화력발전소 내 운영 중인 플랜트 시설을 대상으로 시험적용

(다음 페이지에 계속)

(이전 페이지에 이어)

단계	단계명 (R&D 종료시점)	주요 활동내용			
		주체	성과물/ 개수	시기	내용
Ⅲ	실용화 추진 단계(마케팅)				
Ⅳ	시장수용 단계				

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
   1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	3	요소기술명	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템

1. 동 연구개발결과의 향후 5년간 (활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표・계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□완료	□완료	□완료	□완료	□완료
Ⅱ	기술 검증・보완 단계	기술 검증・보완 단계	기술 검증・보완 단계	기술 검증・보완 단계	기술 검증・보완 단계
	□준비 □진행중 ☑완료	□준비 □진행중 ☑완료	□준비 □진행중 □완료	□준비 □진행중 □완료	□준비 □진행중 □완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□준비 □진행중	□준비 □진행중	□준비 □진행중	□준비 □진행중	□준비 □진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생	□초기발생 □지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용 (예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명 (R&D 종료시점)	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/ 개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계				
Ⅱ	기술 검증・보완 단계	여천NCC	현장시험/2회	종료후 1년, 종료후 2년, 각 1회씩	여수공장 내 운영 중인 플랜트 시설을 대상으로 시험적용
Ⅲ	실용화 추진 단계(마케팅)				
Ⅳ	시장수용 단계				

* 주체: 연구주관기관 (연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물 (예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 결과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제・개정이 필요합니까? (2)
   1, 예, 필요합니다.　　2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

[별첨 1] 붙임 1.

국토교통연구개발사업
성과총람 원고

주관연구기관명	중앙대학교 산학협력단
연 구 책 임 자 명	김 창 완

Ⅰ. 과제 기본정보

사업명	건설교통기술촉진연구사업
최상위과제명	플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발
(핵심·세부) 과제명	플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발
연구책임자 정보	(성 명) 김 창 완 (전 화) 02) 820-5726 (이메일) changwan@cau.ac.kr (소 속) 중앙대학교 건축학과



Ⅱ. 연구개발 배경 및 목표

1. 연구배경

○ 플랜트 정보 모델 (Plant Information Model)이란, 플랜트 시설을 구성하는 각종 배관, 밸브, 기기에 대한 3차원 기하학적 형상 정보를 가진 객체 모델에 개별 객체에 대한 정보를 포함하는 개념임. 이는 프로젝트를 전 단계 (설계, 조달, 시공 및 운영·유지 관리)에 걸쳐 효과적으로 관리하고 운영할 수 있도록 함으로써 프로젝트의 성공적 완수를 위한 필수적 도구로 인식되고 있음.

○ 기존 플랜트 정보 모델은 설계 단계에서 계획된 시설물의 3차원 기하학적 모델을 활용한다는 점에서 시공 및 운영·유지 관리 단계에서의 활용이 극히 제한됨. 이는 시공 단계에서의 설계 변경 등과 운영·유지 관리 단계에서의 개보수 및 증설로 인해 설계 단계에서 계획된 시설물과 시공된 (또는 운영·유지되고 있는) 시설물의 상황이 상이한 데에서 비롯함.

○ 따라서 플랜트 정보 모델을 프로젝트 전 단계에 걸쳐 효과적으로 사용하고 이를 통해 국내 건설업계의 경쟁력을 확보하기 위해서는 시공 및 운영·유지 관리 단계에서 플랜트 시설물의 현 상황 (As-Built)을 반영한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술의 확보가 필수적임.

○ 국내 건설업계에서의 공사 중이거나 시공된 플랜트 시설물에 대한 플랜트 정보 모델 구축 프로세스는 노동 집약적 특성을 가지고 있어 수십 명의 인원이 수개월 이상 작업해야 하는 등 고비용과 장시간 소요라는 문제점을 안고 있음.

○ 본 연구과제는 기존 상용 소프트웨어를 활용한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스의 비효율성과 복잡성, 수작업 오류로 인한 정보 모델의 부정확성 등의 문제를 개선하는 것을 목표로 하여 수작업에 의한 정보 모델 구축 프로세스를 획기적으로 단축시키는 프로세스를 제안함.

2. 연구목표

○ 본 연구과제의 최종목표는 공사 중이거나, 운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델을 구축하는 기술을 개발하는 것임.

○ 기존 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 프로세스는 90% 정도를 수작업에 의존하여 많은 인력과 시간이 소요됨. 본 연구과제에서는 기존 프로세스의 비효율성과 복잡성, 수작업 오류로 인한 정보 모델의 부정확성 등의 문제를 개선하는 것을 목표로 하여 수작업에 의한 정보 모델 구축 프로세스를 20% 이하로 획기적으로 단축시키는 프로세스를 제안・개발함.

○ 본 연구과제의 최종목표를 달성하기 위한 주요 연구목표는 다음과 같음.
- 플랜트 시설로부터 첨단 센서를 이용하여 획득한 3차원 As-Built 점군 데이터의 정합 및 개선 기술 개발
- 컴퓨터 비전 기술을 활용한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발
- 플랜트 데이터베이스를 기반으로 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발

Ⅲ. 연구개발 내용 및 결과물

1. 주요 연구내용

(1) 플랜트 시설로부터 첨단 센서를 이용하여 획득한 3차원 As-Built 점군 데이터의 정합 및 개선 기술 개발

○ 첨단 센서를 이용하여 획득한 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 기술 개발

○ 테스트베드 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완

(2) 컴퓨터 비전 기술을 활용한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술 개발

○ 플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발

○ 플랜트 배관의 3차원 모델 구축 기술 개발

○ 테스트베드 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완

(3) 플랜트 데이터베이스를 기반으로 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술 개발

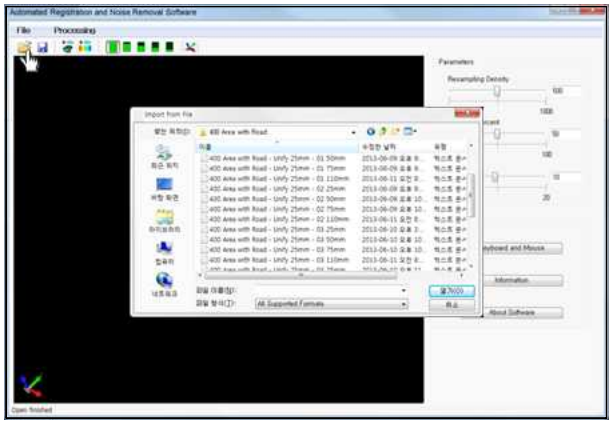
○ 플랜트 밸브 및 제어기기의 3차원 모델 구축 기술 개발

○ 플랜트 기기의 3차원 모델 구축 기술 개발
○ 테스트베드 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완

2. 연구개발 결과

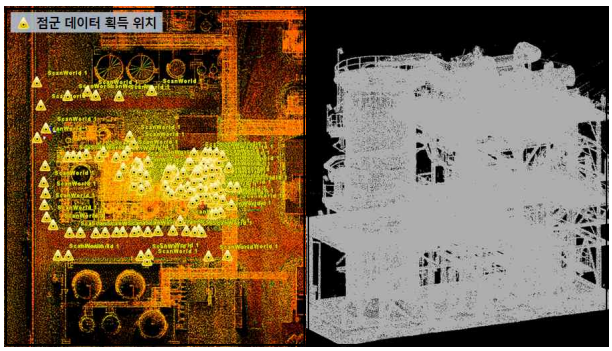
가. 핵심성과 1

(1) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 여러 위치에서의 데이터 획득
- ○ 플랜트 시설에 관한 테스트베드 협의/선정
- ○ 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립
- ○ 3차원 스캐닝 업체와의 기술교류 및 협력
- ○ 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득



점군 데이터 정합 및 개선 시스템 화면

(2) 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발
- ○ 데이터 특성에 적합한 3차원 점군 데이터 정합 기술 정립
- ○ 플랜트 정보 모델 구축 업체와의 기술교류 및 협력
- ○ 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발



점군 데이터 정합 및 개선 결과

(3) 플랜트 시설로부터 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발
- ○ 데이터 특성에 적합한 이상치 제거 기술 정립
- ○ 전문가 자문을 통한 이상치 제거 기술 검토
- ○ 이상치 데이터 제거 기술 개발

(4) 운영 중인 플랜트 시설에서 획득한 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선
- ○ 운영 중인 플랜트 시설에 대한 테스트베드 협의 및 선정
- ○ 플랜트 시설 내의 데이터 획득 계획 수립
- ○ 테스트베드를 대상으로 한 데이터 획득
- ○ 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선

(5) 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 검증 및 보완
- ○ 개발한 기술의 검증 및 보완을 위한 전략 체계 구축
- ○ 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 개선사항 도출 및 기술적 보완
- ○ 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템 개발 및 등록

(6) 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 기술의 현장적용성 평가

○ 테스트베드 적용 계획 수립
○ 플랜트 점군 데이터 정합 및 개선 기술의 현장적용성 평가 계획 수립
○ 해당 기술의 테스트베드 적용 및 현장적용성 평가

나. 핵심성과 2

(1) 플랜트 시설에 대한 3차원 점군 데이터로부터 플랜트 배관에 대한 점군 분할을 위한 특성 파악
○ 국내/외 플랜트 정보 모델 구축 관련 기술 수준 및 기술 동향 파악
○ 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 요구사항 분석

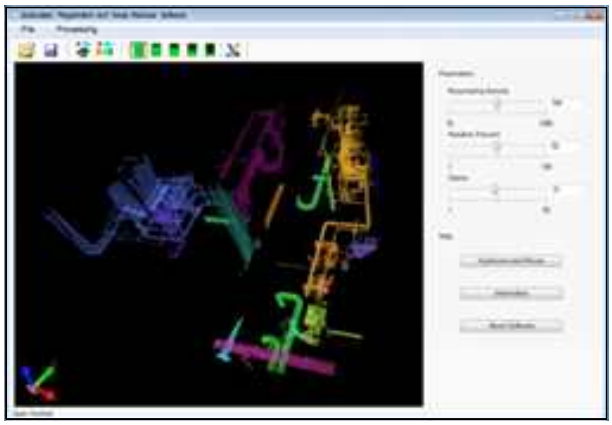
(2) 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발
○ 데이터 특성에 적합한 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 정립
○ 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발
○ 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완
○ 수요자 요구 반영을 위한 설문

(3) 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발
○ 배관 중심축 추출 기술 요구사항 분석
○ 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
○ 플랜트 배관 중심축 추출 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
○ 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

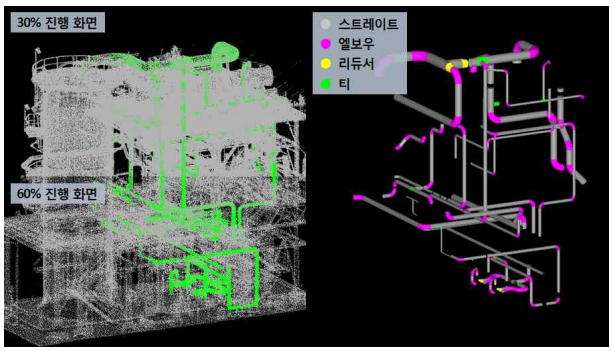
(4) 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발
○ 플랜트 배관 파트별 특성 및 파트 간 연결 관계 분석
○ 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
○ 플랜트 배관 파트 인식 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
○ 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

(5) 플랜트 배관 표면 모델 구축 기술 개발
○ 플랜트 배관 파트별 파라메트릭 모델 자동 생성을 위한 매개 변수 정의
○ 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축
○ 플랜트 배관 파트별 표면 모델 구축 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토
○ 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

(6) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완
○ 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축
○ As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완
○ 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가



플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 화면



플랜트 배관 정보 모델 구축 결과

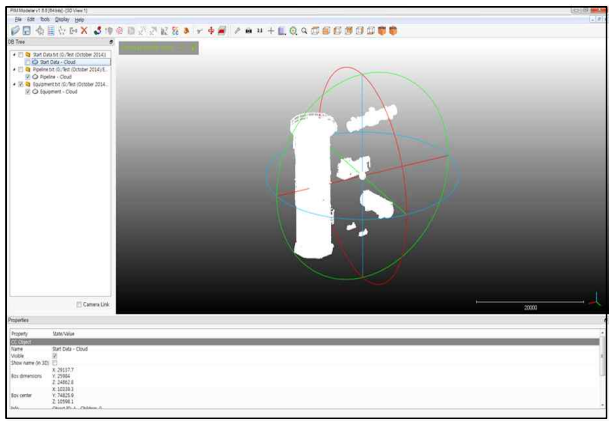
다. 핵심성과 3

(1) 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발

○ 데이터 특성에 적합한 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 정립

○ 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술 개발

○ 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가

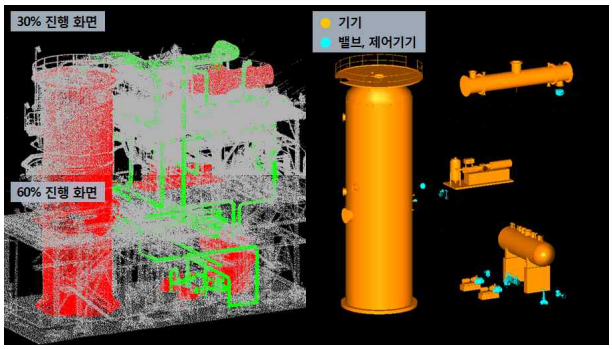


플랜트 밸브, 기기 정보 모델 구축 시스템 화면

(2) 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술 개발

○ 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 요구사항 분석

○ 데이터 특성에 적합한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 정립



플랜트 밸브, 기기 정보 모델 구축 결과

○ 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 매칭 기술 개발

(3) 밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발

○ 데이터 특성에 적합한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 정립

○ 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 데이터베이스 내 모델 간의 정합 기술 개발

(4) 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발

○ 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 요구사항 분석

○ 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

○ 플랜트 기기 점군 데이터 추출 기술 개발 및 테스트베드 적용

○ 개선사항 반영을 통한 기술 개선 및 고도화

(5) 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발

○ 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 요구사항 분석

○ 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

○ 플랜트 기기 매칭 및 검색 기술 개발 및 테스트베드 적용

○ 개선사항 반영을 통한 기술 개선 및 고도화

(6) 기하학적 원형 조합 기반 기기 형상 복원 기술 개발

○ 플랜트 기기 종류별 구성 요소 정의

○ 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 프레임워크 정립 및 구축

○ 기하학적 원형 조합 기반 플랜트 기기 형상 복원 기술 개발 및 기술 자문을 통한 기술 검토

○ 테스트베드를 대상으로 한 개발 기술 평가 및 보완

(7) 테스트베드 및 현장 적용을 통한 제안된 방법의 검증 및 보완

○ 운영 중인 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축

○ 자동화된 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완

○ 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가

3. 연구개발 성과

가. 질적 성과 달성

○ 핵심성과 1: 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템

- 산학연간 기술지원 - 2건
- 전문가 의견 반영 실적 - 12건
- 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 8건
- 테스트베드 활용 건수 - 23회
- 현장 적용 건수 - 8건

○ 핵심성과 2: 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템

- 전문가 의견 반영 실적 - 10건
- 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 3건
- 현장 적용 건수 - 9건
- 기술 동향 조사 실적 (국내/외) - 1건
- 수요자 요구 반영 실적 - 12건
- 플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가 - 1건

○ 핵심성과 3: As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템

- 산학연간 기술지원 - 8건
- 전문가 의견 반영 실적 - 21건
- 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 2건
- 테스트베드 활용 건수 - 33회
- 현장 적용 건수 - 25건
- 플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가 - 1건
- 플랜트 정보 모델 구축 공정 단축율 - 60% 이상
- 플랜트 정보 모델 구축 인력 감축 효과 - 65% 이상
- 과제 수행 전과 비교한 기술 수준 향상 효과 - 100% 이상
- 선진국과의 기술 능력 격차 연수 - 0년

나. 양적 성과 달성

○ SCI급 국제 학술지 논문 게재 - 3건

○ 국제 학술회의 논문 발표 - 8건

○ 특허 출원 및 등록 - 국내 등록 5건 (출원 5건 포함), 미국 출원 1건

○ 소프트웨어 (S/W) 등록 - 3건

○ 국제 협력 활성화 - 국제 회의 (워크샵) 개최 4회, 해외 기관과의 국제 협약 체결 4건

○ 연구개발 결과 홍보 - 4건
○ 인력 양성 배출 실적 - 석사 5명, 학사 2명
○ 매뉴얼 개발 - 1건
○ 국제 학술단체 수상 - 2건

Ⅳ. 활용계획 및 기대효과

1. 활용계획

○ 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술의 확보는 시공 단계에서의 시공오차 관리뿐만 아니라, 공정 정보와의 연계를 통한 자동화된 진도 관리에도 활용 가능함. 준공 단계에서는 정확한 준공도면 작성 및 도면 관리에 활용 가능하며, 운영·유지 관리 단계에서는 플랜트 시설에 대한 공간 정보 제공과 더불어 수리 및 교체에 필요한 정보 제공을 가능케 함. 또한 플랜트 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 기존 시설물에 대한 현 상황 파악을 위한 도면을 제공하여 이를 바탕으로 한 경제적이고 효과적인 개보수 및 증설 계획 수립을 지원함. 이러한 자동화된 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술은 시공 및 운영·유지 관리, 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 획기적인 발전을 가져와 국내 건설업계의 세계적인 경쟁력 확보에 크게 이바지할 것으로 기대됨.

○ 최종성과물의 보급 및 확산에 참여할 수 있는 참여기업 확보
- 본 연구에서는 결과물을 바로 현업에 활용될 수 있도록 국내/외 플랜트 도급순위 상위 대형 건설사를 대상으로 개발된 기술 활용 관련 상호 협조체제를 구축하고, 현장 적용 및 검증을 위한 테스트베드 연구를 수행할 예정임.

○ 최종성과물의 보완 개발 단계별 특허 출원 및 등록
- 본 연구과제에서는 연구결과의 최종성과물을 바로 현업에 적용할 수 있도록 하는 실용연구에 초점을 맞추었으며, 이에 연구과제 종료 이후 주요 요소기술의 보완 개발이 완료되는 단계별로 국내/외 특허 출원을 계획함. 이를 통해 국내에서의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축에 대한 원천기술 확보가 가능할 것으로 기대됨.

2. 기대효과

(1) 기술적 기대효과
○ 국내 건설 산업의 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 확보
○ 국내 건설 산업의 플랜트 프로젝트 시공 및 운영·유지 관리 기술의 세계적인 경쟁력 확보
○ 특화된 정보화 기술의 개발로 신산업 창출

(2) 사회·경제적 기대효과
○ 획기적인 플랜트 프로젝트 효율성 및 생산성 향상 기대

○ 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 시장에서의 경쟁력 확보
○ 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축을 통한 플랜트 운영·유지 관리와 개보수 및 증설 시장에서의 경쟁력 확보

(3) 공공적 기대효과
○ 국가 이미지 제고
○ 건설 산업의 이미지 제고
○ 전문 인력 양성

3. 선진 기술수준과의 기술격차 해소

○ 본 연구개발 과제를 통해 개발 완료한 핵심기술별 과제 시작 전과 비교한 기술수준 향상 효과 및 기술격차 축소 효과를 평가하기 위해 플랜트 정보 모델을 활용하는 실무자 21명을 대상으로 설문을 실시함. 각 항목의 평균 점수에 따르면 설문에 참여한 플랜트 실무자들은 개발한 핵심기술별 과제 시작 전과 비교한 기술수준 향상 효과 기술격차 축소 효과가 매우 높은 것으로 평가함 (다음 <표 1> 참조).

<표 1> 과제 시작 전과 비교한 개발 기술에 대한 평가

핵심성과명	기술수준 향상 효과 평균 (1: 전혀 향상이 없다~ 7: 매우 향상 되었다)	기술격차 축소 효과 평균 (1: 전혀 축소가 없다~ 7: 매우 축소 되었다)
플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	5.95	5.81
자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템	6.29	5.95
As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	6.24	6.05

[별첨 1] 붙임 2.

기술소개자료 (SMK: Sales Material Kit)

플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발

□ 기술개요

"현 상황 (As-Built)을 반영한 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델"이란, 플랜트 시설의 완공된 상태를 도면화 하는 작업으로 플랜트 시설의 주요 구성 요소인 배관, 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 위치 및 형상을 그대로 반영한 3차원 정보 모델을 의미함.

해외 플랜트 개보수 및 증설 시장에서의 국내 EPC 업체들의 경쟁력 우위 확보를 위해 기존 플랜트 시설의 현 상황 (As-Built)을 반영한 3차원 플랜트 정보 모델 (Plant Information Model) 구축 기술 개발

※ 플랜트 정보 모델은 기존 플랜트 시설에 대한 3차원 기하학적 형상 정보 및 다양한 속성 정보를 포함하고 있어 기존 시설에 대한 부정확한 파악으로 발생할 수 있는 설계 변경 및 재시공을 미연에 방지하여 보다 경제적인 개보수 및 증설을 가능케 함.

□ 기존 기술의 문제점

❶ 기존 플랜트 정보 모델은 설계 단계에서 계획된 시설물의 3차원 기하학적 모델을 활용한다는 점에서 시공 및 운영·유지 단계에서의 활용이 극히 제한됨.

❷ 국내 건설업계에서의 공사 중이거나 시공된 플랜트 시설물에 대한 플랜트 정보 모델 구축 프로세스는 노동 집약적 특성을 가지고 있음.

❸ 수십명의 인원이 수개월 이상 작업해야 하는 등 고비용과 장시간 소요라는 문제점을 안고 있음.

❹ 기존 기술은 실린더, 기하학적 원형과 같은 단순한 형태를 가진 배관 또는 기기에 대한 제한적인 3차원 기하학적 모델을 구축하는 데에만 제한됨.

□ 기술의 차별성 및 효과

차별성

수작업에 의한 정보 모델 구축 프로세스를 획기적으로 단축시키는 프로세스 제안

기술적 효과

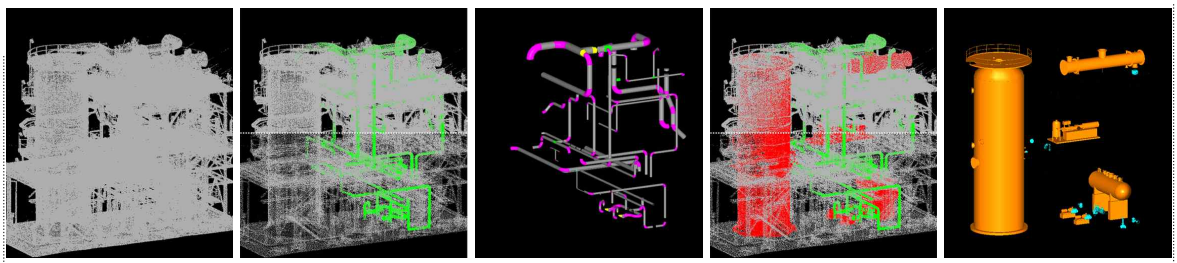
선진국과의 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 분야 기술능력 격차 최소화

- 국내 건설 산업의 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 기술 확보 및 기술 주도국으로써 위치 선점
- 국내 건설 산업의 프로젝트 시공 및 운영·유지 관리 기술의 세계적인 경쟁력 확보
- 특화된 정보화 기술의 개발로 신산업 창출

경제적 효과

프로세스 효율화를 통한 인력 감축 효과 65% 이상

- 획기적인 플랜트 프로젝트 효율성 및 생산성 향상 기대
- 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델 구축 시장에서의 경쟁력 확보
- 플랜트 운영·유지 관리와 개보수 및 증설 시장에서의 경쟁력 확보



플랜트 시설의 현 상황 (As-Built)을 반영한 3차원 플랜트 정보 모델 (Plant Information Model) 구축 프로세스

□ 기술활용 실적 및 기술내용

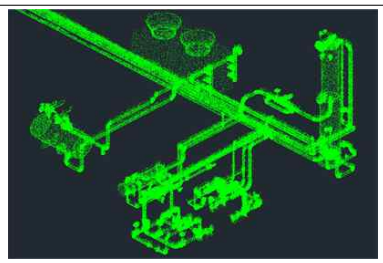
활용실적

▪ 현장 적용 42건 (GS건설, LG화학, 금호미쓰이화학, 여천NCC, 대우조선해양, 한국중부발전 등)

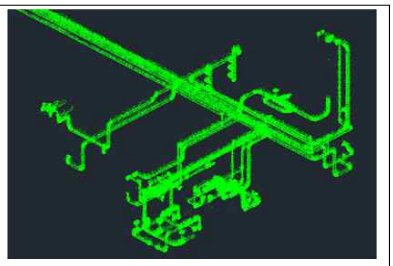
기술내용



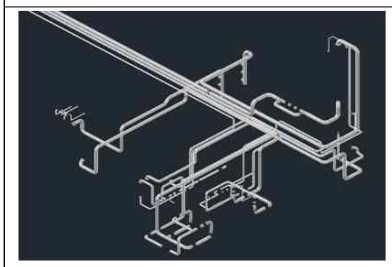
(1) 3차원 점군 데이터 획득



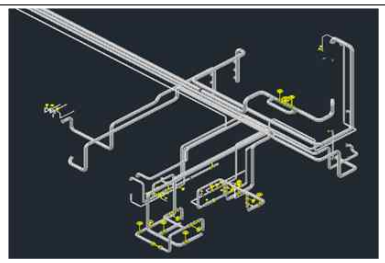
(2) 점군 데이터 정합 및 개선



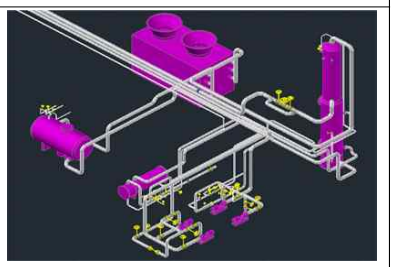
(3) 배관 점군 데이터 추출



(4) 배관 정보 모델 구축



(5) 밸브 정보 모델 구축



(6) 기기 정보 모델 구축

□ 수요처 및 권리현황

수요처

수요처	적용처
▪	▪

권리현황

▪ 국내 특허 5건 (등록, 출원), 미국 출원 1건

특허명	특허번호	비고
▪ 3차원 데이터로부터 검출 대상체를 추출하는 장치 및 방법	10-1419334	등록
▪ 3차원 데이터로부터 3차원 산업 모델을 구축하는 시스템 및 방법	10-1388749	등록
▪ 3차원 데이터로부터 특정 객체를 추출하는 시스템 및 방법	10-1364375	등록
▪ 3차원 스캐닝 데이터를 이용한 배관 모델링 방법 및 장치	10-1493659	등록
▪ 3차원 스캐닝 데이터를 이용한 3차원 산업 객체 모델링 방법 및 장치	10-1500911	등록
▪ System and Method for 3D Reconstruction of As-Built Industrial Model from 3D Data	14/313,592	미국 출원

□ 추가기술정보

기술분류

기술수준	□ 기술개념확립 □ 연구실환경검증 □ 시제품제작 ☑ 실제환경검증 □ 신뢰성평가 □ 상용품제작 □ 사업화
시장전망	개보수 및 증설 시장이 플랜트 시장에서 차지하고 있는 비중이 점차 확대됨에 따라 3차원 As-Built 플랜트 정보 모델을 구축하는 기술의 중요성이 더욱 확대될 것으로 전망됨.

□ 문 의

관리자	- 국토교통과학기술진흥원 성과활용실(031-389-6000) - techbiz@kaia.re.kr
연구자	- 중앙대학교 산학협력단 - 김 창 완 - 02) 820-5726 - changwan@cau.ac.kr

[별첨 2]

연구개발 핵심성과 요약

작성일: 2015. 06. 26/ 작성자: 김 창 완

1. 연구개발과제 개요

사업명	국토교통기술촉진연구사업		과제번호	14CHUD-C061919-03
연구개발단계	□기초연구 ■실험 □시작품 □실용화 □사업화		최종성과유형	□공법,기법 □재료,자재 ■소프트웨어 □장비,장비 □시스템 □정책,제도 □기타
연구과제명	플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발		과제구분	■일반 □연구단 □사업단
주관연구기관	중앙대학교 산학협력단		연구책임자	김 창 완
총연구기간 및 연구개발비 (단위: 천원)	2012년 04월 10일 ~ 2015년 02월 09일 (2년 10개월)			
	정부출연금	민간부담금	정부외출연금	합계
	590,000			590,000

2. 연구개발 핵심성과

연번	세부	핵심성과	최종성과유형	핵심성과 달성을 위한 전체기간 중 주요실적
1	주관	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	소프트웨어	▪ 산학연간 기술지원 - 2건 [증빙 01], [증빙 05] 참조 ▪ 전문가 의견 반영 실적 - 12건 [증빙 02] 참조 ▪ 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 8건 [증빙 03], [증빙 06] 참조 ▪ 테스트베드 활용 건수 - 23회 [증빙 07], [증빙 08], [증빙 09], [증빙 10] 참조 ▪ 현장 적용 건수 - 8건 [증빙 04] 참조 ▪ 국제 학술회의 논문 발표 - 2건 [증빙 31] 참조 ▪ 특허 출원/등록 건수 (국내/외) - 1건 [증빙 32] 참조 ▪ 소프트웨어 (S/W) 등록 - 2건 [증빙 33] 참조

(다음 페이지에 계속)

(이전 페이지에 이어)

연번	세부	핵심성과	최종성과유형	핵심성과 달성을 위한 전체기간 중 주요실적
1	주관	플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	소프트웨어	▪ 국제 협력 활성화: 국제 회의 (워크샵) 개최 - 2회, 해외 기관과의 국제 협약 체결 - 1건 [증빙 34] 참조 ▪ 국제 학술단체 수상 - 1건 [증빙 38] 참조
2	주관	자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템	소프트웨어	▪ 전문가 의견 반영 실적 - 10건 [증빙 18] 참조 ▪ 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 3건 [증빙 13], [증빙 15] 참조 ▪ 현장적용 건수 - 9건 [증빙 14], [증빙 16] 참조 ▪ 플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가 - 2 (높음) [증빙 17] 참조 ▪ 수요자 요구 반영 실적 - 12건 [증빙 12] 참조 ▪ 기술 동향 조사 실적 (국내/외) - 1건 [증빙 11] 참조 ▪ SCI급 국제 학술지 논문 게재 - 1건 [증빙 30] 참조 ▪ 국제 학술회의 논문 발표 - 4건 [증빙 31] 참조 ▪ 특허 출원/등록 건수 (국내/외) - 3건 [증빙 32] 참조 ▪ 소프트웨어 (S/W) 등록 건수 - 1건 [증빙 33] 참조 ▪ 연구개발 결과 홍보 - 2건 [증빙 35] 참조 ▪ 인력 양성 배출 실적 - 1건 [증빙 36] 참조 ▪ 매뉴얼 개발 - 1건 [증빙 37] 참조
3	주관	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	소프트웨어	▪ 산학연간 기술지원 - 8건 [증빙 19], [증빙 29] 참조 ▪ 전문가 의견 반영 실적 - 21건 [증빙 28] 참조 ▪ 테스트베드 시험결과의 반영 실적 - 2건 [증빙 24] 참조 ▪ 테스트베드 활용 건수 - 33회 [증빙 23] 참조 ▪ 현장적용 건수 - 25건 [증빙 25] 참고 ▪ 플랜트 전문가의 기술에 대한 현장적용성 검토 평가 - 2 (높음) [증빙 20] 참조 ▪ 플랜트 정보 모델 구축 공정 단축율 - 60% 이상 [증빙 26] 참고

(다음 페이지에 계속)

(이전 페이지에 이어)

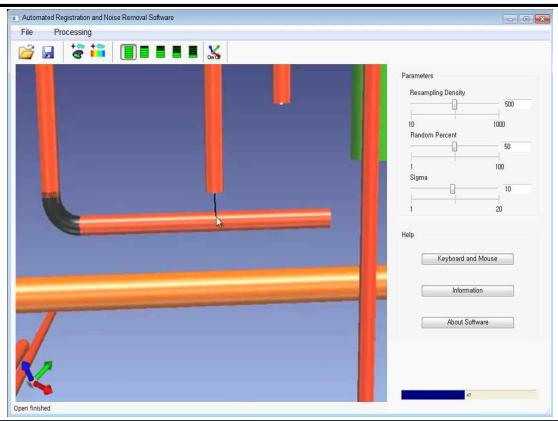
연번	세부	핵심성과	최종성과유형	핵심성과 달성을 위한 전체기간 중 주요실적
3	주관	As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템	소프트웨어	▪ 플랜트 정보 모델 구축 인력 감축 효과 - 65% 이상 [증빙 27] 참고 ▪ 과제 수행 전과 비교한 기술 수준 향상 효과 - 100% 이상 [증빙 21] 참고 ▪ 선진국과의 기술 능력 격차 연수 - 0년 [증빙 22] 참고 ▪ SCI급 국제 학술지 논문 게재 - 2건 [증빙 30] 참조 ▪ 국제 학술회의 논문 발표 - 2건 [증빙 31] 참조 ▪ 특허 출원/등록 건수 (국내/외) - 7건 [증빙 32] 참조 ▪ 국제 협력 활성화: 국제 회의 (워크샵) 개최 - 2회, 해외 기관과의 국제 협약 체결 - 3건 [증빙 34] 참조 ▪ 연구개발 결과 홍보 - 2건 [증빙 35] 참조 ▪ 인력 양성 배출 실적 - 6건 [증빙 36] 참조 ▪ 국제 학술단체 수상 - 1건 [증빙 38] 참조

3. 핵심성과별 세부 설명

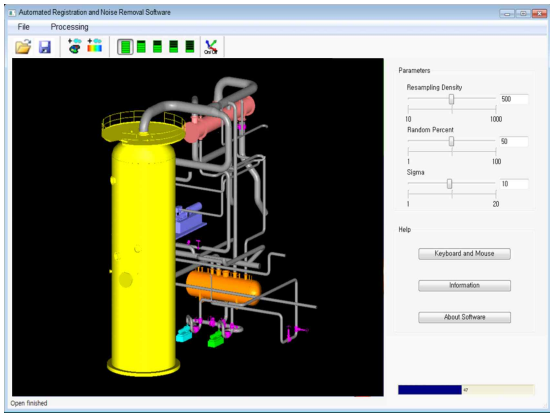
1) 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림/사진</td><td colspan="6">  </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="6">▪ 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템은 여러 위치에서 획득한 3차원 점군 데이터 간의 정합 및 이상치 데이터 제거를 통한 3차원 점군 데이터 개선 기능을 포함하는 소프트웨어를 나타냄.</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">▪ 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템은 대규모의 복잡한 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위해 필수적으로 요구되는 기술임.</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="6">▪ 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템 개발을 통해 3차원 센서로부터 획득한 점군 데이터의 자동화된 정합 및 개선에 활용하고자 함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">▪ 플랜트 시설과 같은 야외 환경에서 획득되는 점군 데이터는 노이즈와 같은 이상치를 포함할 가능성이 높을 뿐만 아니라, 데이터 간 밀도차이가 존재할 수 있으며, 복잡한 환경으로 인해 일부 데이터가 유실될 수 있기 때문에 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 시스템은 이러한 환경에서도 자동으로 정합이 가능하여야 함.
▪ 플랜트 시설에서 레이저 스캐너를 이용하여 획득한 3차원 점군 데이터 내에는 모델 하고자 하는 배관, 밸브 및 제어기기, 기기에 대한 데이터뿐만 아니라, 이상치 데이터를 포함하기 때문에 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 개선 시스템은 배관, 기기, 밸브, 구조물 등에 대한 데이터가 갖는 특성과 이상치 데이터가 갖는 특성 간의 차이를 이용하여 자동으로 이상치를 제거할 수 있어야 함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자
(소속기관)</td><td colspan="6">김 창 완 (중앙대학교 산학협력단)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'12.04 ~ '14.02 (1년 11개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="11">핵심성과</td><td rowspan="3">달성
확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">▪ 플랜트 시설의 완전한 3차원 As-Built 점군 데이터 획득을 위한 3차원 점군 데이터 정합 기술 개발 결과
▪ 플랜트 시설에서 획득한 3차원 점군 데이터 내의 이상치 제거를 통한 개선 기술 개발 결과</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">▪ 운영 중인 플랜트 시설에 대한 3차원 플랜트 데이터 정합 및 개선 결과
▪ 자동화된 3차원 플랜트 데이터 정합 및 개선 기술의 검증 및 보완 결과
▪ 테스트베드 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가 결과</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td rowspan="8">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>국외 1</td><td>-</td><td>학술단체 수상1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td>국외 1</td><td>국외 1</td><td>등록 1</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td>국외 1</td><td>국외 2</td><td>등록 1</td><td>학술단체 수상1</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과
활용계획</td><td colspan="6">▪ 기존 상용소프트웨어를 활용한 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 프로세스는 수작업에 의존하는 노동집약적인 문제점을 안고 있음. 플랜트 시설의 3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템 개발을 통해 점군 데이터 정합 및 개선 프로세스의 자동화를 지원하고자 함.</td></tr>
</table>

2) 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림/사진</td><td colspan="6"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="6">▪ 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템은 획득된 점군 데이터로부터 배관 점군 데이터 추출, 종류별 배관 분할, 배관 표면 모델 구축 기능을 포함하는 소프트웨어를 나타냄.</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">▪ 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 기존 3차원 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 프로세스의 수작업 오류로 인한 정보 모델의 부정확성 등의 문제를 개선하기 위해 필수적으로 요구되는 기술임.</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="6">▪ 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 개발을 통해 획득된 점군 데이터로부터 자동화된 3차원 배관 정보 모델 구축에 활용하고자 함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">▪ 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템은 수작업에 의한 플랜트 배관 정보 모델 구축 프로세스를 자동화함으로써 ± 5%의 절대 오차 범위 내에서 정확한 플랜트 배관 정보 모델 구축이 가능하여야 함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자
(소속기관)</td><td colspan="6">김 창 완 (중앙대학교 산학협력단)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’12.04 ~ ’15.02 (2년 11개월, 3년차)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td rowspan="3">달성
확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">▪ 플랜트 시설에 대한 전체 3차원 점군 데이터 분할 기술 개발 결과
▪ 플랜트 배관에 대한 점군 추출 기술 개발 결과</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">▪ 플랜트 배관에 대한 중심축 추출 기술 개발 결과
▪ 플랜트 배관의 중심축을 기반으로 종류 별 배관 분할 기술 개발 결과
▪ 분할된 배관의 지름 측정 및 파라메트릭 모델링 기법을 이용한 표면 모델 구축 기술 개발 결과</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">▪ 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 결과
▪ As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완 결과
▪ 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가 결과</td></tr>
<tr><td rowspan="8">핵심성과</td><td rowspan="8">양적성과</td><td rowspan="2">1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td>-</td><td>국외 1</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td>국외 1</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td>국외 1</td><td>국외 1</td><td>등록 1</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 3</td><td>국외 2</td><td>국외 2</td><td>등록 1</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과
활용계획</td><td colspan="6">▪ 기존 상용소프트웨어를 활용한 플랜트 시설의 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 프로세스는 수작업에 의존하는 노동집약적인 문제점을 안고 있음. As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 개발을 통해 수작업에 의한 플랜트 배관 정보 모델 구축 프로세스를 자동화하고자 함.
▪ 자동화된 As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템 개발은 운영· 유지 관리 단계에서의 플랜트 시설에 대한 공간 정보 제공과 더불어 수리 및 교체에 필요한 정보 제공을 가능케 할 뿐만 아니라, 플랜트 개보수 및 증설 프로젝트 수행 시 기존 시설물에 대한 현 상황 파악을 위한 도면을 제공하여 이를 바탕으로 한 경제적이고 효과적인 개보수 및 증설 계획 수립 지원을 가능케 함.</td></tr>
</table>

3) As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림/사진</td><td colspan="6"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">정의</td><td colspan="6">▪ As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템은 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축에 활용되는 데이터베이스를 나타냄.</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">▪ As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템은 기존 3차원 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 프로세스의 높은 비효율성, 복잡성 등의 문제를 개선하기 위해 필수적으로 요구되는 기술임.</td></tr>
<tr><td colspan="2">목적</td><td colspan="6">▪ As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템 개발을 통해 획득된 점군 데이터로부터 효과적인 3차원 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축에 활용하고자 함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">▪ As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템 활용을 통해 수작업에 의한 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 프로세스를 30% 이하로 단축시킬 수 있어야 함.</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자
(소속기관)</td><td colspan="6">김 창 완 (중앙대학교 산학협력단)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">'12.04 ~ '15.02 (2년 11개월, 3년차)</td></tr>
<tr><td rowspan="8">핵심성과</td><td rowspan="3">달성
확인방법</td><td>1차년도</td><td colspan="5">▪ 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 점군 추출 기술, 개별 밸브 및 제어기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술, 플랜트 밸브 및 제어기기에 대한 3차원 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내의 모델 간의 정합 기술 개발 결과</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td colspan="5">▪ 플랜트 3차원 점군 데이터 내의 플랜트 기기에 대한 점군 추출 기술, 개별 기기에 대한 점군 데이터와 플랜트 데이터베이스 내 다수의 모델 간의 매칭 기술, 개별 기기의 구성 요소에 대한 모델 단위로의 점군 데이터 분할 및 모델 피팅 기술 개발 결과</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td colspan="5">▪ 운영 중인 플랜트 시설에 대한 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축, 자동화된 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 기술의 검증 및 보완, 테스트베드 및 현장 적용 결과를 바탕으로 기술적 타당성 분석 및 평가 결과</td></tr>
<tr><td rowspan="6">양적성과</td><td>1차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>2차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td>-</td><td>국외 1</td><td>등록 1</td><td>-</td></tr>
<tr><td>3차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 1</td><td>국외 1</td><td>국외 1</td><td>-</td><td>매뉴얼 개발 1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>학술회의 발표</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>출원 2</td><td>국외 1</td><td>국외 2</td><td>등록 1</td><td>매뉴얼 개발 1</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과
활용계획</td><td colspan="6">▪ 기존 상용소프트웨어를 활용한 플랜트 시설의 As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 프로세스는 수작업에 의존하는 노동집약적인 문제점을 안고 있음. As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축을 위한 시스템 개발을 통해 수작업에 의한 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 프로세스를 자동화하고자 함.</td></tr>
</table>

[별첨 3]

‘플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발’과제 최종성과물 일람

□ (주관) 플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발, 중앙대학교 산학협력단 (김 창 완)

구분	과제명	최종 성과명 (핵심 성과명)	최종 성과물 형태 (성과 유형)	기술수준	경제성	성과 우수성		성과물 발생 시기	최종 수요처	활용실적 (실적발생시) 및 활용방안 (미발생시)	기대효과	기술 실시 계약	비고
				연구전(‘12)과 비교한 연구후(‘15)	연구전(‘12)과 비교한 연구후(‘15)	기존 기술과의 차별성	정량적 성과						
주관	플랜트 시공 및 운영·유지관리를 위한 자동화된 3차원 플랜트 정보 모델 기술 개발	3차원 점군 데이터 정합 및 개선 시스템	소프트웨어	-기술 수준 향상 효과 100% 이상 -선진국과의 기술 능력 격차 연수 0년	-플랜트 정보 모델 구축 공정 단축율 60% 이상 -플랜트 정보 모델 구축 인력 감축 효과 65% 이상	수작업에 의한 정보 모델 구축 프로세스를 획기적으로 단축 -프로세스 개선을 통한 공정 단축율 60% 이상 -프로세스 효율화를 통한 인력 감축 효과 65% 이상	-SCI급 국제 학술지 논문 게재 3건 -국제 학술회의 논문 발표 8건 -특허 등록: 국내 5건 (출원 5건 포함)/ 미국 출원 1건 -소프트웨어 등록 3건 -국제 협력 활성화: 국제 회의 (워크샵) 개최 4회/ 해외 기관과의 국제 협약 체결 4건 -연구개발 결과 홍보 4건 -인력 양성 배출 실적: 석사 5명/ 학사 2명 -매뉴얼 개발 1건 -국제 학술단체 수상 2건	’13.2.	플랜트 시공사, 발주자, 엔지니어링사	현장 시험 진행 - GS건설 No. 2 CA/EDC - GS건설 VGOFCC	-선진국과의 기술 능력 격차 최소화 -국내 건설 산업의 플랜트 정보 모델 구축 기술 확보 및 기술 주도국으로써 위치 선점 -국내 건설 산업의 프로젝트 시공 및 운영·유지 관리 기술의 세계적인 경쟁력 확보 -특화된 정보화 기술의 개발로 신산업 창출 -플랜트 프로젝트 효율성·생산성 향상 -플랜트 운영·유지 관리와 개보수 및 증설 시장에서의 경쟁력 확보	비대상	
		As-Built 플랜트 배관 정보 모델 구축 시스템						’14.2.		현장 시험 진행 - LG화학 CA/EDC 현장 -금호미쓰이 화학 여수공장			
		As-Built 플랜트 밸브, 제어기기, 기기 정보 모델 구축 시스템						’15.2.		현장 시험 진행 -금호미쓰이 화학 여수공장 -여천NCC 여수공장 -대우조선해양 옥포조선소 내 해양 플랜트 -두산중공업 창원공장 -한국중부발전 서울화력발전소			