19IFIP-B089065-06

오일샌드 모듈화 플랜트 시공을 위한 설계, 제작 및 현장적용기술 개발

2020

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개( ), 비공개( )발간등록번호()

플랜트 연구사업 최종 보고서

R&D / 19IFIP-B089065-06

오일샌드 모듈화 플랜트 시공을 위한 설계, 제작 및 현장적용기술 개발 최종보고서

2020. 07. 20.

주관연구기관 / 성진이앤티(주)
협동연구기관 / (주)비츠로넥스텍

공동연구기관 / 한국기계전기전자시험연구원
성균관대학교
광신기계공업(주)
한국건설기술연구원
인천대학교
한국건설기술연구원
(주)한국KGT콘설턴트
한국가스안전공사

위탁연구기관 / 전남대학교
연세대학교
극지연구소
유씨아이테크(주)

국 토 교 통 부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘오일샌드 모듈화 플랜트 시공을 위한 설계, 제작 및 현장적용기술 개발’(연구개발 기간 : 2014. 12. 29. ~ 2020. 04. 30.) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 04. 30.

주관연구기관명 : 성진이앤티㈜

협동연구기관명 : ㈜비츠로넥스텍

공동연구기관명 : 한국기계전기전자시험연구원
성균관대학교
광신기계공업㈜
한국건설기술연구원
인천대학교
한국건설기술연구원
㈜한국KGT콘설턴트
한국가스안전공사

위탁연구기관명 : 전남대학교
연세대학교
극지연구소
유씨아이테크㈜

주관연구기관 책임자 : 이익재(성진이앤티㈜)

주관연구기관 참여연구원 : 고영서, 김기범, 김현수, 박재석, 이종우, 최승우

협동연구기관 책임자 : 최문규(㈜비츠로넥스텍)

협동연구기관 참여연구원 : 곽민호, 박상훈, 송영규, 양시영, 조영화, 한철우 외 16인

공동연구기관 책임자 : 이봉수(한국기계전기전자시험연구원)
김윤제(성균관대학교)
장형채(광신기계공업㈜)
황인주(한국건설기술연구원)
김동욱(인천대학교)
홍승서(한국건설기술연구원)
정진우(㈜한국KGT콘설턴트)
이재훈(한국가스안전공사)

공동연구기관 참여연구원 : 강대경, 권영문 외 9인 (한국기계전기전자시험연구원)
김요환, 김형진, 이명우, 정국진 외 5인 (성균관대학교)
권병수, 심규철, 이기봉, 외 11인 (광신기계공업㈜)
이홍철, 이현동, 조은비, 최영권(한국건설기술연구원)
박종호, 신세희, 이기철, 이준원 외 2인 (인천대학교)
공진영, 김영석 (한국건설기술연구원)
김연희, 이영준, 조광희 외 5인 (㈜한국KGT콘설턴트)
김광석, 심희준, 이건우, 이진, 정한빈 (한국가스안전공사)

위탁연구기관 책임자 : 강춘형(전남대학교)
이 강(연세대학교)
이방용(극지연구소)
김기성(유씨아이테크㈜)

위탁연구기관 참여연구원 : 노선균, 김영대 (전남대학교)
문수환, 박찬영, 최영욱 (연세대학교)
박근보, 박기태, 윤영준, 최태진 (극지연구소)
박종필, 안준혁, 이효빈 (유씨아이테크㈜)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19IFIP-B089065-06	해당 단계 연구 기간	2014.12.29. - 2020.04.30	단계구분	(6)/(6)
연구사업명	중사업명	플랜트연구사업			
	세부사업명	플랜트연구사업			
연구과제명	대과제명	오일샌드 모듈화 플랜트 시공을 위한 설계, 제작 및 현장적용기술 개발			
	세부과제명	오일샌드 육상플랜트 고유모듈 기술 개발(1세부)			
연구책임자	이 익 재	해당단계 참여연구원 수	총: 96 명 내부: 96 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 5,657,000 천원 민간: 1,886,000 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 7,543,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 96 명 내부: 96 명 외부: 명	총 연구비	정부: 21,057,000 천원 민간: 6,932,300 천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 27,989,300 천원
연구기관명 및 소속 부서명	성진이앤티(주) ㈜비츠로넥스텍			참여기업명 성진이앤티(주), 광신기계공업(주), ㈜한국케이지티콘설턴트,	
공동연구	한국기계전기전자시험연구원, 성균관대학교, 광신기계공업(주), 한국건설기술연구원, 인천대학교, 한국건설기술연구원, ㈜한국케이지티콘설턴트, 한국가스안전공사				
위탁연구	전남대학교, 연세대학교, 유씨아이테크㈜, 극지연구소				

※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	◦ 일부 연구개발 내용에 대한 지재권 취득을 추진 중으로 연구개발 종료 후 12개월 수준의 일정기간 연구개발 보고서의 배포를 제한이 필요함

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설・장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록・기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

구입기관	연구시설・장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다) | 257 Page

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 최종목표 - 오일샌드 플랜트 기능모듈 구성설비 집약도 향상을 통한 고유모듈 개발 * 오일샌드 모듈화 플랜트에 적용할 수 있도록 운송, 성능, 안전, 운영(유지보수 포함)성을 고려한 기능모듈 분할 및 최적화 설계기술을 개발 * 현장적용 파일럿 실증모듈 제작을 위한 상세설계를 작성 - 오일샌드 플랜트 모듈화 파일롯 플랜트 현장적용 및 평가 개발 * 오일샌드 플랜트 표준모듈 제작 및 파일럿 현장적용 * 오일샌드 기능모듈 변형 및 진동 감지시스템 * 오일샌드 플랜트 정량적 위험성 기반 유지관리기술 - 오일샌드 모듈 플랜트 시공기간 단축 * 오일샌드 모듈 플랜트 최적 기초 * 모듈플랜트 지반평가 및 급속시공기술 ○ 성능목표 - 모듈단위 설계단면 : 3.6mH×5.5mW 기준 (3~5개 모듈 유형화) - 모듈화율 제고 : 현재 30%→50% 이상 - 상용급 설계기준 : 10,000bbl/day 급 - 국산소재 적용비율 50% 이상 ○ 플랜트 컴팩트 기능모듈 개발 - 플랜트 집약도 향상을 위한 플랜트 구성 설비에 대한 공정 분석(1) - 주요 설비별 모듈화율 개선 소형모듈 적용 공정 최적화(2) - 공정 설계 및 공정 시뮬레이션 평가 (1) 주요 설비는 북미 오일샌드 SAGD 플랜트의 스팀보일러와 수처리, 유류처리 시설을 대상으로 함 (2) 기능모듈은 운송가능 모듈 크기 이하로 집약 설계될 수 있도록 소형 설비를 적용하여 기존 대형 설비와 동급 수준의 공정효율이 발생되도록 함 ○ 운송을 고려한 규격별 표준 구조프레임 및 집적 모듈 개발 - 육상/해상 운송을 고려한 물류(logistics), 표준규격 연구 - 모듈별 제작/운반/시공/공용 중 하중 및 경계 조건 분석 - 운송 조건에 따른 규격별 구조프레임 모듈 표준 개발 - 모듈 운송 중 가설부재 및 모듈화에 따른 공용 중 추가부재 최소화 기술 개발 - 컴팩트 기능 모듈 결합 구조성능 검증 ○ 현장 공기단축 부재 연결기술 개발 - 컴팩트 기능 모듈 간 급속 연결부 개발 - 구조 모듈 프레임 간 급속 체결/다수부재 정렬 기술 개발 - 연결부별 요구 성능 검증 - 모듈별 연결부 표준화 ○ 극한조건 모듈러 재료 이용기술 - 육상플랜트 소재 요구 성능 분석 및 인증프로세스 정립 - 저온인성, 내마모성, 내부식성, 고강도 고성능 소재 이용기술 개발 - 고성능 소재를 이용한 오일샌드플랜트 설계안 개발 - 고성능 소재 적용 경제성 및 효과분석

	○ Pilot Plant 상세 설계 - Pilot Plant 대상 기능모듈 설계 - Pilot Plant 대상 표준 구조모듈 설계 - 플랜트 모듈 경제성 분석 및 효과 정량화 ○ 플랜트 표준모듈의 제작상세 및 프로세스 개발 - 극지환경, 운송 중 변형 및 제작단계에서 발생하는 변형 예측기술 개발 - 플랜트 모듈별 변형 고려 제작상세 개발 - 모듈별 효율성 향상 제작 프로세스 개발 ○ 현장 공기단축 시공기술 개발 - 극한지 고강도강관 말뚝 및 공기단축 시공가이드 개발 - 극한지 지반특성 평가 및 조사 기법 개발 - 급속시공이 가능한 가포장 이동로 개발 - 동토 플랜트용 기초공법 (그라우트 재료 포함) 및 시공기술 개발 - 오일샌드플랜트 모듈관리시스템 및 동절기 시공관리 기술 개발 ○ 플랜트 모듈시스템 유지관리기술 - 플랜트 모듈시스템 손상요인 분석 - 플랜트 모듈시스템 손상탐색 및 분석 - 건전성평가 및 수명예측 S/W 개발 ○ Pilot Plant 시공 계획 - 현장 시공 조건 고려 시공 계획 수립 - 모듈 현장 시공 계획 수립 ○ 플랜트 모듈 Pilot Test - Pilot test 플랜트 선정 - 플랜트 모듈에 대한 실증(성능 및 시공성) - 플랜트 모듈 경제성 분석 및 효과 정량화
연구개발성과	○ 컴팩트 기능모듈 설계도서 ○ 운송을 고려한 규격별 표준 구조 모듈 프레임 설계도서 ○ 육상/해상 운송을 고려한 컴팩트 기능모듈 결합 구조성능 검증 보고서 ○ 현장 공기단축 부재 연결기술 상세도 ○ 극한조건 모듈러 재료 이용기술 ○ Pilot test 실증모듈 설계도서 ○ 웹기반 시험인증 시스템 구축 ○ 복합열캐리어 발생기 모듈 설계 및 국산화 제작 ○ 플랜트 표준모듈의 제작상세 및 제작지침 - 플랜트 모듈별 극지환경, 운송 변형 고려한 제작상세도 - 모듈별 제작 프로세스 가이드라인

	○ 현장 공기단축 시공 지침 - 플랜트 공기단축 고강도강관 말뚝 시공법 및 시공가이드 - 급속시공이 가능한 가포장 이동로 공법 및 시공가이드 - 동토 플랜트용 기초공법(그라우트 재료 포함) 및 시공가이드 ○ 플랜트 모듈 손상탐색/분석 시스템 S/W - 플랜트 모듈 손상 탐색 S/W - 건전성평가 및 분석 S/W - 플랜트 구조 유지관리 지침 ○ 플랜트 모듈 Pilot Test - Pilot Plant - 플랜트 모듈에 대한 시공성 및 실증 보고서 - 플랜트 모듈공사 공사비 분석 및 효과 정량화 보고서
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	(개발성과의 활용계획) ○ 컴팩트 기능모듈 설계도서 ⇒ 10,000bbl/day 이상의 상용급 모듈화 플랜트 설계 가이드라인으로 활용, 세부내용은 노하우로서 기술이전 및 용역에 활용 ○ 운송을 고려한 규격별 표준 구조 모듈 프레임 설계도서 ⇒ 오일샌드 플랜트 모듈 장치의 운반, 설치에 필요한 국제기준 구조 프레임 설계 가이드로 활용 ○ 육상/해상 운송을 고려한 컴팩트 기능모듈 결합 구조성능 검증 보고서 ⇒ KICT 안동 현장에서 실규모 검증 완료, 수주경쟁 시 실적자료로 활용 ○ 현장 공기단축 부재 연결기술 상세도 ⇒ 국제기준에 따른 모듈 운송 및 설치 가이드로 활용 ○ 극한조건 모듈러 재료 이용기술 ⇒ 사용환경에 따른 국산소재의 국제규격 만족여부, 지역별 시험인증 규격에 적합한 소재 사용을 지원 ○ Pilot test 실증모듈 설계도서 ⇒ 소규모 파일럿 검증을 통해 상용급 설계시 예상 문제점 해소 및 엔지니어링 신뢰성 확보 ○ 웹기반 시험인증 시스템 구축 ⇒ 사용자 서비스 ○ 복합열캐리어 발생기 모듈 설계 및 국산화 제작 ⇒ 가스안전공사 영월 센터에서 실증 완료, 수주 사업화 및 라이센스 독자 개발을 위한 추가 연구기반 ○ 개발성과 분석 및 사업화 전략보고서(캐나다 시험인증방안 용역 포함) ⇒ 개발성과의 수준을 평가하고, 기술이전 및 해외 수주를 위한 실행방안으로 활용 ○ 플랜트 표준모듈의 제작상세 및 제작지침 ⇒ 현지에서 요구하는 고품질, 조달기간 등에 적합하고 국산 소재 기반의 CPF 모듈 제작기법과 가이드라인을 확보하여 해외 수주전략에 활용 ○ 현장 공기단축 공법 및 시공 지침 ⇒현지 열악한 공사환경에서 공사기간과 노동력을 감소시켜 비용절감 경쟁력을 갖춘 사업모델로 활용

	○ 플랜트 모듈 손상탐색/분석 기술 ⇒ 국내 제작 모듈 기자재의 장거리 운송, 현장에서 허용조립공차, 안전기준 만족 여부 등 국산 모듈 기자재의 해외진출 장애요인 해소 ○ 플랜트 모듈 Pilot Test ⇒ 소규모 국내 실적 확보를 통해 상용급 설계 및 제작 절차와 기준을 확립하고, 관련 노하우 확보를 통해 해외 수주 경력력 향상 (기대효과) ○ 오일샌드 플랜트에 적합한 모듈 시스템으로 개선하여 국내 업체의 기술력 향상에 기여할 수 있으며 국제 기술경쟁력을 제고 ○ 다양한 플랜트 시설의 모듈화 적용시 프레임 구조 및 형상, 집적모듈 평가 등에 응용 및 파급이 가능 ○ 개발 대상 기술은 해외 동토에 건설되는 육상플랜트의 공사비 절감, 현장 공사기간 단축을 이룰 수 있으며 국내 특화된 모듈기술의 개발로 해외 플랜트 EPC 건설 수주력 확보와 해외 플랜트 건설 시장 확대 기대 ○ 기존 저가 수주의 해외 건설 시장 동향을 기술력 중심으로 건설비, 건설기간 단축을 이룰 수 있는 고부가가치 시장 창출이 기대됨 ○ 오일샌드 플랜트 모듈 시스템 개발 기술을 적용하여 시공 중, 후 및 유지관리 단계에서 모듈 손상으로 발생할 수 있는 막대한 손실을 절감할 수 있을 것으로 기대됨

국문핵심어 (5개 이내)	오일샌드	플랜트	모듈	설계	건설
영문핵심어	oil sands	plant	module	design	Construction

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

가. 필요성 ····· 1
나. 연구개발체계 ····· 2
다. 세부 연구내용 및 범위 ····· 4

2. 관련 연구개발 동향 조사·분석 ····· 11

가. 기술동향 조사 분석 ····· 11
나. 특허기술 분석 ····· 18
다. 시사점 및 차별화 방향 ····· 22

3. 연구수행내용 및 성과 ····· 24

가. 기술개발 접근 개요 ····· 24
나. 모듈러 CPF의 적정 엔벨로프(envelopes) ····· 25
다. 모듈 구조 프레임 및 연결기구 설계 ····· 39
라. CPF 고유기능모듈 설계 및 적용 타당성 검토 ····· 49
마. 파일럿 모듈 플랜트 설계 및 검증 피드백 ····· 63
바. 모듈 제작 및 운송 가이드라인 ····· 91
사. 지반 평가 및 이동로 안정화 공법 ····· 127
아. 모듈형 기초 급속 시공 및 연결공법 ····· 135
자. 파일럿 모듈 제작 및 검증 피드백 ····· 157

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 215

가. 최종목표 ····· 215
나. 목표달성도 ····· 216
다. 개발성과물 ····· 218
라. 양적성과 및 기여도 ····· 234
마. 질적성과 ····· 242
바. 목표 미달성 시 원인 및 차후 대책 ····· 244

5. 연구개발성과의 활용계획 ····· 245

가. 개발성과 활용방안 ····· 245
나. 기대효과 ····· 249

1. 연구개발과제의 개요

가. 필요성

국내•외의 건설 산업은 인프라, 주택, 빌딩 및 산업시설 등 여러 산업 분야별로 성장과 침체를 반복하여 왔으나 최근 개발도상국을 중심으로 한 신규 건설 투자와 새로운 에너지원의 개발 및 해양(off-shore)을 포함한 극한지 등으로 시장이 확장되는 추세임. 특히 생산성 향상의 필요성과 함께 시장 환경 변화에 따른 극•오지 공사 수행의 필요성으로 인하여 플랜트 프로젝트에서의 모듈러 공법 적용이 확대되고 있음.

모듈러 공법은 많은 이점들을 가지고 있지만 설계, 산업, 문화, 사회 경제, 금융 분야와 같은 내・외부적인 장애 요인이 있음(Li et al, 2013). 따라서 모듈러 공법 적용의 효과를 거두기 위해서는 모듈러 공법 적용의 이점과 장애요인에 대한 정확한 이해를 바탕으로 면밀한 검토 과정이 선행되어야할 필요성이 있음.

최근 국내 기업이 해외건설, 특히 플랜트 시장에서의 수주확대 및 질적 성장을 목표로 하고 있는 상황에서 공기의 준수와 수익성의 확보를 위한 노동 생산성의 향상은 매우 중요한 요인으로 대두되고 있음. EU KLEMS Growth and Productivity Accounts 가 발표한 자료에 따르면 GVA(Gross Value Add)/work hour 기준 한국 건설업의 노동생산성(Labor Productivity)은 1995년을 100으로 봤을 때 2007년 125로 조사 되어 완만한 상승추세를 보이고는 있으나 타 산업, 특히 가파른 상승추세를 보이는 제조업과 비교하면 과거 대비 큰 발전을 이루지 못하고 있음.

선진국인 미국의 경우에도 건설업은 제조업의 절반에도 못 미치는 노동 생산성 수준을 보이고 있으며, 특히 건설 노동 인력의 인건비가 지속적으로 상승하여 투입비용 대비 부가가치의 생산력은 감소하고 있는 추세를 보임. 열악한 현장 작업에서 비롯된 생산성 저하와 인건비 상승과 같은 문제들을 극복하기 위해서 자동화, 기계화된 제작 장비와 숙련된 노동력 활용이 가능하며, 불가항력적인 환경 요인으로부터 비교적 자유로운 모듈러 공법의 적용을 적극적으로 고려해야 할 필요성이 있음.

최근 유가의 하락으로 산유국을 중심으로 한 신규 투자의 부진과 전 세계적인 불황에 기인한 석유화학 제품의 수요 감소 등으로 인하여 플랜트 시장의 주된 흐름이 중동지역의 원유정제(refinery) 및 해양(off-Shore) 플랜트에서 액화천연가스 및 특정 석유화학 플랜트 등의 타 분야로 이동하고 있음. 특히, 액화천연가스시장과 셰일가스/오일샌드 등 비전통 에너지 시장 및 일부 석유화학 플랜트 시장이 점차 커지고 있는 추세임. 해양의 액화천연가스 채굴을 위한 해상 플랫폼의 상부 플랜트(Topside)나 채굴된 가스를 육상으로 운반하는 해저 파이프라인의 시공에 모듈러 공법은 필수적인 주요 기술로서 다루어짐. 이와 같은 해양시설(offshore facilities)은 물론이고 캐나다, 베네수엘라 등을 중심으로 한 오일샌드의 생산 환경 역시 극오지 공사의 전형적인 특성을 가지고 있어 프로젝트의 수익성 확보를 위하여 현장 시공을 최소화 하는 모듈러 공법의 필요성이 더욱 대두되고 있음.

자원의 채굴 및 판매의 손익이 유가에 의해 좌우되는 비전통 에너지의 특성에 따라 발주자들은 짧은 기간 내에 투자비의 회수와 수익의 확보를 원하고 있음. 특히 세계 오일샌드의 약 81%의 매장량을 보유하고 있는 캐나다 앨버타는 모듈러 공법에 대한 실제 공사 가능일 수가 매우 부족한 환경에서 더 짧은 공기 내에 플랜트를 완공하기 위해 현장 시공을 최소화하고 현장 작업과 병행하여 공장(Fabrication Shop)작업이 가능한 모듈러 공법에 대한 연구개발이 필요함.

나. 연구개발체계

(1) 최종목표

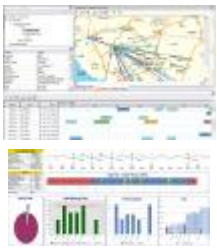
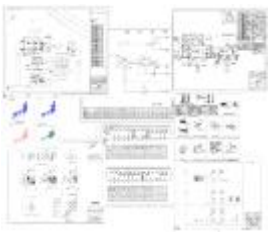
: 오일샌드 플랜트 기능모듈 구성설비 집약도 향상을 통한 고유모듈 개발

1) 오일샌드 플랜트 구조물을 해상 및 육상 운송에 적합한 크기의 단위로 모듈화하여 운송 및 현장설치를 용이하게 함으로써 공기 및 공사비를 절감하는 설계기술 개발함.

2) 파일럿 검증모듈 제작을 위한 상세설계 ⇒ 세부2과제 제작 지원

대표 성능 목표	기대 효과
- 모듈화율 50% 이상 - 집적률 20% 개선 - 자재 국산화율 50% 이상	- 모듈화율 제고(30% ▷ 50%)통한 건설비용 저감 - 집적율 제고(▲ 20%)통한 컴팩트 모듈 실현 - 모듈국산화율 제고(30% ▷ 50%) 통한 국산 기자재 적용 및 외화 가득 증대

3) 최종 성과물 및 성과목표

오일샌드 SAGD 플랜트 기본모듈 설계집				파일럿 실증 모듈설계집
				
기능모듈 기본설계집	모듈화율 50%이상	모듈크기 4.0x5.0 m 기준	모듈화 플랜트 Solution 개발	파일럿 실증모듈 설계집

4) 당해년도(5차년도) 목표 및 연구내용

4차년도 (10개월) (2017.03.01~2017.12.31)	5차년도 (12개월) (2018.01.01~2018.12.31)	**6차년도 (16개월) (2019.01.01~2020.04.30)**
□ 기능모듈/패키지 개발 - 기능모듈 최적화 설계 - 모듈 인증체계 정립 - 프로토타입 시작품 실험 □ 파일럿 모듈 상세설계	□ 파일럿 검증연구 : 열캐리어 모듈에 집중 - 파일럿 모듈 제작 지원 □ 표준 기능모듈 설계 확립 - 구조프레임, PWT 패키지 개선 - 사업화 환경변화 검토	**□ 파일럿 통합 검증연구** **- 파일럿 통합모듈 검증** **- 기능모듈 설계 피드백** **□ 연구단 성과 사업화** **- 성과진단 및 보완** **- 사업화 방안(기술이전 등) 수립**

(2) 수행체계

연구개발과제	
과제명	오일샌드 모듈화플랜트 시공을 위한 설계, 제작 및 현장 적용기술 개발

총 참 여 연 구 원
주관연구책임자 김동언 외 120명

기 관 별 참 여 현 황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
대 기 업	-	-
중견기업	-	-
중소기업	5	58
대 학	4	26
국공립(연)	1	7
출 연 (연)	3	13
기 타	1	17

성진이앤티㈜
오일샌드 육상플랜트 고유모듈기술 개발
주관연구책임자 이익재 외 65명

㈜비츠로넥스텍
오일샌드 육상플랜트 모듈제작/시공기술 개발
협동연구책임자 최문규 외 54명

한국기계전기전자시험연구원
극한환경 오일샌드 모듈화 플랜트용 고성능 소재 이용기술 및 시험.인증체계 개발
공동연구책임자 이봉수 외 16명

광신기계공업㈜
열캐리어 방식 SAGD 신모듈 설계 및 국산화 제작기술 개발
공동연구책임자 장형채 외 12명

(위탁) 연세대학교
오일샌드 모듈화 플랜트 Project Total Solution 개발
위탁연구책임자 한승헌 외 3명

성균관대학교
오일샌드 플랜트 모듈화를 위한 공정유닛의 최적설계에 관한 연구
공동연구책임자 김윤제 외 10명

한국건설기술연구원
오일샌드 플랜트 표준모듈 프레임 및 기능집적 패키지 개발
공동연구책임자 황인주 외 4명

(위탁) 전남대학교
오일샌드 플랜트 모듈화 공정설계 및 시뮬레이션 평가 연구
위탁연구책임자 강춘형 외 3명

인천대학교
오일샌드 모듈 플랜트 최적 기초 개발
공동연구책임자 김동욱 외 6명

㈜한국케이지티콘설턴트
오일샌드 기능모듈 변형 및 상태 감지시스템 기술개발
공동연구책임자 정진우 외 7 명

(위탁) 극지연구소
극한지 오일샌드 플랜트 모듈 건전도 검증을 위한 손상 모니터링 시스템 개발
위탁연구책임자 이방용 외 4명

한국건설기술연구원
오일샌드 모듈 플랜트 지반평가 및 이동로 안정화 기술 개발
공동연구책임자 홍승서 외 2명

한국가스안전공사
오일샌드플랜트 모듈 건정성 및 유지관리 기술
공동연구책임자 이재훈 외 6명

(위탁) 유씨아이테크
대변위 대응형 모듈플랜트 기초 연결기술개발
위탁연구책임자 김기성 외 4명

다. 세부 연구내용 및 범위

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ 연구단 핵심전략 수립	◆ 연구개발계획 피드백 및 구체화 작성 - 개발기술의 정의, 연구목표/성능목표 등 - 핵심성과, 연차별 달성계획, 측정지표 등 ◆ 파일럿 모듈 실증 추진방안 마련(T/F) - 해외 발주동향, 발주주체, 현장 조사 - 기능모듈별 개발방향과 범위, 기관별 역할 제시 시작품 검증방안 및 실행계획 수립 - 파일럿 모듈 실증현장 확보 및 추진계획 마련 ◆ 시장 조사 및 분석 - 에너지 → 비전통 유·가스 → 오일샌드 플랜트 → SAGD → 모듈화 기술 - 시장동인, 시장규모, 성장률, 점유율, 시장 player - 시장전망, 틈새시장(연구단 핵심기술과 매칭) ◆ 제안과제의 기술성 분석 실용화/사업화 연계 개선방안 - 과제 구성의 적절성: 시장, 기술, 특허 등 분석 결과에 따라 검토 - 보완, 후속, 연계기술 제시 - 목표와 핵심기술, 성과지표, 추진전략 간의 연계성 * 국가연구개발사업 표준성과지표 설정 가이드라인 - 목표 및 성과지표의 적절성(달성수준, 검증방안 등) ◆ 연구단 추진전략 분석 ⇒ 연구성과 확보 및 실용화 연계 개선방안 - 연구 추진시 고려사항, 추진방향의 적절성, 연구방법론의 적절성 - 추진단계/절차, 일정, 비용 등 과업추진일정체계도 - 과제별 개선 요소(수행전략 및 방법, 성과관리, 연구비) - 연구단 카탈로그: 개요, catch phrase, 대표성과물, 과제구성, 특징 등 ◆ 관련분야 선행 연구동향 및 프로젝트 사례 조사, 분석 - 사업관리 측면의 국내외 모듈화 플랜트 관련 문헌분석 - 캐나다 등 오일샌드 생산국 시장 보고서 정보수집 - 주요 오일샌드 발주처의 기업선호도 분석 - 과거 및 현재 오일샌드 프로젝트 사례조사 및 선정 - 국내 모듈화 플랜트 EPC기업별 전문가 인터뷰를

		통한 프로세스 현황 조사 - 오일샌드 전문가 인터뷰를 통한 지역별 특성 정보수집
	■ 기능모듈 설계개발 요건 확립	◆ 국내외 보유기술 분석 및 모듈화 기술자료 조사 - 해외 주요 선진 경쟁사들의 보유특허를 분석을 수행하여 특허회피 방안확보 - 선행기술조사 : 유효특허 주요기술 분석, 권리 만료된 기술 분석 등 - 공백기술확보 : 특허 분석을 통한 공백 특허 확보 ◆ 오일샌드 플랜트 기능모듈 설계요구사항 조사/분석 (11SJET ↔ 12KTC ↔ 15KICT) - 운송조건별 관련 규정, 법규 및 지리.환경적 여건 검토 - 주요 기자재 구성방안 검토 및 기기사양 분석 - 채굴, 처리, 이송 단계별 현장조건 등 상세분석 - 계통 분석을 통한 단위공정 대상 구체화 - 주요계통 및 단위공정의 기능모듈 범주 설정 ◆ 오일샌드 플랜트 공정모사용 자료 조사/분석 (↔11JNU) - 선행 연구자료 및 FEED 사례 조사 - 오일샌드 SAGD 플랜트 공정흐름 이해 - PFD 및 열/물질수지 분석 - 공급원료 DB 분석통한 물성 정의 방안 모색 - 공정설계 관련 운전조건 및 DB 구체화
2차년도	■ 연구단 핵심전략 수립	◆ 파일럿 실증모듈 추진방안 마련(T/F) - 해외 발주동향, 발주주체, 현장 조사 - 기능모듈별 개발방향과 범위, 기관별 역할 제시 - 파일럿 실증모듈 후보 도출 및 추진방안 마련 ◆ 시장 조사 및 분석 - 에너지 → 비전통 유·가스 → 오일샌드 플랜트 → SAGD → 모듈화 기술 - 시장동인, 시장규모, 성장률, 점유율, 시장 player - 시장전망, 틈새시장(연구단 핵심기술과 매칭) ◆ 연구단 추진전략 분석 ⇒ 연구성과 확보 및 실용화 연계 개선방안 - 연구 추진시 고려사항, 추진방향의 적절성, 연구방법론의 적절성 - 추진단계/절차, 일정, 비용 등 과업추진일정체계도 - 과제별 개선 요소(수행전략 및 방법, 성과관리,

		연구비) - 연구단 카탈로그: 개요, catch phrase, 대표성과물, 과제구성, 특징 등
	■ 기능모듈 기본설계 개발	⬩ 오일샌드 플랜트 기능모듈 기본설계 - 오일샌드 SAGD플랜트 공정모사(↔11JNU) - 운전/설계조건 분석 및 문제점 검토 - PFD 개발 및 열/물질수지 DB 구축 - P&ID, Plot plan 작성 ※ Oil treatment, Water treatment, Steam generation ⬩ 기능모듈 설계성능 검증을 위한 축소모형 시작품 개념설계 (성진이앤티→비츠로넥스텍) - 기능모듈 설계, 제작, 유지관리 등 사전 평가를 위한 축소모형 시작품 개념설계
	■ 모듈화 레이아웃 시나리오 및 기능모듈 분할기법 개발	⬩ SAGD방식 오일샌드 플랜트 모듈화 레이아웃 분석 - 현장의 생산성, 안전성, 유지관리 고려한 레이아웃 평가 - 기자재 특성에 따른 레이아웃 구속조건 파악 ⬩ 기능형 설비 모듈 분할 기법 분석 및 타당성 평가 - 모듈화가 어려운 기능형 설비 및 Pre-assembly unit에 대한 기술 조사 및 분석 - 설비별 크기/성능 분석 및 설비 분할 가능 여부 분석 - 분할이 어려운 모듈에 대한 대안 모색 - 설비 분할 제작시 요구되는 성능분석 및 제작성 평가 - 설비 연결 기술 개념 및 기구 제작 평가
	■ 모듈화 설계 활용을 위한 물성 DB 구축	⬩ 오일샌드 플랜트 공정 초기조건 결정 ⬩ 오일샌드 플랜트 단위공정 모델 설계 - Steam generation/ Oil treatment/ De-oiling/ Water treatment ⬩ 오일샌드 플랜트 단위공정별 설계 사양 결정 - 주요계통 공정모델링 - 오일샌드 플랜트 열/물질수지 DB ⬩ 공정 운전/설계조건 검토 및 신뢰성 확보 - 운전/설계조건 분석 및 문제점 파악 - 공정 운전 파라미터의 민감도 분석을 통한 troubleshooting 수행

	■ 파일럿 실증모듈 테스트전략 개발(계속)	◆ 파일럿 실증모듈 추진 T/F 운영 - 설계 및 제작요건, 실험방안 피드백 계속 ◆ 적용현장 후보지 모색 - 캐나다, 동남아 등 후보지 조사 - 파일럿 실증모듈 후보 검토 - 발주처 기술사양 분석 및 개발반영 ◆ 적용현장 후보지 및 파일럿 모듈 선정 - 파일럿 실증모듈 적용 후보지 및 후보 모듈 확정 - 발주처 기술사양 분석 및 설계·제작사양 반영 ◆ 실용화, 사업화 방안 - 개발기술(핵심기술)별 사업성(타겟시장, 점유율, 경쟁력/경쟁기업 등) - 개발기술 가치 예측분석 - 기술이전 및 실시모델(연구단 내·외 공급자-수요자 모델) - 성과전시 및 발표회 기획 - 개발기술/성과물별 사업모델 제시 - 핵심기술/성과물별 시장 진입전략 - 투자방안, 창업, 기술개발 주체별 상용화 협력 전략 수립 ◆ 산업파급효과 분석 - 연관산업, 연관기술 조사분석 - 기술: 기술수준, 라이센스, 경쟁력 등 - 경제: 수주, 매출, NPV, ROI, B/C, 산업연관 분석 등 - 사회: 고용창출 등 - 과학: 논문(양적, 질적), 인프라, 과학기술인력 등 ◆ 오일샌드/모듈러 맞춤형 프로젝트 사업수행단계 정의 및 표준 업무 프로세스 개발 - 플랜트 관련 프로젝트 생애주기 및 표준 업무프로세스 조사 및 분석 - 오일샌드/모듈러 맞춤형 정의 및 표준 업무 프로세스 개발 ◆ Contractor 관점의 오일샌드 모듈화 플랜트 맞춤형 사업관리 솔루션 개발 - Contractor의 주요 사업관리 항목 조사 및 분석 - 오일샌드 모듈화 플랜트 핵심성과지표 도출 - 오일샌드 모듈화 플랜트 경제성평가 지표 도출 - 한국형 패키지 특성을 반영한 사업관리 솔루션 개발

3차년도	■ 기능모듈 최적화 설계 개발	◆ 기능모듈 컴팩트화 설계 반영 - 구성부품 및 기자재의 형상 최적화 (↔ 13SKKU) - 기자재 레이아웃 및 공간설계 컴팩트화 (↔ 15KICT) - 제작 및 운송, 시공성을 고려한 중량, 연결성, 작업성 등을 평가 ◆ 기능모듈 골격에 대한 유체-구조 연성해석 및 최적설계 (11SJET ↔ 13SKKU ↔ 15KICT) - 유동특성 및 구조적 성능을 고려한 설계변수 확립 - 취약부 개선을 통한 설계기술 확보 - 열유동-구조 연성해석을 통한 건전성 평가 기법 확립 - 모듈 지지구조재에 구조성능시험 및 결과분석 - 주요 모듈에 대한 지지구조재 적용 시뮬레이션 분석
	■ 파일럿 실증모듈 상세설계 개발	◆ 파일럿 모듈 설계 활용을 위한 공정 검증(↔JNU) - 파일럿 대상모듈 공정모델 수정/보완 - 시뮬레이션 결과 분석 및 유연성 확보 - 파일럿 모듈 시뮬레이션 평가 - 오차비교를 통한 공정결과 신뢰성 검증 ◆ 파일럿 실증모듈 상세설계 - 기자재 Data sheet 작성 및 설계 작업표준화 - Pipe, Frame, Cable material specification 선정 - Equipment location plan - Piping routing study, 3D Modeling 수행 - Requisition for quotation(RFQ) 작성 ※ Piping engineering, Electrical engineering, Instrument engineering, CAS engineering ◆ 파일럿 실증모듈 설계성능 및 적용성 평가 - 프레임, 연결구 등 구조해석 평가 (↔ 15KICT) - 배관, 지지대 등 응력해석 평가 - 안전성, 시험인증 평가 (↔ 12KTC, 25KGS)
	■ 파일럿 실증모듈 테스트전략 개발(계속)	◆ 파일럿 실증모듈 추진 T/F 운영 - 상세설계, 제작, 시험인증방안 등 점검(계속) ◆ 성과점검 및 분석(개발기술 가치평가 등) - 개발기술(핵심기술)별 사업성 분석 - 과제별 개발기술 검증 및 실용화 계획 수립

		◆ 오일샌드 모듈화 플랜트 핵심 성공요인 도출 및 사업 유망성 검토 알고리즘 개발 - 오일샌드 모듈화 플랜트 수출을 위한 사업 초기단계의 주요 고려사항 조사 및 분석 - 국내외의 과거 프로젝트 및 전문가 경험 기반의 핵심성공요인 도출 - 사업 유망성 검토를 위한 중점목표 도출 및 초기단계 경제성 분석 모델 개발 - 오일샌드 모듈화 플랜트 해외진출 확대를 위한 초기단계 리스크 관리 솔루션 개발
4차년도	■ 파일럿 설계 실증모듈 현장적용	◆ Pilot 적용을 위한 기술지원 (↔ 21비츠로넥스텍) - 기능모듈 및 부재 연결기술 - 파일럿 모듈 설치 및 시공 가이드라인 - 운전DB와 공정모사DB 비교분석에 따른 피드백 (↔ 11JNU) ◆ 파일럿 현장 운송 및 시공과정 모니터링 (↔ 21비츠로넥스텍) - 설계 데이터 연계 설치·시공성 평가 - 사용적합성 모니터링 및 평가
	■ 기능모듈 규격화(표준형) 개발	◆ 운송 고려한 기능모듈 규격화 방안 정립 (↔ 15KICT) - 기능모듈 구성 기자재 데이터베이스 구축 - 기능모듈에 대한 규격(안) 제시 ◆ 설치·시공성 향상을 위한 파일럿 실증모듈 표준화 - 파일럿 실증모듈 레이아웃 가이드라인 구축 - 공간 레이아웃에 대한 규격(안) 제시 - 연결기구 및 부재에 대한 데이터베이스 구축 - 기능모듈 연결기구 및 부재에 대한 규격(안) 제시
	■ 파일럿 실증모듈 테스트전략 개발(계속)	◆ 파일럿 실증모듈 추진 T/F 운영 - 파일럿 제작, 현장 적용, 실험 등 피드백 계속 ◆ 현장 적용 및 운용성 모니터링 (↔ 21비츠로넥스텍) - 파일럿 실증모듈 현장 시공성 평가 - 현장 테스트, 기준 부합성 평가 ◆ 사업수행 단계별(EPC + T&I) 통합형 Risk Management Solution 개발 - 설계, 제작 및 현장적용 단계별 리스크 요인 도출 - 표준 업무 프로세스 기반의 맞춤형 리스크 분류체계 개발 - 맞춤형 사업관리 절차를 반영한 정량적 리스크 평가 알고리즘 개발

		- 사업수행 단계 통합을 위한 리스크 관리 솔루션 개발
5차년도	■ Pilot 실증모듈 현장 Test(계속)	◆ 파일럿 모듈에 대한 Pilot Test - Pilot Test 적용 및 피드백 ◆ 유지관리에 대한 Pilot Test - Pilot Test 적용 및 피드백
	■ 파일럿 실증모듈 테스트전략 개발(계속)	◆ 파일럿 실증모듈 추진 T/F 운영 - 파일럿 현장실험 등 피드백 계속 ◆ 현장 운용성 모니터링 및 실증설계 패키지 반영 - 장기운전 데이터 확보, 평가보고서 제출 ◆ 성과점검 및 분석(개발기술 가치평가 등) - 과제별 개발기술 검증 및 실용화 계획 수립
	■ 실증 패키지 완성	◆ 모듈화 설계/제작을 위한 공정해석모델 개발 (↔ 11JNU) - 모듈화 연구를 통한 SAGD플랜트 모듈별 공정모델 제시 - 모듈화 설계에 따른 시사점 도출 및 가이드라인 작성 ◆ 현장 적용 데이터 기반 파일럿 실증 설계집 작성 - 현장 적용데이터 분석 및 설계 피드백 - 실증 모듈 설계집으로 완성 ◆ 홍보 및 사업화 방안 도출 - 실증 성과를 이용한 홍보 - 해외 현지 특성을 고려한 사업화 추진 ◆ 오일샌드 모듈화 플랜트 Project Total Solution 개발 - 경제성분석 및 리스크 관리 체계의 연계를 위한 알고리즘 개발 - 국내외 사례 적용을 통한 활용성 검토 및 보완 - 오일샌드 모듈화 플랜트의 종합의사결정 지원을 위한 솔루션 개발 - 개발된 오일샌드 모듈화 플랜트의 최종 성능수준을 반영한 솔루션 검증 및 보완

2. 관련 연구개발 동향 조사·분석

가. 기술동향 조사 분석

(1) 선행 프로젝트 분석 통한 주요기술 흐름 파악

1) 모듈화 집적기술 흐름 분석

표준 용량의 모듈방식 조합을 통한 규모 설계 : 모듈 시스템 설계에 있어 이동성, 표준화 등을 통하여 소규모, 중규모, 대규모 현장에 모듈 조합을 통하여 경제적인 건설과 운영이 가능하도록 계획 및 설계 방법에 대한 연구가 진행 중임.

단위 모듈 및 집적 모듈의 레이아웃 안전성 제고 : 모듈 시스템의 안전에 영향을 미치는 요소와 영향범위를 정량적으로 산정하여 요소 기기나 장치 간 이격 거리나 위치, 방호 시스템, 유지관리 공간 등을 사전에 고려하는 설계법에 대한 연구가 진행중임.

모듈 시스템 관련 신뢰성 제고 : 오일샌드플랜트 시스템의 고장, 유지보수기간 등을 감소시켜 시스템의 생산성을 제고를 위한 연구가 진행중임.

모듈 시스템 관련 물 사용량 및 카본 배출 감소 : 오일샌드 플랜트 운용 시 물 사용량과 카본 배출량을 줄이는 공정방식, 기자재의 적용이 증가 추세임.

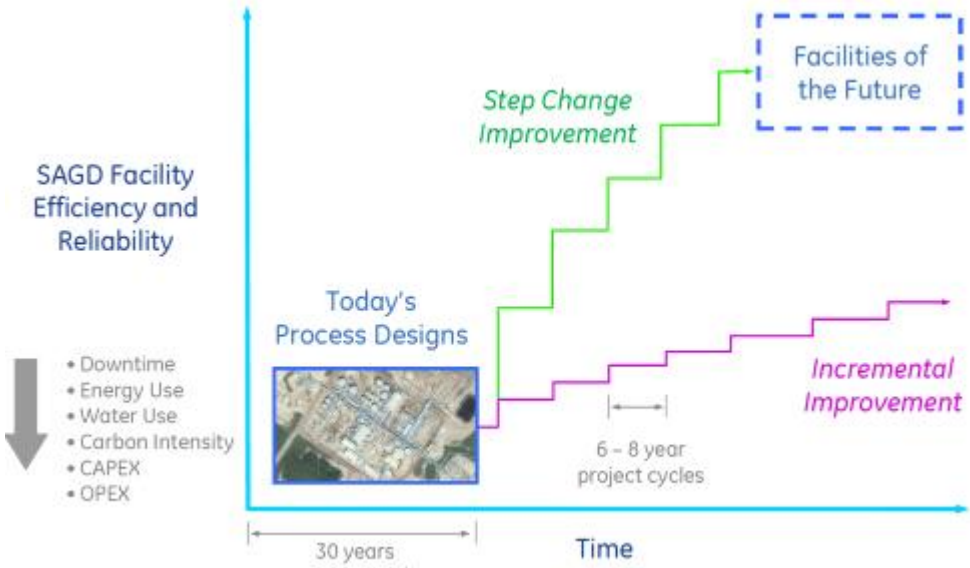


그림 2.1.1 시간에 따른 SAGD 기법 설비 신뢰성 및 효율

*Next generation SZGD produced water treatment technology development, GE Power and Water, 2012

□ 오일샌드플랜트 모듈화 사례 벤치마킹

- 생산수 처리공정과 보일러 급수처리공정, 스팀생산공정에 있어서 모듈화 설계 및 제작에 있어 비용, 생산성 등을 검토함.
- 기존 다양한 처리유닛의 방식을 변경하거나 개량하여 열 및 물질 이동 경로를 단순하게 하고 성능(효율, 크기 등)을 높이면서도 모듈화 집적 설계를 달성함.

*모듈 해체 및 조립기간 : 30일 이내
*생산수 재이용율 : 95% 이상
*증기발생공정 열효율 90% 수준, 신뢰성 95%분야 개선

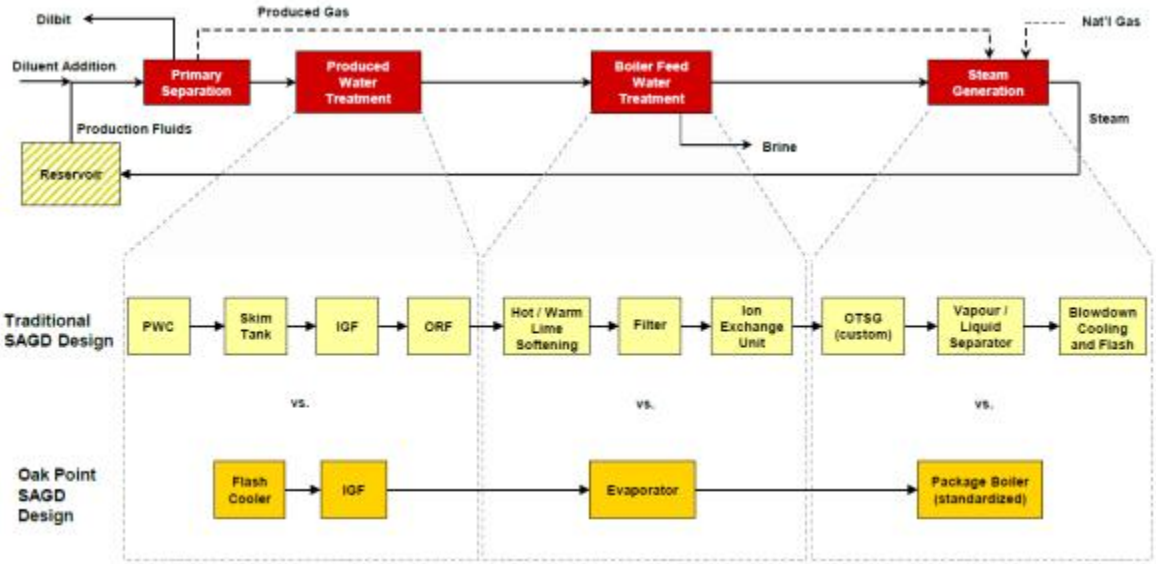


그림 2.1.2 전통 SAGD 기법과 선행사의 신규 SAGD 기법 비교

*Evolution of evaporators as successor for warm lime softeners, Oak Point Energy Ltd., 2013

2) 선행 프로젝트 분석

□ Audet SAGD Project (SilverWillow Energy)

- Silver Willowt사의 Audet SAGD Project의 중앙처리시설(CPF)은 13,200 bpsd (barrels per steam day)의 비투멘을 생산하도록 설계함.
- 증기 재주입에서 생산된 물의 90% 이상은 재순환되며, 스팀 대 오일 비율(SOR)이 2.5 대 1이 되도록 설계함.
- CPF는 oil treating train, water deoilin process, water purification (evaporation) process, wastewater and make-up water treatment, steam generation boilers, cogeneration 과열 회수 장치로 구성함.

□ Advanced TriStar Project

- Value Creation Inc.(VCI)는 자사의 독점적인 upgrading 기술을 사용하여, 현장 upgrading 플랜트와 SAGD reservoir recovery process 통합함.
- SAGD는 Athabasca의 McMurray Formation 오일샌드로부터 채산성이 맞는 양에서 경제적으로 bitumen을 회수할 수 있는 in situ 기술에서 유일하게 현장-입증(field-proven)되었음.
- VCI는 혁신적인 Accelerated Decontamination(ADCTM) primary upgrading 기술을 SAGD 공정과 통합함.
- ADCTM은 SAGD 시추정에서 높은 가치, 품질의 오일로 upgrade 생산을 바로 할 수 있는 유일한 upgrading 기술임.
- CPF에서 ADCTM 공정 유닛은 물리적으로 생산 유체를 업그레이드된 DCO, asphaltenes 그리고 de-oiled water로 분리함.
- 업그레이드된 DCO는 트럭 또는 철도를 통해 정유공장으로 이송되거나 정유공장으로 파이프라인 될 수 있는 premium medium(VC-M) oil을 생산하기 위해 diluent와 혼합.

□ HTGR-Intergrated Oil sands Recovery via Steam-Assisted Gravity Drainage

- 기술 평가(technical evaluation, TEV)는 기존의 화학공정과 고온 가스냉각 원자로(HTGR) 기술의 통합을 평가할 수 있는 차세내 원자력 발전소(NGNP) 프로젝트를 위한 연구임.
- HTGR은 전력을 생산에 사용될 수 있는 고온의 헬륨 및 스팀의 형태로 내보내기 위한 공정 열을 생산함.
- 비투멘 생산용량은 하루 당 190,000 barrels이며, bitumen 생산은 4개의 600MWt HTGRs에서 SAGD process로 공급하는 열 및 동력으로 설정되었음.

□ Lindbergh SAGD Project

- Pengrowth가 Lindbergh SAGD Project에 계획한 시설은 well pad와 well pairs, roads, power line 그리고 CPF(central processing facility) 등을 포함함.
- well pad에 위치한 시설은 wellheads, testing equipment, manifold buil 등을 포함하며 그 pad는 에멀젼, 케이싱 벤트 가스, 스팀, 연료가스 등을 수송하기 위한 지상 파이프라인을 가진 CPF에 연결됨.
- Pengrowth는 SAGD well에서 생산된 역청, 물, 가스 처리 프로세스를 사용하며, 희석제는 공정에서 중력 분리를 가능하게하고 공정을 통해 역청의 유동 특성을 향상시키기 위해 이용 됨.
- CPF에 대한 설계 파라미터는 다음의 표와 같음.

표 2.1.1 Central Processing Facility Design Basis

Stream	Annualized Rate (m3/day)
Oil Production	1,987
Produced Water (as liquid)	7,200
Total Produced Liquids	9,187
Steam Injected (CWE 100% quality	7,200
Produced Gas (Sm3 / day - dry)	39,740

* 출처: Lindbergh SAGD Project, Pengrowth

□ BlackGold Exapnsion Project

- 한국석유공사(KNOC)는 Steam assisted gravity drainage (SAGD) 기술을 사용하는 McMurray 로부터 비투멘의 1,590 m^3 /d(10,000b/d)를 생산하는 초기 프로젝트를 확보하기 위해 승인을 신청함
- KNOC는 약 25년의 기간에 걸쳐 3,180 m^3 /d 비투멘을 추가적으로 생산하기 위해 BlackGold Expansion 프로젝트의 개발을 제안함.
- 종래 프로젝트와 확장된 프로제트로 4,770 m^3 /d (30,000 b/d) 비투멘 생산할 수 있음.
- Expansion 프로젝트는 well pad, gathering and distribution pipeline networks, steam generation, oil treatment, water treatment, associated roads, and utility facilities와 같은 추가적인 시설을 포함함.

□ 모듈 적용 사례

- 미국 알래스카, ARCO NGL/EOR Module Project
  천연가스의 액화설비로 우리나라에서 6개의 Skid type module(W=20m, L=65m, H=20m, Wt=1,000ton)으로 운송선에 실어서 현지에 운송 설치한 사례가 있음.

- 태국, Khanom Coal Fired Power Plant
  75MW 규모의 화력발전설비로 1개의 Module(W=36m, L=82.5m, H=10~50m, Wt=7,000ton)으로 Barge type으로 제작함. 이때 Stick공법으로 건설시 예상소요 공사기간인 4년을 2년으로 단축하였고 전체공사비도 Stick공법으로 건설하는 것보다 60% 정도로 완료하였음.

- GS건설
  GS건설에서의 Pipe Rack 모듈을 통해 No.3 HOU Project의 경우 3조원 규모의 초대형 공사를 23개월의 공사기간과 설계기간을 포함의 경우 31개월로써 비슷한 해외수주 Project가 48개월과 비교하면 17개월 차이가 존재함. UAE 아부다비 Ruwais Refinery Expansion PKG 7 Project에 P/R 모듈 공법을 적용하고 총 164개의 모듈(W=12m, L=37m, H=7/5m, Wt=280ton)로 설치하였으며, 토목작업과 철골 작업의 간섭 최소화를 통해 공사기간을 단축함.

(2) 모듈러 건설의 동향과 전망

1) 모듈러 건설의 최대 장점은 현장 시공 대비 높은 예측 가능성(reliability) 확보

Fluor, Bechtel, KBR 등 미국의 epc 기업들은 사업의 예측 가능성 확보라는 모듈러 건설의 장점에 집중하며 적극 도입

- 모듈러공법을 활용한 나이지리아의 천연가스 액화플랜트(GTL)와 호주의 LNG 플랜트 등의 사업 실적을 보유한 KBR은 설계, 모듈 생산, 운송을 직접 수행하는 등 모듈러 분야의 선두 기업으로 성장
- 모듈러 방식의 장점을 극대화하기 위해서는 설계의 조기 확정, 계획 및 관리 인력 투입, 엔지니어링 및 조달 비용과 전체 예산 중 사업 초기에 비용 투입이 필요
- 하지만 의사결정을 늦추고 초기의 사업 예산 투입을 주저하는 일반적인 발주자들의 특성은 모듈러 공법의 적극적 도입을 방해하는 요인으로 작용함. 더불어 모듈 생산 및 설치 방식의 활용이 일반적인 산업설비 분야와 달리 건축 분야의 기업들은 모듈 생산공장 및 설비 투입이 필요하다는 점도 장애 요인임

2) 모듈러 건설은 구조적·기능적 측면에서 복합적인 요소로 적용 범위 확대

- 모듈러 건설은 최근 규모 측면에서는 개별 유닛에서 2차원 패널, 3차원 유닛, 완성형 구조체로 발전하고 있으며, 복수의 재료로 제작된 완전한 기능을 갖춘 복합 유닛 제작도 가능한 수준

· 설계·계획 단계의 소요 공기는 다소 증가하였으나, 사전 모듈 제작과 현장 기초공사의 동시 진행, 현장 설계변경 감소로 공기 단축

· 사례분석, 3차원 유닛 모듈 제작을 통한 공기 탄축 효과는 현장 시공 대비 20～50%에 달함

3) 모듈러 건설에 따른 사업의 단계별 공사비 증감 가능성 존재

- 공사 기간 단축과 더불어 모듈러 건설의 장점은 공사비 절감이지만, 운송비용에 따른 공사비 증가 리스크도 존재
  · 공사비 절감이 가능한 영역은 사전 현장 준비작업, 현장 투입 인력, 설계변경 등이며, 투입 인력 감소에 따른 공사비 절감 기대효과가 10～25%로 가장 높음
  · 반면에 설계, 자재, 사전제작 투입 인력, 운송, 자금조달 부문에서는 공사비 증가 가능성이 존재하며, 특히 사전제작 투입 인력으로 인한 증가 범위는 전체 사업비의 5～10%를 차지할 수 있음
  · 자재 관련 비용의 경우 현장 시공 대비 낭비 감소로 비용 감소가 가능하지만, 수송을 고려한 모듈의 경량화 및 높은 정밀도 요구로 공사비 증가 가능성도 공존함
  · 건설 투자 금융기관의 경우, 현재까지 모듈 건설방식에 대한 낮은 인식으로 인해 높은 이자율을 요구하는 것이 실정으로 자금조달 비용의 증가 가능성도 존재함

4) 모듈러 건설은 건설 환경의 접근성 확대라는 본질적 속성에 집중

- 모듈러 건설의 적용 확대를 위해서는 대량 생산 민 사업비 절감에만 집중할 것이 아니라, 건설 환경의 접근성 확대 집중
  · 모듈러 건설 역식 일반적인 제조업과 마찬가지로 발주자 맞춤형 생산과 기성 상품화로 변화할 것임. 소비자 맞춤형 정도에 따라 Fast Food, Casual Dining, Tablecloth Restaurant로 레스토랑을 구분할 수 있듯이 모듈러 건축 상품도 다변화될 것임
  · 가격 경쟁력을 갖춘 대량생산 모듈부터 발주자 요구를 반영한 Custom 모듈, 중간 단계의 모듈 등의 등장도 가속화될 것임
- 모듈러 건설의 확대에 따라 모듈의 정밀성 확보를 위하여 기계화 및 자동화 도입도 확산 전망
  · 전통적인 현장 시공 대비 낮은 숙련도의 기술자도 간단한 기초교육을 통해 모듈 제작에 참여하고 있으며, 모듈러 건축의 경우 제작 오차를 최소화하여 현장 조립시의 오류를 줄이기 위한 노력이 필요하므로, 모듈 제작의 정밀도 향상을 위한 자동화 활용 증가 예상

(3) 모듈러 비즈니스 모델

1) 사업 참여 주체별 가치사슬 확장 방식

(가) 발주자

모듈러 사업의 경험이 적은 발주자의 경우에는 사업 초기 단계에 적절한 모듈러 건설 수행계획을 수립할 수 있는 설계기업 및 시공기업 등의 활용을 통해 모듈러 적용의 타당성을 검토하는 것이 적절함.

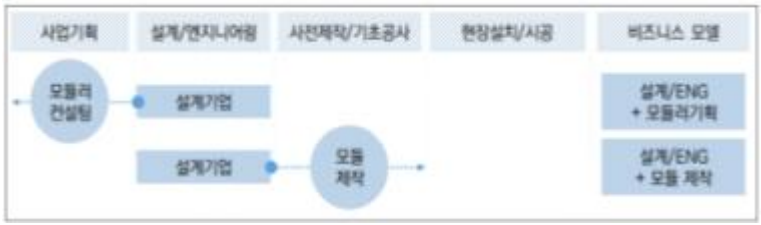
공공 발주기관과 민간 전문발주자 등의 경우에는 모듈러 건설사업의 조달 프로세스 전반의 효율성을 높이기 위한 모듈러 설계(관리) 및 사업관리(PM) 역량을 내부화하고, 필요에 따라 모듈 제작기업과의 내부화 또는 전략적 제휴를 추진하는 전략이 필요함.

발주 전문기관의 모듈러 비즈니스 모델

(나) 설계기업

모듈러 건설사업 수행 경험을 통해 모듈러 생산시스템 설계 역량을 갖춘 설계기업은 발주자를 위한 모듈러 타당성 검토 등 설계 이전 단계로의 영역을 확장하거나, 모듈 제작기능의 내부화를 통한 모듈 설계·제작 분야의 경쟁력 선점을 추진할 것으로 전망됨

- 모듈러 건설사업 수행 경험이 부족한 전문발주자나 비건설 분야 발주자의 경우 모듈러 적용 타당성분석 및 시공성 분석 역량을 필요로 하며, 모듈러 반영 설계역량을 토대로 해당 분야에 대한 컨설팅 및 설계를 결합한 비즈니스 모델 추진이 가능함.
- 주력 사업의 모듈러 설계·제작 분야 경쟁력 선점을 추진하고자 하는 경우, 모듈 제작기업 인수 또는 전략적 제휴 관계 구축 전략을 취할 것으로 예상됨.
- 미국의 Sustainable Living Innovations, Plant Prefab 등의 기업은 설계를 바탕으로 모듈 제작역량을 내부화하는 비즈니스 모델을 택하고 있음.



설계기업의 모듈러 비즈니스 모델

(다) 모듈 제작기업

다수의 건설 모듈 제작기업들은 모듈 제작역량 향상을 위해 설계 및 엔지니어링 역량의 내부화를 추진하고 있으며, 시공 부문으로 가치사슬을 확장하거나 설계 이전 단계로의 영역 확장을 추진하는 전략을 택할 것으로 예상됨

- 사전 제작 기반 설계/ENG, 시공부문 가치사슬 확장으로 설계부터 시공까지 가치사슬을 수직계열화 하는 Total Solution Provider 기업이 증가할 것으로 예상되며, 미국의 모듈러 전문기업 Katerra, FullStack Modular 등이 이와 유사한 비즈니스 모델을 택하고 있음.
- 특수 분야의 경우 모듈 제작 역량을 토대로 설계 및 엔지니어링, 시공뿐만 아니라 기획 단계의 컨설팅까지 가치사슬을 넓힌 확장된 Total Solution Provider 모델도 가능함.

모듈 제작기업의 모듈러 비즈니스 모델

(라) 시공기업

시공기업의 경우 모듈 제작 및 설계·엔지니어링 등 시공 전(前) 단계의 가치사슬 확장이 예상되는 가운데, 사업기획부터 로지스틱, 공정관리, 시공 및 유지관리 등 전(全)단계 역량을 갖춘 기업은 총괄적인 모듈러 종합사업관리자 기능을 수행할 것으로 예상됨

- 시공기업이 주력 사업 분야의 모듈러 경쟁력을 선점하기 위해 모듈 제작 또는 설계·엔지니어링까지 가치사슬을 확장하는 사례는 해외에서는 다수 존재하며(미국의 Katerra, 영국의 KIER Group 등) 최근 국내에서도 유사한 비즈니스 모델을 추진하는 사례가 나타남.
- 모듈러 건설사업은 기획 단계부터 모듈러 활용 및 설계·시공에 대한 종합적인 계획 수립이 필요하며, 사업 규모가 크거나 복잡성이 높은 경우 긴밀한 협력체계와 고도화된 공정 및 사업관리가 필요함.
- 건설사업 수행 경험이 부족한 발주자나 대규모·고난도 공사의 경우 모듈러 건설의 경험뿐만 아니라전체 사업 단계에 걸친 종합적 관리 역량을 갖춘 기업을 필요로 하므로, 이러한 경우 모듈러 종합사업관리 기업을 필요로 할 것으로 예상됨. 스웨덴 기반의 글로벌 기업 Skanska, 영국의 Laing O'Rourke 등이 모듈러 건설사업에 있어 이와 유사한 비즈니스 모델을 택하고 있음.

모듈 제작기업의 모듈러 비즈니스 모델

나. 특허기술 분석

[부록] 오일샌드플랜트 특허기술 심층조사·분석 보고서 참조

(1) 분석방법

1) 특허분성 범위

본 분석에서는 1994년 1월부터 2015년 12월까지 출원공개 된 한국, 미국, 일본, 유럽 및 캐나다 공개특허와 및 출원등록 된 등록특허를 분석 대상으로 했다. 검색데이터베이스로는 한국, 미국, 일본 그리고 유럽의 경우 윕스온을 이용했고 캐나다는 Total Patent를 이용함.

2) 기술분류체계

오일샌드플랜트 모듈화 기술 기획(MLTMA , 2013)의 내용을 중심으로 Table 1과 같이 노천채굴 기술, 지하회수법 기술, 분리/개질/환원물 기술, 모듈설계/패키징 기술, 모듈운송기술 및 소재/유지관리 기술 분야의 특허기술을 소분류로 함. 검색식에 따른 오일샌드 플랜트 기술의 원시데이터의 노이즈 및 유효특허추출을 하기 위해서 Table 2처럼 유효특허를 선별했고 이를 정량분석 대상으로 동향 분석을 실시함.

3) 유효특허 선별 기준

IPC를 기초로 관련 없는 기술분야 특허를 제거했고 각 기술에 대한 유효특허 선별 기준은 다음과 같이 설정함. 노천채굴 기술의 경우 오일샌드 덩어리를 분쇄하고, 슬러리를 운송하는 기술을 포함 및 비투멘을 분리한 후 개질하는 과정을 포함함. 지하 회수법 기술에서는 SAGD 또는 CSS 기술을 포함했고, 가열된 물 또는 증기를 주입하는 기술을 포함. 분리/개질/환원물 기술에서는 비투멘, 모래, 물 혼합물에서 비투멘을 분리하고 개질하는 기술 포함했고, 물과 기름을 분리하는 장치 또는 시스템 기술을 포함. 모듈설계/패키징 기술에서는 플랜트 구조물의 모듈설계 및 패키징 기술을 포함. 모듈운송 기술에서는 운송에 용이하도록 플랜트 구조물을 모듈화하는 기술을 포함. 소재/유지관리 기술에서는 플랜트 구조물에 사용되는 소재를 유지 및 관리하는 기술을 포함함. 기술분류체계에 따른 최종 검색식은 <표 2-4>와 같음.

표 2.2.1 기술분류체계에 따른 최종 검색식

대분류	중분류	소분류	소소분류	검색식	검색건수					
					한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	캐나다 (CIPO)	합계
	오일샌드 플랜트 부품 기술 (AA)	노천채굴 기술 (AAA)	Crusher& Slurry Plant (OPP) (AAAA)	(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and (OPP 채굴* 마이닝* 크러셔* 슬러리* 파쇄기* 분쇄기* 호퍼* mining* crush* slurry* breaker* hopper* ((광물* ore) adj (준비* prepar*)) ((서지* 써지* surg*) adj (빈 통 bin*)))	36	713	23	43	53	815

오일샌드플랜트모듈화기술(A)			HydrotransportPipeline (AAAB)	(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and ((수송관* 이송관* 파이프* hydrotransport* pipe*) OR ((슬러리* slurry*) near (이송* 수송* transport* convey*)))	38	346	11	27	41	422
		지하회수법기술 (AAB)	웰패드 (Wellpad) (AABA)	(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and (매니폴드* 유정* 웰패드* 웰헤드* 웰페어* manifold* well* wellpad* wellhead* wellpair* ((유정* well*) adj (패드* 헤드* 페어* pad* head* pair*)) 주입* 회수* inject* extract*)	61	1329	54	88	30	1532
			Water Treatment (Evaporator) (AABB)	(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and ((수처리* ((워터* 스팀* 증기* water* steam* hydro*) near (처리* 프로세* 순환* 재순환* treat* process* circulat* recirculat*))) 증발* 기화* 연소* evaporat* combust*)	34	703	46	43	43	826
			Steam Generator (AABC)	(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and (스팀* 증기* 보일러* steam* boiler*)	27	611	27	20	40	685
		분리/개질/환원물기술 (AAC)	분리 (separation) (AACA)	(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and (분리* 침강* 추출* separat* sink* sediment* extract*)	75	1171	71	109	147	1426
			개질 (upgrading) (AACB)	(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and (개질* 업그레이* 리포밍* 정제* upgrad* purif* reform*)	54	561	63	23	54	701
			Tailings ponds (AACC)	(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and (환원* 인공호* 축양지* tailings*)	6	230	8	9	68	253

모듈설계/패키징 기술 (AB)		(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and (((모듈* 소형* 콤팩트* 컴팩트* 집적* modul* compact* accumulat* integrat*) and (유닛* 유니트* 설계* 디자인* 건설* 시공* 조립* 제작* 연결* 레이아웃* 배치* unit* design* construct* build* assembl* manufactur* connect* link* layout*)) OR ((플랜트* 설비* 장비* plant* facilit* equipment*) and (구조* 조립* 연결* 레이아웃* 배치* structur* assembl* connect* link* layout*)))	14	511	2	34	85	561
모듈운송기술(지반기초공법) (AC)		(플랜트* plant*) and (모듈* 유닛* 설비* 장비* modul* unit* facilit* equipment*) and (이송* 운송* transfer* transport*) and (지반* 도로* ((도로* road* 지반* groud*) adj (포장* pave*)) road* groud*)	26	483	10	45	5	564
소재/유지관리 기술 (AD)	소재기술 (ADA)	(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and (모듈* 부품* 파이프* 이송관* 수송관* modul* component* pipe*) and (부식* 마모* 산화* 물질* 소재* 재료* 저온인성* ((저온) adj (인성*)) 강도* 성능* corosi* erod* erosion* rust* oxidat* material* matter* ((low) adj (Temperature) adj (Toughness)) strength* performance*)	27	367	7	65	48	466
	유지관리 기술 (ADB)	(역청* 비투멘* 비튜멘* bitumen* ((오일* 타르* oil* tar*) adj (샌드* 모래* 유사* 사암* 점토* 클레이* sand* clay*))) and (플랜트* 설비* plant* facilit*) and (관제* 제어* 컨트롤* 콘트롤* 관리* 모니터* control* manag* monitor*)	1	354	2	3	33	360
합 계			399	7379	324	509	647	8611

4) 특허기술 동향조사 분석방법

□ 특허기술 Landscape

특허 기술 Landscape에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본, 유럽 및 캐나다에서의 주요국가 기술개발 활동현황, 기간별 출원 인수와 출원 건수의 증감 정도의 분석을 통해 국가별 동향을 분석함. 또한, 상위 Top다출원인 도출을 통하여 현재 주요 시장국을 분석하고, 주요 시장국에 진입 건수가 많은 다출원인을 분석하여 현재 주요 시장국의 기술을 주도하는 기업의 현황을 파악함. 또한, 세부기술별 분석을 통해 각 세부 기술별로 기술개발이 활발한 주요 출원인과 그 주요 출원인의 주력 분야 분석을 통해 세부 기술별 특허 동향분석을 실시함.

□ 경쟁사 심층분석

경쟁사 심층분석에서는 경쟁사로 추정되는 Shell, Suncor Energy, Exxon Mobil, Syncrude, Fort Hills Energy 등의 출원을 노천채굴 기술, 지하회수법 기술, 분리/개질/환원물 기술, 모듈설계/패키징 기술, 모듈운송기술 및 소재/유지관리 기술별로 분류하여 경쟁사 전체 특허동향, 개별 특허통향 및 소분류별 기술 동향 분석을 실시함. 또한 Top 다출원 세 기관의 특허를 분석하여 제시함.

5) 분석결과(세부내용은 별도 용역 보고서 참조)

오일샌드 플랜트 기술 분야는 분석구간 초기인 1994년부터 특허분석 유효기간인 2015년까지 지속적으로 특허출원이 증가하는 추세를 보이며 성장기의 기술 성장단계를 보이고 있음. 오일샌드 플랜트 기술은 유효특허 분석 결과 총 999건 중 북미가 89%(미국 51%,캐나다 38%)를 차지하여 북미에 집중되어 특허가 출원되고 있음. 미국의 외국인 출원 점유율의 87% 및자국 출원 점유율이 74%인 캐나다는 오일샌드가 집중적으로 매장되기 때문에 다수의 자국 기업이 캐나다에주로 특허를 출원하는 동기가 되는 것으로 분석되며 주요 특허인인 Shell, Suncor energy, Exxon-mobil을 포함함. 최근, 국제 유가의 하락으로 오일샌드의 사업성이 악화되어 석유기업들의 오일샌드 프로젝트 중단이 이어지고 있고 저유가 상태가 지속될 경우 향후 특허출원 역시 증가세가 둔화되거나 감소할 가능성이 있는 것으로 예상되지만, 오일샌드는 유전개발과 달리 장기간 안정적 생산량 유지가 가능한 사업적 특성을 가지므로, 장기적 관점에서 특허를 확보하여 오일샌드 사업의 경쟁력을 확보하는 것이 중요할 것으로 분석됨.

다. 시사점 및 차별화 방향

(1) 차별화 방안

1) 오일샌드 육상플랜트 모듈의 설계・제작・시공 기술 확보

- 국내에서 제작하여 다양한 현장 운송 경로 대응 모듈의 최적화 설계 기술
- 경제적 효과를 고려한 국산화 고성능 소재 적용을 통한 제작 및 시공 기술
- 적층형식을 고려한 구조 및 모듈 프레임 설계, 제작 기술

2) 오일샌드 주요공정 기기의 국산기술 확보

- 열캐리어 방식의 연소기의 모듈화 패키지 설계/제작기술
- 다상유동분리기 및 오일분리유닛의 모듈화 설계/제작 기술

3) 극한환경 시공을 고려한 시공기술 확보

- 극한지의 시공기간 감소 및 환경보존을 고려한 신형식 파일 기초 및 변위 대응형 기구의 설계,제작기술
- 극한지형에서 결빙 방지를 통한 플랜트 안전성 확보 가능한 시공 기술

4) 모듈화 플랜트 안전성 확보를 위한 기술 확보

- 모듈화 플랜트의 구조 프레임 변형을 감지시스템 설계 및 분석 기술
- 플랜트의 수명 예측 및 운전의 유지관리 통합 솔루션 제공

(2) 기존 기술 대비 차별성 및 우수성

□ (차별성) 오일샌드 플랜트 현장에 적용 가능성이 높은 설계/제작/시공의 모듈화 국산 기술개발

- 극한환경을 고려한 국산화 고성능 소재기술과 적층형식을 고려한 구조 및 모듈 프레임 설계, 제작 기술
- 주요공정 기기 (열캐리방식 연소기형 증기발생기, 다상유동분리기, 오일분리유닛)의 설계,제작 및 모듈화 패키지 기술
- 추가 침하 및 지반 변형에 대하여 능동적으로 대응이 가능한국내 고유 의 오일샌드 플랜트 모듈 최적 기초 기술
- 플랜트 모듈의 변형감지를 활용한 대형사고 예방 및 구조적 안정성 모니터링 기술
- 카메라 이미지 내 임의의 위치에 화재 포함 시 기계학습 알고리즘을 이용한 감지 및 중앙관제센터로 결과 전송기술
- 기계장치가 아닌 감지 알고리즘으로 유지관리 및 업그레이드 용이

□ (우수성) 국산 제작모듈의 품질 및 모듈화 기술

- 모듈의 설계/제작 유연화 : 각국의 규정, 법규 및 운송방법 제한, 규제 등에 대응이 가능한 모듈 설계/제작기술 확보
- 모듈화 패키지 신뢰성 제고 : 모듈화 공법 선정부터 제작/시공 및 현지 열악한 운영 여건까지 고려하여 장기 신뢰성이 확보된 기술 확보
- 주요기기 국산화 : 국산 핵심설비를 적용한 연소기형 복합열캐 리어 방식 Steam Generator 패키지, 다상유동분리기, 오일분리유닛 및 지형변형에 대응이 가능한 신형식 기초, 구조프레임 변형 감지시스템 설계 및 제작기술 확보

- 기존 말뚝 시공속도 대비 10% 증가 (공기단축 효과) 및 상향력 50 ton/ea의 기초 연결기술 확보
- 극한환경을 고려한 무선 센싱 네트워크 기술 : 극한지에서 전송 지연없이 실시간으로 데이터를 획득하는 기술 확보
- 기존의 CCTV 영상 활용가능 → 영상장치 추가 장착 불필요
- 현재 기계학습 알고리즘에서 추후 신경망 알고리즘으로 진화 시 가상 화재를 통한 학습 데이터도 불필요

3. 연구수행내용 및 성과

가. 기술개발 접근 개요

본 연구에서는 대표적인 모듈 프로젝트를 벤치마킹하고, 주요 공정장치를 구성하는 주요 구성유닛의 형식과 형상을 파악하고, 이를 일정한 규격의 모듈 형상(Module Envelope)에서 집적 가능성을 분석하고, 실제 하중 조건에서 구조 프레임의 내구강도와 부재 등의 설계방안을 제시하는 접근법을 도입함.

모듈의 형식을 살펴보고 모듈의 형상을 구속하는 구조 프레임의 설계 및 제작 우수사례를 벤치마킹하여 오일샌드플랜트 공정장치류의 구조 프레임과 연결부재에 적합한 기준과 규격을 적용, 이에 대한 구조해석을 통하여 사용 적합성을 확보하고자 하였음. 구조 프레임에 대한 별도 현장 실증은 2세부 주관기관인 비츠로넥스텍에서 KICT 안동 실험장에서 수행하였음.

기능모듈 설계(안)을 토대로 제작, 운송 및 설치 등을 종합적으로 고려한 기능모듈의 분할, 레이아웃 등에 관한 기본적인 가이드라인 검토와 더불어 주요계통을 구성하는 유닛, 기자재의 형식과 형상, 치수 등을 토대로 적절한 크기의 구조 프레임과 모듈 형상(Envelope)에 집적 가능성을 분석하고, 상용급 기능모듈로 설계, 파일럿 모듈 설계 및 점증 등을 수행하였음.

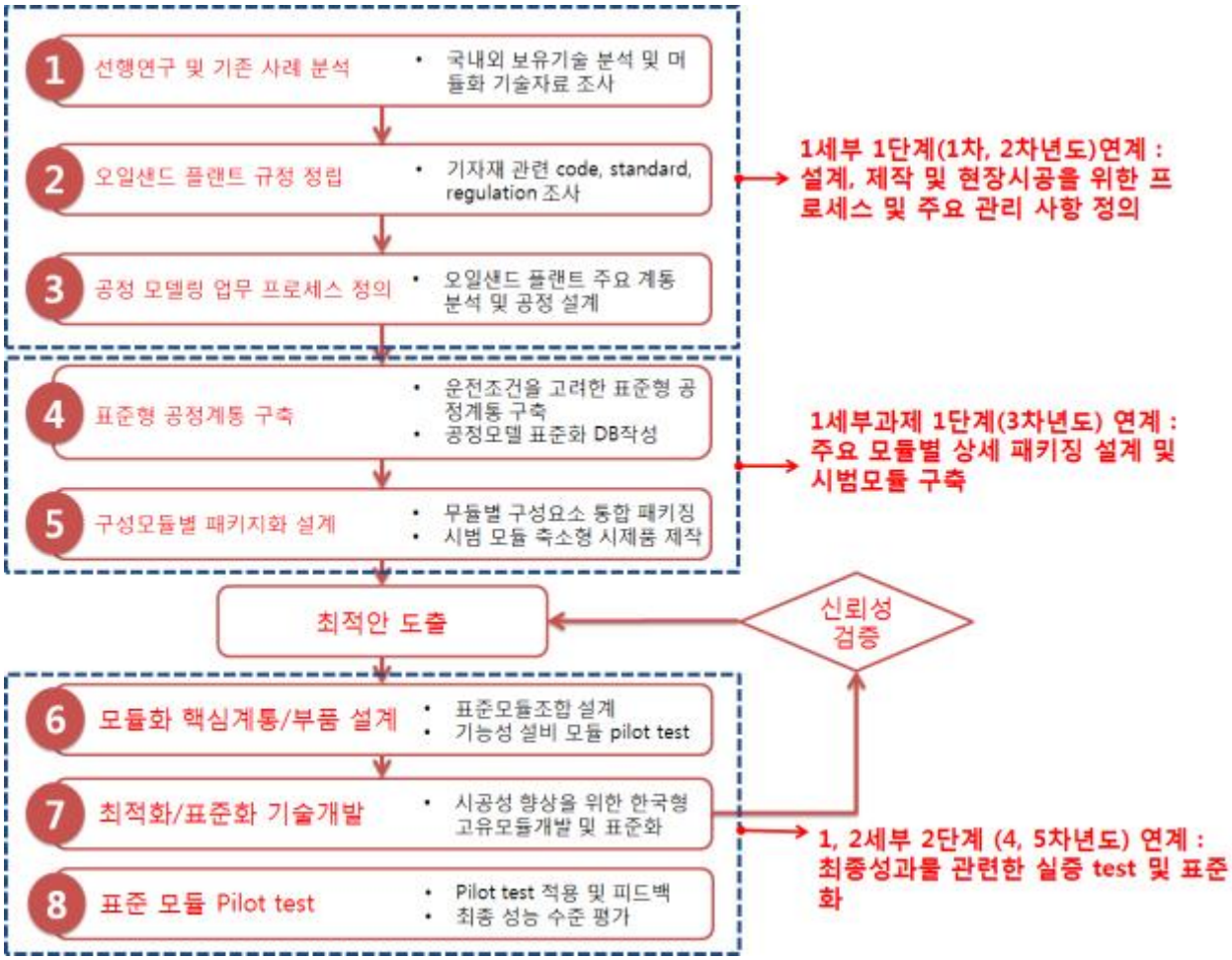


그림 3.1.1 단계별 개발 수행 내용

나. 모듈러 CPF의 적정 엔벨로프(envelopes)

(1) CPF Layout

1) Suncor Firebag Oil Sands Project

표 3.2.1 Suncor Firebag Oil Sands Project

FACILITY	FIREBAG
STATUS	Operating
START-UP	2004
REGION	Athabasca
FORMATION	Wabiskaw-McMurray
PROCESS	SAGD
CAPACITY	203,000 bbl/day bitumen
PRODUCT	55% sold as Borealis Heavy Blend (BHB) 45% processed at Suncor Upgrader
SPECS	BHB @ 21.5° API • 3.8% sulphur
EXPANSION	Stage 5/6 • 125,000 bbl/day • approved • TBD
AREA	1.34㎢

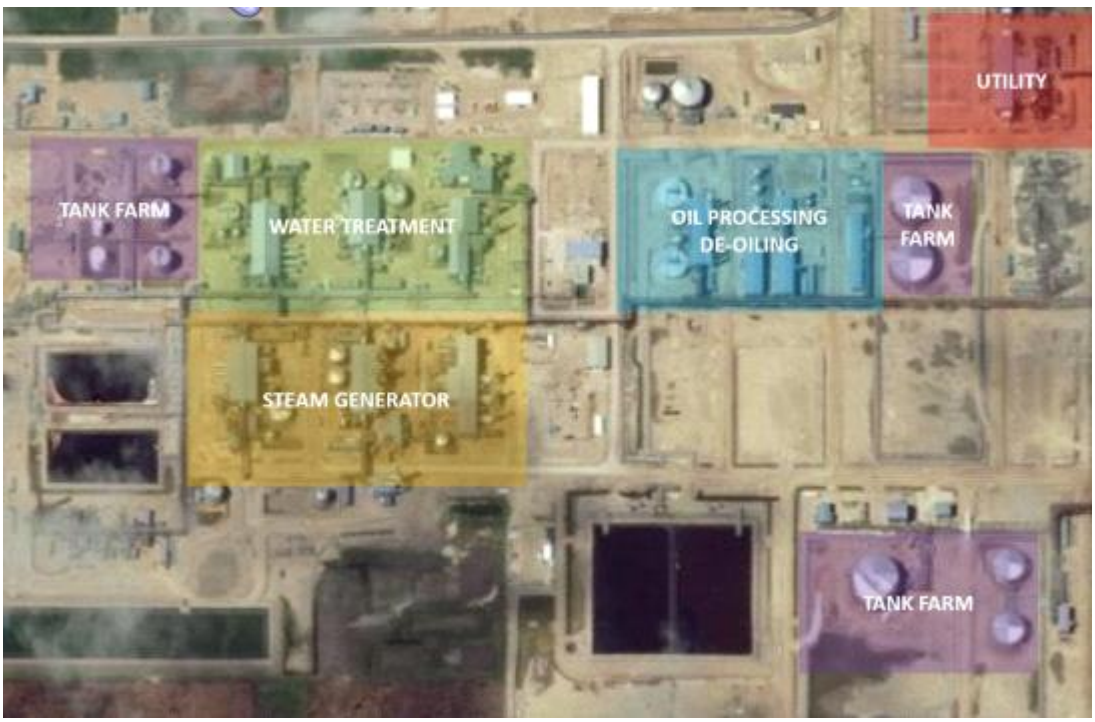


그림 3.2.1 Suncor Firebag Oil Sands Project

2) Hucky Energy Tucker Lake Project

표 3.2.2 Hucky Energy Tucker Lake Project

FACILITY	TUCKER LAKE
STATUS	Operating
START-UP	2006
REGION	Cold Lake
FORMATION	Clearwater • Lower Grand Rapids • Colony
PROCESS	SAGD
CAPACITY	30,000 bbl/day
PRODUCT	diluted bitumen
AREA	0.178㎢

그림 3.2.2 Hucky Energy Tucker Lake Project

3) Husky Energy Sunrise Project

표 3.2.3 Husky Energy Sunrise Project

FACILITY	SUNRISE
STATUS	Operating
START-UP	2015
REGION	Athabasca
FORMATION	Wabiskaw-McMurray
PROCESS	SAGD
CAPACITY	60,000 bbl/day (Approvals : 200,000 bbl/day)
PRODUCT	diluted bitumen
AREA	0.241㎢

그림 3.2.3 Husky Energy Sunrise Project

4) 300 bpd 구성도

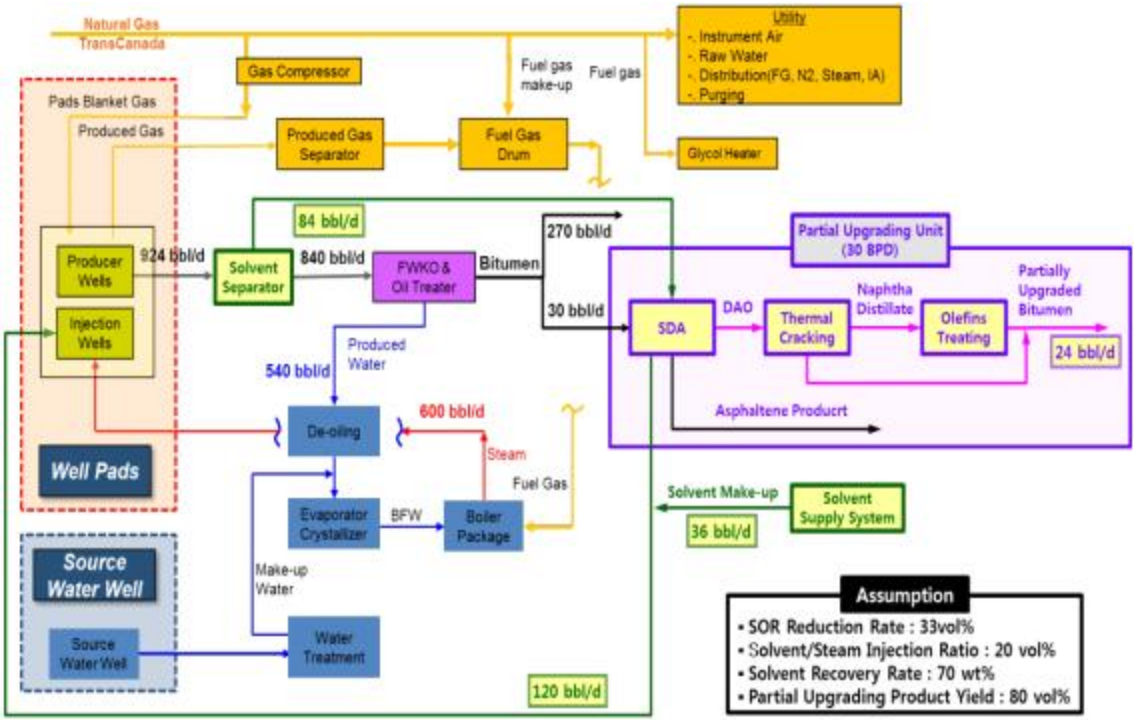
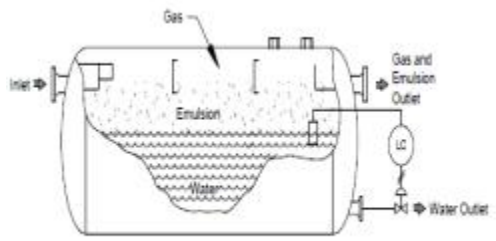
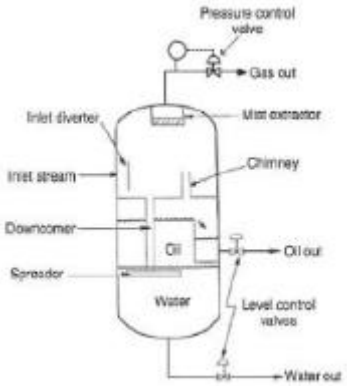


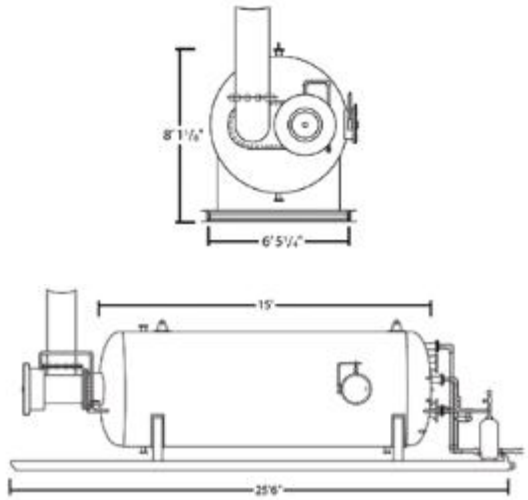
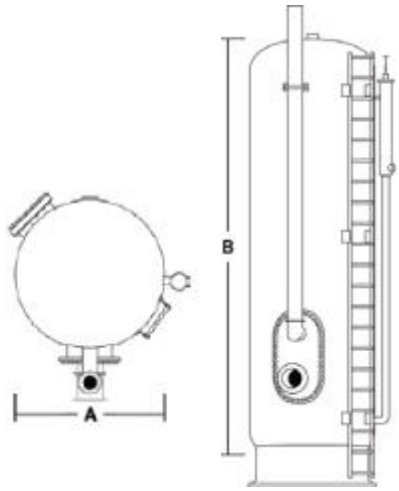
그림 3.2.4 300bpd 구성도

(2) 구성 장치류 조사 · 분석

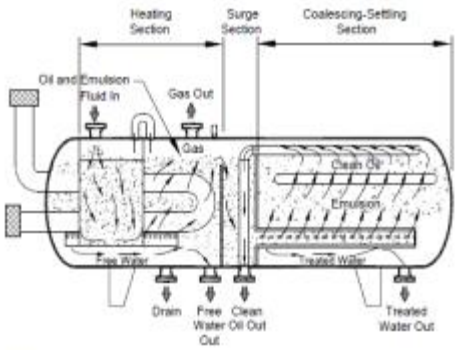
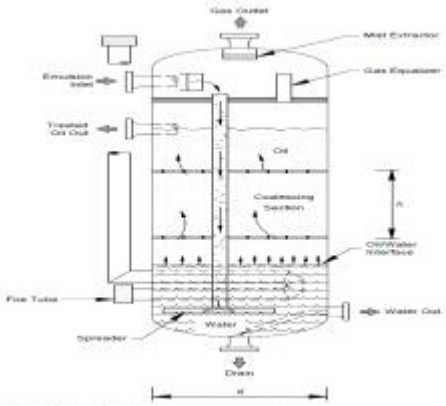
1) FWKO

Free-water knockout		
형상	 FIGURE 1.1. Cutaway of a free-water knockout.	
	Horizontal	Vertical
크기	- FWKO- 24″×10′-(2or3phase)-25to250PSI - FWKO-120″×10′–(2or3phase)–25to250PSI - FWKO- 24″×20′-(2or3phase)-25to250PSI - FWKO-120″×20′-(2or3phase)-25to250PSI	- Vertical separators can vary in size from 10 or 12 in. In diameter and 4 to 5 ft seam to seam (S to S) up to 10 or 12 ft in diameter and 15 to 25 ft S to S
기술	- 기체/액체의 유량이 많은 경우에 사용 - 3상 분리에 유리함 - Foaming crude	- 기체/액체의 유량이 적은 경우에 사용 - plot 공간이 제한적인 경우 사용 - 레벨 제어가 쉬움
장점	- 수직형과 비교하여 동일한 용량의 가스를 다룰 때 더 적은 직경을 요구함 - 가격은 수직형 보다 더 저렴함	- 플러깅 없이 모래, 머드, 파라핀, 왁스를 다룰 수 있음 - 보다 작은 공간을 차지함 - 액체 레벨 제어가 중요하지 않음
단점	- 액체 레벨 제어가 중요함 - 모래, 머드, 왁스, 파라핀을 다루기 어려움	- 가격은 수직형보다 더 비쌈 - 운송이 어려움

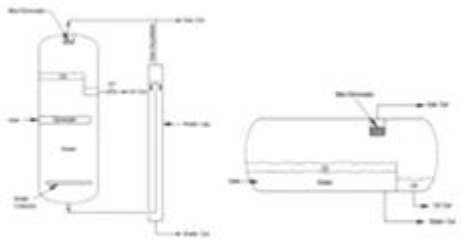
2) 오일 처리기(Oil Treater)

<table>
<tr><th colspan="3">Oil Treater</th></tr>
<tr><td rowspan="2">형상</td><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Horizontal</td><td>Vertical</td></tr>
<tr><td>크기</td><td>·40°API oil, 50% water cut 기준
<table>
<tr><th>Size</th><th>Capacity</th><th>Size</th><th>Capacity</th></tr>
<tr><td>4×12</td><td>800 BPD</td><td>8×30</td><td>8,000 BPD</td></tr>
<tr><td>4×16</td><td>1,200 BPD</td><td>10×40</td><td>16,000 BPD</td></tr>
<tr><td>6×20</td><td>3,000BPD</td><td>12×50</td><td>24,000 BPD</td></tr>
</table>
출처: ttp://www.primenergy.com/oiltreating.htm</td><td>
<table>
<tr><th>A, OD ft</th><th>B, Height ft</th><th>Liquid bpd</th><th>shipping weight lbs</th></tr>
<tr><td>4</td><td>20</td><td>400-1500</td><td>6,600</td></tr>
<tr><td>6</td><td>20</td><td>600-2500</td><td>9,400</td></tr>
</table>
* Larger sizes are also available
출처: www.exterran.com</td></tr>
</table>

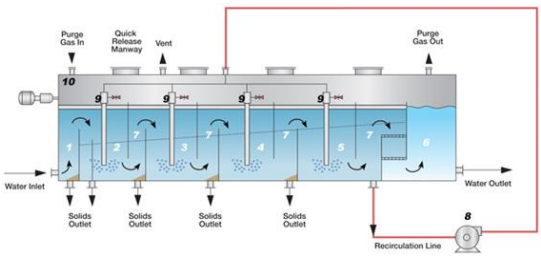
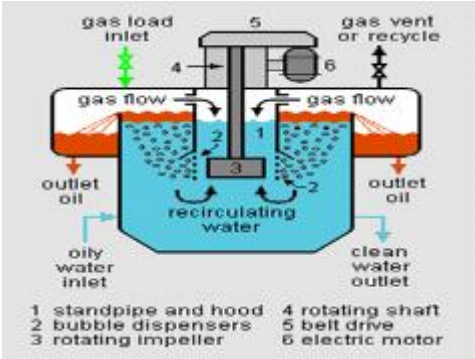
3) 가열기

Heater-treater		
형상	 FIGURE 1.16. Simplified schematic of a horizontal heater-treater.	 FIGURE 1.7. Simplified schematic of a vertical heater-treater.
	Horizontal	Vertical
기술	- 일반적으로 사용되는 히터-트리터 모델 - 수직형보다 체류시간이 김 - 다른 treating 베셀보다 더 작기 때문에 보다 작은 체류 시간을 가짐 - 4개의 주요 섹션으로 구성되어 있음 (gas separator, FWKO, heating and wash, coalescing-settling section)	- 일반적으로 잘 사용되지는 않음 - 수평형보다 체류시간이 짧음 - 다른 treating 베셀보다 더 작기 때문에 보다 작은 체류 시간을 가짐 - 3개의 주요 섹션으로 구성됨 (front(heating and water-wash), oil surge chamber, coalecing sections)
장점	- 점도, 오일 비중, 유량, 부식, 추운 날씨와 같은 다양한 조건들을 처리하기 위해 사용 - heater-treater는 초기 설치비가 더 저렴하고, 높은 열효율, 높은 유연성을 가짐	
단점	- 반면에 매우 복잡하며 저장 공간이 적고 화학물에 더 민감함.	

4) Skim Tank

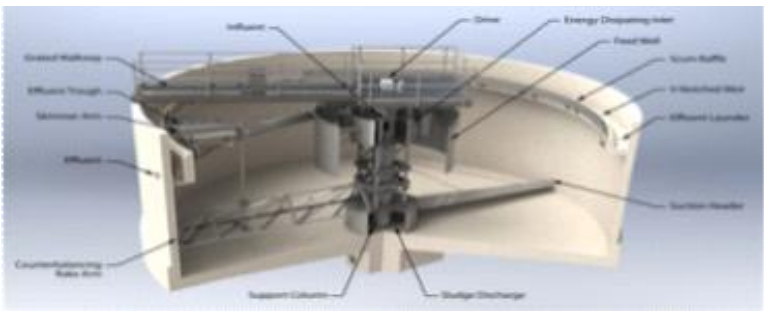
	Skimmer tank	**Skimmer vessel**
형상		
기술	- 분리방법 : 중력분리 - 공급물 오일농도 : 500–10,000 mg/l. - 체류시간 : (최소)10-30min - 제거되는 droplet 사이즈 :(최소)100-300μm - 오일의 농도가 높고 다운스트림 장치에 대해 유출물 오일 농도가 250g/L로 감소되어야 하는 경우 사용.	- 분리방법 : 중력분리 - 체류시간: (최소)10-30 min - 제거되는 droplet 사이즈 :(최소)100-300μm - 베셀은 진동, 난류, short-circuiting 등을 무시할 수 없음 - 처리 장치 다운스트림을 보호하기 위해 압력강하가 요구됨 - 수직형: 고형물이 처리되어야 하고, 액체 서지가 예상되는 경우 사용 - 수평형: 수직형보다 생산수 처리가 더 효과적임

5) 유수분리기 (Induced Gas Flotation)

Flotation		
형상		
	dissolved gas flotation unit	induced gas flotation unit (hydraulic inductor/mechanical rotor)
기술	- 분리방법 : gas flotation - 제거되는 droplet 사이즈 :(최소)10-20μm - 가스버블 생산방법 : 가스 버블은 유용성 가스를 생산수에 flashing함으로써 형성됨 - induced gas flotation(100-1,000μm) 보다 훨씬 더 적은 버블을 형성(10-100μm) - 오일 방울 100% 제거	- 분리방법 : gas flotation - 제거되는 droplet 사이즈 : (최소)10-20μm - 가스버블 생산방법 : hydraulic inductor 장치나 기계적 로터를 사용함으로써 가스 버블을 분산시킴 - 오일 방울 100% 제거
장점	- 전력 사용 비용이 적거나 적당함. - oil과 water의 밀도차이가 낮은 경우 사용가능 (예, heavy oil)	
단점	- 장치 사이즈와 중량이 주요한 고려사항인 경우 적합하지 않음.	

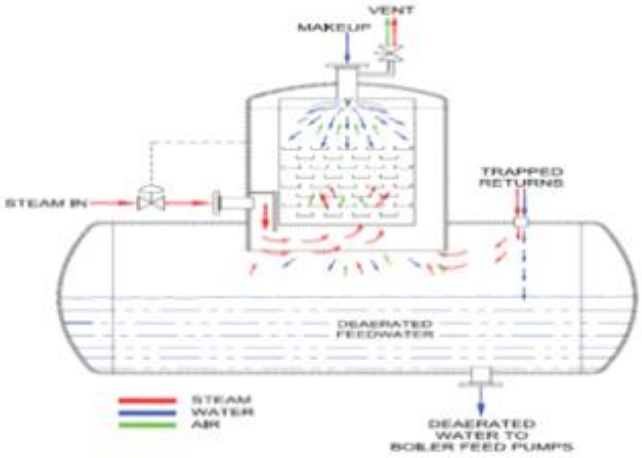
오일・가스 생산수 처리계통에서 미세오일을 제거하는 장치로서, 적절한 체류 시간을 확보하는 것이 중요하며, 이를 위하여 유체의 밀도 차이 또는 오일 액적의 크기, 유체의 점성, 온도, 기포의 크기 등을 제어함. 형상은 직사각형이나 원통형이 적용되고 있고, 형상의 크기는 3.5 m 전후로서 4 m × 5 m 규격에 적합함.

6) Warm lime softening Clarifier

Warm Lime Softening Clarifier	
형상	
기술	- 탱크 형태의 청징기 내부로 물을 유입하고 침전제(Lime, MgO, NaOH 등)를 첨가 - 과도한 난류형태의 혼합을 자제하며 침전조 내부 체류 시간을 최대화. (현탁 입자의 침강을 촉진시킴) - 적정시간 체류시키면 탱크 하부 쪽에 침전물들이 가라앉음 - 가라 앉은 침전물은 탱크 하부 배출부로 제거됨
장점	- Sedimentation and blocking 방지 가능 - Long-term continuous operation.
단점	- 주기적 Backwashing 필요. - 설치 면적 큼.

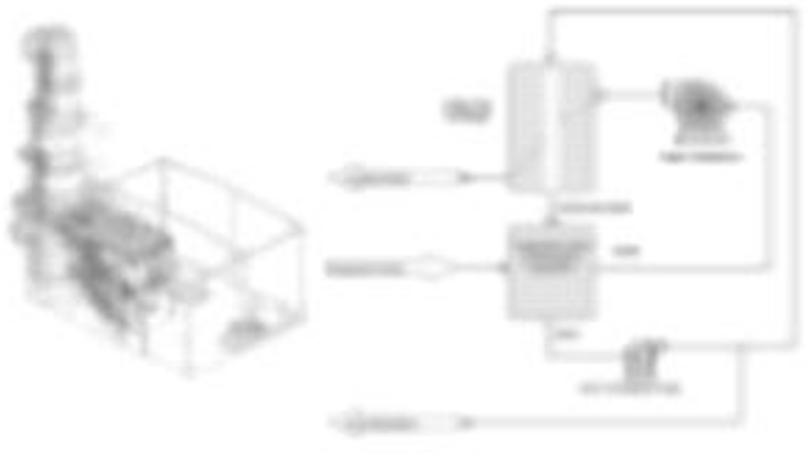
De-Oiling을 거친 물에는 $CaCO_3$나 SiO_2 같은 염들이 녹아 있어 청징기를 통해 위와 같은 물질들을 화학반응을 통해 침전-분리 시킴. Lime을 첨가하여 물의 pH를 높여 carbonate species의 침전을 유도함. 형상은 대체로 원통형에 부재가 결합되는 형식으로 적용되고 있고, 원통형, 원뿔형 등으로 부대 장비를 포함하여 7 m × 8 m 규격에 적합함.

7) 탈기기 (Deaerator)

<table>
<tr><th colspan="2">Deaerator</th></tr>
<tr><td>형상</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>기기 크기</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">Model No.</th><th colspan="2">Rate Capacity</th><th>Heater Section</th><th colspan="3">Overall Dimensions, in.</th></tr>
<tr><td>LBS/HR</td><td>HP</td><td>O.D.</td><td>HT</td><td>L</td><td>W</td></tr>
<tr><td>6ST5</td><td>20,700</td><td>600</td><td>36″</td><td>152</td><td>122</td><td>56</td></tr>
<tr><td>30ST5</td><td>100,000</td><td>3,000</td><td>60″</td><td>184</td><td>156</td><td>80</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>기술</td><td>- 물속에 녹아 있는 비응축성(non-condensable) 가스를 제거하는 장치
- Feed는 탈기기 상부에서 Spray-Nozzle에 의해 고르게 분사됨
- 분사된 물은 캐스케이드(Cascade)형태의 Tray를 타고 하강하게 됨
- 분리된 가스들은 자동적으로 상부 Vent를 통해 빠져 나옴
- 가스를 제거시킨 물은 탈기기하부에 저장된 후 증발기로 보내짐</td></tr>
<tr><td>장점</td><td>- smaller plant 적용 가능 Free carbon 완전 제거 가능, recycling pump 불필요</td></tr>
<tr><td>단점</td><td>- residence time이 길고 Steam wastage 발생</td></tr>
</table>

De-Oiling을 거친 물에는 비응축성(Non-condensable) 가스인 산소와 이산화탄소가 녹아있어 탈기 하지 않을 경우 Evaporator System과 Boiler System에 심각한 문제를 일으키므로 탈기기(Deaerator)를 통해 제거시킴. 형상은 대체로 원통형의 조합으로 적용되고 있고, 형상의 크기는 직경이 최대 4 m 전후에 달하며, 부대 장비를 포함하여 4 m × 5 m, 7 m × 8 m 규격에 적합함.

8) Steam Generation

Falling-Film Evaporator	
형상	
기술	- 일반적으로 열원으로 가열하는 가열부와 발생한 증기와 용액을 분리하는 기-액 분리부로 구성 - 부속 설비로는 발생한 증기를 액화하여 제거하는 응축기와 증발기 내의 진공을 유지하기 위한 진공펌프, 용액 수송용 압축기 등이 필요 - 증발기 하부에서 고체들은 재순환 공정을 통해 농축됨. 이러한 염들은 따로 분리 시켜 Waste-Water Tank로 보내짐
장점	- Scale control 가능, 다중 효용관으로 에너지 효율 증대 가능 - 완전자동화, 설치 쉬움
단점	- 부식 방지를 위해 고가의 material 필요, 높이에 따른 설치비 증가

(3) Module Envelopes

기존에 모듈화 방식은 현지에서 장비 또는 파이프랙의 사전조립 유닛, pre-dressed vessel 등의 형식으로 진행되어왔으나 최근에는 현지 작업의 제약여건, 해외조달 등이 증가함에 따라 사전에 공정계통의 연계성, 유틸리티 통합 및 분배, 조립 및 철거 용이성, 운용과 유지보수성 등에 관한 개선을 통하여 자재의 수량, 공사기간, 공사비용 측면에서 큰 효과를 보이고 있음.

특히 오일샌드플랜트 공정계통의 모듈화에 있어 공정블럭 중심의 구성개념이 도입되고 있으며, 이는 아래 그림과 같이 건설사업을 공정 블록별로 나누어 설계, 제작, 시공하는 개념으로 공정 최적화 개념이 적용되고, 컴팩트화를 달성하기 위하여 공정 통합, 기자재 개량 등의 효과를 보임. 아래 그림은 하나의 공정블럭을 예산 결과로서 해당 공정을 구성하는 장치류를 기능모듈을 구분하는 방식으로 레이아웃을 구획하고, 유사 장치나 유닛을 그룹군으로 배치하는 개념이 적용되어 파이프 및 케이블 연결에 있어서도 모듈개념이 접목되고 있음.

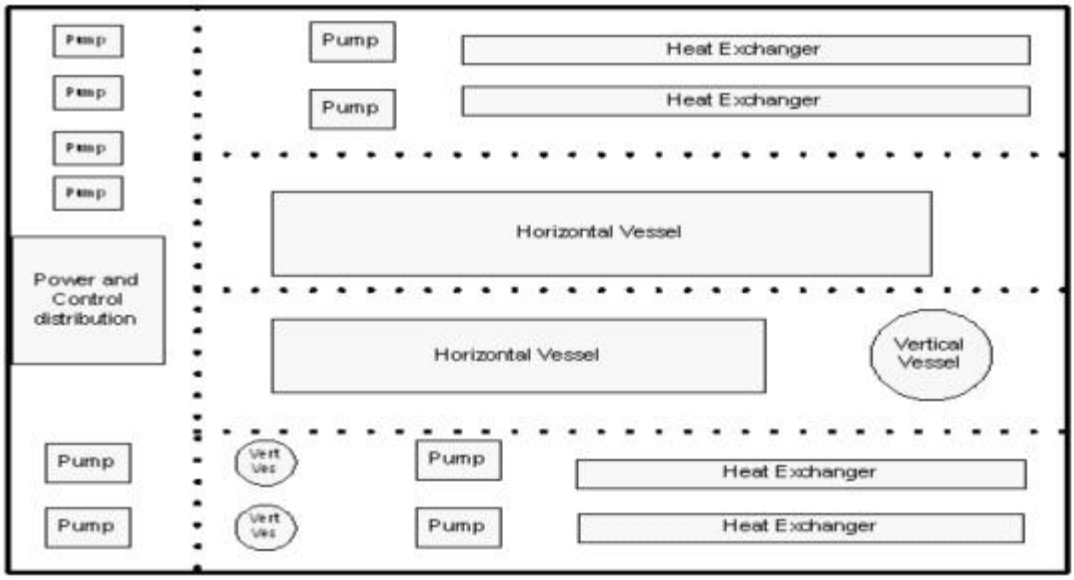


그림 3.2.5 기능 모듈 레이아웃

오일샌드 플랜트 모듈화 추진에서 향상된 효과를 획득하기 위해 모듈 Envelopes을 설정하는 방법은 운송을 고려한 Envelopes, 대형 공정유닛의 분할에 의한 Envelopes 등으로 대별됨. 이러한 Module Envelope은 외형, 제작, 운송, 설치 방법 등에 따른 다양한 고려사항을 만족하여야함. 외형 측면에서 수직, 수평 등 유사한 형태의 장치, 기기류를 중심으로 모듈화가 바람직하며, 반응기, 타워, column 등 모든 장치를 하나의 모듈로 구성할 수 없기 때문에 주요 장치류는 개별 모듈별 구성하되 연계 모듈을 인접하게 설계하여 구조물이나 파이프라인 및 케이블 등의 수량을 감소할 수 있음.

모듈화 유닛은 운전 중 고장의 위험이 적은 것을 위주로 수행되며, 대용량 장치를 지양하고, 소용량 장치를 다수 설치하도록 설계하여야 하며, 모듈화 유닛은 선적, 하역 등을 고려하여 보조지지 구조물을 추가로 설치하도록 설계하며, 모듈화 장치간의 배관, 단열, 페인팅 용이하도록 모듈화 유닛을 설계 및 제작함. 파이프 네트워크는 상호 동일 위치에 설계되어야 하며, 배관은 첨단 플랜지 이음 방법 등에 의하여 마감하여 모듈러 유닛의 상호 연계가 가.능하도록 설계하고 모듈화 유닛은 전력, 통신 연계에 있어서 상호 동일한 방법을 적용함.

모듈화 유닛의 프레임은 정방형 구조를 유지하여 상호 연계가 용이하고 안정성 확보가 가능하며, 유지보수, 시운전, 운전점검이 가능하도록 설계/제작함. 모듈화 유닛은 해상, 육상 이송이 가능한 운송수단을 고려하여 설계되어야 하며, 선적, 하역, 현장에서 크레인에 의한 시공이 가능하도록 고려함.

표 3.2.4 Modularization과 Pre-assembly에 따른 권고사항

구분	권고사항
Modularization	• 모든 파이프랙 구조물 • 케이블 트레이, 파이프류 • 공정 및 유틸리티 구조물 : 유수분리계통, 오일처리계통, Deoil 계통, 수처리계통, 증기발생계통 등
Pre-assembly	• 파이프 결합 구조물 : 대형 유닛에 부착되는 파이프 결합체 • 소규모 장치류 : 대형 유닛이나 독립적인 패키지류

아래 표는 앞서 조사·분석한 모듈 형식 및 형상, 모듈 Envelope 등을 토대로 오일샌드플랜트 주요 공정계통의 구조프레임 및 모듈 조합을 위한 구성형상(Envelop)에 대한 도출 결과임.

표 3.2.5 오일샌드 플랜트 주요 공정 계통의 구조프레임 모듈 조합을 위한 envelop

Module Envelopes	Envelope 조합			대상 CPF 및 유닛
	W	H	L	
2×3	2	6		케이블, 소형 Attachments
	4	3		소형 패키지류, 소용량 파이프랙, 단거리 소용량 파이프랙, Weak Acid Cation Ion Exchange
4×5	4	5		Oil treater, Heater-treater, Flotation, Oil removal filter, Deaerator, Weak Acid Cation Ion Exchange, Drum Type HRSG
	4	10		FWKO, Skimmer vessel, Flotation, Oil removal filter, Drum Type HRSG
	8	10		Skimmer tank, Skimmer vessel, Coalescers, Deaerator, Falling-Film Evaporator, Warm Lime Softening Clarifier, Once-through steam generator, Drum Type HRSG
7×8	7	8		Skimmer tank, Skimmer vessel, Coalescers, Flotation, Oil removal filter, Deaerator, Falling-Film Evaporator, Warm Lime Softening Clarifier, Once-through steam generator, Drum Type HRSG
	14	16		Skimmer tank, Coalescers, Warm Lime Softening Clarifier, Once-through steam generator, Drum Type HRSG

다. 모듈 구조 프레임 및 연결기구 설계

(1) 사용요건 및 설계기준 분석

□ 적용 소재 및 코드 기준

표 3.3.1 오일샌드 플랜트 사용 강재

구분		Rush Lake Commercial Thermal Project	Kearl Oil Sands Project
소재	Structural Steel	ASTM A36(Hot-Rolled Sections as per JIS G3192)	300W, 350WT, Canada A572-42, A572-50, US
	Lifting Lugs	CSA G40.21, Grade G350WT, Category 4	

□ 운송 하중 조건 분석

표 3.3.2 운송 하중 조건 분석

구분		Rush Lake Commercial Thermal Project	Kearl Oil Sands Project
해상 이송	하중 조합	- 1.15 D (Dead Load) + (Longi or Trans) Impact + Vertical Impact + Wind - Wind Speed : 102 mph (= 46 meter/s) - Exposure Category : D - Important Factor : 1.0 (Hurricane Prone Regions with V > 100 mph)	- Dead weight + Roll(or Pitch) + Heave + Wind Loads
	가속도	- Transverse acceleration : -0.55 g - Longitudinal acceleration : 0.30 g - Vertical acceleration : 0.50 g	- Roll : 0.67 g(Trans.) - Pitch : 0.34 g(Longi.) - Heave : 0.7 g(Ver.)
열차 이송	g Force (Restraint Values)	- Longitudinal = 3 g × 2 for each end - Lateral = 2 g × 2 for each side - Vertical = 2 g or light weight of car, whichever is less	
트레일러 이송	Impact Load	- Vertical Impact : 20 % (Dead) - Transversal Impact : 15 % (Dead) - Lateral Impact : 25 % (Dead)	

* Rush Lake Commercial Project의 구조설계는 AISC(ASD 9th)에 따라 수행되었으나, 해상운송을 위한 하중조합이 한계 상태 설계 방법에 정확히 명시되어 있지 않음.
* Rush Lake Commercial Project의 풍하중은 ASCE 7-05에 따라 계산됨. g Force 전체 제한 값은 AAR Open Top Loading Rules Manual에 따라 계산됨.
* Rush Lake Commercial Project의 트레일러 이송 충격하중은 Husky사 Specification : Structural Engineering Design Criteria(DS-CS-01)에 따라 계산됨.
* KOSP의 해상결박 설계하중은 AISC 9th에 따라 계산됨.
* KOSP의 해상운송 최대 모션 가속도 기준은 KP 04-74-004, Structural Design Loads(Rev.1)에 따름.

□ 접합부 기준

표 3.3.3 고장력 볼트 기계적 성질

등급 및 표시기호	항복강도 N/mm²	인장강도 N/mm²	연신율 %	단면 수축률 %
F8T	640 이상	800~1000	16 이상	45 이상
F10T	900 이상	1,000~1,200	14 이상	40 이상
F11T	990 이상	1,100~1,300	14 이상	40 이상
F13T	1,170 이상	1,300~1,500	12 이상	35 이상

표 3.3.4 용접재료 강도

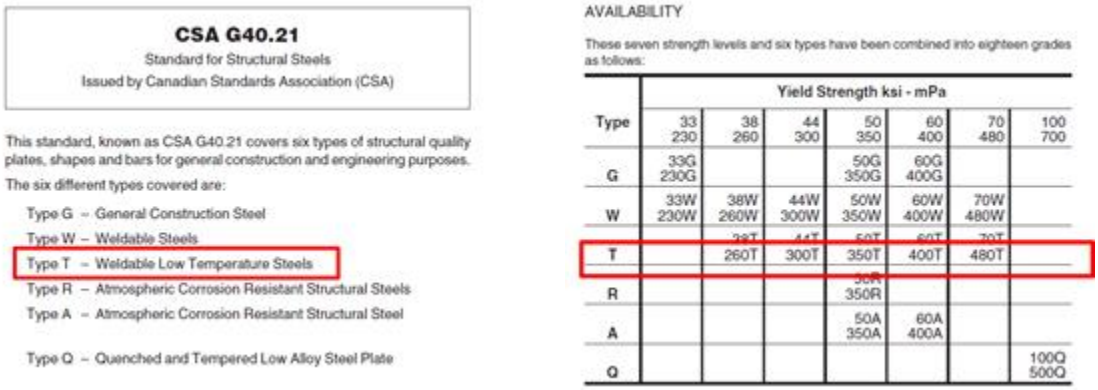
용접재료	강도		적용 가능 강종
	F_y	F_u	
KS D 7004 연강용 피복아크 용접봉	345	420	인장강도 400 MPa 급 연강
KS D 7006 고장력 강용 피복아크 용접봉	390	490	인장강도 490 MPa ~ 780 MPa 고장력강
	410	520	
	490	570	
	500	610	
	550	690	
	620	750	
	665	780	
KS D 7104 연강, 고장력강 및 저온용 강용 아크용접 플러스코어선	340	420	인장강도 400 MPa급 연강 인장강도 490 MPa, 540 MPa, 590 MPa급 고장력강
	390	490	
	430	540	
	490	590	
KS D 7025 연강 및 고장력강용 마그용접 솔리드와이어	345	420	인장강도 400 MPa급 연강 인장강도 490 MPa, 590 MPa급 고장력강
	390	490	
	490	570	
KS D 0531 탄소강 및 저합금강용 서브머지드 아크 용착 금속의 품질 구분 및 시험 방법	300	410	탄소강 및 저합금강(고장력강, 내열강 및 내후성강)
	390	490	
	490	570	
	500	670	
	550	690	
	670	780	
KS D 7101 내후성강용 피복아크 용접봉 KS D 7106 내후성강용 탄산가스 아크용접 솔리드와이어 KS D 7109 내후성강용 탄산가스 아크용접 플러스충전와이어	390	490	인장강도 490 MPa ~ 570 MPa급 내후성 고장력강
	490	570	

□ 모듈러 플랜트 접합부 사례

표 3.3.5 모듈러 플랜트 접합부 사례

구분		Rush Lake Commercial Thermal Project	Kearl Oil Sands Project
접합부	High Strength Bolts, Nuts and Washers	ASTM A325, Type 1, Cadmium Plated	Bolts M16, M20, M22, M24, M27, M30, M36
	Carbon SteelBolts, Nuts and Washers	ASTM A307, Grade A, Cadmium Plated	

CSA G40.21 구조용강에 관련한 표준으로 Type T를 사용하여야 할 것으로 사료됨.



CSA G40.21
Standard for Structural Steels
Issued by Canadian Standards Association (CSA)

This standard, known as CSA G40.21 covers six types of structural quality plates, shapes and bars for general construction and engineering purposes.

The six different types covered are:

- Type G – General Construction Steel
- Type W – Weldable Steels
- Type T – Weldable Low Temperature Steels
- Type R – Atmospheric Corrosion Resistant Structural Steels
- Type A – Atmospheric Corrosion Resistant Structural Steel
- Type Q – Quenched and Tempered Low Alloy Steel Plate

AVAILABILITY

These seven strength levels and six types have been combined into eighteen grades as follows:

Type	Yield Strength ksi - mPa						
	33 230	38 260	44 300	50 350	60 400	70 480	100 700
G	33G 230G			50G 350G	60G 400G		
W	33W 230W	38W 260W	44W 300W	50W 350W	60W 400W	70W 480W	
T		260T	300T	350T	400T	480T	
R				50R 350R			
A				50A 350A	60A 400A		
Q							100Q 500Q

그림 3.3.1 CSA G40.21 및 Type T의 항복강도

구조물의 설계 시 Type T의 항복강도를 참고하여야 하며, Type T에서 제시된 260T~480T의 대응되는 ASTM 표준은 A36, A572로 확인되었음.

표 3.3.6 ASTM A36

Plates, Shapes and Bars	인장강도 (MPa)	항복강도 (min, MPa)	탄성계수 (GPa)
	400~550	250	200

표 3.3.7 ASTM A572

Grade	인장강도 (MPa)	항복강도 (min, MPa)	탄성계수 (GPa)
45	-	-	-
50	450	345	190~210
55	485	380	190~210
60	415	520	190~210
70	-	-	-

(2) 건축 설계 시 하중 기준

한국, 미국, 캐나다 각 국가별 건축구조협회에 따라 상이한 부분이 있을 수 있음. 위 국제규격에 대한 내용 숙지가 필요함.

표 3.3.8 건축 설계 시 하중 기준

기 호	하 중	내 용
D	고정하중 (Dead load)	여러 가지 부재의 무게가 포함되어 영구적으로 구조물에 작용하는 하중
L	활하중 (Live load)	건축물의 내부에 상치하는 가구나 기타 자재도구, 비품과 인간의 중량에 의해 발생하는 하중
Lr	지붕활하중 (Roof live load)	유지보수 작업 시 작업자, 장비 및 자재에 의한 작업하중 또는 점유 사용과는 무관한 화분 또는 이와 유사한 소형 장식물 등 이동 가능한 물체에 의하여 지붕에 작용하는 하중
W	풍하중 (Wind load)	바람에 의해 작용되는 하중. 물체에 바람이 부딪힐 때 바람에 의하여 물체에 발생하는 하중
S	적설하중 (Snow load)	눈이 쌓인 중량이 구조물에 외력으로 작용하는 하중
E	지진하중 (Earthquake load)	지진이 일어났을 때 건물에 작용하는 지반의 가속도와 건물의 질량을 곱하여져 발행하는 관성력에 의한 수평하중
M	운반설비 및 부속장치 하중	건축물 및 공작물의 구조체에 작용하는 운반설비 및 부속장치 하중

표 3.3.9 캐나다 Calgary, Alberta 평균 풍속에 따른 Wind Load 설정

노풍도	지역	풍속(m/s)
D(해상 및 개방지역)	부산	38
	Calgary, Alberta, Canada	38
	Rush Lake Commercial Thermal Projec	46

□ 국가에 따른 해상 운송 가속도 값

표 3.3.10 Acceleration Value (Ocean Transportation)

Site	Project		Longitudinal (Roll)	Transverse (Pitch)	Vertical (Heave)
Canada	KOSP	(Alberta)	0.34g	0.67g	0.7g
Canada	HUSKY	(Vancouver)	0.3g	0.55g	0.5g
U. S. A	SASOL	(Louisiana)	0.2g	0.9g	0.5g
베네수엘라	RELP		0.315g	0.5g	0.39~0.2g

□ 국가에 따른 육상 운송 가속도 값

표 3.3.11 Acceleration Value (Land Transportation)

Site	Project		Longitudinal	Transverse	Vertical
U. S. A	SASOL	(Louisiana)	0.1g	0.05g	0.2g
Canada	HUSKY		0.25g	0.2g	0.2g

□ 구조물의 안정성 척도(구조설계 일반사항(2009))

작용하는 하중효과에 대하여 구조부재의 저항성능의 대소로 판단

$$\text{안전계수(n)} = \frac{\text{저항성능(내하능력)}}{\text{하중효과}} = \frac{\text{구조물의 실제강도}}{\text{설계 강도}} = \frac{\text{허용응력도}}{\text{설계응력도}} = \frac{\text{극한하중(저항성능)}}{\text{부하하중(작용하중)}}$$

※ 국가별 및 구조물 형태에 따른 건축설계 엔지니어가 기준 설정함(단, 오차범위는 1내외)

(3) 구조해석 평가

초기 인장(initial jacking) 및 이송을 고려하여 이동 시 철 구조물의 전반적인 안정성은 이송, 도로경사 및 급제동에서 전복과 미끄러짐에 대해 검사가 필요하고, 또한 엔지니어는 각 철 구조시설 및 SPMT(Self-Propelled Modular Transporter)의 분해와 조립과정에 구조의 결합 중량을 산정해야 함.

구조물에 대한 이동하중해석은 차량하중이 이동하면서 유발하는 하중에 대한 해석을 수해한다. 차량하중의 이동경로를 해석하여 최대 값, 최소 값을 계산하고 이동하중조건 결과로 사용함. 구조물에 대한 이동하중해석을 수행하기 위해서는 차선이나 차선면에 단위하중을 재하하여 차선이나 영향면을 계산하여 해석에 적용하였음.

플랜트 모듈 구조프레임 해석에 필요한 요소인 운송 사이즈, 적용 소재, 하중조건(장치, 배관, 풍속, 지반, 운전 등)에 대한 분석을 통해 수행함.

해당 결과를 통해 범용 구조해석 프로그램인 Midas gen 프로그램을 활용하여 구조물에 대한 육상 및 해상 운송 시 경계조건에 대하여 구조해석을 수행함.

표 3.3.12 Structural steel comparison

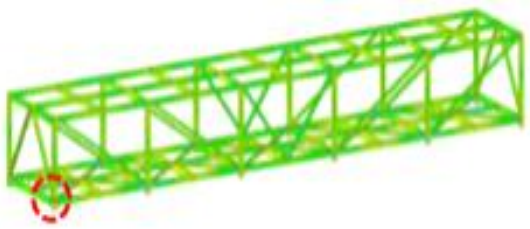
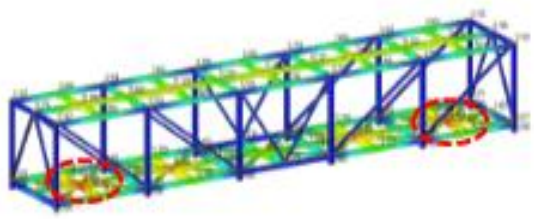
구분	ASTM (American Society for Testing Materials)		KS (Korean Industrial Standard)	
	ASTM A36	ASTM A572-50	SS400	SM490
인장강도(MPa)	400~550	450	400~510	490~610
항복강도(MPa)	250	345	205	325
탄성계수(GPa)	200	190~210	190	-

표 3.3.13 Boundary condition for analysis

Case	소재	Module Size	장치 하중	풍속	육상	해상
Case 1 (FWKO module)	SM490	3.6m(W)×7.2m(L)× 20m(H)	180kN	38m/s (Calgary, Alberta, Canada 연평균 풍속)	±X : 0.2 g, ±Y : 0.2 g	± X : 0.2 g, ± Y : 0.2 g,
		3.6m(W)×3.6m(L)× 20m(H)	90kN			
Case 2 (Pipe RackModule)	SS400	3.6m(W)×6.95m(L)×18m(H)	30 kN			
		3.6m(W)×3.35m(L)×18m(H)	2.1 kN			
		3.6m(W)×3.6m(L)×18m(H)	15.6kN			

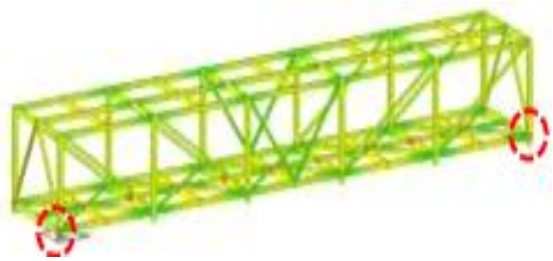
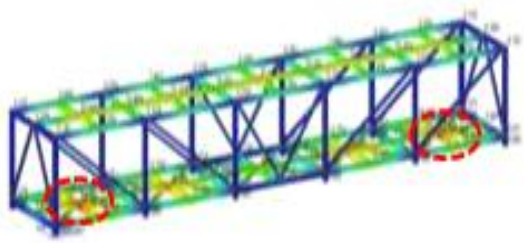
□ FWKO 유닛 모듈 구조해석 결과(운전 조건)

- Case 2 - A(5×4×30 m, SS400)

응력분포	변위분포
	
최대응력 : 7.138 × 10^5 kN/m^2 (713.8 MPa)	최대변위 : 33.566 mm

구분	column			Beam1	Beam2	Girder	Brace
Combined Resistance	Rmax (Rmax1, Rmax2)	1.306 >1.000	Rmax1	0.950 <1.000	0.931 <1.000	0.926 <1.000	1.274 >1.000
Shear Resistance	Vfy/Vry	0.380 <1.000	Vfy/Vry	0.000 <1.000	0.000 <1.000	0.000 <1.000	0.000 <1.000
	Vfz/Vrz	0.270 <1.000	Vfz/Vrz	0.160 <1.000	0.526 <1.000	0.233 <1.000	0.402 <1.000
Allowable		N.G		O.K	O.K	O.K	N.G

- Case 2 - B(5×4×30 m, SM490)

응력분포	변위분포
	
최대응력 : 3.729 × 10^5 kN/m^2 (372.9 MPa)	최대변위 : 30.023mm

구분	column			Beam1	Beam2	Girder	Brace
Combined Resistance	Rmax (Rmax1, Rmax2)	0.850 <1.000	Rmax1	0.634 <1.000	0.695 <1.000	0.656 <1.000	0.812 <1.000
Shear Resistance	Vfy/Vry	0.244 <1.000	Vfy/Vry	0.000 <1.000	0.000 <1.000	0.000 <1.000	0.000 <1.000
	Vfz/Vrz	0.191 <1.000	Vfz/Vrz	0.335 <1.000	0.394 <1.000	0.265 <1.000	0.269 <1.000
Allowable		O.K		O.K	O.K	O.K	O.K

□ 해석 Case 강재 사용가능여부

표 3.3.14 국산소재 사용가능여부

구분	소재	
	SS400	SM490
Case1 (3×2×30 m)	O.K	O.K
Case 2 (5×4×30 m)	N.G	O.K
Case 3 (8×7×30 m)	N.G	N.G

- 이송이 없는 경계조건 해석결과 Case 3(8×7×30 m)은 SS400, SM490, SWH400의 강재를 사용할 수 없음을 보이고 있음.
- Case 3(8×7×30 m)의 경우 효과적인 하중분포를 위해 brace 및 girder를 추가 설계하여, case 1 및 case 2 와는 다른 구조프레임 형상을 가짐.
- Case 1(3×2×30 m), Case 2(5×4×30 m) 해석결과 SM490 강재가 가장 적합한 소재로 판단됨.

(4) 구조부재 및 연결기구

1) 세계 각국의 국제 규격

표 3.3.15 구조부재 국제 규격

구분	내용
KS(한국 산업규격, Korea Standards)	KS는 공업표준화법에 의거 정부가 제정한 국가 규격이다. 10개 부문으로 분류되어 있으며, 철강제품은 금속부문에 포함되어있음. 또한 KS는 특정제품의 품질수준과 가공 기술을 정부차원에서 보증하는 KS표시 제도를 채택함. 철강 금속 부문은 'D'로 표시함 (예 :KS D 0000)
JIS(일본 공업 규격, Japan Industrial Standards)	JIS는 일본 공업표준화법에 의해 제정된 일본 국가규격으로 18부문으로 분류되어 있으며 철강은 그 일부분을 가지고 있음. JIS역시 KS마크 표시제도와 마찬가지로 JIS마크 표시 제도를 운영하고 있으며 철강금속 부분은 'G'마크로 표시됨 (예 :JIS G 0000)
ASTM(미국재료시험협회, American Society for Testing Materials)	미국에서의 모든 재료 및 시험방법에 대한 조사연구와 그 표준화를 시행하고 있다. ASTM은 표준화의 대 상을 Specification, Method, Definition으로 대별하고 있으며, 다시 이들을 정식규격 (Standard)과 가규격(Tentative)으로 구분하고 있음. 또한 제정된 규격에는 규격번호(통 일성은 없음)와 함께 기호를 붙여 품종내용을 표시하고 있음
ASME(미국기계기술자학회, American Society of Mechanical Engineers)	미국의 기계 분야 단체규격이며, 보일러, 압력용기 코드는 보일러 압력용기 및 작업중인 원자력발전소 의 디자인, 제조검사를 다루는 안전 규정
AISI(미국철강협회, American Iron and Steel Institute)	다른 ASTM과 SAE 등의 단체와도 협력하여, 시판되는 철강제품에 대해 품질등급을 정함. 그러나 표준규격이라기보다 철강편람(Steel Products Manual)으로 편집되어, 강의 선택과 용도, 번호에 따른 품질표시, 철강의 일반적 성질, 용어의 정의, 시험방법, 표준치수, 치수허용차, 포장 양식 등을 수록하여, 제조자, 사용자, 구매자에 대한 철강재 해설서로 되어 있으며, 다음 과 같이 총 19권으로 되어 있음. Carbon & Low Alloy Steel에 대해서는 AISI와 SAE가 같은 규격번호를 사용하고 있으며 AISI 또는 AISI/SAE로 표기함
BS(영국 국가 규격, British Standards)	영국 국가 표준원(BSI)에서 제정한 국가규격이다. 이 규격은 철강에 대한별도 분류는 없고 제정번호순으로 일련번호를 부여하고 있으며 아래의 5종류로 분류함 (1) BS General Series (2) BS Automobile Series (3) BS Aircraft Materials and Components (4) BS/MOE Standards (5) Bs Codes of Practice
DIN은 독일 공업 국가 규격(Deutsche Industrie Normen)	독일표준원에서 제정 한 국가규격임. 이 규격은 KS와 같은 부문별 규격분류는 없고 전 규격에 일련번호를 부여하고 있으며 철강에 관한 규격에는 품질규정, 기술적 공급조건, 치수규격, 일반규격 및 시험규격으로 구분되어 있음

2) 철골부재 강도 검증을 위한 국가별 구조설계 기준 선정

철골부재 강도검증을 수행하기 위한 국가별 구조설계 기준이 필요하며, 국가에 맞는 설계 기준을 선정하여 강도검증을 수행함.

*LSD(Limited States Design)는 강 구조물의 강도 설계에 적용됨.
*ASD(Allowable Stress Design)는 베어링 설계 및 말뚝 안정성 검토에 적용됨.
*CSA: Canadian Standards Association, CAN : National Standards of Canada.

표 3.3.16 국가별 구조설계 기준

국가	Code Name
한국	KSSC-LSD09 (한국강구조학회, 한계상태설계기준) KBC-LSD98 (대한 건축학회, 강구조 한계상태설계기준)
미국	AISC-ASD89 (미국강구조협회, 허용응력설계법) AISC-LRFD2K (미국강구조협회, 하중저항계수설계법)
캐나다	CAN/CSA S16-01 (캐나다규격협회, 철골 구조물의 한계상태 설정법)
영국	BS5950-2K (영국표준협회, 강구조설계기준 한계상태설계법)

3) 구조 부재별 규격

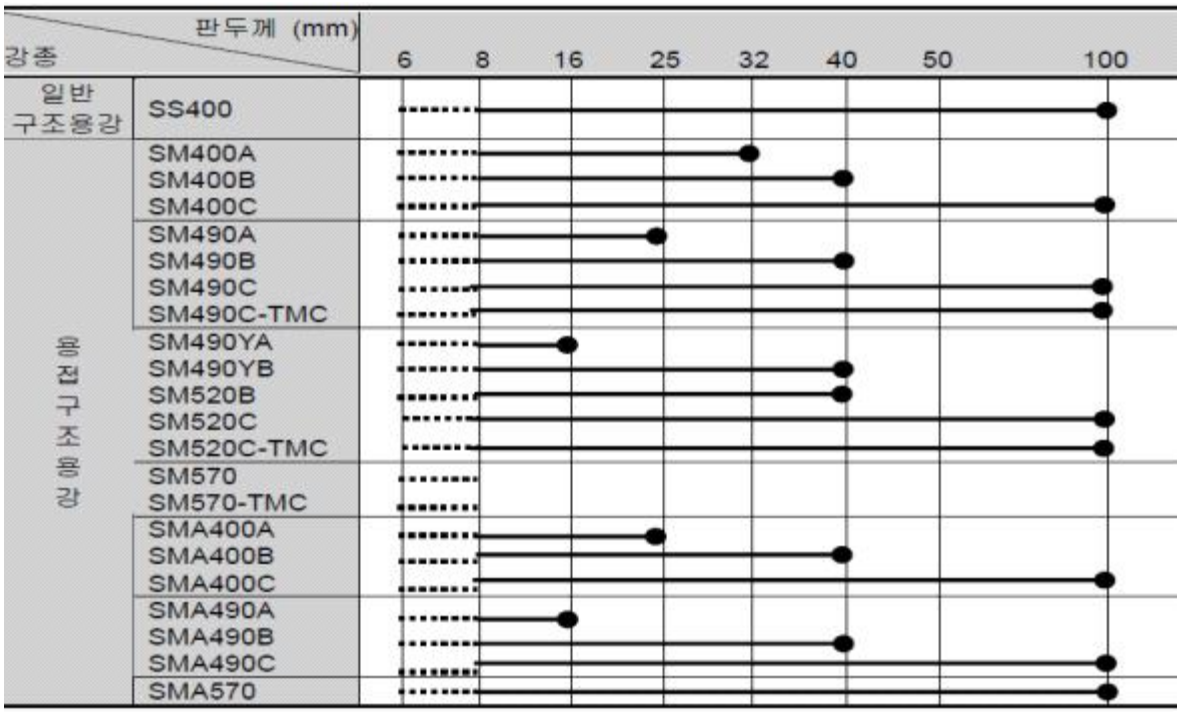


그림 3.3.2 구조 부재별 규격

주) 1. 판두께 40 mm를 초과하는 강재는 허용응력감소를 고려해야 함.
2. 판두께 25~32 mm의 SM490YB는 진정 강괴로 제조되어야 함.
* 진정 강괴 : 고탄소강 또는 특수강과 같은 고급 강재의 제조에 사용.

※ 국산 강재 사용을 하지 않을 시 아래 국가별 강재 코드 표에 따른 강재 산정을 하며, 구조용 강재 가이드북을 통해 강재에 대한 인장강도 및 항복강도를 확인하여 강재를 산정함.

국가별 강재 코드를 선정하여 구조해석이 필요함.

표 3.3.17 국가별 강재 코드

지역	국가	DB	Code Name
아시아	한국	KS	Korean Industrial Standards
	인도	IS	Indian Standards
	일본	JIS	Japanese Industrial Standards
	중국	GB	Chinese National Standards
	중국	CNS	Chinese National Standards
미주	미국	ASTM	American Society for Testing Materials
	캐나다	CSA	Canadian Standards Association
유럽	유럽	EN	European Standards
	영국	BS	British Standard
	이탈리아	UNI	Italian National Standards
	독일	DIN	Deutsche Institut Fur Normung e.v

구조용 강재 설정을 위한 국가별 규격 표기 및 강재 기호가 필요하며, 한국 강재를 사용 할 경우 KS 규격과 SS, SM, SN에 해당되는 구조용 강재 및 인장강도 등을 고려한 강재 선정이 필요함.

표 3.3.18 국가별 강재 규격 표기

구 분	기 호
KS (Korean Industrial Standard)	SS : 일반구조용 압연강재 SM : 용접구조용 압연강재 SN : 건축구조용 압연강재 400, 490, 540:인장강도 최소치, A,B: 충격치 Y : 항복강도 10 % 향상 A : 충격치 보증 없음 B:충격치 보증
JIS (Japanese Industrial Standard)	
ASTM (American Society for Testing Materials)	A36 : 구조용강 A572 : Nb-V 고장력강 A992 : 건축구조용강 G42, G50 : 인장강도
CSA (Canadian Standards Association)	G40.21(Type G) : 일반구조용 강재 G40.21(Type W) : 용접구조용 강재 G40.21(Type T) : 용접구조용 저온 강재 G, W, T : 항복강도
BS (British Standard)	BS4360 : 용접 구조용강 43, 50, 55 : 인장강도 최소치 A : 충격치 보증 없음, B : 충격치 보증
DIN (Deutsche Industrie Normen) EN (European Standards)	DIN 17100, EN 10025 : 구조용강 235, 275, 355 : 항복강도 최소치(N/mm^2)

라. CPF 고유기능모듈 설계 및 적용 타당성 검토

[부록] 오일샌드 모듈화 플랜트 기능 모듈 최적화 설계집

(1) CPF 설계기초 및 계통구성

1) CPF 설계

□ 설계 용량

CPF는 생산량의 불예측성으로 인해 일정 범위내 유체량을 처리하도록 설계함. 상용급 CPF의 디자인 파라미터는 아래와 같음.

표 3.4.1 CPF 디자인 파라미터

Stream	생산 능력	
	보증 용량(㎥/day)	설계 용량(㎥/day)
Oil Production	1,200	1,500
Produced Water (as liquid)	4,348	5,435
Total Produced Liquids	5,910	7,388
Steam Injected(CWE-100% quality)	4,348	5,435
Produced Gas (S㎥/day-dry)	24,000	30,000

단, 생산시설 설비용량에 대한 설계기준은 20% 여유분을 감당할 수 있는 용량을 기준으로 적용함.

□ 저장 탱크 및 물질 특성

표 3.4.2 저장 탱크

저장 탱크의 종류	저장물	용량(㎥)	수량
Diluent Storage	Diluent	1,600	1
De-sand Tank	Sediment & Water	400	2
Produced Water Surge Tank	Water	1,600	1
Sales Oil Storage Tank	Dil-Bit	1,600	1
Production Oil Storage Tank	Dil-Bit	1,600	1
Off Specification Bitumen Storage Tank	Dil-Bit	1,600	1
Produced Water Skim Tank	Water & Oil	1,600	1
Waste Oil Storage Tank (Slop Oil Tank)	Oily Water	400	1
De-Oiled Water Storage Tank	De-oiled Water	1,600	1
Raw Water Storage Tank	Water	400	1
Evaporator Feed Tank	De-oiled Water	30	1
Caustic Storage Tank	Sodium Hydroxide	30	1
Boiler Feed Water Tank	Treated Water	1,600	1
Waster Brine Tank	Evaporator Waste Water	400	1
Boiler Blowdown Tank	Water	320	1
Glycol Storage Tank	Glycol & Water	32	1
Diesel Storage Tank	Diesel	16	1
Floor Drain Tank	Oil & Water	80	1

□ 설계 가동시간

모든 공정계통, 유틸리티, 원격 시스템은 연속 가동시간이 연간 8,000시간 되도록 설계해야 함.

□ 턴다운(Turn Down) 비

표 3.4.3 계통별 턴다운 비

공정 구분	정격용량 대비 %
오일처리 계통	10%
오일재처리 계통	10%
수처리 계통	10%
스팀발생기 계통	25%

참고: 2002, David Thornock and Larry Clark, 보일러 턴다운
참고: 2005, Darren J. Wiltse, 저압 SAGD ALS 솔루션

□ 설계 수명

플랜트의 수명은 25년으로 설계하여야 한다. 설계 수명은 자재 선정 및 부식 속도와 연관됨. 본 플랜트 연구는 설치/운영을 근간으로 한 모듈 설계/제작 경험을 실적으로 실증하기 위한 목적을 가짐.

□ 열 및 물질 수지

- 물 (Water)

SAGD 방식에서 처리수 재사용 비율은 97% 수준이며 생산, 유틸리티, 응축수 등 공정상에서 사용된 물은 일정량 충수(充水)되어져야 한다. 10,000bbl 상용급 SAGD 프로젝트에서 물(Water)의 물질수지는 대략적으로 아래와 같음.

표 3.4.4 계통별 CPF

Water Balance for the CPF (Steady State Case)	Source (㎥/d)	Destination (㎥/d)
Supply Water Balance		
Raw Water from Pipeline	192	
Average Brine Regeneration Waste from Softeners		6
Utility Water Consumption		8
Ro Reject to Evaporator		44
Soft RO Water to BFW Tank		134
Evaporator Balance		
De-oiled Water to Evaporators	5,390	
Boiler Blowdown to Evaporators	166	
RO Reject to Evaporators	44	
Distillate from Evaporators		5,433
Waste Brine from Evaporators (to Disposal)		167

Water Balance for the CPF (Steady State Case)	Source (㎥/d)	Destination (㎥/d)
Steam Generation Balance		
BFW to Steam Generators	5,567	
Steam to Reservoir (Cold Water Equivalent [CWE])		5,400
Boiler Blowdown to Evaporator		167
Reservoir Balance		
Steam to Reservoir (CWE)	5,400	
Formation Water Production	0	
Produced Water from Reservoir		5,400
Water Lost to Reservoir		0
CPF Production Water Balance		
Water from Field	5,400	
Water Losses to Process (dil-bit, fuel gas, etc.)		9
Water to Evaporators		5,391
Produced Water to Disposal		0

- 탄화 수소 액체 (Hydrocarbon Liquids)

공정동안 약 6,200S㎥/day의 생산 유체가 웰패드로부터 CPF로 전달된다. 전체 부피 중 약 1,500은 비투멘이고 나머지는 물임. 0.5% BS&W이하의 판매유 조건을 만족시키기 위해 비투멘은 300S㎥/day의 희석제와 혼합되며 전체 부피 1,800㎥/day의 dil-bit은 외부로 반출됨. 공정상에서 발생된 모든 증기는 응축수와 액화탄화수소로 냉각되어지고 비투멘 추출 공정에서 분리되거나 회수됨. 잉여 탄화 수소 가스는 연료 가스로 사용됨.

□ 기본 설계 기준

- 주요 플랜트 계통흐름 기준

아래의 계통설계 파라미터는 공정 시뮬레이션 개발, 열 및 물질 수지, 오일샌드 SAGD 시설의 장비 크기 설정에 사용되는 계통설계의 주요 파라미터를 요약함. 열 및 물질 수지는 정격 오일용량 및 물 생산율을 바탕으로 발전시킴.

표 3.4.5 플랜트 계통의 주요 파라미터

파라미터	단위	값
플랜트 정상용량(Plant Rated Oil Capacity)	bpd	9.435
플랜트 등급용량(Plant Name Plate Capacity)	bpd	7.862
생산수 용량(Produced Water Capacity)	m³/ day	5.043
Well로 공급되는 스팀질(Steam Quality to Well)	Wt% saturated	100
생산가스 CO2 함유량 (Produced Gas CO2 Content)	Mol% (dry basis)	35% (10%-50% 범위)
오일처리 방법 (Oil Treating Method)	N/A	Dry Treating –Nondiluted
판매유 BS&W (Sales Oil BS&W(Operating))	N/A	0.5% max

파라미터	단위	값
판매유 제품 온도 (Sales Oil Product Temperature(Operating))	°C	70 - 75
원수탱크 입구 압력 (Raw Water Tank Inlet Pressure)	kPag	200 Max.
원수펌프 출구 셧오프 압력 (Raw Water Upstream Pump Shut-off Pressure)	kPag	9600
원수 온도 (Raw Water Temperature)	°C	5 - 20
생산수 처리/재사용 (Produced Water Disposal / Reuse)		정 배출
Disposal well에서 생산수 처리 압력 (PW Disposal Pressure at Disposal Well)	kPag	6300
생산수 처리 온도(PW Disposal Temperature)	°C	≤60
생산수 처리 시 허용가능한 오일양 (Allowable Oil in PW to Disposal)	ppm	<10

□ 설계 압력 기준

본 절의 "내부 설계압력은 적어도 배관계통 내의 최대 지속운전압력(maximum sustained operating pressure) 수준이 되어야 한다"고 정의한다. 이 압력은 최소한 안전밸브 셋포인트 압력과 같아야 함.

표 3.4.6 장비 별 운전 조건

장비	최대운전압력(MOP), kPag	설계압력(DP), kPag
압력용기	완전/부분 진공	-103/345
	0 - 241	345
	248 - 690	MOP + 103
	696 - 1724	MOP + 172
	1731 – 3448	1.1 x MOP
	3454 – 6895	MOP + 345
	> 6895	1.05 x MOP
열교환기	0 - 345	517
	352 - 1724	MOP + 172
	1731 – 3448	1.1 x MOP
	3454 – 6895	MOP + 345
	> 6895	1.05 x MOP
저장탱크	-	API 650/620/12F
	-	용량: > 2500 bbls 압력: 3.45 kPag, Vac: -0.5 kPag
	-	용량: < 2500 bbls 압력: 6.9 kPag, Vac: -0.5 kPag

□ 모듈설계 시 고려사항

- 모듈설계

Module engineering은 Plant plot plan과 운송가능성 여부를 고려하여 Module 대상 구조물을 확정한 후, Module division 계획을 세우는 것으로부터 시작됨. 그리고 나서 분할된 모듈을 육상 및 해상운송 시 안전하도록 설계하고 현장 설치 시 문제가 없도록 상세 설계를 보완함.

- 모듈분할

Module division 계획은 운송 방법과 현장 설치 방법을 고려하여 하나의 구조물을 Main module, Sub module 및 Ship loose part로 나누는 계획하였으며, 이에 맞게 Piping, Cable Tray 등도 분할. 운송방법에 따른 Site 도달까지에 대한 운송가능 여부도 중요하지만, Site 내에서의 이동 동선 조건으로 인해, 모듈의 높이, 폭 그리고 길이가 제한되며, 이를 모듈분할계획 수립 시 고려. SPMT(Self Propelled Modular Transporter)나 Trailer를 이용한 육상운송 시에는 도로의 높이나 폭에 대한 제한 사항이 고려되어야 하며, 현장 반입 후 설치 방안에 따라 구조물이 안전하게 인양되어 설치 될 수 있도록 모듈의 무게제한 및 관련 Lug plate & Spread beam 계획 등도 필요함. Barge선을 이용한 해상운송 시에는 동원될 Barge선의 규모에 따라 모듈의 높이와 폭이 제한되며, Barge선 자체의 부두 접안 가능성이 선 검토가 필요.

- 해상운송 설계

철골구조물 설계 시에는 인양(lifting) 시 발생되는 외력과 육상 및 해상운송에 의한 외력 고려하여야 한다. 해상운송 시 발생하는 외력을 Sea acceleration force라 하는데, 이 힘을 Horizontal force(Roll), Longitudinal Force(Pitch), Vertical Force(Heave)로 분해하여 구조물 설계 및 해상 운송 안전성 검토 시 적용하게 됨. 이러한 힘은 운송되는 모듈의 규모에 따라 지진하중이나 풍하중 보다 구조물 설계의 지배적 요소가 될 수 있으며, 해상운송 설계 완료 후, 피드백 설계가 수행. 구조물 및 해상운송 설계 시에 적용된 하중조합은 아래 표와 같음.

표 3.4.7 해상운송 설계 시 적용된 하중조합

NO.	DESCRIPTION
LC01	Dead+Roll(+10.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC02	Dead+Roll(+10.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC03	Dead+Roll(+10.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC04	Dead+Roll(+10.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC05	Dead+Roll(+5.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC06	Dead+Roll(+5.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC07	Dead+Roll(+5.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind
LC08	Dead+Roll(+5.0°/10sec)+Heave(+0.1g)+Wind

해상운송 설계 프로그램으로는, 일반적으로 API RP-2A 또는 GL Noble Denton Guidelines을 적용하여 미국의 Engineering Dynamics, Inc.사가 개발한 SACS (Structural Analysis Computer System)를 사용하거나, 해양 운송 경로 상의 상세조건을 입력하여 Bentley 육상운송 설계 시에는 해상운송 설계와 달리 고려되어야 할 외력은 없지만, 구조물의 무게 중심(C.O.G, Center Of Gravity)에 대한 고려와 안정성 검토가 중요함. C.O.G 는 크게 Designed C.O.G와 Actual C.O.G로 구분되며, 두 수치 간에 급격한 차이가 발생되면, 운송 안전성에 문제가 발생될 수 있음. 그러한 경우에는 해상 및 육상 운송 계획안을 수정하여야 하고 운송일정 지연으로 인해 전체 공사 일정에 영향을 주게 됨. 따라서, 모듈 설계 단계부터 해상운송 전까지 운송 안전성

에 문제가 되지 않는 선에서 C.O.G는 별도의 Weight control sheet로 관리되어야 함. SPMT를 이용한 육상운송 설계 시에는 C.O.G가 Safety area 내에 배치되도록 SPMT를 배열하게 되며, 실행단계에서는 구조물이 전도되거나, Overload가 걸리지 않도록 SPMT가 운영되어야 함.

2) CPF 계통구성

오일샌드 SAGD 플랜트 CPF의 개략도는 그림 3.4.1이고, 오일/가스 산업에서 널리 받아들여지는 공정별 요구사항은 <표 15>과 같으며, 이를 기준으로 공정설계를 수행했다.

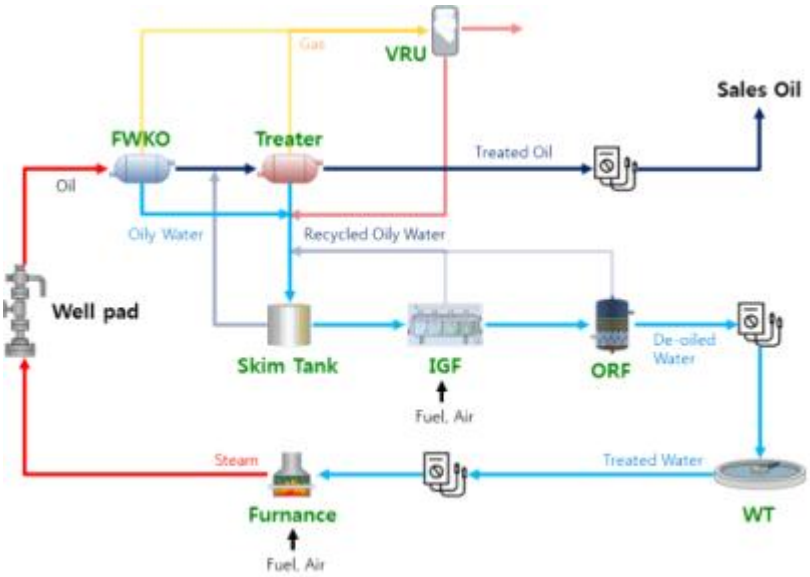


그림 3.4.1 A schematic diagram of the Oil sands SAGD plant

표 3.4.8 A Design Criteria of the Oil sands SAGD Plant

Oil treatment		
Density	20~22API	ASTM D4052
Viscosity	350 cSt 이하	ASTM D445
BS&W	0.5 vol% 이하	ASTM D323
De-oiling		
Oil content	200-500 ppm	after Skim Tank
	20-50 ppm	after IGF
	10 ppm 이하	after Filter
Water treatment		
	ABMA	ASME
Hardness	0.2 mg/L 이하	0 mg/L
Silica	50 mg/L	2 mg/L
TOC	600 mg/L	0.2 mg/L
Steam Generation		
- Depend on reservoir condition 80 bar (295℃), 100 bar (311℃), 120 bar (325℃), 140 bar (337℃)		

- 공정 개요 :오일샌드 SAGD 플랜트 CPF를 대상으로 공정설계를 통해 도출한 공정도(Process flow diagram)는 그림 3.4.2임.

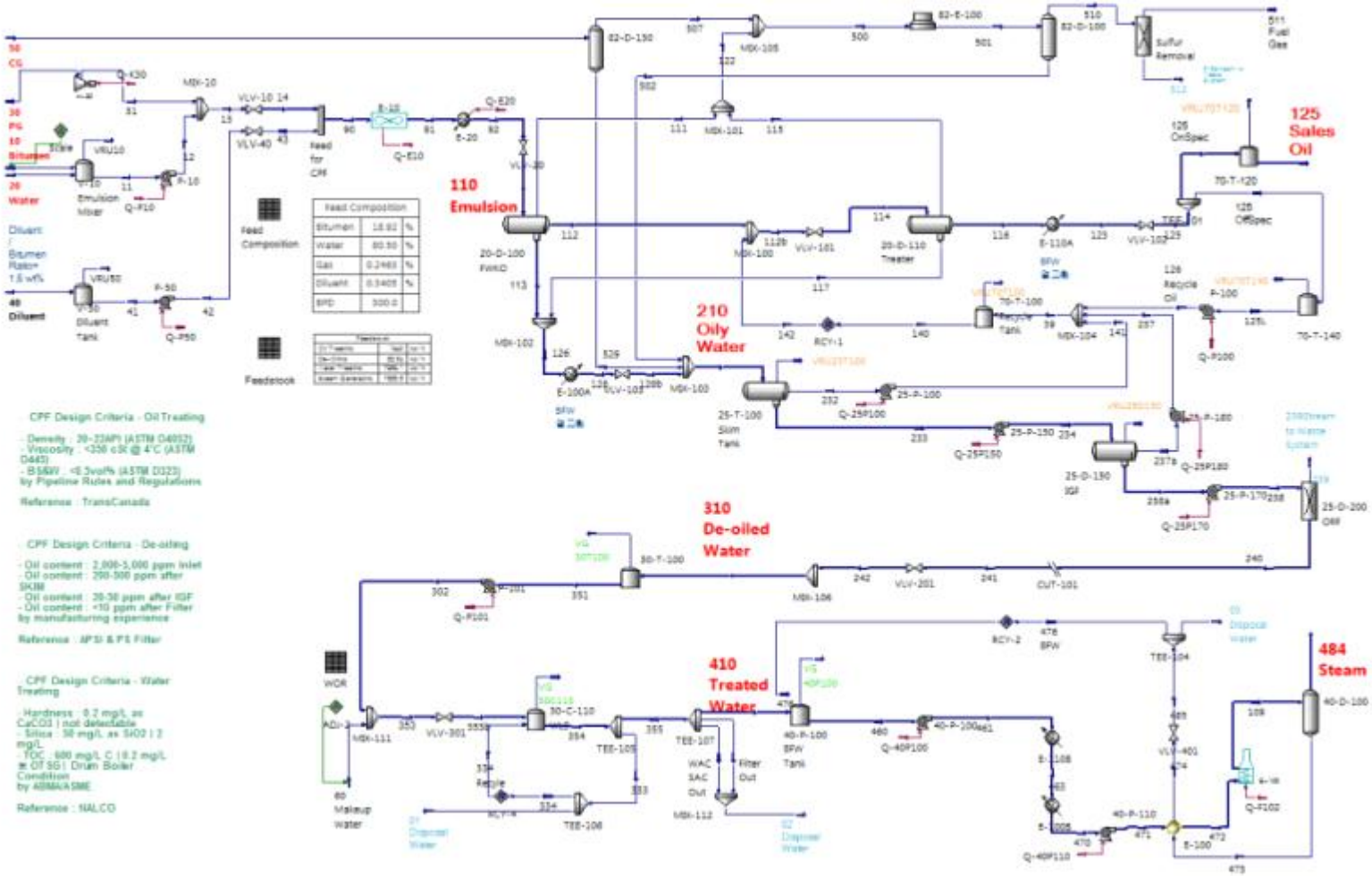


그림 3.4.2 The process flow diagram of the CPF in Oil sands SAGD plant.

(2) CPF 소재 및 시험인증 기반 구축

□ SAGD 플랜트 공정 기자재 소재 분석

오일처리공정의 주요 기자재 5개 및 수처리공정 주요 기자재 5개에 대한 소재 분석을 실시하였으며, 2차년도에서는 스팀처리공정 주요 기자재 4개에 대한 추가 분석을 실시할 예정임.

기자재 및 배관에 대한 사용 소재를 다음과 같이 각각 다른 색으로 구분하여 표시하였음.

범 례

	blue	ASTM A106 Gr.B(API 5L Gr.B(seamless)) + 3.2 mm(CA)
	red	ASTM A106 Gr.B(API 5L Gr.B(seamless)) + 1.6 mm(CA)
	green	304L SS : ASTM A312 Gr.TP304L
	black	Duplex SS : DUPLEX STAINLESS STEEL, ASTM A790(UNS S31803)
	pink	LTCS : LOW TEMPERATURE CARBON STEEL, ASTM A333 Gr.1
	yellow	Super austenitic SS
	black (double)	SHELL : Carbon steel + 3.2 mm (CA) INTERNAL : 316L SS
	black (dotted)	Unknown

- 오일처리공정에 대한 배관 및 기자재 소재 분석

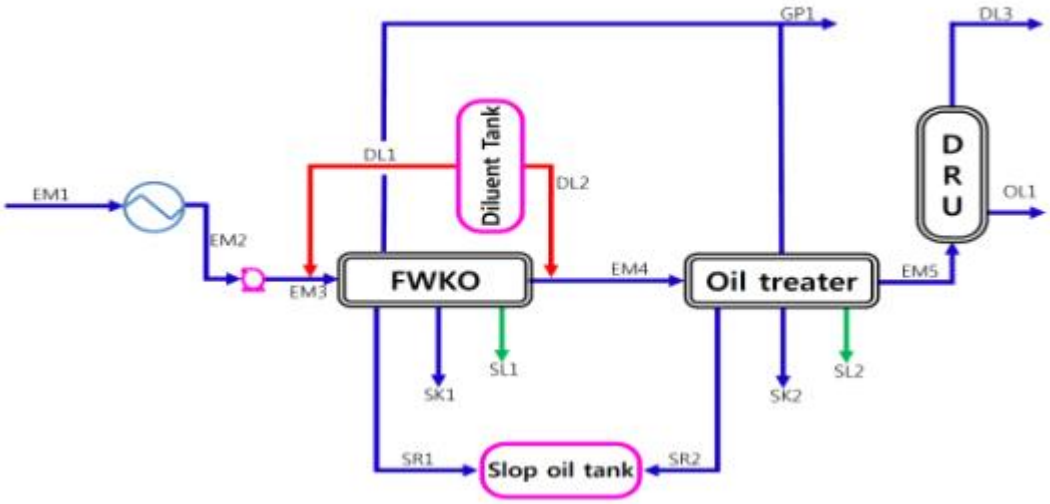


그림 3.4.3 Material selection diagram for Oil treating

1) 오일샌드 플랜트 공정/기자재별 소재 요구성능 분석

□ 개요

소재 국산화를 위해서는 국제 표준의 분석과 SAGD 플랜트의 주요 재료에 대한 연구가 진행되어야 하며, 캐나다 현지의 극한 환경에서 적용이 가능한 저온환경, 부식환경용 소재에 대한 요구특성 분석을 실시함.

□ 주요내용

NACE/ASTM/ASME 소재 표준 분석을 통하여 오일 및 가스 산업용 금속소재 파악과 SAGD 플랜트 기자재에 적용이 가능한 소재를 분석함. 또한 동일한 재료에 대한 국가별 표준 및 금속소재 사용환경별 특성을 조사함.

저온환경용 소재 특성 분석을 통하여 극한 환경에서 사용되는 소재의 인성 및 취성 등에 대한 요구 특성을 파악함.

SAGD 플랜트 공정별 사용 환경에 따른 주요 부식 인자 검토 및 SAGD 플랜트 기자재의 소재 선정 방법 및 소재 선정절차에 대한 분석을 실시함.

표 3.4.9 금속소재 사용 환경별 특징

구 분	장 점	단 점
Carbon Steel	- 저렴한 가격	- 부식에 대한 저항성 낮음 - 고온강도 약함 - 수소 공격과 흑연화현상 취약
LOW ALLOY (CARBON-0.5MO)	- 수소 공격 저항성 향상 - 고온강도 우수	- 흑연화현상에 민감 - 탄소강의 단점을 그대로 보유 - 현재 사용되지 않음
LOW ALLOY (1.25~9CR, 0.5~1MO)	- H2S 공격 저항성 유	- Cr 함량 증가로 가격 상승 - 용접이 어렵고, 열처리 필요
STAINLESS STEEL (TYPE 304,316, 317, 321,347)	- 산화, 황화물 저항성 우수	- 수용액 상태에서 염화물 CSCC 에 대단히 취약
2.5 NICKEL/3.5 NICKEL	- 저온 Notch Toughness 우수	- 용접이 어려움
INCOLOY 800	- 황화물 저항성 우수	- Austenitic SS 대비 고 비용 - 예민화 현상 발생 가능
INCONEL 600	- 산화 저항성이 우수 - 고온 강도 강함	- 가공과 용접 어려움 - 가격이 비쌈
MONEL	- CSCC 저항성 우수 - Seawater 저항성 우수	- 암모니아에 취약 - 200 ℃ 이상에서 황화물
ALUMINUM BRASS	- Admiralty와 유사	- Admiralty와 유사 - Sea water 저항성 우수
COPPER NICKEL 90/10	- Seawater에 우수	- 수분을 함유한 황화물 저항성 낮음

2) 저온환경용 소재 특성 분석

금속으로 제작된 용기나 배관을 설계 할 때, 금속은 연성이 있다고 가정함. 즉 상당한 변형이 발생된 후에 파손됨. 그러나 상온 및 그 이하에서 탄소강, 저합금강, 크롬강 등은 연성-취성 천이를 겪어 취성파괴에 민감해 질 수 있고, 취성파괴는 항복응력 이하에서 어떠한 징후도 없이 일어남

연성-취성 천이온도(DBTT : ductile-brittle transition temperature)

체심입방의 금속, 특히 페라이트 및 마르텐사이트계 조직을 가진 소재는 고온에서 저온으로 바뀜에 따라 연성파괴에서 취성파괴로 파괴양식이 급변한다. 이러한 현상을 연성-취성 천이라고 하며, 이때의 온도를 연성-취성 천이온도라 하며 소재의 저온취성을 표시하는 온도로 사용됨

- 취성파괴에 영향을 주는 인자

표 3.4.10 영향인자에 따른 성질

영향인자	내용
재료의 성질	- 고농도의 인(P), 황(S) 등 불순물을 포함하는 강은 취성파괴에 민감 - 두꺼운 재료가 취성파괴에 더 민감함
가해진 인장응력	- 가해진 인장응력의 양 - 응력이 가해지는 속도 (갑작스러운 내압의 증가는 취성파괴 가능성을 높임)
결함의 존재	- 국부적 응력 집중으로 위험 증가 - 용접결함에서 취성파괴가 시작되는 것이 일반적

- 최소설계금속온도(MDMT : Minimum Design Metal Temperature)
- 운전 중 예상되는 최저 온도(ASME Section VIII, Div. 1)
- ASME 규격의 Impact Test Exemption Curves(그림 3.1)를 이용하거나 용기에 사용한 소재로 충격시험을 행하여 적합성을 결정함

3) 극한환경 대응 소재 이용기술 개발-내마모 특성 평가

□ 개요

마모 및 부식 평가를 통하여 오일, 슬러지 등에 의한 소재 내구수명 분석을 하였으며 부식 및 마모를 통한 질량손실을 정량적으로 평가하여 소재의 작용 환경(온도, 유속, 작동유체 등)에 따른 최대 내구연한을 도출위한 설계치를 제공하고자 함.

마모 거동 파악을 통하여 경향성을 파악하고 마모 시험후 표면거칠기 측정을 통하여 표면거칠기에 따른 각 소재에 대한 피로내구수명의 경향성을 평가하고자 함.

SS400 소재에 대하여 표면거칠기를 달리한 소재를 각각 준비하여 시험에 임하였으며, 염수분무시험을 진행한 시편과 함께 대조군을 준비, 시험을 진행하였음.

□ 주요내용

본 연구에서는 SS400, SM490, S30400, S31600, S31254, S31803 등의 6가지 소재를 차년도까지 진행되어진 소재의 기계적인 물성 테스트의 결과와 마모 시험을 통해서 그 경향성을 분석하는 연구를 진행하였음.

마모는 물체의 표면에서 기계적인 운동에 의해 물체가 점차적으로 부스러져 나가는 현상을 뜻함. 내마모성은 재료의 고유한 특성이 아니라 마모시험 때 쓰이는 상대재료의 종류나 시험조건에 따라서 크게 바뀌는 상대적인 특성임. 인장강도와 같이 숫자로 나타낼 수 없고 시험방법, 시험조건, 상대재료, 시편의 모양 등을 명확하게 밝혀야만 재현성 있는 결과를 얻을 수 있음.

□ 주요결과 및 시사점

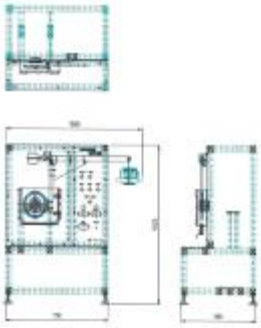


그림. 내마모 시험 설비 전체사진

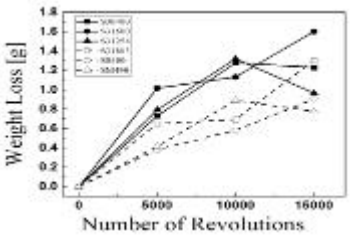


그림 3.4.5 회전수에 따른 내마모 특성

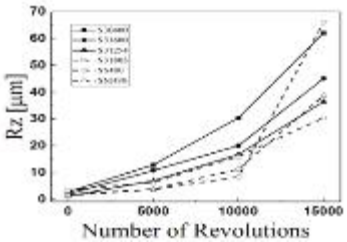


그림 3.4.6 표면거칠기에 따른 내마모 특성

내마모 시험에서 일정한 마모 길이에 대한 하중 변화에 대해서 각 소재별로 분석하고 그 경향성을 파악하고자 하였으며, 마모 시험에서 결과는 시험편의 시험 전후의 질량차를 분석하여 도출하였음. 표면거칠기를 측정하여 마모에 따른 성능을 분석하고 내구 수명에 대해서 정의 하였음.

하중변화에 따른 마모 시험 시 SS400, S31803 등의 소재가 우수한 특성을 나타냄.

마모 길이에 따른 마모 시험 시, 표면 거칠기 측정값으로 결과값을 분석하였을 경우에 SS400 소재는 시간에 따른 표면 거칠기 값이 급격하게 증가하는 등의 모습을 보여주었다. 하지만 S31803 스테인레스 소재의 경우에는 마모 길이에 따른 표면거칠기 시험 또한 우수한 특성을 나타냄.

6가지 소재중 S31803이 용도마다 차이는 있을 수 있지만 습식, 부식등과 마모 환경에서 가장 우수한 소재로 판단됨.

4) 극한환경 대응 소재 이용기술 개발-저온 인장 특성 평가

□ 개요

상온대비 저온영역 (-20 ℃ 이하)에서의 구조 및 압력용기 주요 소재의 물성치 변화 / 거동특성 관찰을 위한 시험을 수행함.

Matweb 등 소재 물성정보 DB 사이트의 경우, 대다수 상온상태의 인장시험을 통한 물성정보를 공유하고 있으나, 특정영역의 온도상태를 반영한 물성치 변화는 알려진 바가 없음 이에 따라, 본 연구는 플랜트용 구조 및 압력용기 소재를 선정하여 상온대비 저온영역 (-20 ℃ 및 -40 ℃)에서의 저온인장 시험을 수행하고 물성치의 변화를 관찰하여 본 보고서를 통해 연구수행 결과를 오일샌드 연구단의 각 기관들과 자료를 공유하고자 함. * 참고 : http://www.matweb.com

□ 주요내용

본 연구에서는 -40 ℃ 까지 저온환경을 유지시킬 수 있는 특수 챔버를 인장시험 장치에 장착하고 인장시험 시 온도제어폭을 ± 0.1 ℃ 이내로 유지하였음.

인장시험기(UTM)은 최대 300 kN까지 인장력을 구현할 수 있으며, 저온 영역에서의 정확한 신장율 측정을 위해 저온전용 신율계(3452-050M-100ST, Epsilon)를 채용하였음. 저온인장 시험 시, 시편의 열평형 상태를 고려하여 ISO 6892-3 표준에 따라 목표온도에 도달을 확인 후 최소 10 분이 지난 상태에서 시험을 수행함.

인장시험은 20 ℃의 상온과 -20 ℃ 및 -40 ℃의 저온상태, 총 3개의 실험온도 상태에서 진행되었으며 각 소재별, 온도상태 별 시험은 3회 수행하였으며, 상온에서 저온영역으로 진입 시 소재의 물성치 중 항복응력과 인장응력은 증가하는 반면, 연신율은 감소하는 경향을 보임.

상온 20 ℃에서 저온 -20 ℃ 까지는 대체적으로 10 % 내·외의 물성변화를 보이나 기계적 거동은 대체적으로 유사한 경향을 보임.

하지만, -40 ℃ 의 저온영역 진입 시, SS400, A516-60, SB410의 평균 연신율은 상온상태 대비 각각 16.2%, 20.4 % 및 13.5 %의 급격한 감소를 보이며 -20 ℃에서 -40 ℃로 온도 저하 시, 소재의 취성화가 급격히 발현되는 것으로 사료 됨.

인장시험 시, 인장속도를 낮출 수록 소재의 물성치 중 항복응력과 인장응력은 약 8 % 내·외로 감소하는 반면, 연신율은 최대 17.3 % 증가하는 경향을 보임.

5) 소재 및 기자재 해외인증을 위한 인증시스템 기반 구축

□ 개요

- 오일샌드 플랜트 모듈에 대한 시험・인증 체계를 확립, 국제적으로 자국의 산업보호 및 품질 수준 확보를 위하여 기자재 및 부품, 장치류에 대한 시험・인증을 실시하며, 이러한 추세는 지속적으로 강화.
- 시험・인증은 제작 또는 개발된 기자재, 부품, 모듈에 대한 성능을 기준에 따라 시험하거나 일정한 요건(재료 Spec, 제작과정/절차, 성능 등)에 부합되는가를 확인하는 절차임.

□ 시험・인증기관 현황 분석(캐나다)

산업용 압력 관련 제품을 캐나다로 수출하기 위해서는 기본적으로 ASME 및 ASTM 등의 품질규격을 요구하고 있으며, 아울러 CSA(Canadian Standards Association) 인증을 필히 획득해야 함.

압력 관련 제품의 경우 CSA 인증을 획득한 제품이더라도 향후 사고의 위험성을 대비하기 위해서 캐나다 주정부들은 각기 설정한 제품의 안전기준을 충족시킨 제품에 한해서만 판매 및 설치가 가능하게 각주의 법률로 채택하고 있음.

오일샌드 개발이 활발히 일어나고 있는 앨버타주로 수출하고자 할 경우, 우선 앨버타주의 안전 관련 규제 및 인증 절차에 대해 정확히 파악하는 것이 필수적이며, 아울러 앨버타주의 압력 관련 제품의 공인검사 및 안전관리기관인 ABSA(Alberta Boilers Safety Association)의 검사 절차 및 제도에 대한 정확한 이해가 필요함.

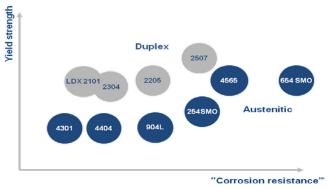
표 3.4.11 ABSA의 정의 및 수행역할

ABSA의 정의 및 법적위치	- 앨버타주에서 설치되는 압력 관련 부품이 포함되는 기기 및 기자재는 CSA 인증을 기본적으로 취득해야 하며, 이와 더불어 앨버타주의 안전법 및 규제에 따라 설계·제작·설치돼야 하며, ABSA는 앨버타 주정부를 대신해 압력관련 제품의 안정·검사·관리 등을 총괄하는 역할을 수행하는 주정부 공인기관임
ABSA의 주요 수행역할	- 앨버타주내에서 설치 될 또는 판매될 압력 관련 제품의 도면검토 및 도면과의 일치성 검사 - 압력관련 부품 혹은 제품이 포함되는 건설 공사에 대한 안정성 검사 및 인정서보유자 및 그 하청자의 품질보증 프로그램 감시 - 제품 설치 시 감독관청 - 기존에 설치됐던 제품에 대한 감독관청 - 안전사고 발생 시 원인분석 및 경위조사 - CRN(Canadian Registration Number) 등록 및 발부

표 3.4.12 압력 관련 제품의 앨버타 인증 절차

1단계 : CSA 인증 취득	- 기본적으로 압력 관련 제품은 CSA 인증을 취득해야 하며 ABSA에서 요구하는 CSA 인증번호는 아래와 같음 - CSA B51 : Boiler, Pressure Vessel and Pressure Piping Code - CSA B52 : Mechanical Refrigeration Code - CSA Z662 : Oil and Gas Piping Systems
2단계 : 설계도면 등록	- 제품의 설계도면을 포함한 요구 문서들을 ABSA에 제출해야 하며 ABSA내의 Design Survey팀은 제출된 도면검토 및 도면과의 일치성 검사를 실시해 주정부 안전법 및 규격 등 요구조건을 충족했는지 검토
3단계 : CRN 취득	- CRN 등록 제도는 제품의 도면, 제조업체 정보 및 관련자료를 주정부에 등록함으로써 등록번호를 부여하고 제품에 각인토록 해 향후 필요에 따라 제조업체를 확인 가능토록 하는 제도임 - 위의 사전 요구조건을 만족하는 제품은 CRN 등록을 신청할 수 있으며 CRN 번호 획득 시 아래의 표와 같이 제품의 명판에 표시됨

표 3.4.13 시험인증 체계 개발 방향 검토

기존기술의 한계 및 문제점 분석	선진기술 수준/보유국	대안기술 모색
(고성능 소재) - SAGD 재료로서 탄소강(carbon steel), 오스테나이트계 스테인리스강(304/316/316L) 등이 사용됨 - 내식성 및 내마모성 등의 고성능 소재에 대한 필요성 - 재료물성 DB와 관련된 평가 및 인증에 대한 인식과 기술력 부족 - SAGD 공정별 재료에 대한 내부식성 및 내마모성 요구사항이 다름	- 듀플렉스 및 슈퍼듀플렉스강이 이용되고 있음 - Outokumpu(스웨덴) 	- 극한환경에 적합한 고성능 특수소재에 대한 재료물성 DB 구축 및 시험인증 필요 - 공정별 요구성능에 적합한 재료선정을 위한 소재 이용기술 개발 - 포스코, 현대제철 등 국내 대표 철강업체에서 생산중인 고강도/고성능 국산소재에 대한 ASTM/ASME 표준 등재
(기자재 시험평가) - 국내 오일샌드 기자재 관련 시험평가기관 없음 - 기자재 시험평가 및 인증을 위한 시험인증기관의 필요성 - 복합적 극한환경조건에서의 성능시험 요구 증가 - 다양한 국제규제 및 산업환경 변화에 대한 시험인증 지원 서비스 수요 증가	- 오일 및 가스 플랜트 기자재 시험평가 및 인증 - 파이프라인 다상(multi-phase)관내유동 시험시설 - SIL 인증 시험설비 - ProLabNL(네델란드) - SINTEF(노르웨이) 	- 플랜트 산업육성을 위한 정책개발 및 기술개발 - 국제적인 시험인증 설비 구축을 통한 시험인증 서비스 지원 - 소재 및 기자재 관련 KOLAS 시험인증 지원체계 구축 및 국제공인 인증서(시험성적서) 발행 - 국제수준 이상의 시험평가 기술력 확보 - 신뢰성 시험평가방법의 국제표준화 추진 - 국제상호인정시스템 구축 - 해외선진기관과의 MOU

마. 파일럿 모듈 플랜트 설계 및 검증 피드백

(1) 파일럿 모듈 플랜트 설계

1) 파일럿 모듈 플랜트 용량선정

□ 용량선정 개요

연구개발비 소요예산 대비 최적의 1일당 오일처리 대한 방안별 설비용량을 가진 300 BPD, 900 BPD, 1200 BPD 생산능력에 대해서 검토하여 본 플랜트 설치공사하여 상업운전 기준으로 투자비를 산출한 것을 내역을 첨부하였습니다.

□ 투자비 비교

구분	300 BPD	900 BPD	1200 BPD
투자비	12,309,966,000	31,948,239,000	44,183,358,000

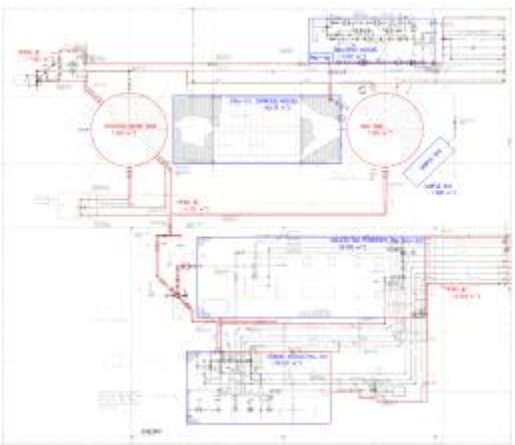
□ 300 BPD 용량 선정 목적

본 사업은 오일샌드 SAGD 플랜트를 건설하여 효율향상을 통해 오일생산 설비를 효율적으로 사용하며, 아울러 모듈화 설계를 통한 건설공사비의 절감, 오일생산의 효율화를 기할 수 있는 플랜트설비 용량선정 사업으로, 본 용량선정 타당성검토는 본 사업에 적합한 여러 가지 오일처리설비 용량 선정 방안을 검토하고, 각 방안에 대한 오일처리설비의 형식 및 용량, 계통 구성 및 주요기기의 사양을 선정하고 소요되는 예상 투자비를 산정, 사업경제성을 분석하여 발주자가 사업 추진 방안을 검토하여 300BPD로 선정하게 되었습니다.

2) 파일럿 모듈 플랜트의 모듈화율과 집적율의 계산

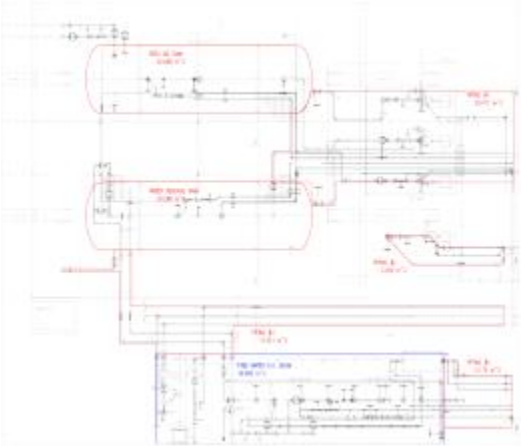
집적모듈화 플랜트의 가장 중요한 평가 요소중 하나인 모듈화율과 집적율을 각 구역별로 전체 면적 대비 모듈화 적용 구역의 면적으로 산출하였다.

□ West-1 Area



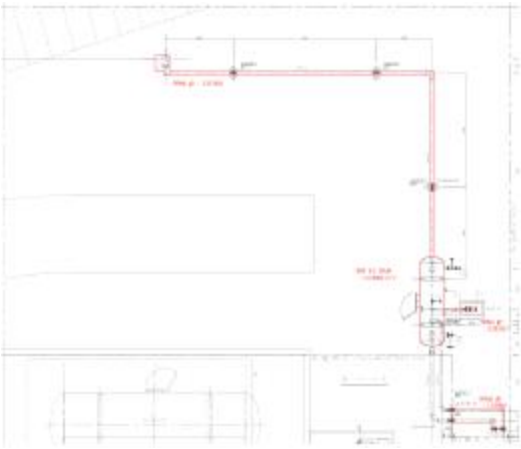
구역	면적 (㎡)	모듈화	집적화
Emulsifier Module	9.00	o	
Produced Water Tank	7.07		
Skim Tank	7.07		
Staircase Module #1	18.48	o	
Staircase Module #2	18.48	o	o
Sample Box	1.68	o	
IGF Pkg.	29.70	o	o
Deoiling Module	16.53	o	o
Piping #1	17.97		o
Piping #2	4.33		
Piping #3	23.56		o
합계	153.87	93.87	106.24
면적비율		61%	69%

□ West-2 Area



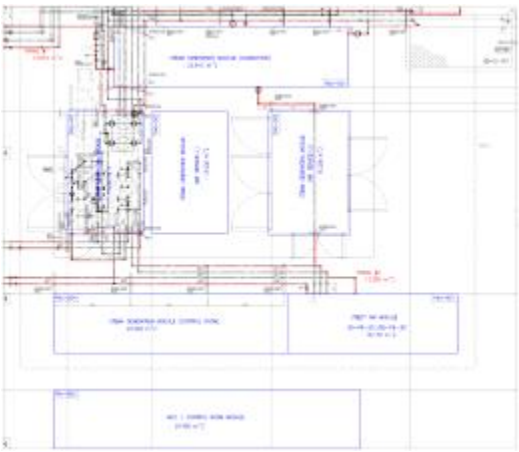
구역	면적 (㎡)	모듈화	집적화
Feed Oil Tank	20.69		
Water Removal Tank	20.69		
Free Water K.O. Drum	36.96	o	o
Piping #1	29.48		
Piping #2	3.21		
Piping #3	15.42		o
Piping #4	5.18		o
합계	131.62	36.96	57.56
면적비율		28%	44%

□ West-3 Area



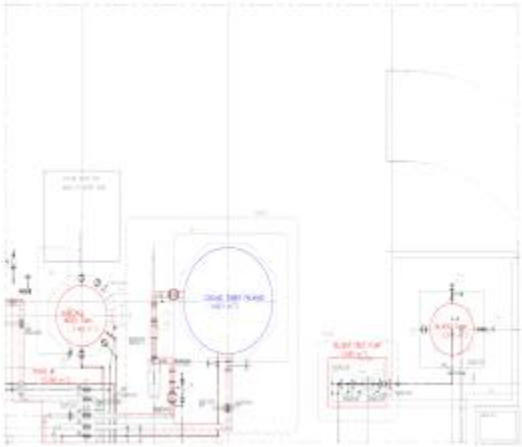
구역	면적 (㎡)	모듈화	집적화
Feed Oil Tank	3.38		
Piping #1	3.56		
Piping #2	0.09		
Piping #3	1.34		
합계	8.36	0.00	0.00
면적비율		0%	0%

□ East-1 Area



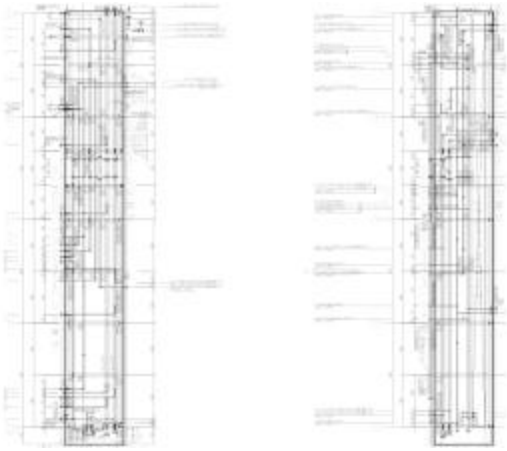
구역	면적 (㎡)	모듈화	집적화
Steam Generation Module	15.00	o	
Steam Generation Module (Combustor)	22.81	o	
Steam Generation Module (Air Service-1)	15.00	o	
Steam Generation Module(Air Service-2)	16.33	o	
Steam Generation Module (Control Room)	22.54	o	
Utility Air Module	16.17	o	
MCC/Control Room Module	29.40	o	
Piping #1	13.61		
Piping #2	13.29		
합계	164.15	137.25	0.00
면적비율		84%	0%

□ East-2 Area



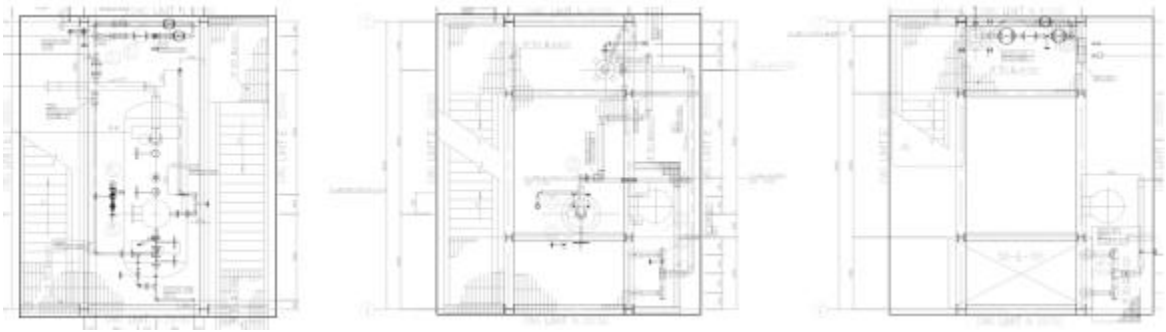
구역	면적 (㎡)	모듈화	집적화
Softened Water Tank	3.14		
Cooling Tower Package	9.62	o	
Diluent Feed Pump	3.68		
Diluent Tank	2.27		
Piping #1	14.27		
합계	32.98	9.62	0.00
면적비율		29%	0%

□ Pipe Rack Area



구역	면적 (㎡)	모듈화	집적화
Lower Piping Rack	67.97	o	
Upper Piping Rack	67.97	o	o
합계	183.20	183.20	67.97
면적비율		100%	50%

□ Deaerator Area



구역	면적 (㎡)	모듈화	집적화
Deaerator 1st Floor	33.44		o
Deaerator 2nd Floor	34.38		o
Deaerator 3rd Floor	34.10		o
합계	101.92	0.00	101.92
면적비율		0%	100%

□ 총모듈화율 및 집적화율

총면적(㎡)	모듈화		집적화	
	면적(㎡)	%	면적(㎡)	%
728.84	413.64	57%	333.68	46%

3) 파일럿 모듈 플랜트의 사용자재 국산화율

□ 국산화 소재적용비율

○ 철구조물(형강류, 파이프류)

구분	총중량	중량대비 비율
외산 자재	5.7ton	7.4%
국산 자재	71.2ton	92.6%
합계	76.9ton	100.0%

- 파이프류 중 국내에서 생산되지 않는 Seamless Pipe가 주로 외산 자재

○ 계장품류(Valve, Transmitter, Gauge류)

구분	수량	수량대비 비율
외산 자재	44개	21.4%
국산 자재	161개	78.6%
합계	205개	100.0%

- 방폭 및 오일플랜트 제품 품질이 우수한 Transmitter류가 주로 외산 자재

4) 모듈단위 설계단면 (Envelope Size)

- 최종 Envelope Size : 3.6mH×5.5mW

(2) 파일럿 플랜트 기본설계

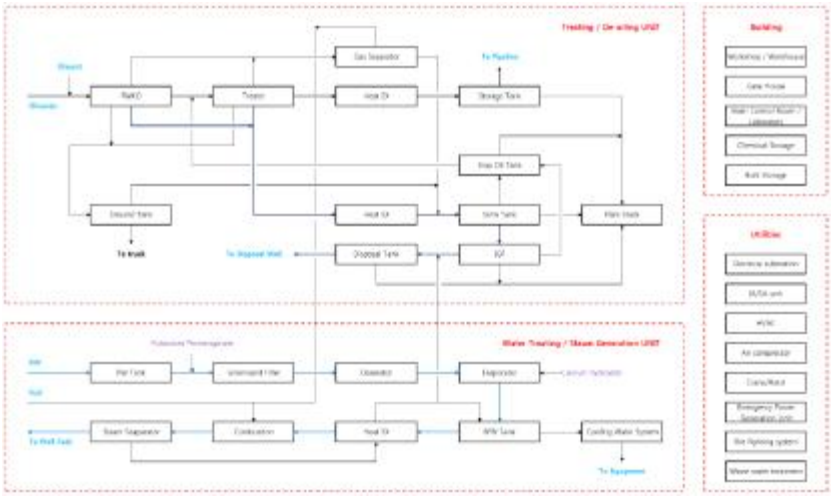
1) 기본설계의 정의

연구 성과인 파일럿 플랜트의 용량은 파일럿 특성 및 경제성을 고려하여 300BPD 용량으로 선정하여 Oilsand SAGD CPF Plant의 모듈크기 뿐만 아니라 한국 내 제작, 운송 가능성을 기반으로 구성 설비의 타당성을 결정하고 일반적인 시설에 대한 설계, 제작, 운송, 설치를 최적화하기 위함.

300 BPD 파일럿플랜트의 경제성, 시공성 및 운영적 측면을 고려하여 경기도 연천(한국건설연구원)지역에 설치하고 동절기 추운날씨에서 테스트를 실시하여 성능 검증을 함으로, 오일샌드 기능플랜트에 기술적 문제점을 사전보완하여 상업화하고자 함.

2) 파일럿플랜트의 기본설계 공정 개념도

- Diagram for Treating, De-Oiling, Water Treating, Steam Generation



3) 기본설계 결과

☐ Process

- BEDD, Process Description & Preliminary Process Control Philosophy, Block Diagram, PFD, Heat and Material Balance, Utility Consumption, Preliminary P&ID

☐ Mechanical

- Equipment Process Datasheet (Drum/Tank, Heat Exchanger, Pump, Misc.), Equipment List, Preliminary Motor List,

☐ Piping

- Preliminary Plot Plan, Material Selection Diagram

☐ Inst.

- Instrument Process Datasheet, PSV Datasheet, CV Datasheet, Instrument Index,

☐ Elect.

- Single Line Diagram

(3) 파일럿 플랜트 상세설계서

1) 상세설계의 정의

The Oil Sand Pilot Plant가 건설되는 site는 경기도 연천군 한국건설 기술연구원SOC 실증 연구센터이며, 처리 용량은 하루300 BPD (1.98 m^3 /h)의 Oil과 SOR (Steam Oil Ratio) 3.5 기준으로 상세설계를 수행함.

생산된 Oil은 다시 Oil Storage Tank로 들어가 재사용되며, Produced Water은 수처리한 후 재사용 된다.

2) Module list

Module No.		Description	Module Type
1	PAR-101	Main Piperack Module	Steel Structure
2	PAR-201	Main Piperack Module	Steel Structure
3	PAS-101	Stair Case Module	Steel Structure
4	PAU-101	Emulsifier Module	Steel Structure
5	PAU-201	FWKO Module	Steel Structure
6	PAU-301	De-Oiling Module	Building
7	PAU-302	IGF Module	Building
8	PAU-401	Water Treatment Module	Container
9	PAU-501	Steam Generation Module (Combustor System)	Container
10	PAU-502	Steam Generation Module (Air Service-1)	Container
11	PAU-503	Steam Generation Module (Air Service-2)	Container
12	PAU-504	Steam Generation Module (MCC/Control Room)	Container
13	PAU-801	Air /N2 Module	Container

3) 상세설계의 결과

□ Process
- HAZOP, P&ID Etc.

□ Mechanical
- Data Sheet, Technical Specification, Eng’ g DWG Etc.

□ Piping
- Plot Plan, Piping Plan, ISO., 3D modeling, Material Specification, Stress Analysis Etc.

□ CAS
- Module Structure Analysis, Structure Dwg. Etc.

□ Elec.
- Elec. Plan, Technical Specification, Data Sheet Etc.

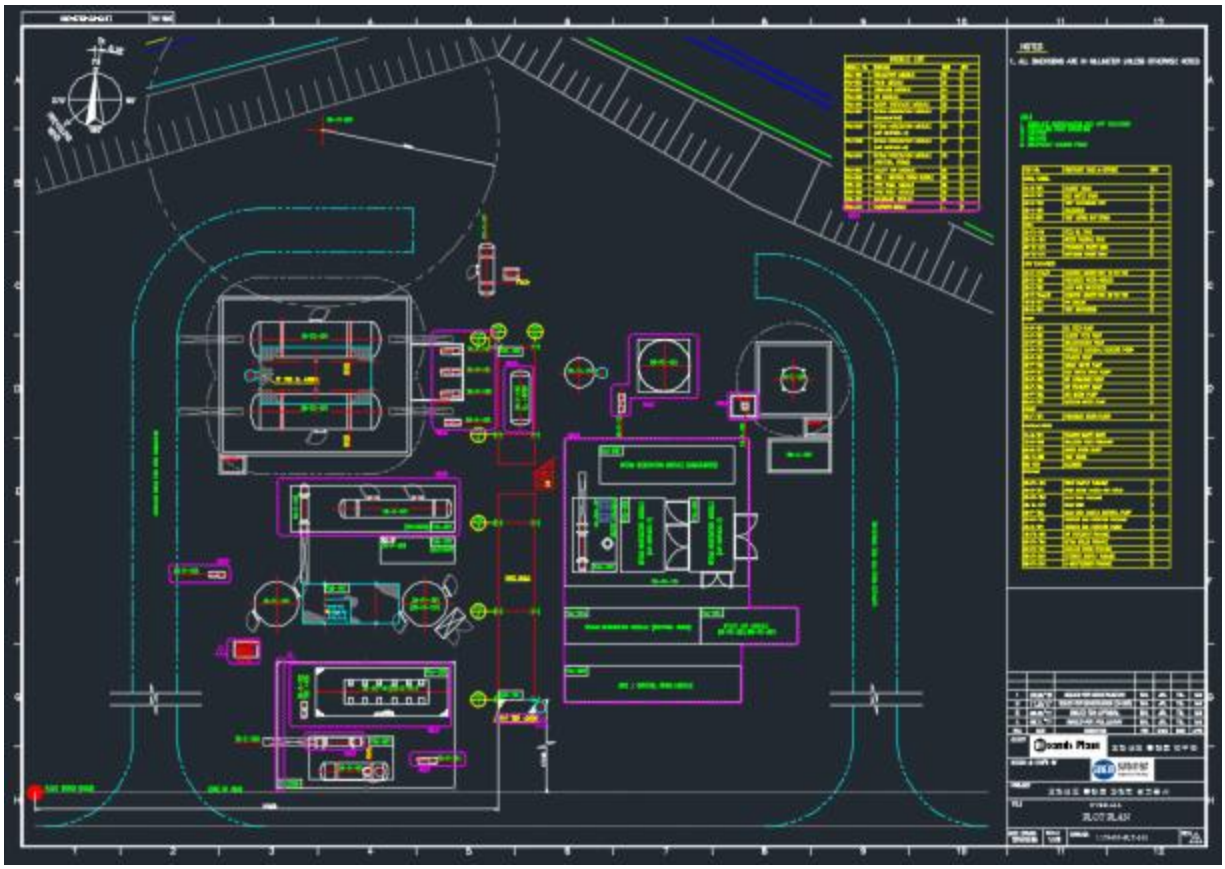
□ Inst.
- Inst. Plan, Technical Specification, Data Sheet Etc.

□ Etc
- Safety, Fire Fiting Etc.

SUMMARY ENGINEERING PRODUCT OF EACH DEPARTMENT FOR OIL SAND

ITEM	UNIT	PROCESS	MECH.	PIPING	INST.	ELEC.	CAS	HSE	TOTAL
1. DWIG LIST	LOT	1	1	1	1	1	1		6
2. SPEC.	LOT	2	9	12	2	1	3		29
3. CALC.	LOT	1	1	1	0	3	4		10
4. DATA SHEET	LOT	4	8	0	23	3	-		38
5. MATL REQUI.	LOT	-	8	14	7	8	80		117
6. B/M	LOT	-	-	1	1	1			3
7. DWGS	Sht.	33	15	399	115	71			633
8. EQUIP. LIST	LOT	-	1	1					2
9. TBE	LOT	-	8	1					9
10. REPORT	LOT							1	1
TOTAL	LOT or Sht.	41	51	430	149	88	88	1	848

4) 상세설계 Plot Plan



[상세설계 Plot plan]

(4) 열캐리어 가압모듈 개발 및 설계

1) 복합열캐리어발생기 기초설계

연소기 성능 도출을 위한 소재부품 사양분석, 압축기, 펌프, 소재 등 구성 기자재 개발방향 및 주요계통 단위공정 상에 기능을 분석하고 그에 따른 주요기자재 파악, 압축기 분류 및 모듈선정 등의 일련의 작업을 수행하였고, 그 결과로 각 압축기의 사양을 아래와 같이 도출함.

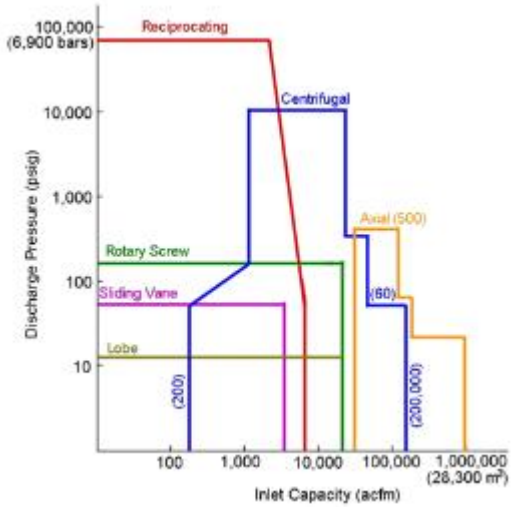


그림 3.6.1 압력 및 용량에 따른 압축 종류 선도

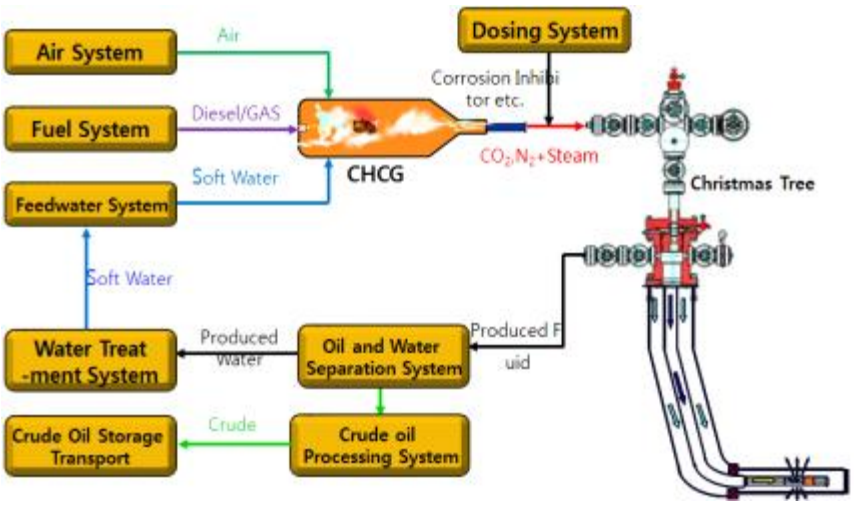


그림 3.5.2 모듈형 연소기 시스템 개념도

복합열캐리어발생기 기초설계는 기존 자료를 분석하고 그에 따라 본 연구개발에 적용 될 부품의 사양과 기초 Lay-Out을 도출하는 것을 목표로 아래와 같이 2D 및 3D 시안을 작성완료 하였으며, 이를 바탕으로 제작에 필요한 상세설계도면 작업을 실시함.

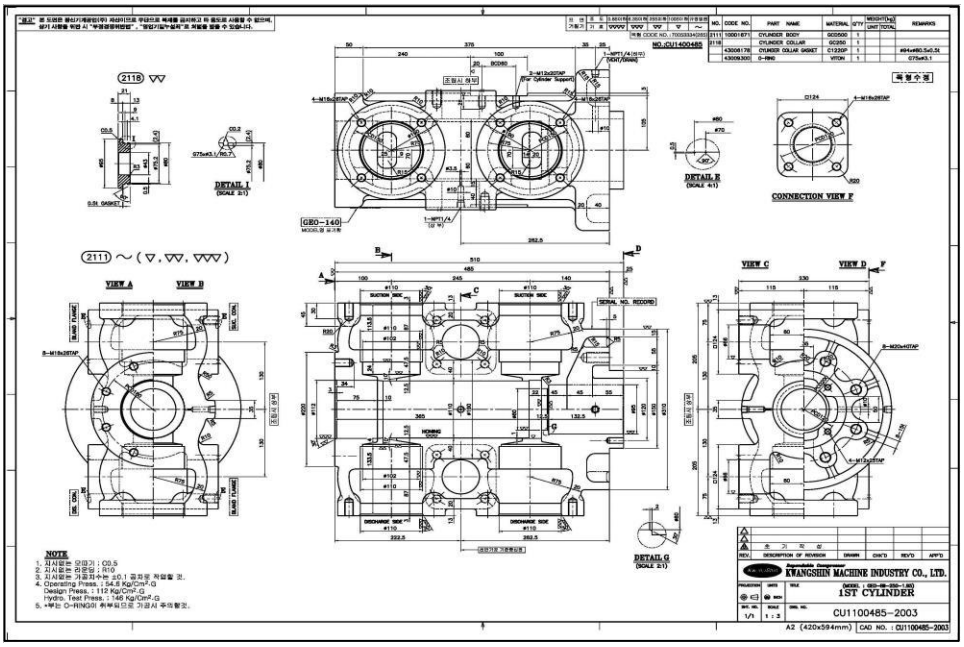


그림 3.5.3 복합열캐리어발생기 압축기 도면(안)

2) 복합열캐리어발생기 제작 및 시운전

□ 복합열캐리어발생기 제작

압축기초설계 및 상세 설계상의 설정환경 (압력, 유량, 온도 등)에 만족하는 압축기 및 연소기 시스템 제작함.

① 압축기 운전조건

- 압축Natural gas compressor 운전조건
  - · No.of stage : Four(4)
  - · Gas Handled : Natural Gas(CH_4 : 88.816%, C_2H_6 : 7.408%, C_3H_8 : 2.597%, N_2 : 0.046%, iC_4H_{19} : 0.523%, nC_4H_{10} : 0.61%)
  - · Barometric pressure : 760 mmHg
  - · Capacity : 673.6(kg/hr) / 825.0(Nm3/hr) / 181.8(Am3/hr)
  - · Compressor Conditions

- Air compressor 운전조건
  - · No.of stage : Four(4)
  - · Gas Handled : Air
  - · Barometric pressure : 760 mmHg
  - · Capacity : 673.6(kg/hr) / 825.0(Nm3/hr) / 181.8(Am3/hr)
  - · Compressor Conditions

② 압축기 제작 및 시운전

- Air 압축기, NG 압축기 제작

그림 3.5.4 Air 압축기, NG 압축기 제작

그림 3.5.5 Air 압축기, NG 압축기 시운전

③ 복합열캐리어 발생기 실증평가 준비를 위한 Air압축기 모듈·패키지 수정제작

그림 3.5.6 Air 변경 제작 완성

④ 복합열캐리어 발생기 연소기 모듈·패키지 제작

그림 3.5.7 복합열캐리어 발생기 모듈·패키지 제가

⑤ 복합 열캐리어 발생기 경수연화장치(Water Softner) 구성 및 모듈·패키지 제작

- 연화장치 구성 설계 및 제작

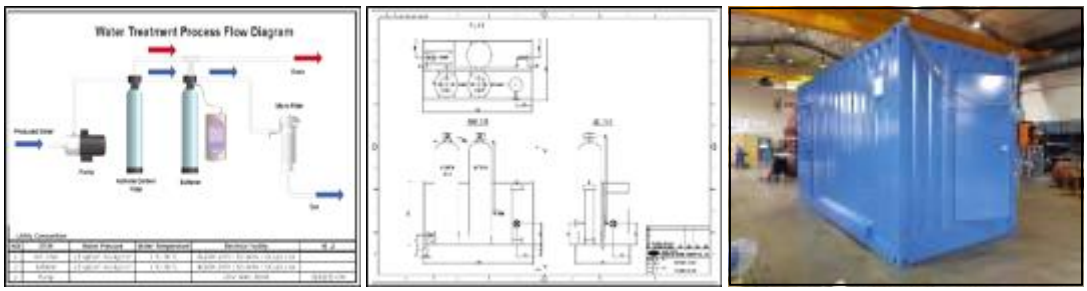


그림 3.5.8 연화장치 구성 설계 및 제작

⑥ 복합 열캐리어 발생기 Low Pressure Air Compressor 선정

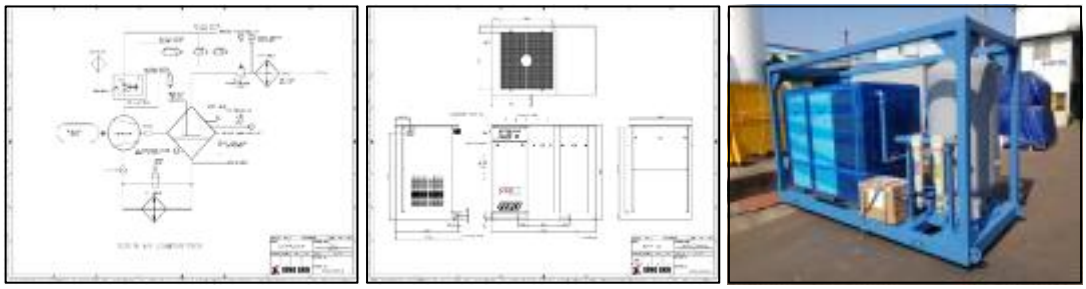
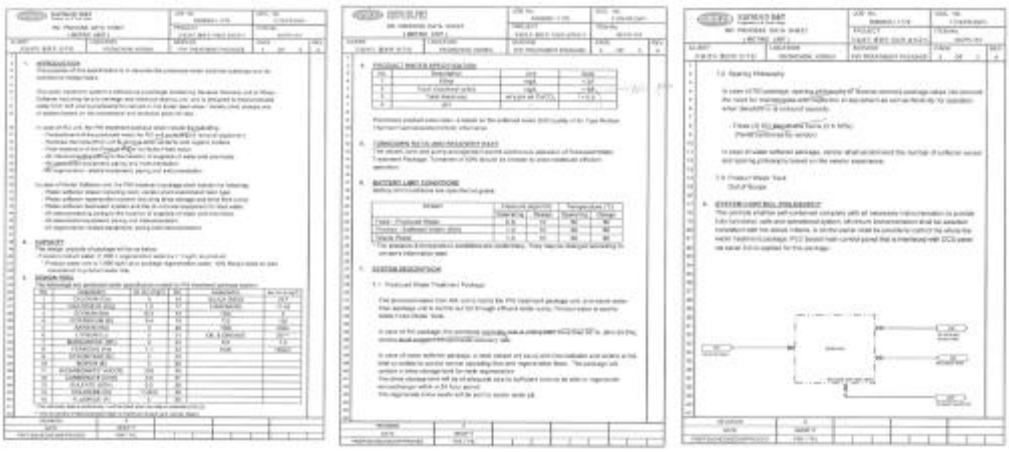


그림 3.5.9 연화장치 구성 설계 및 제작

3) 수처리 기준, 열캐리어 연소기 수질기준 및 지하 저류층 압입되는 혼합가스의 성분 기준 등

① 복합열캐리어 발생기 수질 기준

- 복합열캐리어에 공급되는 물은 “첨부1. 연소기 수질 기준” 에 맞추기 위해 연소기 전단 Water Treatment를 거쳐 공급 됨.



<오일샌드 플랜트 연소기 수질 기준 Data>

② 저류층 압입 되는 혼합가스 성분

- Steam Generation Burner Balance - Air Type Multiple Thermal Fluid Generator

· Diesel Oil : Carbon / Hydrogen ratio (wt%) = 86.5 / 13.5

· MW : Air = 28.966, H2O = 18.015, N2 = 28.01, CO2 = 44.01, C = 12.011, H2 = 2.016, O2 =32.0

- Steam Feed to Burner Data

temperature of injected mass(steam+CO2+N2)	injection pressure	Feed to Burner												
		Diesel Consumption						Air Consumption						Water consumption
		Total		C (Carbon)		H2 (Hydrogen)		Total			O2		N2	
℃	MPa	kg/h	kg/h	kmol/h	kg/h	kmol/h	kg/h	Nm³/h	kmol/h	kg/h	kmol/h	kg/h	kmol/h	kg/h
234	2.0	70.4	60.9	5.1	9.5	4.7	1,009	781	34.8	234	7.3	775	27.5	920

- Steam Output to Injection wall Data

Steam Generation											Burner Electric Consumption (440V)
Product Steam with Flue Gas											
CO2 Flow		N2 Flow		Steam from Fuel		Steam from Water Injection		Total			
kg/h	kmol/h	kg/h	kmol/h	kg/h	kmol/h	kg/h	kmol/h	kg/h	Nm³/h	kmol/h	kW
225	7	737	28	80	5	920	51	2000	2026	90	50

- 복합열캐리어 발생기를 거쳐 생성 된 Steam의 성분은 위 표와 같으며, 이는 저류층으로 고압의 Pipe 라인을 통해 공급되어 Bitumen과 혼합 된 후 회수 장치를 거쳐 지상으로 회수 되게 된다.

- 공급되는 라인은 고압 배관을 통해 공급되어 Leak가 없이 저류층 까지 Steam이 공급 되며, 혼합 된 Bitumen 및 공급 Steam은 회수되어 정제공정을 통해 물과 유분을 분리하여 재활용 수와 폐수를 분리하게 된다.

4) 복합열캐리어 발생기 성능 레퍼런스 및 달성 수준

① 복합열캐리어 발생기 성능 파라미터

- 복합열캐리어 발생기는 크게 5가지 장치로 패키지로 구성되며, 각각의 패키지 명은 아래와 같다.

1) 연소기(Combuster)

2) 고압공기압축기(High Pressure Air Compressor)

3) 고압천연가스콤프레셔(High Pressure Natural Gas Compressor)

4) 저압공기압축기(Low Pressure Air Compressor)

5) 연소기(Water Softner Treatment)

- 복합열캐리어 발생기 성능 파라미터

명칭		복합 열 캐리어 발생기
장비 모델, 일련번호		CHCG5.0 / 20 FDL-00XX
복합 열 캐리어 유량(t / h)		1 ~ 5.6
최대 출구 압력(MPa)		20
작용 압력(MPa)		18
복합 열 캐리어 온도(℃)		120 ~ 350
작용 온도(℃)		240/300
최대 연료량(Kg/h)		55
최대 공기 유량(m3 / h)		1200
최대 물의 유량(t / h)		4.0
출력 질소(N2) 체적 배출량(m3 / t)		937
출력 이산화탄소(CO2)체적 배출량 (m3 / t)		185
잔류 산소량 (%±1)		1
환경 온도(℃)		-35 ~ 45
중량(t)	메인 캐빈	8.2
	공기 압축기실	14.5
전원	전압 (V)	380
	전력 (kw)	350
	주파수 (Hz)	50
	방폭 기준	——
시험 압력	기화실(MPa)	56
	물(MPa)	56
	기름(MPa)	56
	공기(MPa)	56

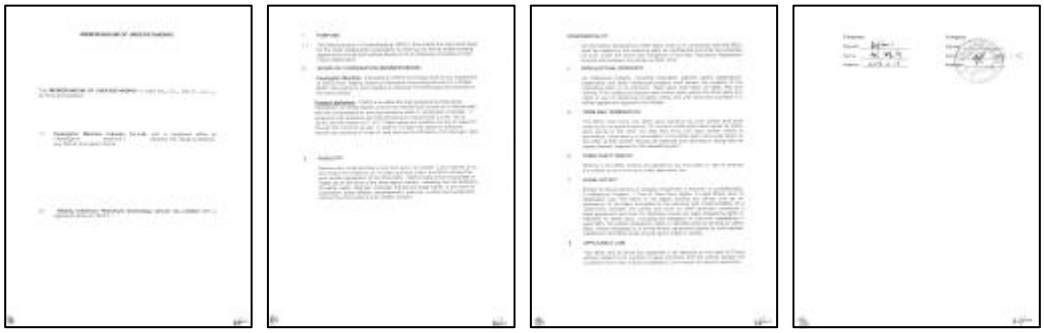
- 복합열캐리어 발생기 국산화율

구분	연소기	H.P Air Comp.	H.P NG Comp.	L.H Air Comp.	Water T.M	합계
국산화율	20%	100%	100%	100%	100%	84%

* 각 모듈/패키지 별 국산화 실적 적용, 연소기를 제외한 모든 부품들 국산화율 100%
* 연소기 기술 보유 업체 : “Beijing Unbstruct Petroluem Technology Service” 社 / 중국

- 복합열캐리어 발생기 연소기 기술 확보 방안

: 복합열캐리어발생기 연소는 SAGD용 오일샌드 플랜트 공정에서 Steam을 생성하는 장치로 핵심부품이라 할 수 있으며, 본 기술은 중국의 “BJYT” 社 에 대부분의 기술권이 선점되어 개발에 제한이 있는 상황, 따라서, 본 연구개발을 및 사업화를 위해 당사에서는 BJYT와 기술 MOU를 2016년도에 기 체결, 기술 중 일부를 지원받아 개발을 완료, 전체 시스템 설계 및 제작을 당사의 기술로 하여 사업화를 진행 예정



광신기계공업(주) & 중국 BJYT 社 기술 MOU 체결

5) 복합열캐리어 발생기 시뮬레이션 데이터 비교

① 복합열캐리어발생기 Pilot Test 운영현황

- 복합열캐리어발생기 Pilot Test는 강원도 영월 KGS 에너지안전센터와 경기도 연천 한국건설기술연구원 SOC 실증센터에서 각각 실증을 진행.

- 복합열캐리어발생기의 압력을 조절하는 High Pressure Compressor는 최초 캐나다 알버타주 적용을 목표로 현지 Steam 주입 조건에 맞게 설계·제작 했으나 당초 계획과 다르게 Pilot Test로 진행하면서 기존 150bar에서 30bar 용량으로 Down garde하여 재설계 및 제작 함.

· High pressure Compressor 변경 사양

구 분	변경 항목	변경 전	변경 후	비 고
1	No. of Stage	Four(4)	Two(2)	
2	Capacity	500Nm3/hr	790Nm3/hr	
3	Discharge Pressure	150bar	30bar	

- 복합열캐리어발생기 Pilot 설비 능력

· 복합열캐리어 발생기 압력, 온도 별 운전 데이터

Temperature of injected mass (steam+CO2+N_2)	Injection pressure	CO2 Discharge Volume	N2 Discharge Volume	Steam Discharge Volume	Total Discharge Volume
℃	bar	m³/d	m³/d	m³/d	m³/d
213	20	374.1	2044.2	3780.7	6198.9
224	25	305.4	1676.0	3013.2	4994.6
234	30	259.2	1428.0	2501.2	4188.4
243	35	225.9	1248.5	2134.5	3608.9
251	40	200.5	1111.9	1858.3	3170.6
258	45	180.4	1003.8	1640.6	2824.9
264	50	164.1	915.7	1464.4	2544.2
270	55	150.8	843.7	1321.3	2315.8
276	60	139.7	783.7	1203.2	2126.6
281	65	130.1	731.7	1100.7	1962.4
286	70	121.9	687.1	1013.4	1822.4
291	**75**	**114.8**	**648.5**	**938.5**	**1701.7**
296	80	108.6	614.7	873.6	1596.9
300	85	102.9	584.0	813.5	1500.4
304	**90**	**97.9**	**556.6**	**760.4**	**1414.9**
308	95	93.4	532.2	713.2	1338.8
311	100	89.2	509.3	667.6	1266.1

② 복합열캐리어발생기 현장 사이트 운영 현황

- 오일샌드 사이트에서의 복합열캐리어발생기 운전 데이터

No	Site	Well Number	CHCG Production (t/d)	Operating Pressure (MPa)	Operating Temperature (℃)
1	3 rd factory of Daqing Oilfield	30	30	22	290~300
2	Daqing Black Emperor Temple block	200	20	5~8	320
3	CNOOC	30	170	16~20	265~280
4	Yanchang Oilfield	4	50	32	270
5	Hailaer block	4	12	32	320
6	Huabei Oilfield	4	50	32	270
7	Shengli Oilfield	4	150	12~18	280~300
8	Xinjiang Oilfield	10	36	4~10	300

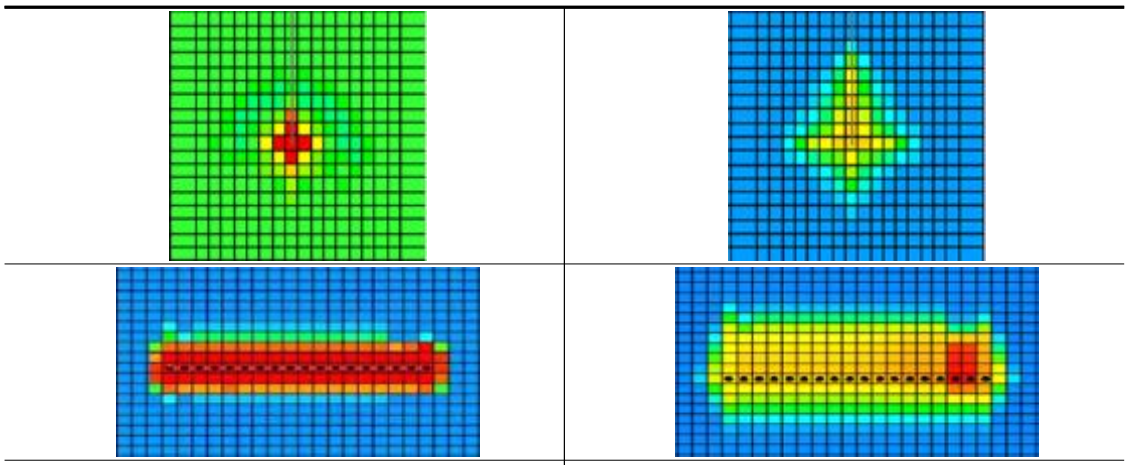
③ 복합열캐리어발생기 Pilot Test - 현장 사이트 운영성 비교

- 본 개발과제 기능모듈설계집 요구 사양 비교

구 분	설계압력	입구유량	BFW 입구 온도	출구 스팀 압력	출구 스팀 수질
기능모듈 설계	112bar	1708 Sm^3/d	135~165℃	90bar	80%
개발 사양	150bar	1702 Sm^3/d	291℃	75bar	95%
	150bar	1415 Sm^3/d	304℃	90bar	95%

- 위 비교 데이터에서 볼 수 있듯이 개발 과제의 개조 전 150bar H.P Comp. 사용 시 기능모듈에서 설정한 값과 근사한 데이터를 보이고 있으며, 스팀의 온도, 스팀 수질을 볼 때 오히려 더 높은 Performance를 보이는 걸 알 수 있음.

- 이 외에도 본 개발에서는 Gas 또는 Diesel을 연소시켜 물과 혼합한 Steam을 생산하는 방식으로 연소 후 고압의 이산화탄소와 질소 및 수증기가 혼합된 생산물이 발생, 이산화탄소에 의해 Bitmen의 점도 감소, 탄성 에너지 및 가스의 의한 스웹 부피 증가를 효과를 순수 Steam 대비 Oil 회수량을 증가시킬 수 있음.



순수 Steam의 저류층 확산 | Steam + 혼합가스의 저류층 확산

(5) PWT 모듈 개발 및 설계

1) Pilot-Scale De-oiling 유닛 설계・제작

□ 설계인자

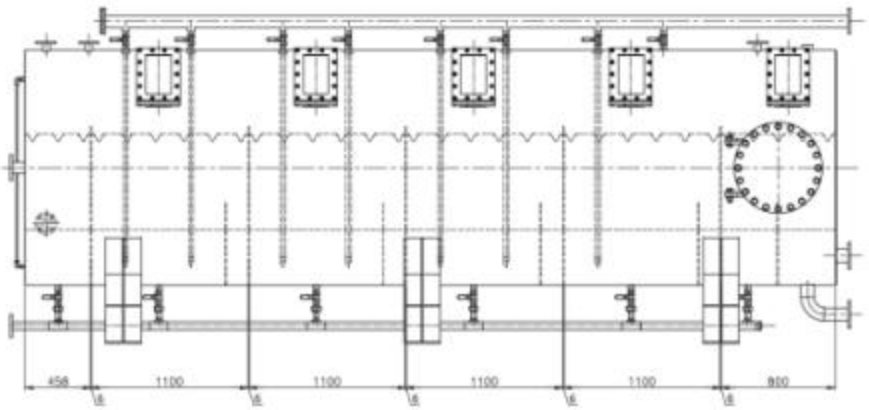
표 3.5.1 Pilot-Scale De-oiling 유닛 설계 인자

유 량	187㎥/일
형 식	원형
표면부하율	0.7 ~ 1.5m/hr
체류시간	25 ~ 40min (38.6min)
반응조규격	Ø1.6m x 5.7mL
수 량	1대
작동압력	3.0kg/㎠.G
작동온도	90°C
설계압력	4.5kg/㎠.G
설계온도	120°C

□ Cell 간격 조정을 통한 반응조 면적 최대확보

- 4Cell 적용(유입Cell과 유출 Cell을 제외)
- De-oil 반응이 일어나지 않는 유입 Cell과 유출 Cell 면적 축소 (PILOT 장비에서는 동일 간격으로 배치됨, 유입 Cell의 공간은 460㎜ / 유출 Cell은 800㎜ / 반응조 Cell 1100㎜로 설계)
- 조표면적을 5.5㎡까지 증가시켜 표면부하율을 1.4m/hr 최소화
- 반응조 용량이 5.0㎥ (반응조 규격 : 1.14㎡ x 4.4m)로 증대시켜 반응조 체류시간 38.6min 확보

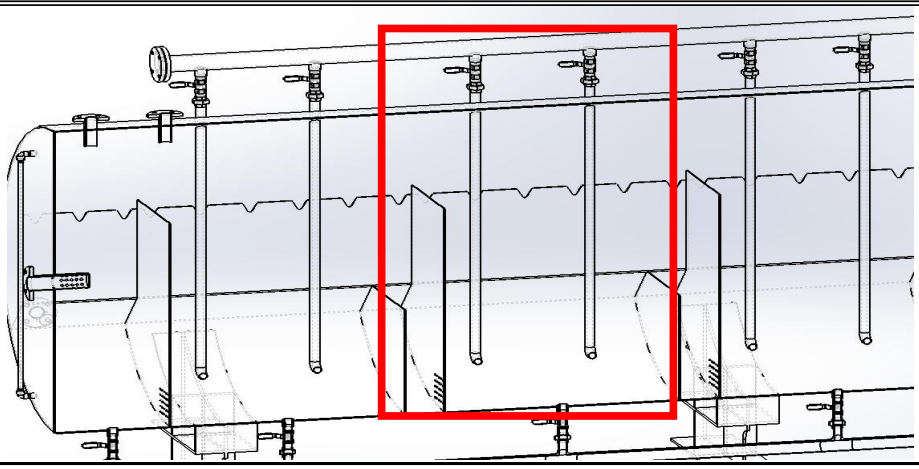
유입, 유출, 유수분리 Cell 간격



□ 미세기포 발생 Nozzle 수량 Cell당 2EA 적용

- Pilot 장비에서 Cell당 간격이 543㎜, 미세기포 발생 Nozzle이 1EA를 적용함..
- Scale up 및 Cell 간격 조정으로 인해 Cell당 간격은 1,100㎜로 Pilot 장비의 약 두배로 Nozzle 수량을 2EA로 적용하여 사공간 방지함.
- Nozzle 수량 4EA → 8EA로 늘림.

미세포 발생 Nozzle 수량 Cell당 2EA 적용



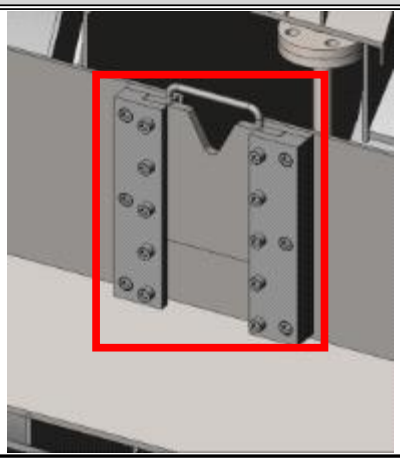
□ 수위조절 방식 변경

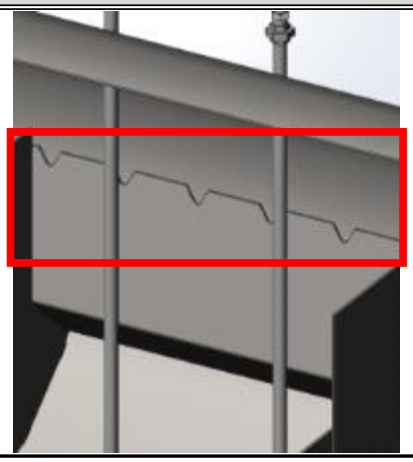
- 완전 밀폐식으로 변경되면서 수위조절을 Pilot에서 사용하던 수동 V-notch Weir 방식 사용 불가함.
- IGF 내부는 V-notch Weir의 수량을 늘려 부상된 Oil의 배출이 용이하도록 설계함.

(Pilot 설비에서의 Cell의 양 끝단에서 Oil이 배출되지 않는 문제 보완)

- 수위 조절은 IGF 처리수 Outlet에 비례 제어밸브를 설치, 수위계의 값을 받아 일정 수위를 유지함.

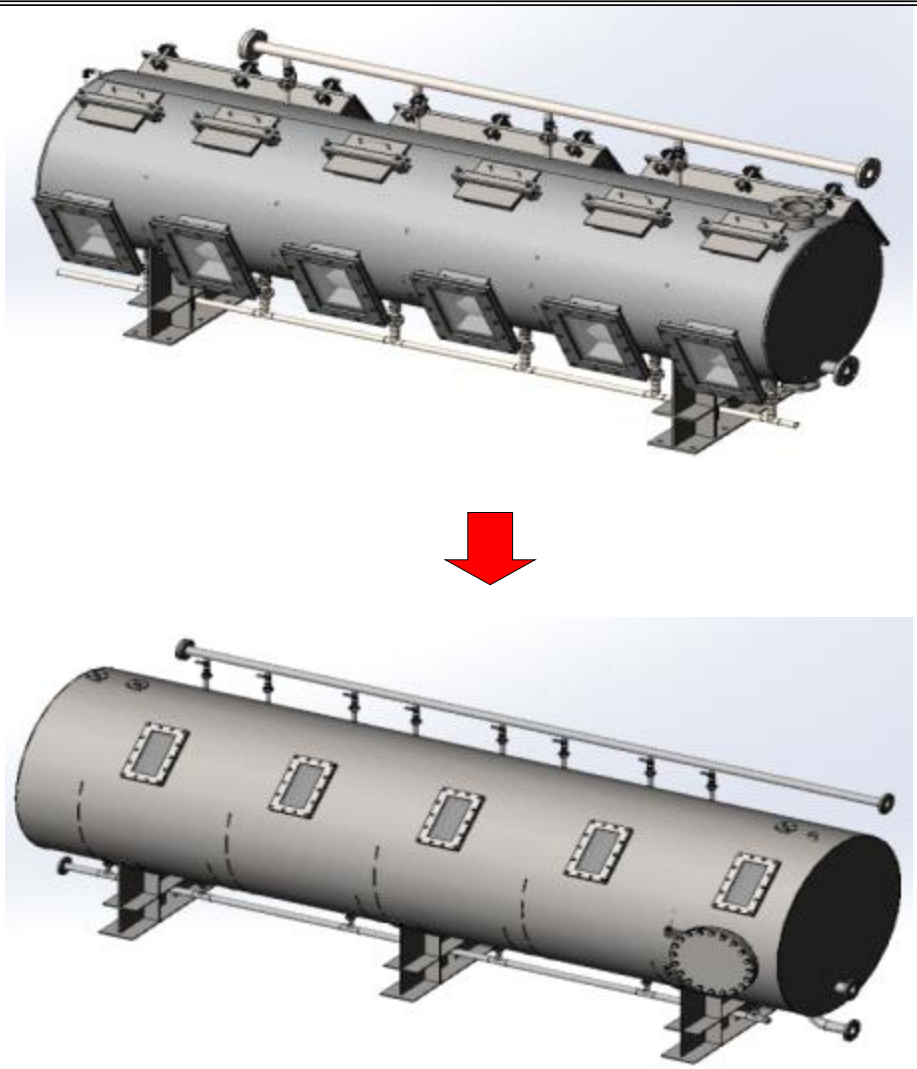
수위조절 방식 변경





□ 완전밀폐식 변경

- 개방식에서 완전밀폐식으로 변경함.
- Pilot 장치의 V-notch Weir 조절을 위한 개구부 및 Chute 등 모든 개구부 삭제함.
- 미세 기포 발생 확인을 위한 점검창을 유지함.
- 제작 및 유지보수를 위한 맨홀 추가함.

개방식 → 완전밀폐식으로 변경


□ 제작 시제품 설치(연천 SOC 실증연구센터)

- 제작이 완료된 1200BPD IGF는 연천에 위치한 한국건설기술연구원의 SOC실증연구센터로 이송되어 설치 완료된 상태이며, 다른 오일샌드 CPF들과 함께 오일샌드 플랜트 시운전 완료함.

2) 시험・평가

□ 성능시험 요약

시료의 채취는 IGF(Induced Gas Flotation)장비가 설치된 장소에서 입회하에 진행함. 작동 유체는 Bunker C fuel와 물의 혼합하여 제조하여 원수로 사용함. 원수저장 탱크에서 5분 간격으로 총 3회 채취 후, IGF(Induced Gas Flotation)장비를 가동하여 50분 후 유출수를 동일하게 5분 간격으로 총 3회 채취함.

채취한 시료는 시험실로 이동하여 수질오염공정시험기준에 따라 총노말헥산추출물질 시험을 진행하였으며, 온도는 현장에 설치된 장비의 표기값을 사용하였음.

□ 시험결과

원수 1~3의 총노말헥산추출물질은 각각 99.0 (mg/L), 15 (mg/L), 124 (mg/L)의 값을 나타냄. 또한 유출수 1~3의 결과는 각각 11.2 (mg/L), 12.3 (mg/L), 8.42 (mg/L) 로 나타냄. 각각의 제거율은 88.7 (%), 89.3 (%), 93.2 (%)로 평균 90.3 (%)의 제거율을 보였으며, 원수의 특성상 시료의 채취 시 뭉쳐진 기름 성분들이 불규칙적으로 혼입되었고, 이에 따라 결과값에 편차가 발생된 것으로 예상됨.

표 3.5.2 IGF 성능시험 결과

Sample	처리수농도 (mg/L)	제거율 (%)	비고
1	11.2	88.7	-
2	12.3	89.3	-
3	8.42	93.2	-

□ 상용급 PWT Modul 설계

- 설계 목적은 현장 외 지역에서 제작 및 조립이 가능한 모듈 타입 설계를 극대화하기 위한 전략 수립으로 현장 내에서 작업량을 줄이고 현장 외에서 작업량을 늘려 생산성을 높이고 제작비용이 낮은 작업장을 이용하여 비용의 최적화, 공기 확실성을 개선하며, 품질 및 안전성을 향상하기 위함임.
- 180BPD의 처리용량의 PWT 모듈패키지의 실증 제작, 시험 결과를 토대로 상용급 PWT 모듈의 Layout 설계 시 반영사항을 정리하며, 공간설계에 있어 제작, 운송, 조립, 공기 등을 고려한 가장 효율적인 모듈화 가이드라인 제시함.
- 국내에서 제작되어 해외로 운송되는 오일샌드 육상플랜트 모듈의 장거리 육상운송비용 절감을 위한 최적 모듈 시스템과 후발 경쟁국과 차별화 및 오일샌드 플랜트 모듈화 독자기술 획득함.

□ 상용급 PWT 주요 구성 기기

표 3.5.3 PWT 주요 구성 기기

Equipment Name	Q'ty	Unit Cap	Dimensions Size (WxHxL: mm)	Weight (kg)
Diasposal storage tank sampling return pump	2	2 * 100%	-	13
Potassium permanganate pump package	4	2 * 2 * 100%	-	45
IGF Feed pump	2	2 * 100%	-	1,136
IGF tansfer pump	2	2 * 100%	-	1,193
IGF Oil froth pump	2	2 * 100%	-	-
Slop recycle pump	2	2 * 100%	2910L * 1820W * 933H	1,063
Decant return pump	2	2 * 100%	-	1,063
IGF Vessel	2	2 * 100%	2910 dia. * 7620 L	-
PW skim tank	2	2 * 100%	10518 dia. * 7315 H,	48,866
Diasposal storage tank	1	1 * 100%	10518 dia. * 7315 H,	35,105
Desand tank	1	1 * 100%	5300 dia. * 8685 H,	25,232
Desand overflow tank	1	1 * 100%	5300 dia. * 8685 H,	25,232
Glycol heater	4	4 * 100%	1083 * 880 * 1083	216
Vacuum dearator	1	1 * 100%	2286 dia. * 12344 H	18,273
Primary softner skid	9	3 * 3 * 50%	2896 dia. * 3150 H	9,150
Polishing softner skid	9	3 * 3 * 50%	2134 dia. * 1930 H	3,591
Greensand filter	9	3 * 3 * 50%	3048 dia. * 1626	7,145
LIQUID RING VACUUM PUMP	4	2 * 2 * 100%	-	317
Dearated water pump skid	9	3 * 3 * 69%	-	663
Raw water pump skid	9	3 * 3 * 100%	-	1,098
Brine pump	1	1 * 100%	-	132
Sulphite pump	2	2 * 100%	-	6
Caustic injection pump	1	1 * 100%	-	6
Metal passivation agent pump	1	1 * 100%	-	6
Chelant injection pump	1	1 * 100%	-	6
Brine dilution water pump skid	4	2 * 2 * 100%	-	378
Water treatment building sump pump	2	2 * 100%	-	21
Recirculation pump	2	2 * 100%	-	31
Water treatment package	1	1 * 100%	-	-
Raw water tank	1	1 * 100%	-	21,275
Potassium permanganate tank	4	2 * 2 * 100%	1829 dia. * 1773 H	164
Brine saluration tank	1	1 * 100%	3658 dia. * 4572 H	1,682
Brine storage tank	1	1 * 100%	2134 dia. * 3531 H	636
Sulphite tank	1	1 * 100%	1829 dia. * 2743 H	500
Chelant tank	1	1 * 100%	864 * 1219 * 3302	-
Metal passivation agent tank	1	1 * 100%	864 * 1219 * 16512	-
Caustic tank	1	1 * 100%	1829 dia. * 2743 H	500
Glycol heater	2	2 * 100%	872 * 695 * 873	130
Glycol heater	2	2 * 100%	1083 * 880 * 1083	216

□ PWT PROCESS FLOW DIAGRAM

- IGF PACKAGE

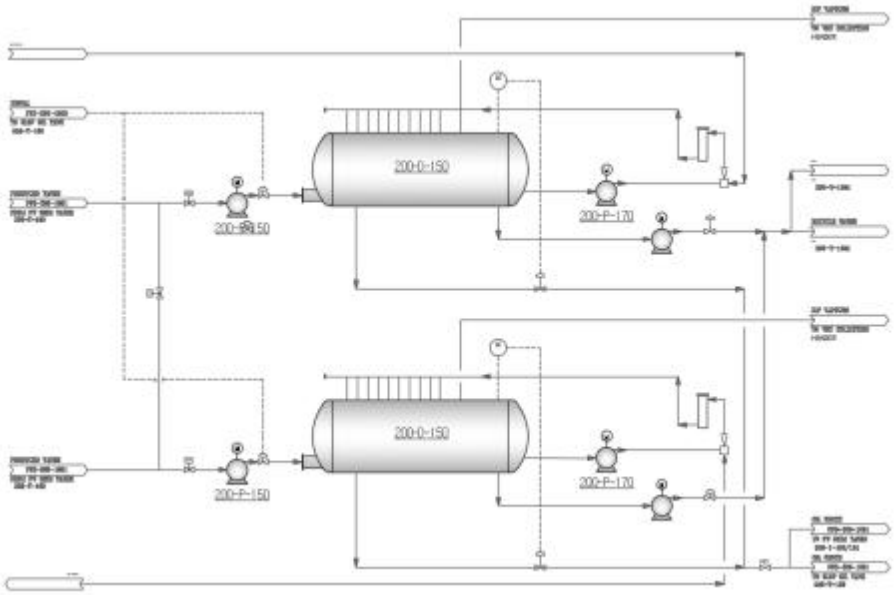


그림 3.5.10 IGF PACKAGE

- PWT PACKAGE

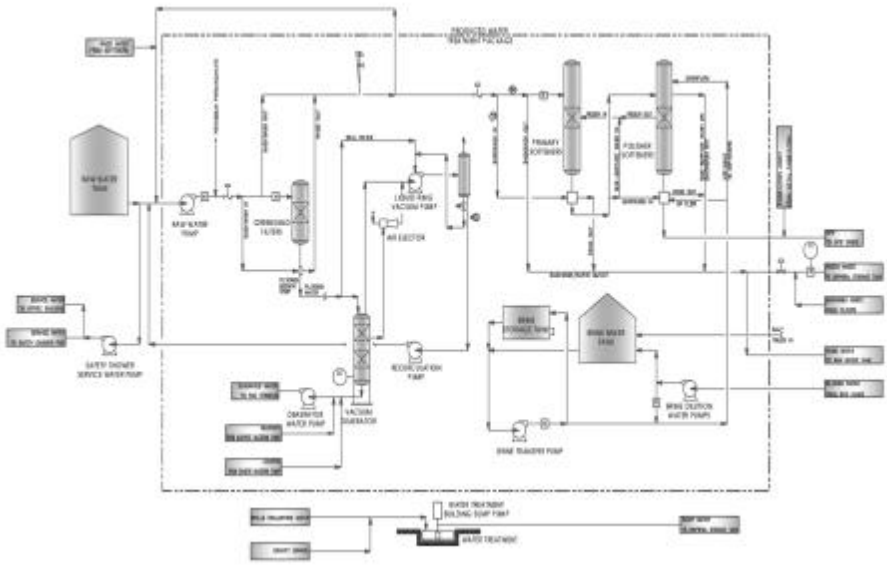


그림 3.5.11 PWT PACKAGE

(6) FWKO 모듈 개발 및 설계

FWKO는 기체, 오일, 물의 혼합물을 분리하는 데 사용되는 수평형 다상 유동분리기임. 일반적으로 침전과 유착의 두 가지 물리적인 힘이 작용하는데 오일과 물의 밀도 차이에 의해 침전이 일어나고 액적이 유착되며 점점 커지면서 분리속도가 빨라지는 것이 특징임.

□ Oil-Water 분리

- 오일과 물의 분리는 두 상의 밀도 차에 의해 분리되며 더 무거운 액체상 방울의 침강 또는 가벼운 액체상의 방울의 상승에 의해 이루어짐.
- 액-액 분리에서, 부피는 액-액 계면도달과 유착을 위해 분산상(dispersed - phase)방울에 대해 충분한 시간을 줄 수 있을 만큼 커야함. 이러한 방법에서 액체의 분리는 방울의 종단 침강 속도(terminal settling velocity)의 식에 의해 결정됨.
- 액-액 분리를 위해 분리에 요구되는 체류시간(residence time)은 기-액 분리에서 요구되는 시간 보다 훨씬 더 길고 고도의 분리를 위한 액-액 분리는 장치의 큰 사이즈를 필요로 함.
- Stewart 에 따르면 연속상의 종단속도는 다음과 같이 정의됨. 이식에서 종단속도는 oil 이 부유한 시스템 또는 water가 부유한 시스템을 고려한 oil-water 에멀젼 점도의 함수임.

$$u_D = \frac{1}{18} g a_D^x \frac{\rho_L - \rho_G}{\mu_G}$$

$$u_D = Velocity\, of\, droplet, m/s$$

$$d_D = Droplet\, diameter, \mu m$$

$$g = gravitational\, constant, 9.8 m/s^2$$

- 스토크스 이론 (Stokes theory)

내부에서의 유속이 빠르지 않고 밀도가 다른 두 유체 간의 운동을 정확히 파악하기 위해서는 'Stokes law' 과 해당 변수들을 설계에 반영해야함.

Stokes law

$$U_T = \frac{2r^2 \Delta \rho g}{9\eta_c}$$

U_T : terminal velocity

η_c : viscosity

FWKO design based on stokes law

$$W_d = C^* \left(\frac{S_{hl} - S_{ll}}{\mu} \right) L_l H_l$$

S_{hl} : Heavy fluid density

S_{ll} : light fluid density

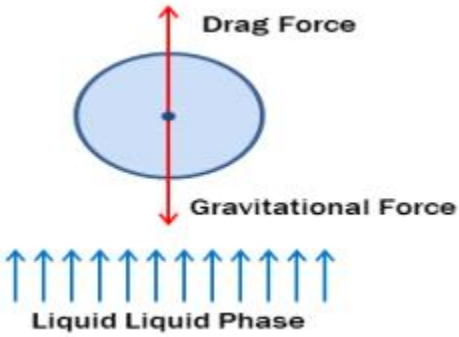
W_d : Flow rate

L_l : Oil-water interface length

C^* : Experience constant

H_l : Oil-water interface area

- 무거운 액적의 침강 속도 (Terminal settling velocity of heavy liquid droplet)
  액적에 작용하는 항력과 중력사이의 힘의 균형이 해당 액체의 침강 속도를 결정함. 하지만 해당 속도는 Re 수가 1이하이며 Stokes law가 적용될 때 항력 계수는 $C_D = 24/Re$로 적용 가능하며 $V_t = \frac{gd^{2_p}(\rho_H - \rho_L)}{18 \times 10^{12}\mu_c}$ 식처럼 간단유도 가능



$$F_d = \frac{\pi}{8} C_D \rho_L V^2 {d_p}^2$$

$$F_g = \frac{\pi}{6} {d_p}^3 (\rho_H - \rho_L) g$$

$$V = \sqrt{\frac{4gd_p}{3C_D}\left(\frac{\rho_H - \rho_L}{\rho_L}\right)}$$

그림 3.5.12 Drag force, gravity balance and velocity expression on the droplet.

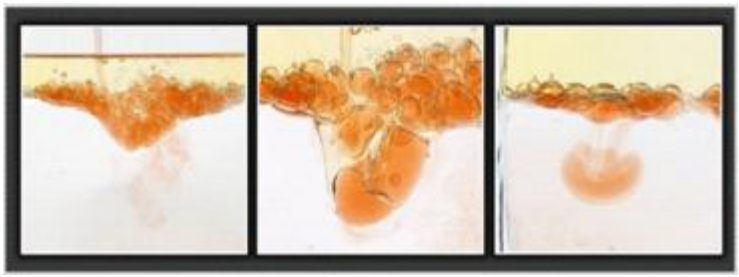


그림 3.5.13 Interaction between oil and water

□ Vessel의 헤드 형상 설계

FWKO는 미국기계학회의 압력용기 설정 표준안인 ASME Code section 8을 참고하여 설정 압력에 따른 설계가 가능함.

그림 3.5.14 Production of actual experimental vessel head

1) 파일럿 사이즈 FWKO 장치 및 실험 설계

기존의 FWKO와 달리 모듈화가 진행된 FWKO의 경우 분리 효율 및 용량과 더불어 육상 및 해상 운송, 운송 시 변형, 극지방의 난조건 속에서의 설치 및 해체 용이성 등을 고려한 설계가 필요하며, 일정 이상의 분리 효율과 최적 체류시간, 내부 유동의 안정성, 운송 가능 사이즈 등이 우선적으로 고려되어야 함.

FWKO의 형상은 비교적 간단하며 설치되는 플랜트의 규모나 용도에 따라 크기가 다르나, 경계면이 넓을수록 분리효율이 높다고 알려져 있으므로 지름보다는 길이가 길어지는 경향을 가짐. 그림 00은 실험용 lab scale 모델, 모듈화 된 Pilot 모델, 캐나다 Husky Energy 社의 모델을 비교한 표임.

표 3.5.4. Comparison of FWKO specification.

	Capacity [bbl/d]	Size [m * m]	Head thickness [m]	Run temperature [℃]	Run pressure [kPa]
Lab scale	20	2.2(L) * 0.48(D)	0.121	80~100	101.325
Pilot	300	6.6(L) * 2.2(D)	0.55	110~130	440
Husky	9430	15.24(L) * 3.66(D)	0.916	140~150	550~650

(Behin, J., & Azimi, S. (2015). Experimental and computational analysis on influence of water level on oil-water separator efficiency. Separation Science and Technology, 50(11), 1695-1700, 권순일 외6명, (2011), FWKO 유수분리공정을 이용한 오일/물 혼합물의 분리특성, Korean Chem. Eng. Res., Vol. 49, No. 6, December, pp. 823-828).

2) 실험 장치 및 설계

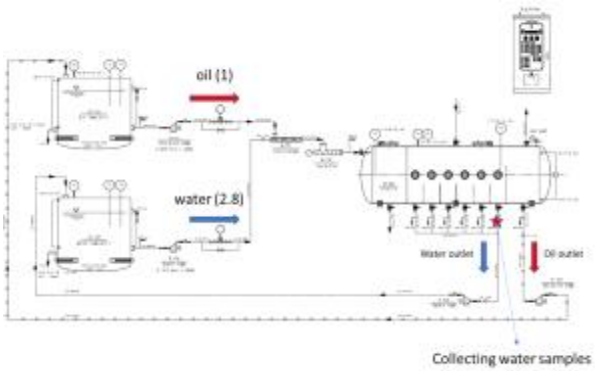


그림 3.5.15. Schematic of experimental apparatus

그림 3.5.16. Manufactured FWKO.

3) 실험 방법

현지에서의 작동유인 Bitumen은 국내에서 취급이 불가능함. 따라서 같은 중질유인 Bunker-C oil의 온도를 조절하여 가장 지배적인 물성치인 점성 계수를 동일하게 설정하였다(표 2.6 참조, 작동유 선정 보고서 참조).

Comparison between bitumen and Bunker-C oil condition

	Bitumen (현지 운전 조건)	Bunker-C oil (실험 조건)
운전 온도 [℃]	120~130	39~44
SOR (steam-oil ratio)	2.5~3.5	2.8
운전 압력 [bar]	4.4~6.6	1
점성계수 [cp]	**80~100**	**70~100**

- Oil tank (TK-101), Water tank(TK-102) 내부히터 작동시킨 후 목표온도 도달.
- 실험 3분전 현장제어반 작동.
- Oil 및 water pump 작동.
- 정해진 체류 시간 동안 연속 운전.
- 물 출구 샘플관에서 혼합물 샘플 채취.
- 혼합물에 대한 혼합비 분석 (※KTR 의뢰).

표 3.5.5. Experimental variables.

SOR	물 유량 [L/min]	오일 유량 [L/min]	물탱크 온도 [℃]	오일 탱크 온도 [℃]	입구 혼합물 온도 [℃]
2.84	126.6	44.5	43	52	44.1

※ 실험 중단 조건

- 장치가 고장이 발생한 경우.
- 물, 오일의 누수가 발생하는 경우.
- 작동 온도 값에 대해 10% 이상의 오차가 5분 이상 지속되는 경우.

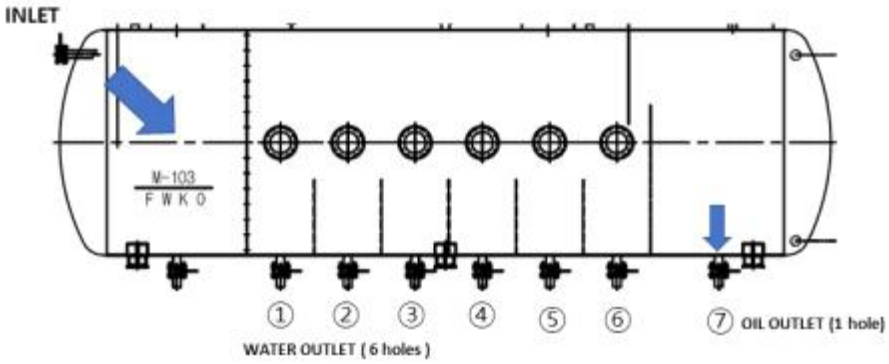


그림 3.5.17. Outlet number of FWKO.

4) 실험 결과

- 일정 시간 경과 후 혼합물이 ⑦번 출구 도달 시 ⑥번 출구에서 샘플 시료를 채취함.
- 물 출구에서 채취한 샘플을 바탕으로 총 노말헥산추출물질의 양에서 노말헥산추출물질 양의 차로 구함.

$$\text{총 노말헥산추출물질 (mg/L)} = (a-b) \times \frac{1,000}{V}$$

a : 시험전후의 증발용기의 무게 [mg]
b : 바탕시험 전후의 증발용기의 무게 [mg]

V : 시료의 양 [mL]

그림 3.5.18. Mixture sampling process at water outlet.

샘플 측정은 삼자입회기관인 한국화학융합시험연구원에서 [수질오염공정시험기준 : 2 0 1 7]에 따라 총 노말헥산 추출물질을 분석하여, 그 성능을 평가한 결과임. 이 시험기준은 물중에 비교적 휘발되지 않는 탄화수소, 탄화수소유도체, 그리스유상물질 및 광유류를 함유하고 있는 시료를 pH 4이하의 산성으로 하여 노말헥산층에 용해되는 물질을 노말헥산으로 추출하고 노말헥산을 증발시킨 잔류물의 무게로부터 구하는 방법임. (수질오염공정시험기준 제 2017-57호) 분석 결과 혼합물 내 99% 이상의 물로 이루어져있음을 확인함.

표 3.5.6. Analysis result of mixture component

Sample ID.	시험 전 용기 무게 (mg)	시험 후 용기 무게 (mg)	무게차 [a] (mg)	바탕시험 결과 [b] (mg)	시료의 양 [V]	결과 값 (mg/L)
Water	5531.2	5.563.6	32.4	1.7	550	55.8

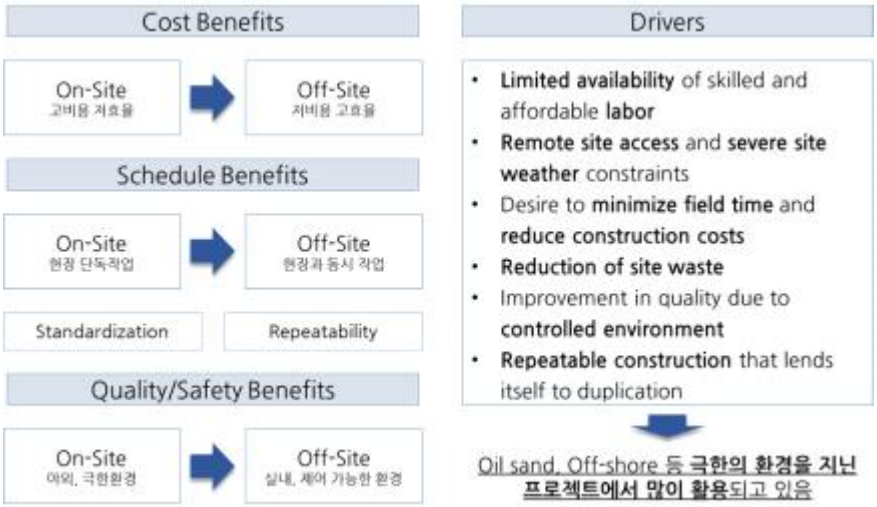
그림 3.5.19. Mixture samples at water outlet

(7) 모듈화 공법 적용 타당성 검토 요인 및 관리방안

1) 모듈화 공법 적용 타당성 검토 요인 도출

모듈화 공법 적용 타당성 검토 요인 도출을 위하여 본 연구에서는 기존 연구 문헌에서 모듈화 공법 적용의 이점과 장애요인을 분석하였음. 모듈화 공법을 적용한다고 하여 모든 사업에서 효과를 거둘 수 있는 것은 아니며, 어떤 사업, 어떤 환경에서 모듈화 공법 적용의 이점을 최대화하고 장애요인을 줄여 공기, 공사비 절감 효과를 거둘 수 있는지 면밀한 검토가 필요함.

□ 모듈화 공법 적용의 이점



2) 모듈화 플랜트 초기단계 supply chain management

□ 초기단계 supply chain management 중요성

모듈화 공사는 통제된 작업환경에서 모듈을 사전 제작하여 얻을 수 있는 생산성 향상과 제작장, 현장의 동시 작업(fast-track)을 통한 공기절감이 가능하다는 이점을 지니고 있어 건설공사에서 점차 활용이 증가되는 추세임 (Park et al., 2016). 현장 작업환경이 좋지 않은 일부 대형 플랜트 건설공사에서도 위와 같은 효과를 기대하여 모듈화 공법을 적용하였지만, 모듈 운송 및 조달 과정에서 문제가 발생하여 오히려 손실을 입는 경우가 발생함. 이는 원가절감을 위하여 전세계에서 자재를 조달하고 모듈을 제작, 운송하고 있는 대형 플랜트 공사에서 공급망 관리에 실패한 것이라 볼 수 있음. 사업 규모가 크고 공급망이 복잡할수록 사업 관리 측면의 어려움이 증가하며 (Liu, 2016), 사전작업과 현장작업의 연결이 많을수록 최초 계획 대비 공기가 증가하는 경향이 있다는(Arashpour et al., 2016) 기존 연구 결과에서도 알 수 있듯이 대형 플랜트 공사에서는 공급망 관리(supply chain management)가 사업 성패에 중요한 영향을 끼침.

산업계 전문가와 인터뷰에 따르면 현재는 주로 제작 비용 절감 측면에서 모듈 제작장 선정과 물량 배분이 결정되고 있음. 그러나 제작 비용 뿐만 아니라 제작 생산성,

모듈 품질, 운송 시간, 운송 비용 등 다양한 요소를 고려하여 제작장을 선정하고 물량을 배분하는 것이 전체 사업 관점에서 성과 향상에 도움이 될 것이며, 따라서 본 연구에서는 공기, 공사비, 품질 세 가지 관점을 고려한 공급망 관리 방안을 제안하고자 함.

□ 모듈화 플랜트 사업의 supply chain management

모듈화 플랜트 공사의 공급망은 자재 공급 및 조달, 기기 공급 및 조달, 제작장(shop)에서의 모듈 제작, 중간야적장(fabrication yard)에서의 모듈 조립, 모듈 운송, 현장(construction site)에서의 모듈 시공 및 설치 등으로 구성됨. 위와 같은 공급망 관리를 위해서는 세 번의 의사결정이 이루어져야함. 첫 번째는 위치와 생산성을 고려한 모듈제작장의 선정(shop)과 물량 배분, 두 번째는 중간야적장(fabrication yard)의 위치선정, 세 번째는 모듈제작장에서 중간야적장까지, 중간야적장에서 현장(construction site)까지의 운송 방식 및 경로 선택으로 나뉨. 본 연구에서는 공기, 공사비, 품질을 고려하여 모듈화 플랜트 공급망 관리 의사결정을 위한 최적화 알고리즘을 제안함.

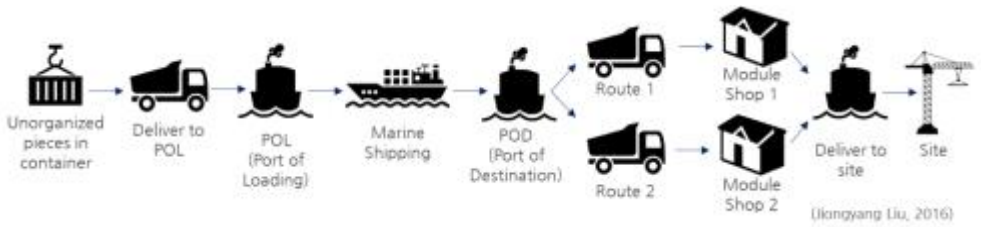


그림 3.5.20 모듈화 플랜트 사업의 supply chain management

모듈화 플랜트 공사의 공기 절감을 위해서는 추가 제작장 확보, 인력 및 장비 투입 등 작업 일정을 줄이기 위한 추가 비용이 필연적으로 발생함. 마찬가지로 모듈 및 건설 품질을 높이기 위해서도 고급 작업 인력 투입이나 중간 품질 관리, 검수 단계 추가 등으로 비용이 증가하게 됨. 또한, 공기 단축을 위하여 무리하게 작업을 진행할 경우 품질 저하 등의 문제가 생길 수 있으며, 품질 문제는 모듈 재제작, 현장 재작업 등으로 다시 공기에 영향을 미치게 된다. 위와 같은 공기, 공사비, 품질 간의 트레이드 오프를 정리하면 figure와 같으며, 최적화 모델의 주목적은 이러한 트레이드 오프를 고려하여 모듈화 건설공사의 공급망을 결정함.

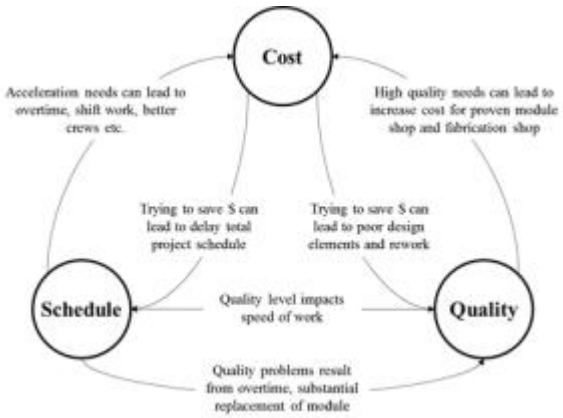


그림 3.5.21 Time, cost, quality tradeoff

□ 모듈화 플랜트 사업 supply chain 최적화를 위한 성과 측정 요인

문헌 고찰과 전문가 인터뷰를 통해 모듈화 건설 공사의 공기에 영향을 미치는 요인으로 모듈 제작 시간, 모듈 운송 시간, 예상치 못한 일정 지연을 도출함. 모듈 제작 시간은 제작장의 생산성에 따라 결정되게 되어 같은 모듈이라 할지라도 어떤 제작장에서 제작하는지에 따라 공기에 영향을 줄 수 있음. 그리고 모듈화 공사의 공기 성과 측정에서 가장 중요한 요인이 운송 시간임. 어떤 운송수단으로, 어떤 경로를 통해서 운송되는지에 따라 공기에 많은 영향을 줄 수 있기 때문임. 글로벌 공급망을 갖는 모듈화 공사의 특성상 기상 조건 등으로 인한 예상치 못한 일정 지연이 빈번하여 성과 측정 요인으로 포함하였으며, 공사 현장에서의 공기 성과 측정은 본 연구의 범위를 벗어나므로 고려하지 않음.

표 3.5.7 모듈화 플랜트 사업 supply chain 최적화를 위한 성과 측정 요인

Indicator	Description	Reference
Manufacturing time	Average module manufacturing time	Pasquire et al. (2005)
Transportation time	Average transportation time from shop to fabrication yard	
	Average transportation time from fabrication yard to construction site	
Delay time	Delay of supply chain	

공사비 관점의 성과 측정 요인은 크게 모듈 제작비용과 운송비용으로 구성된다. 모듈 제작 비용은 제작장의 인건비, 재료비용, 장비 비용의 합계로 계산된다. 운송비용은 제작장에서 중간야적장까지의 비용과 중간야적장에서 공사현장까지의 비용의 합계로 계산된다. 전자의 경우 해상운송을 주요 상황으로 바지선 혹은 일반대형선박을 이용하는 비용을 고려하였다. 후자는 도로를 이용하는 경우와 철도를 이용하는 경우 두 가지로 나누어 고려하였다.

표 3.5.8 도로 이용과 철도 이용 비교

Indicator	Description		Reference
Manufacturing cost	Module manufacturing cost at shop	Labor cost	Blismas et al. (2006) Mangan et al. (2016)
		Material cost	
		Equipment cost	
Transportation cost	From shop to fabrication yard	Barge / Vessel	
	From fabrication yard to construction site	Road truck / Railcar	

모듈화 공사의 품질 성과 향상을 위해서는 제작장의 기술 수준이 높고, 품질 관리 역량이 뛰어나야 한다 (O’Connor et al., 2014). 따라서 제작장의 기술과 품질관리 역량을 평가할 수 있는 모듈 결함 수치, 제작장평판, 안전사고 수치로 품질 성과 측정 요인을 구성하였다.

표 3.5.9 품질 성과 측정 요인

Indicator	Description	Reference
Number of defects	Reported avg. number of defects on non-conformance notices	Pasquire et al. (2005) Fang et al. (2004)
Reputation	Previous performance of projects, relationships with other stakeholders	
Safety	Safety management system, number of work-related accident	

□ 모듈화 플랜트 사업 supply chain 최적화 모델

- 공기 최소화

$$f_1 = \min \sum_{i,j,m} \left(X_{i,j,m} \times P_i \times MT \times (1 + TD_i) \right) \qquad \text{-----} \quad (1)$$
$$+ \sum_j \sum_i \left(\left[\frac{X_{i,j,m}}{N_l} \right] \times TT_{j_l} \right)$$
$$+ \sum_j \sum_i \left(\left[\frac{X_{i,j,m}}{N_r} \right] \times TT_{j_r} \right)$$

i : 모듈 제작장
j : 중간야적장
m : 모듈 유형
$X_{i,j,m}$: i 모듈 제작장에서 j 중간야적장을 경유한 m 유형의 모듈의 물량
P_i : 모듈 제작장 i 에서의 생산성
MT : 한개의 단위 모듈을 생산하는데 소요되는 평균 제작기간
TD_i : 모듈 제작장에서의 공기지연 비율
N_l : 1회 차량 운송 가능한 모듈의 수
N_r : 1회 기차 운송 가능한 모듈의 수
TT_{j_l} : 중간야적장에서 현장까지 차량운송 소요시간
TT_{j_r} : 중간야적장에서 현장까지 기차운송 소요시간

식 (1)은 모듈화 건설 공사의 공기를 산정하기 위한 식이며, 이를 최소화하는 것이 목적임. 모듈 제조 시간, 기후 조건 등의 이유로 모듈 제작장에서 발생하는 지연, 모듈 야적장에서 현장까지의 운송 일정을 고려함. 모듈 야적장에서 현장까지 운송하는 수단은 기차와 차량을 이용하는 방법이 있으며, 차량 수송의 경우 기차 수송에 비해 더 많은 시간이 소요됨.

- 공사비 최소화

$$f_2 = \min \sum_{i,j,m} \begin{pmatrix} \left[\frac{X_{i,j,m}}{N} \right] \times TC_{ij} \\ + X_{i,j,m} \times LC_{i,m} \times LQ \\ + X_{i,j,m} \times MC_{i,m} \times MQ \\ + X_{i,j,m} \times EC_{i,m} \times EQ \end{pmatrix} \qquad \text{-----} \quad (2)$$
$$+ \sum_j \left(\left[\frac{X_{i,j,m}}{N_l} \right] \times TC_{j_l} + \left[\frac{X_{i,j,m}}{N_r} \right] \times TC_{j_r} \right)$$

i : 모듈 제작장
j : 중간야적장
m : 모듈 유형
$X_{i,j,m}$: i 모듈 제작장에서 j 중간야적장을 경유한 m 유형의 모듈의 물량
$TC_{i,j}$: 모듈 제작장 i에서 중간야적장 j까지 운송 비용
$LC_{i,m}$: 모듈 제작장 i에서 m유형의 모듈 제작시 발생하는 인건비
LQ : 모듈 제작장 i에서 m유형의 모듈 제작시 필요한 인력
$MC_{i,m}$: 모듈 제작장 i에서 m유형의 모듈 제작시 필요한 재료비
MQ : 모듈 제작장 i에서 m유형의 모듈 제작시 발생하는 총 물량
$EC_{i,m}$: 모듈 제작장 i에서 m유형의 모듈 제작시 필요한 장비비
EQ : 모듈 제작장 i에서 m유형의 모듈 제작시 필요한 총 장비량
N_l : 1회 차량 운송 가능한 모듈의 수
N_r : 1회 기차 운송 가능한 모듈의 수
TC_{j_l} : 중간야적장에서 현장까지 차량운송비
TC_{j_r} : 중간야적장에서 현장까지 기차운송비

식(2)는 모듈화 건설 공사의 비용을 산정하기 위한 식으로, 이를 최소화 하는 것이 목적임. 모듈 제작장에서 모듈 야적장으로의 운송비, 모듈 야적장에서 현장까지의 운송비, 모듈 제작장에서 소요되는 인건비, 재료비, 장비비를 고려함. 모듈 제작장에서 소요되는 직접비의 경우 단위 모듈의 수량을 기준으로 계산함. 모듈 제작장에서 현장까지 소요되는 운송비의 경우 차량 수송의 경우가 기차 수송의 경우보다 더 저렴함.

- 공사 품질 최대화

$$f_3 = \max \sum_{i,j,m} \left(X_{i,j,m} \times Q_i + X_{i,j,m} \times S_i \right) \qquad \text{-----} \ (3)$$

i : 모듈 제작장
j : 중간야적장
m : 모듈 유형
$X_{i,j,m}$: i 모듈 제작장에서 j 중간야적장을 경유한 m 유형의 모듈의 물량
Q_i : 모듈 제작장 i에서의 품질
S_i : 모듈 제작장 i에서의 안전 지수

식 (3)는 모듈화 건설 공사의 품질을 산정하기 위한 식이며, 이를 최대화 하는 것이 목적임. 품질의 지표를 산정하기 위해 모듈에서 발견된 결함의 수, 모듈 제작장의 과거 실적, 모듈 제작장의 안전 지수를 고려함.

3) 모듈화 플랜트 초기단계 supply chain management 의사결정 예시

□ 대상사례

개발된 최적화 알고리즘을 실제 모듈러 플랜트 사업에 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 선정된 사업은 캐나다 앨버타 지역에서 시공 중인 플랜트 사업으로 국내에 소재한 모듈 제작장에서 총 63,000t의 모듈을 생산하여 캐나다로 육/해상 운송함. 본 연구에서는 최적화 알고리즘을 적용하여 해당 사업을 초기단계로 가정하고 가상의 제작장 후보지 네 곳(대한민국, 멕시코, 베트남, 중국)에 모듈 제작 물량을 배분하는 상황으로 시뮬레이션을 진행하였음.

□ 정보 입력을 위한 가정 사항

모듈 제작 시간을 산정하기 위해 각 국가의 생산성 지표를 활용하였으며, 장비비는 모듈의 물량에 비례하는 것으로 가정하여 산출함. 단위 모듈 한 개 제작에 필요한 노동력 및 물량은 모듈 구조의 비용 추정에 관한 문헌을 기반으로 산정함(Jergeas, G. F. et al., 2009). 국가별 인건비 단가, 생산성 정보는 Compass international에서 출판하는 Global construction cost yearbook, Pipelines mining & offshore cost data yearbook, International procurement yearbook을 활용하였다. 품질 측정 요인 중 안전성과를 평가하기 위해 국가별 건설 산업에서 신고 된 산업재해 사망률을 적용하였으며, 국제노동기구에서 발표한 자료를 바탕으로 국가별 평균 안전사고 발생률을 산정함.

□ 최적화 결과

결과 해석의 예시로 공기를 가장 중요시 하는 (a) 시나리오에서는 한국 제작장에 가장 많은 물량이 할당 되는 것으로 결과가 도출되었는데, 이는 한국 제작장의 생산성이 가장 높고 운송 기간도 짧은 편이며, 공사비를 가장 중요시 하는 (b) 시나리오에서는 상대적으로 인건비가 낮고 운송비용이 적게 들어가는 멕시코에 가장 많은 물량이 배분되는 것으로 결과가 도출됨. 실제 모듈화 플랜트 공사 수행시에도 이와 같은 방식으로 여러 제작장의 상황을 고려하여 최적화 해집합을 도출하고 기업이나 의사결정자의 성향에 따라 의사결정을 내린다면 사업성과 향상에 기여할 수 있을것으로 사료됨.

표 3.5.10 최적화 결과

	Result (a)	Result (b)	Result (c)	Result (d)	Result (e)	Result (f)
Predominance	**Time**	**Cost**	**Quality**	**Time-Cost**	**Time-Quality**	**Cost-Quality**
Shop 1 (Korea)	31.5	16.9	36.4	26.1	35.8	24.9
Shop 2 (Mexico)	15.9	22.5	13.7	16.4	7.8	19.6
Shop 3 (China)	8.1	10.1	3.2	7.4	8.9	4.4
Shop 4 (Vietnam)	7.5	13.5	9.7	13.1	10.5	14.0
Project time (Month)	13.58	14.25	14.19	13.79	13.57	14.00
Project cost ($)	32,228,320	30,372,350	33,426,210	31,024,340	33,368,160	31,569,060

바. 모듈 제작 및 운송 가이드라인

(1) 기능모듈 및 파이프랙 제작 고려사항

1) 모듈화 설계 및 제작 고려사항

구분	고려사항
Module Size	모듈에는 구조 프레임, 배관, 전기, 계장, 기기(열교환기, 펌프등)등 각각의 프로세스별 패키지가 포함되어 있으며, 모듈의 제작은 공정 프로세스, 장비들의 시스템, 능력, 경제성, 운반 및 제작 공기등을 고려하여 최적화를 위한 통합 모듈이어야 함 실용적이고 경제적인 최적화 모듈을 위하여 공정 프로세스, 제작, 운송(육상운송, 해상운송), 시공등의 다양한 모듈화 공법에 대해 고찰한 뒤 비교 분석 및 시뮬레이션을 통하여 효율성을 극대화 할 수 있는 Module Size가 되어야 함 - 구성 모듈별 패키지와 설계 - 통합된 기능모듈로서 성능, 안전, 운용성 확보 - 구조 프레임 체결기구 및 기능모듈 연결기구 산정 및 개발 - 운송 표준규격에 맞게 설계/제작하여 표준모듈화 산정 및 개발
Module Content	제안된 모듈의 유형에 따라, 모듈 경계 안에서 실용적으로 실현 가능한 한 모든 요소들이 포함되어야하며, 이것은 구조 프레임(철골, 플랫폼, 핸드레일등), 배관, 전기, 계장, 기기등(모듈 내부에 완성되는 모든 요소 포함) 각각의 Unit가 통합되어 해당 공정 프로세스를 이루어야 함 모듈안의 모든 Unit들을 설계 단계에서 컴팩트화 및 모듈화를 적용하고 공간 활용 최적화된 레이아웃 설계를 수행해야하며, 이를 통해 직접비 및 간접비를 최소화 할 수 있음 -플랜트 구성 설비에 대한 공정 분석 -모듈화율 개선 및 소형모듈 적용 공정 최적화 -Content 경제성 분석 및 효과 정량화 -공정유닛 최적설계 및 공정 시뮬레이션 평가
Structural Steel	모듈화 설계에서 Structure Steel은 배관과 기기 등의 중량 및 운전 중 하중뿐만 아니라 육상 및 해상운송(Lifting, Sea Transportation, Land Transportation)에서 발생 가능한 하중을 고려하여 Permanent & Temporary Steel Member를 계획하고 견딜 수 있도록 디자인 되어야 함 극한환경에서 요구되는 고성능 소재에 대한 특성연구 및 성능평가를 통한 고성능재료 물성 DB구축을 통하여 최적설계모듈 / 최대강성설계를 도출할 수 있으므로 하여야 함 운송 동안의 진동을 고려하여야 하고 Structure Steel의 요구조건을 최소화하기 위하여는 이 진동을 제동 시킬 필요함 설계 후 모듈 제작이 완성되면 육상 및 해상운송으로 현장에 반입되고 조립 및 설치가 이루어짐. 기 시공 된 기초와의 접합시 Simple Connection이 이루어 질 수 있도록 설계 시 안전성 및 내구성, 시공성을 고려한 면밀한 검토가 필요함

Civil Design	극한지 지반거동을 분석 후 고려한 시스템 및 극한환경 대응재료, 시공기술등을 통해 안정화 된 설계가 이루어져야 하며 또한 모듈제작기간 동안에 모듈 및 기기 기초등의 토목공사를 수행하여 현장 시공 공기를 최소화 하여야 함 - 현장 조건을 고려한 공기단축 하부구조 시공기술 개발 - 비파괴 탐사장비 개발 / 동토지반 평가지표 및 국제기준(ISO) 정립 - 극한지 모듈플랜트 기초 및 이동로 동결방지기술 개발 - 극한지 급속시공 표층처리 기술 연구
모듈 사이즈의 결정	현지 도로의 상황이나 현장의 장비 및 조건에 의해 운송 가능한 모듈의 최대 크기가 결정되는 경우가 많으며, 일반적으로 모듈의 길이 보다는 폭이나 높이에 제약이 많아 폭은 8m 높이는 15m 를 넘지 않는 것이 대부분임
모듈 제작	일반적으로 모듈 제작 업체의 선정은 계약업체에서 이루어 지며 이는 비용과 직접적인 관련이 있는 만큼 신중하게 고려되어야 함 계약자는 제작현장에 경험이 있는 관리 인력을 파견해 제품의 완성도와 공기에 영향을 줄 수 있는 모든 요소들을 체크해야 하며, 모듈 사이즈의 경우 공사현장에서의 재 작업을 피하기 위해서 프로젝트 시방서에 규정된 허용치를 넘지 않도록 지속적인 모니터링이 필요함 모듈의 무게는 설계단계에서부터 현장 설치 시까지 모든 단계에서 고려되어야 하는 사항으로, 최초 상세 설계단계에서 나온 보고서를 기본으로 하여 제작현장에서 로드 셀(Load -cell)을 이용한 무게 검사(Weighing test)를 통해 정확한 모듈의 무게를 알 수 있으며, 이를 통해 C.O.G(Center of gravity) 값을 도출해 낼 수 있음 모듈 제작시 다음 사항들이 고려되어야 함. - 설치 현장과의 지리적 조건 - 모듈 제작 경험 - 공장의 연간 생산량 및 생산인력 - 공장 부지 면적

2) 유닛, 기자재, 파이프 및 랙 수납/배치 시나리오 설정

<그림 5> 파이프 랙의 종류

파이프 랙은 산업 플랜트에서 중요한 구조임. 장치간 연결이 필요하거나 플랜트의 확장을 위해서 사용되며, 대규모 산업 시설의 경우에는 현장 조건, 물류 및 시공 일정을 맞추기 위해 모듈 방식이나 PAU 방식 또는 Stick-built와 같은 방식이 사용되는데 파이프 랙의 설계는 특정 시공 방법, 물류 및 타당성 조사 결과, 시공성, 배관 라우팅 및 공정 장치의 레이아웃에 따라 결정되어짐.

구조 프레임 레이아웃, 멤버 크기 및 연결 유형 선택은 재료 선택이나 구성, 비용 및 일정에 직접적인 영향을 주며, 작동(제품의 구성품, 열 팽창, 앵커 하중 등) 및 환경 하중(바람이나 지진 등)을 고려해야 할뿐만 아니라 운송 방법을 고려해서 설계하여야 함.

- 배관의 배치 순서 : 중량이 큰 배관일수록 외측(보에 가해지는 강도적 부담 경감), 증기나 고온의 프로세스 배관은 온도가 높을수록 외측에 배치
- 지관과 취출방법 : 파이프랙의 본관에서 지관을 추출하는 경우, 기체 서비스관은 위에서, 액체 서비스관은 아래에서 취출
- 다단랙과 적재배관 : 유틸리티(증기, 질소, 공기, 물 등) 배관은 상단 배치
- 프로세스 배관 : 가능한 한 그 배관이 관계하는 프로세스 기기측에 마감
- 계장 배관 : 파이프랙의 단부에 마감. 호칭직경이 작으므로 보조적인 지지보 설치
- 파이프랙의 상하 간격 : 상하 간격은 1 ~ 1.5m가 적절

3) 모듈 제작 기본 원칙

□ 일반사항

일반적으로 배관, 전기 및 기기를 개방 또는 폐쇄된 구조물 내부에 가능한 최대 범위까지 제작업체에서 설치하는 것으로 함. 다음을 포함하되 이에 국한되지 않음.

- 철골 제작 및 설치완료
- 가능한 한 기계적으로 완료

- 모든 배관은 제작, 설치, 수압시험하고, 배수 및 건조시키며, 최대한 현실적인 범위까지 검사수행
- 도장을 완성하고 훼손부 터치업
- 열 트레싱 설치 및 종료
- 방화시공을 완료하되 운송 서포트 및 현장 설치/조립에 필요한 것을 제외함
- 케이블 트레이 설치
- 편의 콘센트 및 조명 기구 설치
- 계장 사양서에서 언급된 품목설치
- 보온관련 된 작업완료
- 스위치기어, 모터 제어 센터(MCC), 로직 컨트롤(PLC), 전기 케이블 트레이, 내부 배선, 조명, 난방, 환기 팬, 스모크 감지기, 접지, 버스 덕트, 패널 보드, 가변 주파수 드라이브(VFD), 계측 및 연결 박스를 포함하는 내부에 전기 구성물
- 보온재 작업 및 기타 외부 및 내부 마감
- 기기, 배관, 밸브 및 계기류
- 조명, 난방, 환기 및 에어컨
- Quick Connectors / 현장에서 프로세스와 유틸리티를 연결하는 Hook-up.

모듈에는 벤더 패키지와 태그된 기기가 포함하여 기기목록에 명시함.

건물의 일부를 구성하거나 건물로 지정될 모듈은 현장설치를 위하여 번호를 건물 외부 면에 명확하게 표시함.

일부 모듈의 예: 파이프 랙은 모듈로 구성되지만, 건물이 아니거나 건물의 일부를 구성하지 않아 현장에서 설치하게 함. 이러한 모듈에는 구조물에 파이프 랙 모듈 번호가 명확하게 표시되어야 함.

고중량, 중중량, 저중량 하중 배관 랙에 대한 설계 요건 범위를 수용할 수 있는 표준 파이프 랙을 2개 또는 3개 이상으로 설계함. 기본설계의 엔지니어링 절차서는 상기 언급한 방식을 개발하고 적용하여야 함. 파이프 랙 모듈용 표준화는 적절한 모듈설계 시스템에 따라 모듈 제작자가 공급함. 모듈 표준화는 기본설계단계가 완료되지 전에 사업주가 결정하며, 별도 요구가 없는 한 모듈은 엔지니어링 설계 및 구매 요구사항을 기초로 하여 진행하여야 함. 모듈은 전체 모듈 목록에 나열되며, 이 모듈 목록은 모듈 번호와 모듈의 기본설계, 상세설계, 제작 및 건설단계에서 사용되는 크기, 무게를 표시함.

각 모듈에 미 부착하는 모든 품목은 PDMS 모델에서 표시되어지고, 제작자 업무용역 범위는 모듈에 미 부착 품목의 리스트, 무게 및 무게중심 계산서까지 제공해야 함. 전기, 계장 및 펌프실과 같은 건물 또는 건물의 일부로 구성하는 일부 모듈은 건물 매트릭스 목록 및 마스터 모듈 목록에 나열함. (주석: 건물 매트릭스에 나열된 모든 건물은 공사가 완료되고 공장이 운전할 때 지정된 태그 및 이름을 유지함.) 모듈 식별 번호와 무게를 각 모듈의 북서쪽 모서리에 제작업체 공장에서 표시함. 모듈은 가능한 한 기계적, 기능적으로 완료된 상태로 현장으로 공급되어지며, 현장에서는 설치 및 시운전 업무만 수행하도록 함.

□ 모듈유형

- 펌프실 모듈 (PHM) - 밀폐된 모듈 내부에 펌프, 기기, 배관, 전기/계장, 전기히팅선, 접근 플랫폼 및 사다리를 포함함.
- 기기모듈 (EQM) - 개방된 철골 내부에 배관, 기기, 전기/계장, 전기히팅선, 접근 플랫폼 및 사다리를 포함함.
- 파이프 랙 모듈 (PRM) - 개방된 철골 내부에 하나 이상의 배관, 전기/계장, 전기히팅선, 접근 플랫폼 및 높은 위치에 케이블 트레이로 연결하는 사다리를 포함함.
- 전기 및 계장 모듈 (EHM) - 밀폐된 모듈 내부에 전기, 계기제어 장치 및 변전소를 포함함.
- 계단식 타워 (STM) - 건축물, 전기시설로 구성된 개방 구조물
- 밸브 스테이션 모듈 (VSM) - 배관, 밸브, 전기/계장, 전기히팅선, 접근 플랫폼, 사다리로 구성된 개방형 구조물 모듈
- 기타 모듈 (MI) - 상기 언급되지 않은 기타 모듈형태

* 참고: 전기/계장 및 펌프실 모듈은 완전하게 독립된 모듈형 건물이거나, 더 큰 건물의 경우 부분 모듈로 구성될 수 있음. 만약 큰 건물일 경우 건물을 구성하는 각 부분모듈과 함께 운반된 뒤 현장 조립하여 하나의 큰 건물을 구성하게 함.

□ 사이즈

프로젝트용 모듈은 폭 7.3m(24피드), 높이 7.3m(24피드), 길이 37.1m(122피드)를 최대 크기로 사전 조립되어야 함.

앨버타 교통국은 포장도로 위의 전체 운송 높이를 9m(29피트 6인치)로 제한함. 이 제한을 고려할 때 위에서 언급한 최대 모듈 높이는 7.3m(24피트)가 됨. 모듈 설계를 위한 이 최대 모듈 높이는 약 1.0m에서 1.5m의 운송 트레일러의 높이 변화를 고려하기 때문에 오일샌드 모듈에 대한 일반적인 것임. 대부분의 모듈에는 하단프레임 아래로 600mm를 초과해서는 안 되는 '다리'(leg)가 있으며, 일반적으로 7.3m 너비 모듈의 leg는 트레일러 측면에 걸려 있음. 이 다리(leg)는 총 폭 모듈의 총 높이를 결정할 때 고려하지 않음.

그러나 폭이 좁은 4.5m 이하인 모듈의 경우 '다리'(leg)를 트레일러에 직접 배치해야 하며 모듈의 높이는 모듈 다리 밑 부분부터 모듈의 가장 높은 지점까지를 모듈 높이가 됨. 예외사항으로 사업주와 합의로 실제 트레일러 높이를 고려하여 운송 가능한 경우는 모듈 높이가 7.3m를 초과할 수 있음.

□ 무게

모듈은 모듈 야드에서 Alberta 고부하 도로를 통해 현장으로 운송되며 최대 운송 중량 156톤을 초과하지 않음. 최대 운송 중량은 AIT(알버트 인프라 및 교통)와 사업자의 승인 없이 초과할 수 없음. 그러나 AIT(알버트 인프라 및 교통)는 최대 5개의 계절적 운송 중량이 156톤 미만임. 계절적 도로 제한무게는 하기에 준함.

모듈 중량을 113,000kg(249,000lb)로 제한하기 위해 노력해야 함. 즉, 5월 16일부터 7월 1일까지 허용된 하중의 90%로 제한하는데 중량 계산은 기본설계 과정에서 보온,

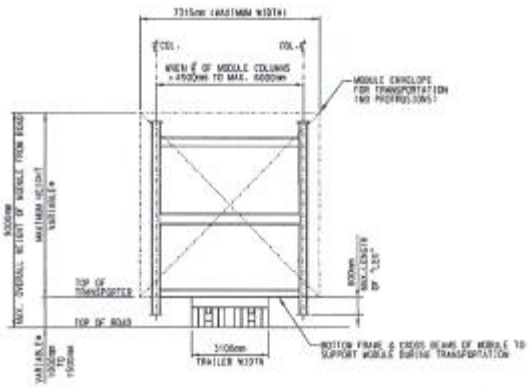
전기히팅선(EHT) 및 전기/계기의 정확히 알 수 없는 무게까지 추정한 무게로 함. 따라서 기본설계 과정에서 철, 파이프의 중량은 일반적으로 90,000kg(198,040lb.)로 제한함. 이 무게 한계를 초과하는 모듈을 검토하여 특정 기간 동안 무게 및/또는 기기수량을 줄이는 옵션을 검토해야 함. 사업주는 기본설계용 모듈 중량이 108,000kg의 90%로 제한되어야 함. (즉 97,000kg)

기본설계 후 상세 설계 단계에서 보다 정교하고 정확하게 각 모듈의 예상 운송중량 및 무게중심(CoG)을 산출해야 함. 모듈 중량을 추정하는 엔지니어링 부문은 가능한 한 PDMS 데이터로부터 제공된 데이터를 검토하여 잘못된 데이터가 없는지 확인해야 함.

□ 모듈 운송 엔벨롭스

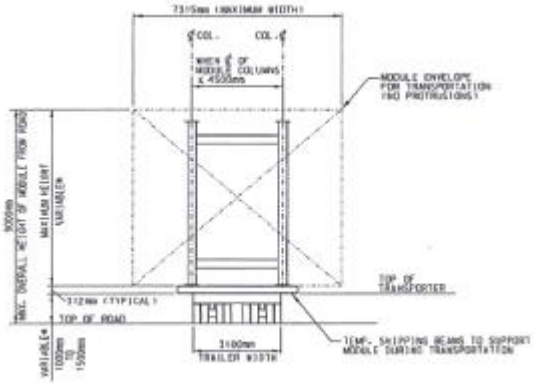
모듈 트랜스포트 엔벨롭을 PDMS 모델에 표시하고 유지해야 함. 상기 4.2항에서 정의한 최대 모듈 치수는 어떤 설계분야에서도 초과해서는 안됨. '엔벨롭'은 배관, 구조용 강철 등 모듈의 가장 바깥 범위로 설정해야 함. '엔벨롭'을 지속적으로 유지/업데이트할 책임이 있는 각 엔지니어는 최대 치수의 초과하지 않도록 모든 담당자에게 알릴 책임이 있음. 최신 모듈 치수는 마스터 모듈 목록에 리스트 되어야 함.

모듈 운송 엔벨롭은 PDMS 모듈에 미 조립 품목(Ship loose)의 모듈 크기, 무게 및 무게중심(CoG)이 집중되는 곳과 계산의 근거를 모듈에 표시하여야 함. '엔벨롭' 에 포함되는 모듈에 미 조립 품목(Ship loose)은 계산의 일부로 구성하게 됨.



<그림 6> 대형 모듈 폭의 최대 모듈 운송 환경
(모듈 끝에서 본 단면도)

* 참고: 운송을 위한 모듈 환경의 최대 길이는 48.766m 임.
* 변동치수 - 선정한 운송 트레일러에 준함. 트레일러 선정 시 모듈 리스트에 명시된 모듈 높이에 따라 계획/운송이 일치하도록 조정함.

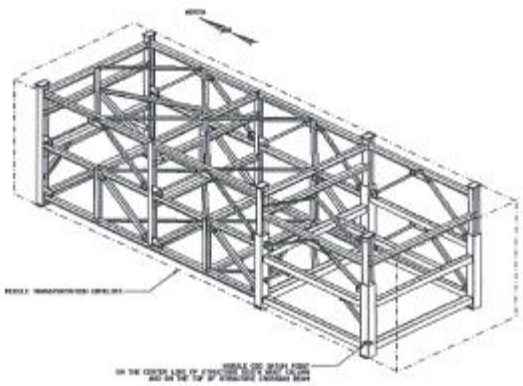


〈그림 7〉 협소 모듈 폭의 최대 모듈 운송 환경
(모듈 끝에서 본 단면도)

* 참고: 운송을 위한 모듈 환경의 최대 길이는 48.766m 임.
* 변동치수 - 선정한 운송 트레일러에 준함. 트레일러 선정 시 모듈 리스트에 명시된 모듈 높이에 따라 계획/운송이 일치하도록 조정함.

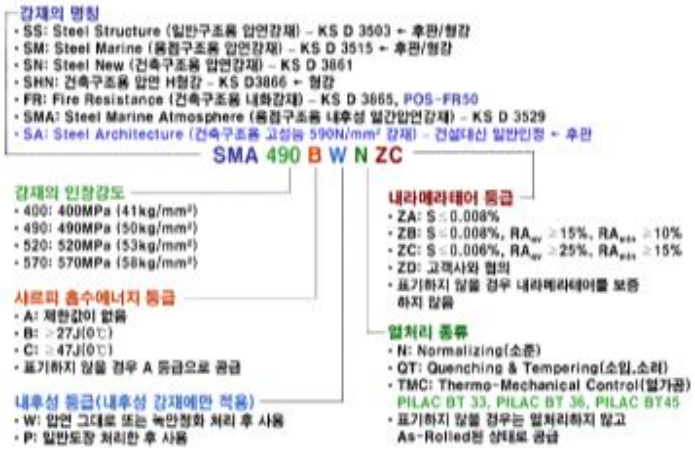
□ 모듈 CoG 기준점

각 모듈에 무게중심(CoG) 로컬 좌표계를 계산을 용이하도록, PDMS에서 각 모듈의 남서쪽 모서리의 기본 프레임 빔 또는 프레임 그리드 중심선 교차점을 로컬좌표로 함. 무게중심(CoG)의 수직 구성 요소는 하단프레임 빔의 구조물 상단 또는 하단프레임 빔이 없는 경우는 기둥 하단베이스 철판의 상단에서 측정됨. 좌표는 동쪽, 북쪽 및 높이를 표시함.



〈그림 8〉 중력 기준점 위치

4) 구조프레임 제작을 위한 국산 적용 가능 소재 분석



<그림 9> 건설용 강재의 규격

* 출처 : Introduction of High Performance Steel for Construction

○ 고기능화의 예로서는 내진성능을 고려하여 소성변형능력을 확보할 수 있는 항복비, 구조설계상의 거동과 실제 종국거동의 차이를 줄일 수 있는 적은 편차를 가지는 항복강도, 용접성과 용접부 성능 확보, 내후성강재(SMA)나 스테인레스강과 같은 내부식성, FR강과 같은 내화성능, 내취성 파괴성능을 들을 수 있음.

○ 고성능강의 분류

특성	강 재 명
강도성능 향상	- 고강도강 (High Strength Steel)(1) - 일정항복강 (Steel with Constant Yield Point) - 협항복범위강 (Steel with Narrow Range of Yield Point Variation) - 저항복비강 (Steel with Low Yield Ratio) - 극후판 (Ultrathick Steel Plate)(2)
인성 및 용접 성능 향상	- 고인성강 (Steel with Excellent Toughness)(3) - 저예열강 (Low Preheating Steel) - 대입열대응강 (Steel for Large Heat-input Welding) - 내라멜라테어링강 (Steel with Lamellar-tearing Resistance) - TMCP (Thermo-Mechanical Control Process)(4)
내부식성 및 기타성능 향상	- 내후성강 (Weathering Steel) - 용융아연도금강 (Steel for Galvanizing) - 구조용 스테인레스강 (Structural Stainless Steel) - 클래딩강 (Clad Steel) - LP강판 (Longitudinally-profiled Steel Plate) - 제진강판 (Vibration-damping Steel Plate) - 교량 케이블용 고강도 강선 (High Strength Steel Wire)
복합성능 향상 (강도, 내후성, 인성, 용접성 등)	- HSA (High Performance Steel for Architecture)(5) - HSB (High Performance Steel for Bridges & Buildings)

□ 고강도강(High Strength Steel)

일반강에 비해 인장강도를 향상시킨 강을 지칭하는 것으로서, 일반적으로 490 N/mm2 이상 980 N/mm2 이하의 인장강도를 갖는 용접구조용강을 말하는데 최근에는 570 N/mm2 이상의 인장강도를 갖는 강재를 지칭하는 경우가 대부분임.

□ 극후판(Ultrathic Plate)

교량 및 건축물에 극후판을 적용함으로써 얻게 되는 가장 큰 효과는 보강재 생략 및 부재 수 감소에 의한 구조의 단순화에 있으며, 극한상태에서 부재단면의 소성변형도 기대할 수 있기 때문에(Compact Section 효과) 변형 능력이 증대되는 효과도 있음.

□ 고인성강(Steel Excellent Toughness)

일반강의 경우, 저온상태에서는 취성파괴의 위험성 때문에 한냉지역에서의 사용이 제한되어 왔으며, 이러한 일반강의 제약조건을 극복하고자 N(질소) 성분을 0.006 % 이하로 조정하여 인성을 향상시킨 강을 고인성강 이라고 함.

- 고인성강 적용 이점으로 냉간성형성의 향상 및 한냉지역에서의 적용성 증대.

□ TMC강재

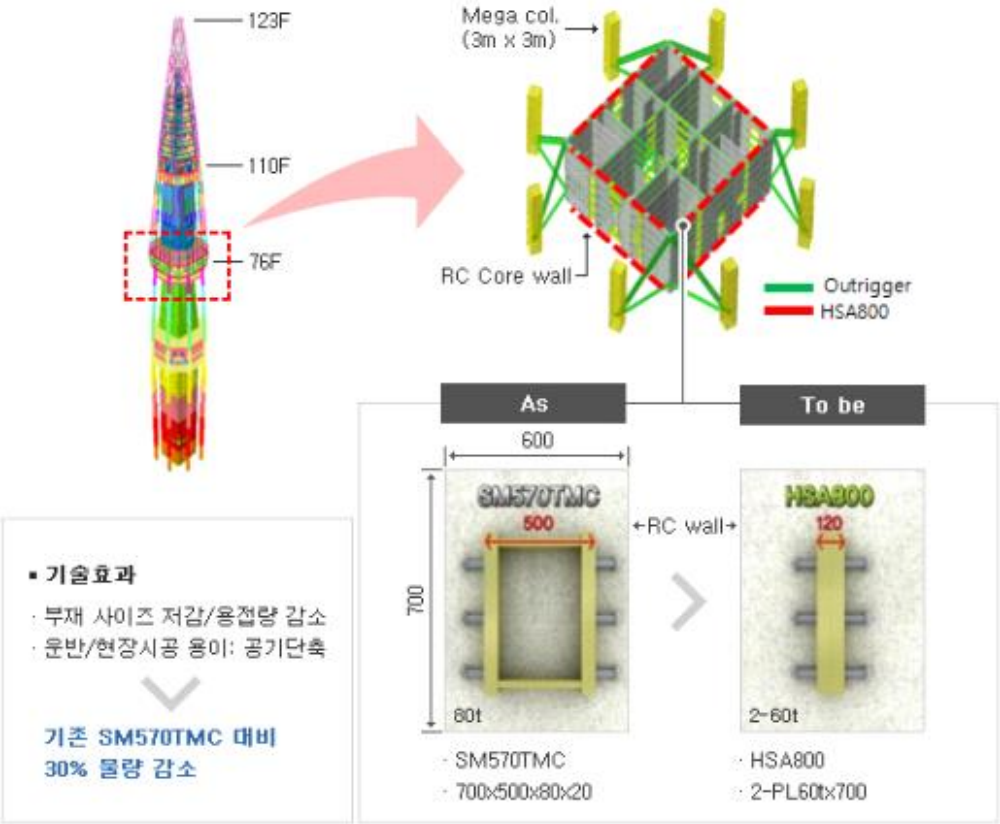
TMC 강재는 압연시 제어냉각을 통해 강도를 확보함으로써 동일강도의 일반강에 비해 탄소당량(Ceq)이나 용접균열감응도(Pcm)를 낮출 수 있기 때문에 대입열용접이 용이하고 예열 조건을 대폭 완화 할 수 있는 등 용접성이 매우 우수한 강재임. 또한, 인성이 매우 좋을 뿐만 아니라 항복비를 낮게 관리하기 때문에 높은 소성변형능력 확보가 가능하고, 판두께 방향 단면 수축율을 보증하므로 라멜라테어링(lamellar tearing)이 발생할 우려가 작다는 장점을 지니고 있음.

- 특히, 판두께가 증가하더라도 항복점의 변화가 없어 판두께 증가에 따른 허용응력 저감을 하지 않아도 되기 때문에 장대교량이나 소수주형교와 같이 판두께 40 mm 이상인 강재가 사용되는 교량 또는 건축물에 매우 유용한 강재라 할 수 있고, 실제로 유럽 및 일본 등에서는 TMC강재의 교량 및 건축물 적용이 일반화되어 있음.

□ HSA강재

HSA(High Performance Steel for Architecture) 강재는 TMCP로 제조된 인장강도 800 MPa급 초고강도 건축구조용 강재로써 단순한 재료강도 발현뿐만 아니라 100 mm 두께 수준의 극후판 적용 및 변형 성능 확보로 효과적인 구조시스템에 적용이 가능 강재

<그림 10> HSA800 적용 공법



<그림 11> HSA800 적용 효과

* 출처 : PSCO(product application center)

□ 국내 고성능 소재

○ 구조프레임 모듈화 제작을 위한 국내 제작이 가능한 고성능 소재 도출

<표 2> 국산 H-형상 고성능 소재 도출

구분	품명(제작)	인장강도(MPa)	항복강도(MPa)
H 형강	SHN400(현대제철)	400~510	235~355
	SM570TMC(POSCO)	570~720	440
	HSA800(POSCO)	800~950	650~770

○ SHN400, SM570TMC, HSA800강재에 대해 한국산업표준(KS)에서는 규격을 규정하고 있음.

<표 3> 강재 규격 표기

구 분	규격(Standard)	명칭(Designation)
SHN400(현대제철)	KS D 3866	건축구조용 열간압연 H형강
SM570TMC(POSCO)	KS D 3515	용접구조용 압연강재
HSA800(POSCO)	KS D 5994	건축구조용 고성능 압연강재

○ 고성능 소재 SHN400, SM570TMC, HSA800에 대한 기계적 특성 및 화학적 성분분석

<표 4> 주요 구조용 강재의 기계적 특성

구분	KS (Korean Industrial Standard)		
	고성능 소재		
	SHN400	SM570TMC	HSA800
인장강도(MPa)	400~510	570~720	850~950
항복강도(MPa)	235~355	440	650~770
탄성계수(GPa)	85	85	85
연신율 %	21	26	22

<표 5> 주요 구조용 강재 화학적 성분

강종	화학성분(%, Max.)									탄소 당량 Ceq (%,Max.)	Pcm (%,Max.)
	C	Si	Mn	P	S	비고					
						Cu	Ni	Cr	Mo		
SHN400	0.20	0.40	0.5~1.0	0.035	0.030	0.60	0.45	0.35	0.15	0.40	-
SM570 TMC	0.18	0.55	1.60	0.020	0.010	-	-	-	-	0.44	0.28
HSA800	0.20	0.55	3.0	0.015	0.006	-	-	-	-	0.60	0.30

- 탄소(C) : 항복점, 인장강도, 경도 증가(신율, 수축율, 연성 감소)
- 규소(Si) : 인장강도, 항복점 상승, 0.2~0.4% 정도에서 신율 및 수축율이 급격히 상승
- 망간(Mn) : 강의 강도를 개선, 충격특성에 영향, 압연성을 좋게 하고 취성을 감소시킴
- 인(P) : 내후성 향상, 용접성, 냉간 가공성, 충격특성을 저하시킴
- 황(S) : 1300℃이상 용해, 온도취성, 연신율, 강도, 충격치 저하 등 (0.05% 이하 규제)
- 화학적 성분에 따라 소재 특성이 변화함

○ CSA G40.21 260T～480T 에 대응하는 캐나다 구조용강 소재는 ASTM A36, A572이며, 인장강도 400~550 MPa 범위의 강도를 가지고 있음.
○ 이에 대응하는 국산 고성능 소재로 SHN400, SM570TMC, HSA800이 적합하고, 구조용 강재 인장강도 400～610 MPa 범위 이상의 강도를 가지고 있음.

□ 해외 구조용 강재 사용 사례 분석

프로젝트 사례를 통하여 국내 구조용 강재 규격 및 강도를 캐나다 강재규격과 비교 분석하여 모듈화 구조프레임 국산화를 위한 구조용 강재 표준화 도출

○ 오일샌드 플랜트 사용 강재

구분		Rush Lake Commercial Thermal Project	Kearl Oil Sands Project
소재	Structural Steel	ASTM A36(Hot-Rolled Sections as per JIS G3192)	300W, 350WT, Canada A572-42, A572-50, US
	Lifting Lugs	CSAG40.21, Grade G350WT, Category 4	

오일샌드 모듈화 플랜트의 주요 국가인 캐나다의 구조용 강재 규격(CSA : Canadian Standards Association)을 통하여 국산 소재의 타당성 제고

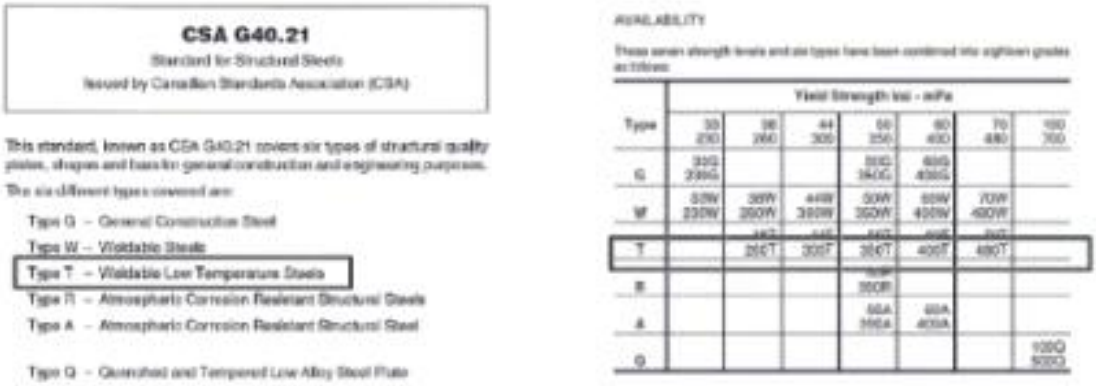
국내 규격 표기는 K.S(Korean Industrial Standard)를 사용하며, 해외 규격 표기는 ASTM(American Society for Testing Materials) 등을 사용함

국내 일반구조용 압연강재, 용접구용 압연강재 및 건축구조용 압연강재를 사용한 강재 표준화 분석 도출

○ 국가별 강재 규격 표기

구 분	기 호
KS (Korean Industrial Standard)	SS : 일반구조용 압연강재 SM : 용접구조용 압연강재 SN : 건축구조용 압연강재 400, 490, 540:인장강도 최소치, A,B: 충격치 Y : 항복강도 10 % 향상 A : 충격치 보증 없음 B:충격치 보증
JIS (Japanese Industrial Standard)	
ASTM (American Society for Testing Materials)	A36 : 구조용강 A572 : Nb-V 고장력강 A992 : 건축구조용강 G42, G50 : 인장강도
BS (British Standard)	BS4360 : 용접 구조용강 43, 50, 55 : 인장강도 최소치 A : 충격치 보증 없음, B : 충격치 보증
DIN (Deutsche Industrie Normen) EN (European Standards)	DIN 17100, EN 10025 : 구조용강 235, 275, 355 : 항복강도 최소치(N/mm2)

○ CSA G40.21 구조용 강에 관련한 표준으로 Type T를 사용하여야 할 것으로 사료됨



<그림 12> CSA G40.21 및 Type T의 항복강도

○ 구조물의 설계 시 Type T의 항복강도를 참고하여야 하며, Type T에서 제시된 260T～480T의 대응되는 ASTM 표준은 A36, A572로 확인함

○ ASTM A36

Plates, Shapes and Bars	인장강도 (MPa)	항복강도 (min, MPa)	탄성계수 (GPa)
	400～550	250	200

○ ASTM A572

Grade	인장강도 (MPa)	항복강도 (min, MPa)	탄성계수 (GPa)
45	-	-	-
50	450	345	190～210
55	485	380	190～210
60	415	520	190～210
70	-	-	-

5) 파이프렉 표준 구조프레임 모듈 제작상세설계 수행

□ 구조프레임 구조계산

1 DESIGN LOADS

1.1 Dead Load(DL)

1) Self Weight of Structure
2) Steel Platform
3) Piperack Minimum Load = 1.2 Kn/m2

1.2 Wind Load(WL)

1.2.1 Wind Load (KBC-2016)

- Wind force : $W_D = P_F \times A$ (KBC-2016 Formula 0305.2)

Where, P_F : Design Wind Pressure (N/m^2)

A : Projected area to wind direction

$P_F = kz \times q_H \times G_D \times C_D$ (N/m^2, KBC-2016 Formula 0305.2.5)

Where, q_H : Velocity pressure evaluated at height H from ground
= $1/2 \times \rho \times V_H 2$ (N/m^2)

V_H : Design velocity evaluated at height H from ground
= $Vo \times K_{zr} \times K_{zt} \times I_w$ (m/s)

ρ : air density (= 0.125 ($kgf\text{-}s^2/m^4$))

Vo : basic wind speed (= 34.0 m/s)

K_{zr} : Factor for height distribution (refer to Table 2)

K_{zt} : Factor for shape topography (=1.0 , 경사, 산 및 언덕의 영향이 없는 지역)

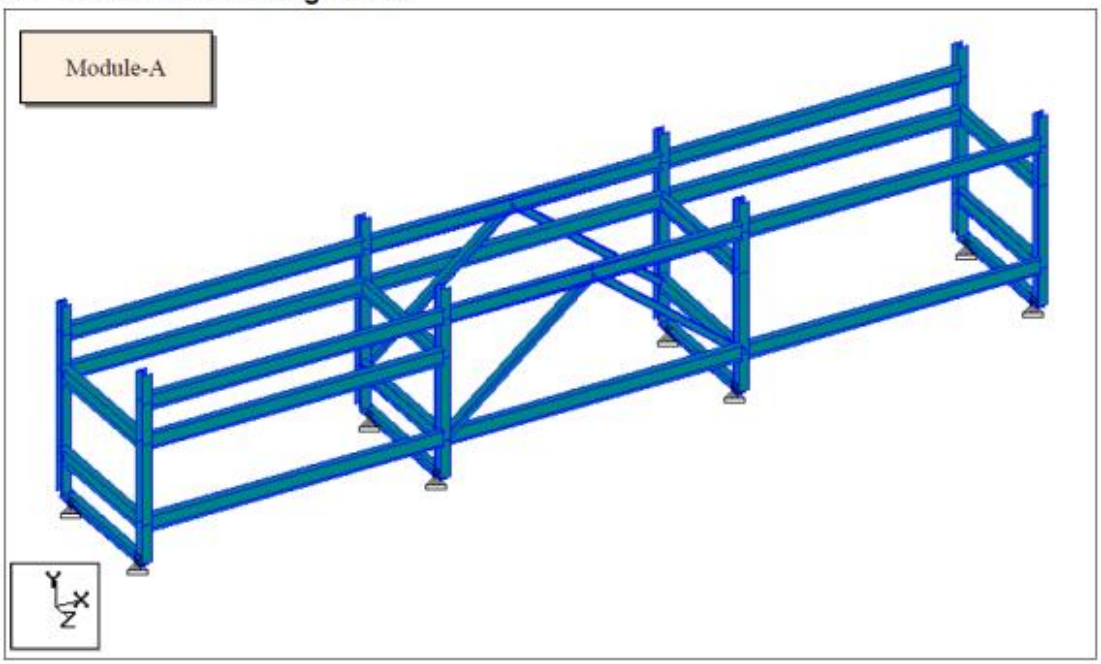
I_w : Importance Factor (=1.0, 연면적이 1천 제곱미터 이상인 위험물 저장 및 처리시설)

G_D : Gust factor (refer to KBC 0305.6)

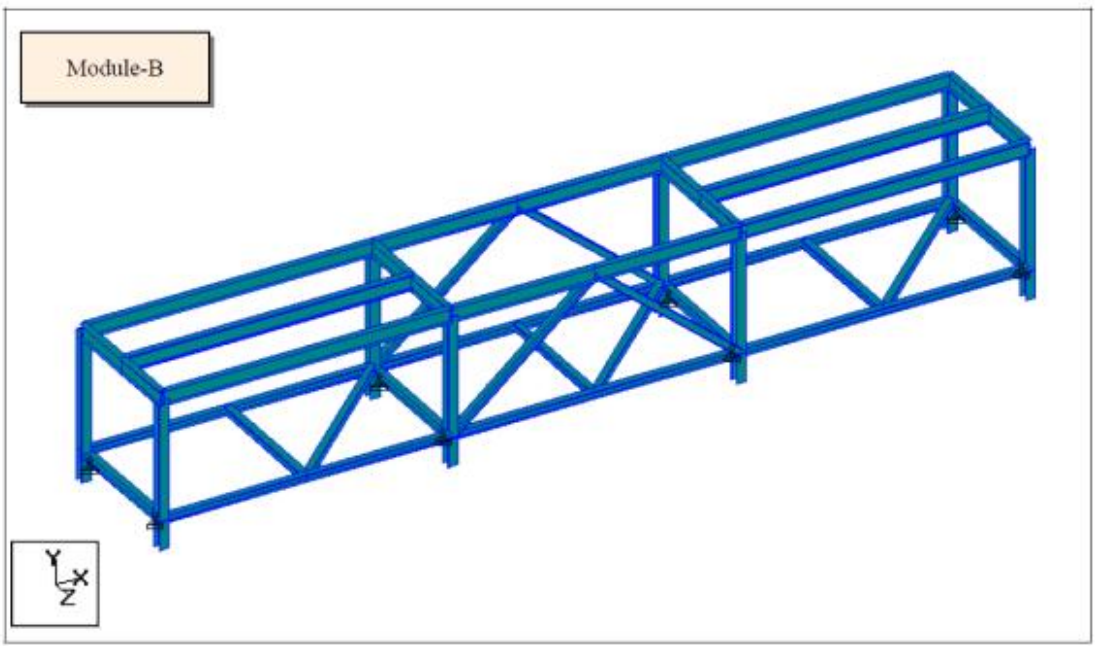
C_D : Shape Factors(refer to Table 1)

3 MODULE DESCRIPTION

3.1 Structural Framing Model



<Overall View>

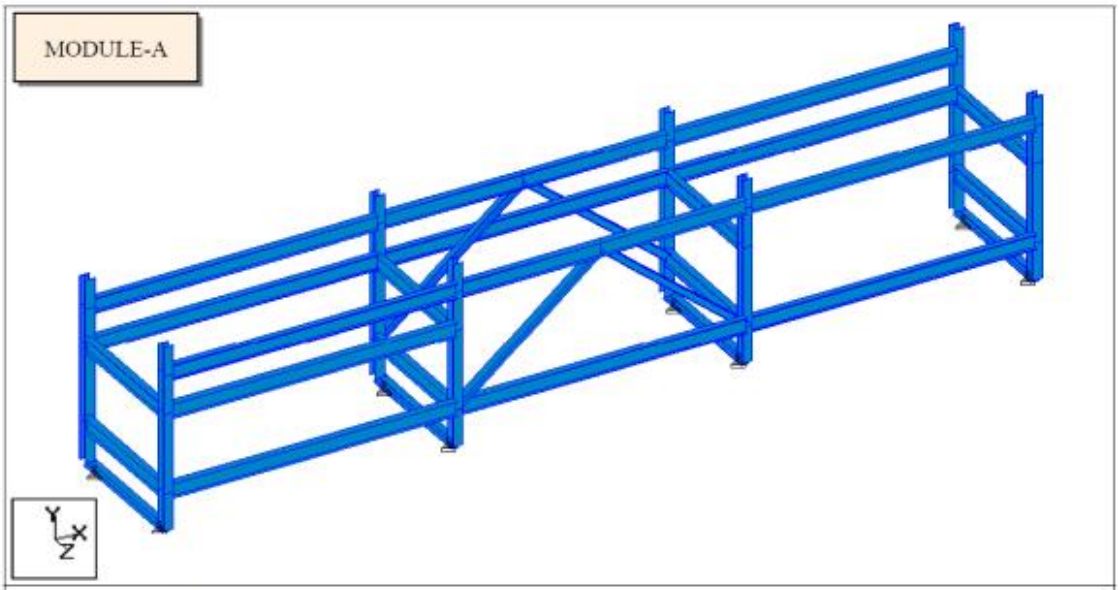


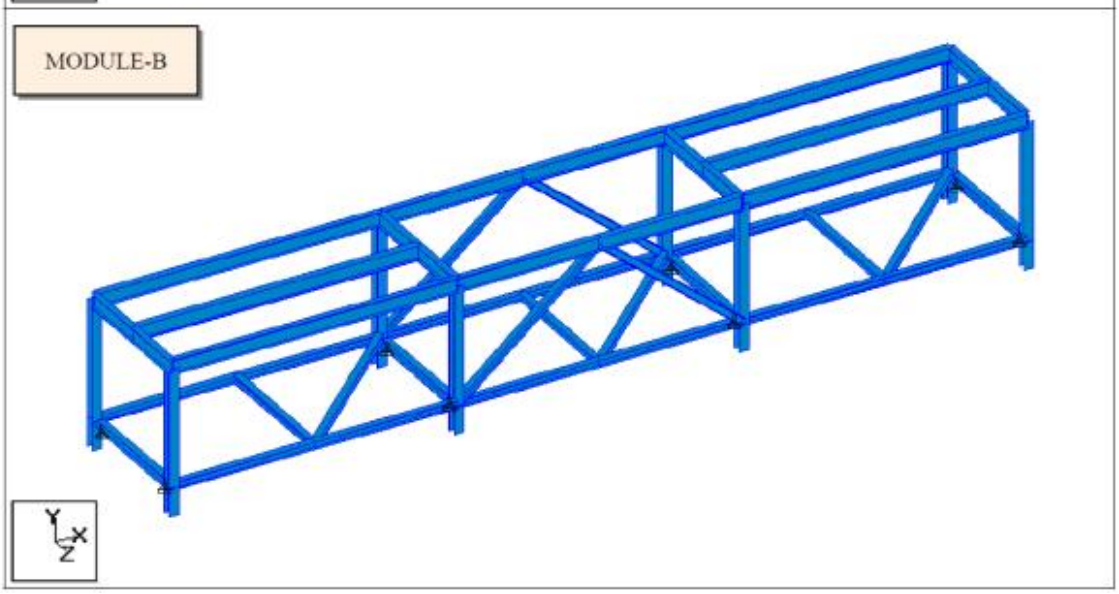
4 LAND TRANSPORTATION ANALYSIS

Modules shall be designed for loads imposed during transportation, dynamic effects are bellow. The environmental effect has not been considered for this factor.

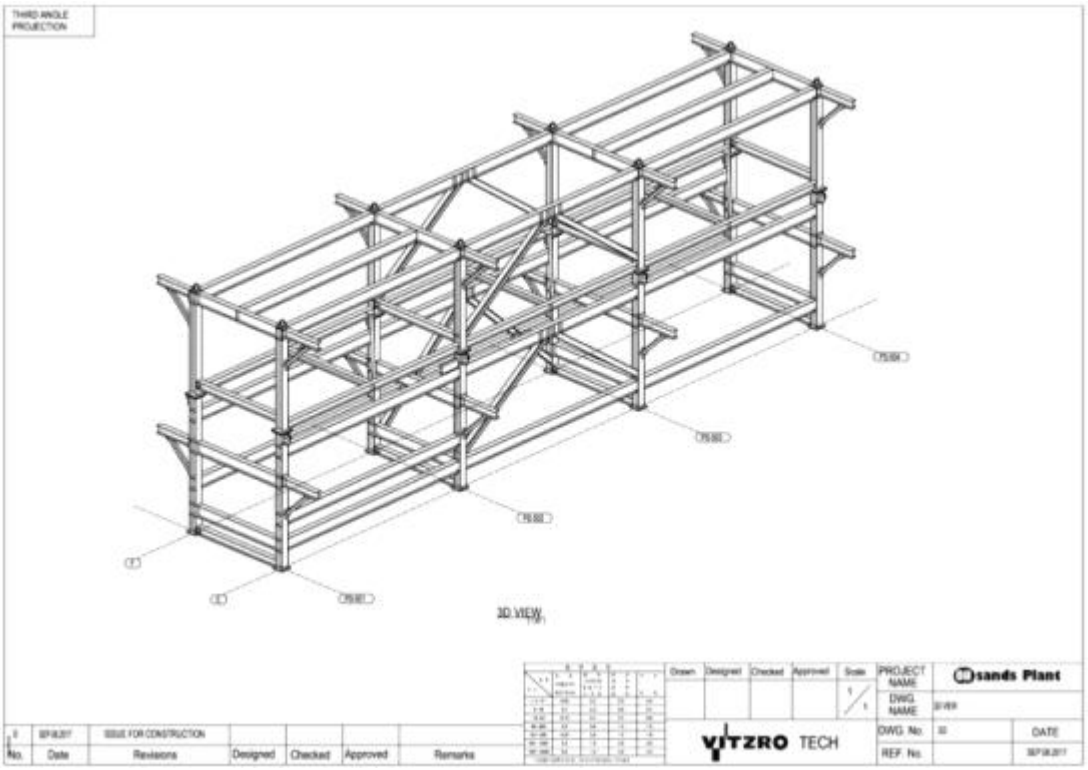
4.1 3D View & Boundary Condition

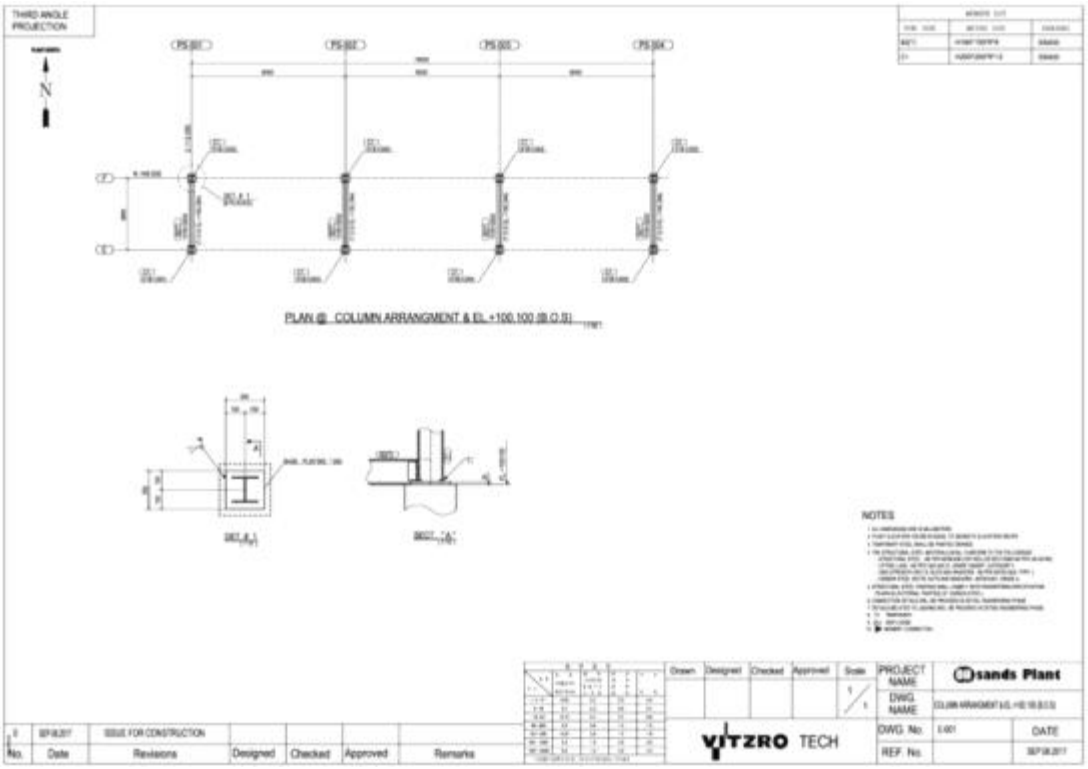
Item	Translation(△)			Rotation(θ)			Clause.
	X	Y	Z	X	Y	Z	
Boundary Condition	1	1	1	0	0	0	Fixed : 1, Free : 0

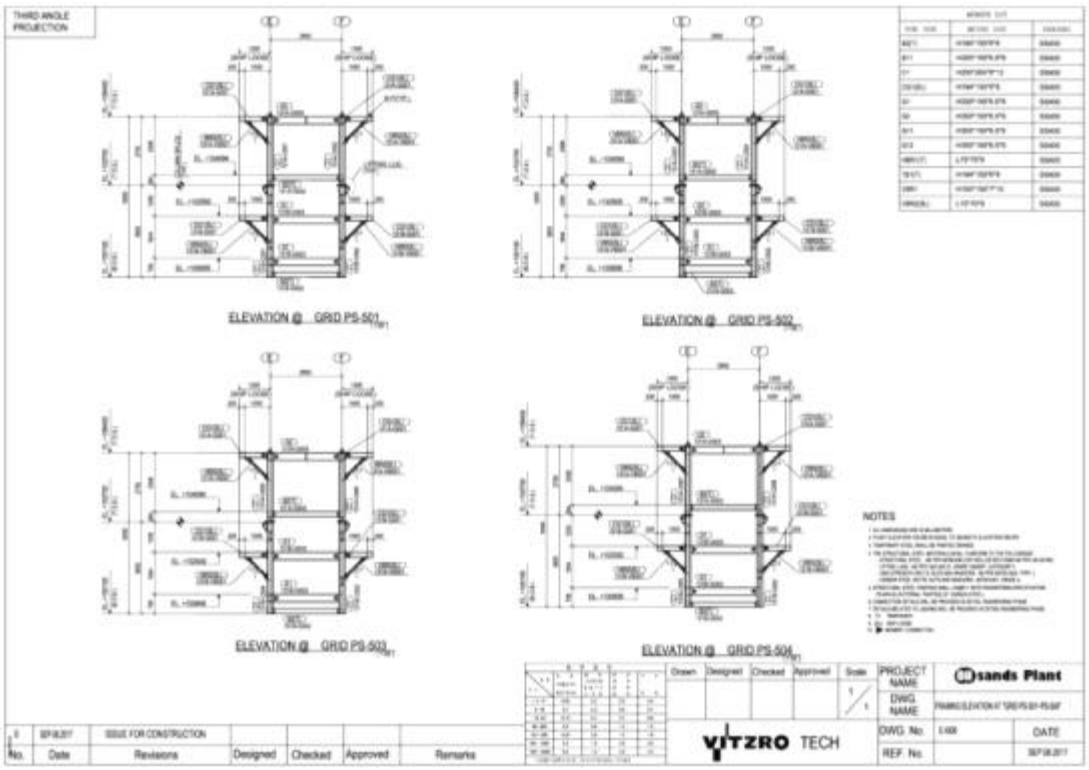


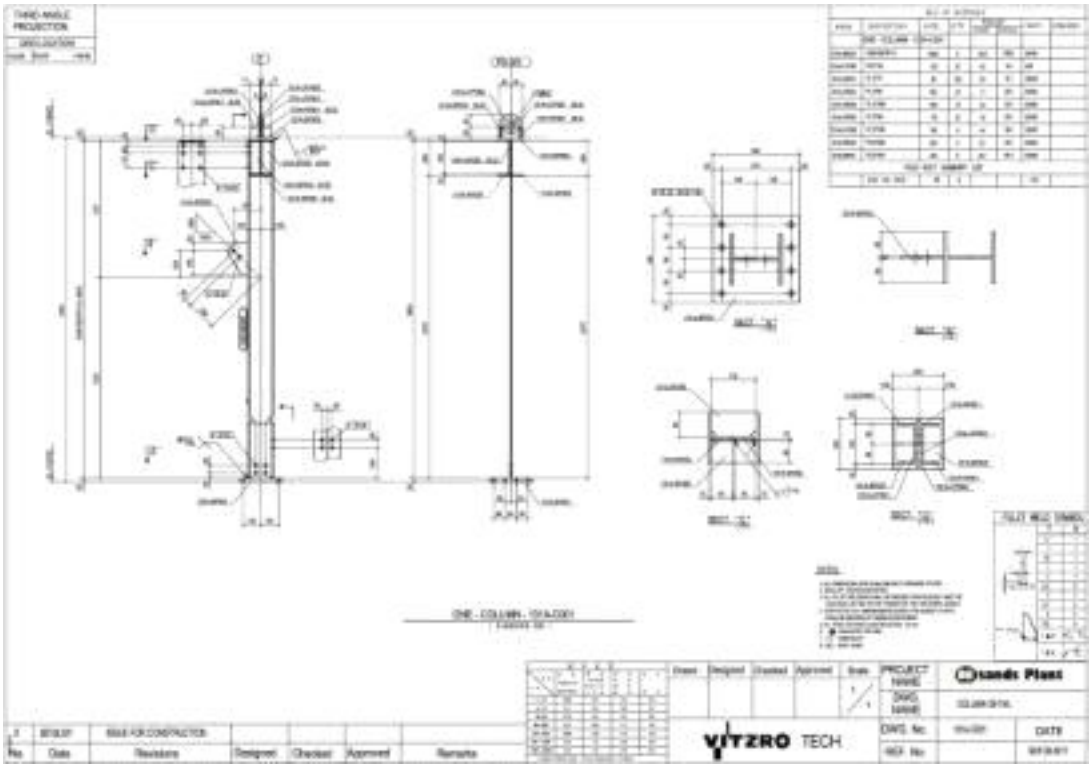


□ 구조프레임 제작상세도 도출






THIRD ANGLE PROJECTION
ELEVATION @ GRID PS-501
ELEVATION @ GRID PS-502
ELEVATION @ GRID PS-503
ELEVATION @ GRID PS-504
NOTES
Drawn
Designed
Checked
Approved
Scale
PROJECT NAME
sands Plant
DWG. NAME
DWG. No.
DATE
REF. No.
VITZRO TECH
No.
Date
Revisions
Designed
Checked
Approved
Remarks
ISSUE FOR CONSTRUCTION


THIRD ANGLE PROJECTION
ONE - COLUMN - TOTAL FORM
Drawn
Designed
Checked
Approved
Scale
PROJECT NAME
sands Plant
DWG. NAME
DWG. No.
DATE
REF. No.
VITZRO TECH
No.
Date
Revisions
Designed
Checked
Approved
Remarks
ISSUE FOR CONSTRUCTION

(2) SAGD 플랜트 표준인증(CWB, ABSA)

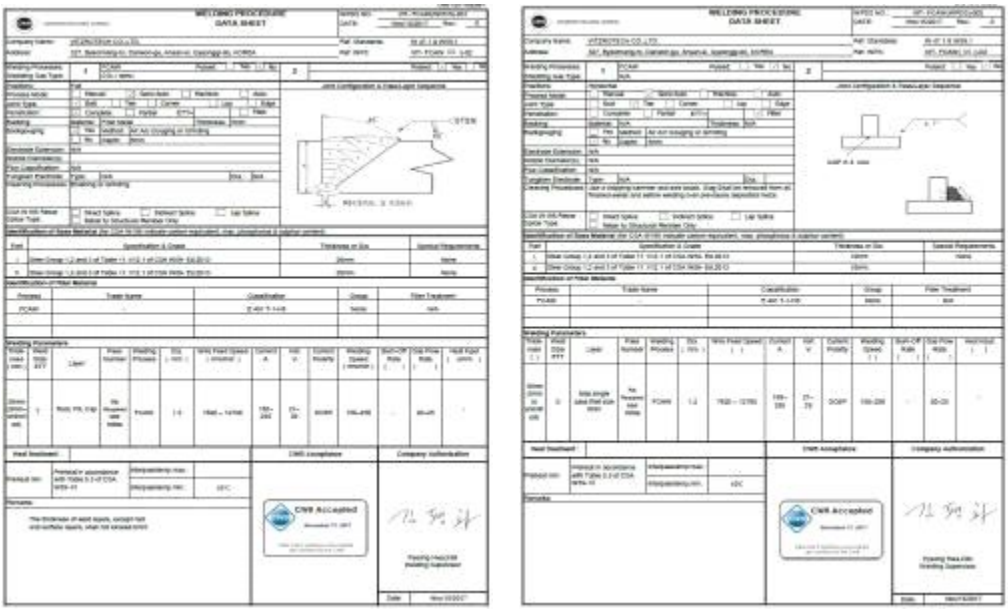
1) 개요

산업용 압력 관련 제품을 캐나다로 수출하기 위해서는 기본적으로 ASME 및 ASTM 등의 품질규격을 요구하고 있으며, 아울러 제작사는 용접에 관한 CWB(Canadian Welding Bureau) 등 인증을 필히 획득해야만 함. 압력 관련 제품의 경우 인증을 획득한 제품이더라도 향후 사고의 위험성을 대비하기 위해서 캐나다 주정부들은 각기 설정한 제품의 안전기준을 충족시킨 제품에 한해서만 판매 및 설치가 가능하게 각주의 법률로 채택하고 있음. 오일샌드 개발이 활발히 일어나고 있는 앨버타주로 수출하고자 할 경우, 우선 앨버타주의 안전관련 규제 및 인증절차에 대해 정확히 파악하는 것이 필수적이며, 아울러 앨버타주의 압력 관련 제품의 공인검사 및 안전관리기관인 ABSA(Alberta Boilers Safety Association)의 검사절차 및 제도에 대한 정확한 이해가 필요함.

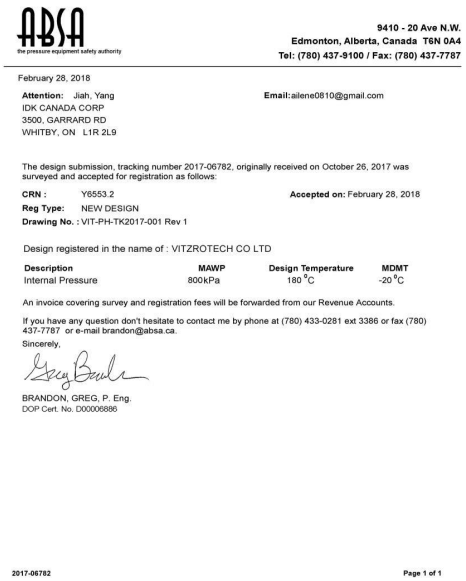
2) 캐나다 표준인증 수행

캐나다 오일샌드 플랜트 제작사로써 필요한 용접에 관한 인증인 CWB (Canadian Welding Bureau) 인증과 압력용기에 대한 안전 인증인 ABSA (Alberta Boilers Safety Association) 인증에 대한 절차를 수행하였음.

<그림 13> CWB(Canadian Welding Bureau) 인증서



<그림 14> CWB(Canadian Welding Bureau) WPDS 절차서



ABSA
the pressure equipment safety authority

9410 - 20 Ave N.W.
Edmonton, Alberta, Canada T6N 0A4
Tel: (780) 437-9100 / Fax: (780) 437-7787

February 28, 2018

Attention: Jiah, Yang
IDK CANADA CORP
3500, GARRARD RD
WHITBY, ON L1R 2L9

Email: ailene0810@gmail.com

The design submission, tracking number 2017-06782, originally received on October 26, 2017 was surveyed and accepted for registration as follows:

CRN : Y6553.2 **Accepted on:** February 28, 2018
Reg Type: NEW DESIGN
Drawing No. : VIT-PH-TK2017-001 Rev 1

Design registered in the name of : VITZROTECH CO LTD

Description	MAWP	Design Temperature	MDMT
Internal Pressure	800kPa	180 °C	-20 °C

An invoice covering survey and registration fees will be forwarded from our Revenue Accounts.

If you have any question don't hesitate to contact me by phone at (780) 433-0281 ext 3386 or fax (780) 437-7787 or e-mail brandon@absa.ca.

Sincerely,

BRANDON, GREG, P. Eng.
DOP Cert. No. D00006886

2017-06782 Page 1 of 1

<그림 15> 압력용기 ABSA(Alberta Boilers Safety Association) 인증

3) 사업화 추진에 따른 캐나다 국제인증 확보 계획

□ 캐나다의 제품규제 및 CSA 인증 분석

캐나다는 모든 주에서 안전성과 관련된 제품에 대해 CSA 안전시험을 받도록 규정하고 있으며, 이러한 제품들이 CSA인증을 받지 않거나 주 검사 당국의 승인시험을 받지 않고 판매되는 경우 법률에 의하여 전시, 선전, 판매, 사용 등이 금지되며 수입품의 경우에는 국외로 강제철수를 당할 수도 있음. 이에 캐나다는 제품의 요구사항을 만족시키는 방법으로 민간 기관인 CSA인증을 받는 경우와 정부기관인 주 검사당국의 검사 승인을 받는 두가지 방법이 있는데 둘 중 하나를 선택하여야 함.

주 검사당국의 승인을 받는 경우(ABSA) 승인에 대한 효력 범위가 관련 주로 한정되고, 캐나다에 도착 완료된 제품에 한하여 신청을 받고 검사를 하며 해당 Lot에 대해서만 승인을 받을 수 있음.

캐나다 인증을 받는 경우(CSA) 캐나다 각 주는 물론 전역에 걸쳐 효력이 발생되며, 형식승인제도로 되어 있어 인증 받은 제품이나 시스템은 발간 및 공표하도록 되어 있음

이에 주 검사당국의 검사를 받고 수출하는 것 보다는 CSA인증을 받고 수출하는 것이 유리하며, 또한 주 검사당국으로의 검사신청은 외국에서는 불가능하고 현지의 수입업자를 통해서만 가능함.

□ 캐나다의 인증 기관 분석

○ 캐나다 표준 협회(CSA)

기관명	캐나다 표준 협회 Canadian Standard Association(CSA)
현황	○ 표준작성 : CSA 표준은 9개 종류로 분류하여 관리됨 ○ 품질보증서비스 : 품질관리에 관한 국제 표준의 개발에 주도적 입장에서 참여하고 있으며 ISO9000에 의한 품질 등록 서비스를 북미에서 최초로 시작 ○ 기술정보서비스 : CSA의 기술전문가는 제품의 개발단계에서 관련 표준의 해석과 적용에 대한 지원을 담당
역할	○ 캐나다 국민 및 정부·산업계의 이익 증진을 주 목적으로 제품이나 시스템에 대한 인증서비스를 진행함

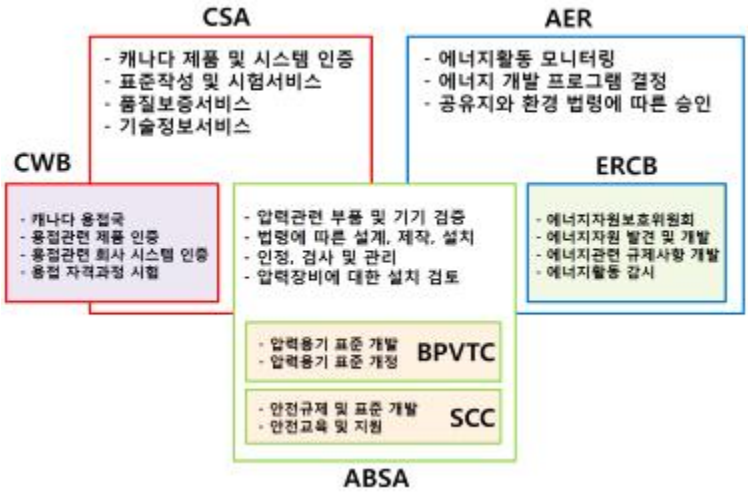
○ 캐나다 용접국(CWB)

기관명	캐나다 용접국 Canadian Welding Bureau(CWB)
현황	○ CWB는 CSA W47.1, CSA W47.2, CSA W55.3, CSA W186, CSA W178.1, CSA W178.2 및 CSA W48과 같은 표준에 대한 요구사항을 충족하는지 확인하기 위해 자격과정을 통하여 회사, 검사기관에 대한 인증을 진행하고 있음
역할	○ CWB의 목적은 국가 건물 코드 및 업체의 특정 문서에 포함된 캐나다의 용접 표준을 관리하며 CWB는 캐나다에서 사용하기 위한 제품뿐만 아니라 용접기 및 용접에 관련된 제품을 만드는 용접 회사를 인증하는 업무를 하고 있음

○ 앨버타 보일러 안전 협회(ABSA)

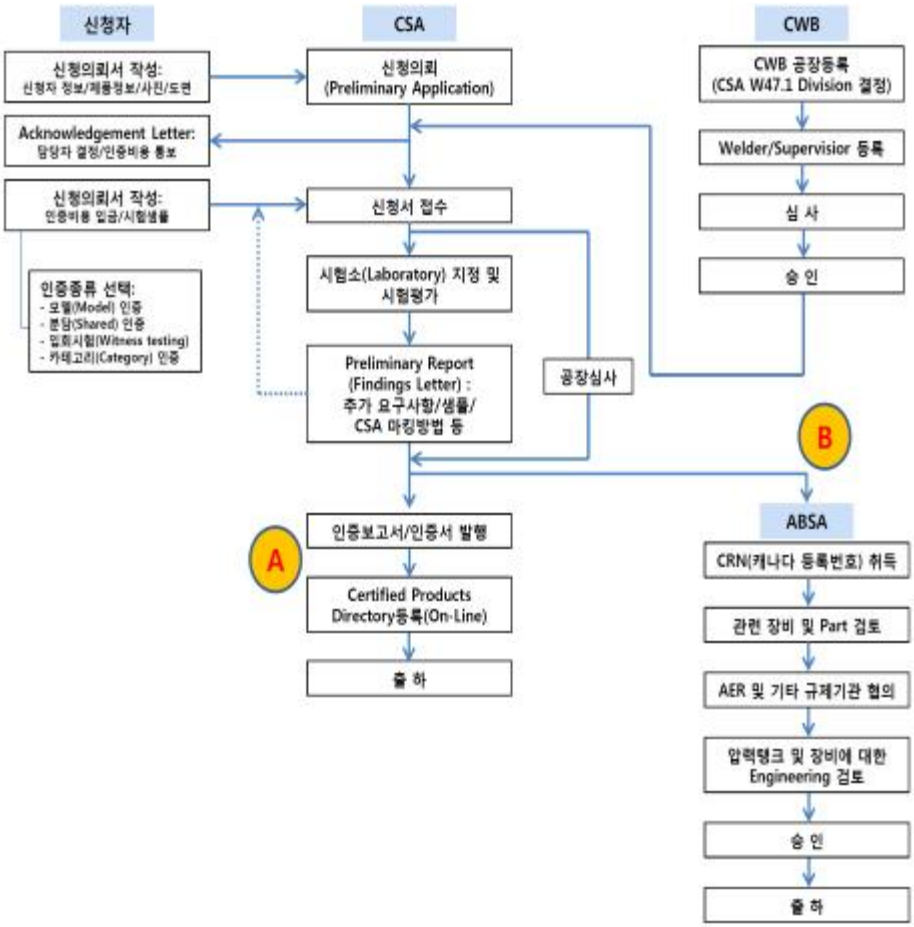
기관명	앨버타 보일러 안전 협회 Alberta Boilers Safety Association(ABSA)
현황	○ 앨버타 주의 압력 장비에 대한 안전기관으로 ABSA는 안전 코드 법령에 따라 앨버타 주의 압력 장비의 안전 프로그램을 관리하며 법령에 따라 안전 규제 권한이 있음
역할	○ 압력 장비 설계 검토, 승인 및 등록 ○ 압력 장비에 대한 설치 절차 검토 ○ 압력 장비가 현지에 적용되기 전에 압력 장비에 대한 검사 허가 증명서 발급 ○ 앨버타 주의 사용 등록 또는 제조 된 압력 장비 유지 기록 ○ 검사, 인증 및 압력 장비 관련 용접기 및 용접 심사관 등록 ○ 검사 설비 및 검사 관련 인증 및 등록 ○ 사고나 가압 장치를 포함하는 안전 조건 조사 ○ 품질 관리 시스템을 통해 인증 및 모니터링이 허용 된 조직은 규정에 따라 일부 활동을 수행하는 안전 교육 및 훈련 실시
활동	○ 안전 규제 및 표준 개발 : 공공의 안전 문제가 해결되었는지 확인하고 사용하지 않는 기술 및 관련 기술 변화를 수용하기 위해 ABSA는 입법, 정책, 지침 및 절차의 개발에 참여 ○ 안전교육 및 지원 : 사고 예방을 위해 설계, 제작, 설치 검사, 수리 및 압력 장비를 작동하는 인력의 교육과 훈련을 통해 안전 문제에 대한 대중의 인식 증진
기타	○ 압력 설비, 발전소, 가열 설비의 안전 작동에 대한 법적인 요구 사항 지원 및 인력 검증 ○ 인증 및 역량 구축을 유기하기 위해 인증 기업에 대한 규제 준수 및 압력장비 확인 ○ CSA, ASME 및 기타 관련 코드 및 표준에 따라 새로운 압력장비 설계, 수리 및 기존 압력 장비 변경에 대한 계획, 설계검토 및 등록 ○ 새로운 장비의 검사는 등록 된 디자인, 모든 해당 코드, 기준, 법적 요구 사항 및 품질관리절차 준수 확인

□ 인증관련 주요 기관 관계



<그림 16> 오일샌드 인증관련 관계기관 분석

□ CSA, ABSA, CWB 인증 및 관계 분석



신청시 요구되는 서류

1. 브로셔와 제품에 관한 데이터(제품 종류, 사용 목적)
2. 제품의 사진
3. 제조자명, 모델 또는 카달로그 기호를 포함하는 제품의 부품/목록
4. 다른 인증사항, 승인과정중인 인증의 종류
5. 제품 제작에 사용될 수 있는 대체 가능한 재료 또는 부품
6. 인증에 의해 표시될 모델 또는 카달로그 번호와 모델간 유사점/차이점
7. 제조 공장명, 주소 및 연락처

<그림 17> CSA인증 절차(ABSA 교차승인)

□ 사업화 추진에 따른 캐나다 표준인증 확보계획

CSA 및 ABSA 인증에 대한 개요, 대상품목, 적용표준, 인증절차 등에 대해 조사했으며 CSA 인증절차는 CWB 공장등록절차 승인 후 CSA 자체 승인절차를 따르는 방법 또는 ABSA 교차승인이 되는 과정 중에서 선택이 가능함. ABSA 인증절차는 CWB 공장등록절차 승인 후 자체 승인 프로세스를 통해 승인을 취득할 수 있음. CWB 공장 승인등록 절차는 Welding Engineer 및 Welding Supervisors 등록 자격을 갖춘 뒤 공장승인 신청, 공장 평가 실시, 승인 및 출하의 절차를 따름.

캐나다의 제품의 요구사항을 만족시키는 방법으로는 민간 기관인 CSA인증을 받는 경우 또는 정부기관인 주 검사당국의 검사 승인을 받는 두가지 방법중 하나를 선택하여야 함. CSA인증을 받을 경우는 캐나다 전역에 효력이 인정되고, 주 검사당국의 승인을 받는 경우는 해당 주로 한정되기 때문에 CSA인증을 받고 수출하는 것이 유리함.

CSA 인증절차는 CWB 공장등록절차 승인 후 CSA 자체 승인절차를 따르는 방법 또는 ABSA 교차승인이 되는 과정 중에서 선택이 가능함. ABSA 인증절차는 CWB 공장등록절차 승인 후 자체 승인 프로세스를 통해 승인을 취득할 수 있음. CWB 공장 승인등록 절차는 Welding Engineer 및 Welding Supervisors 등록 자격을 갖춘 뒤 공장승인 신청, 공장 평가 실시, 승인 및 출하의 절차를 따름.

산업용 압력 관련 제품을 캐나다로 수출하기 위해서는 기본적으로 ASME 및 ASTM 등의 품질규격을 요구하고 있으며, 아울러 인증을 필히 획득해야 함.

캐나다 플랜트 수출을 위한 CSA와 ABSA 인증 신청시 구비서류 및 공장등록 요건 등의 충분한 사전조사를 통해 시간과 비용을 절감할 필요가 있음.

(3) 기능모듈 손상요인 및 위험성 분석

1) 부식배관 및 침식 신뢰도 평가

○ 신뢰도 기반 평가 절차

신뢰성에 관계된 한계상태를 정의한 다음 한계상태 함수를 개발함. 한계상태 함수에 사용되는 변수의 확률론적인 모델을 실제 통계데이터, 이론적 모델, 엔지니어링 판단에 근거하여 개발함. 다음단계는 설계와 운전에 적용되는 모든 인수, 즉 재료물성, 설계인자, 방식특성 등을 정의하는 단계임. 그 다음 주어진 한계상태함수로부터 신뢰도를 계산한 후 마지막으로 계산된 신뢰도가 허용가능 수준인지를 판단하고 이를 만족하지 못할 경우 만족 될 때까지 설계 및 운전 인자를 변경하여 신뢰도 계산을 반복함.

○ 한계상태 함수

한계상태 (G)는 하중(S)와 저항(R)의 함수임. 이 들 변수는 통계적으로 독립적이라고 가정됨. 일반 적인 한계상태 함수는 다음 식으로 표현됨.

$$G = R - S \tag{5}$$

불확실성 분석을 통해 하중(S)와 저항(R)의 분포 함수를 설정하게 되면, 실패확률(Failure probability = 1- Reliability)산 될 수 있음.

$$p_f = G(R < S) \tag{6}$$

여기서 실패 (Failure)는 G<0일 때 발생하며, 저항 이 하중을 견디지 못하는 상황($R < S$)으로 표현될 수 있음. 배관의 누출 시나리오는 통상 소누출, 대누출, 파단으로 구분되며, 본 고에서는 소누출과 대 누출 시나리오만 사례연구를 위해 적용하였음. 소누출에 대한 한계상태는 부식깊이가 두께를 초과했을 때 발생하며, 다음 식으로 표현됨.

$$z_1 = t - d_{\max} \tag{7}$$

여기서 t=배관두께, 강max 는 최대부식 깊이임. 대누출 시나리오는 부식결함이 존재하는 배관의 파열압력과 운전압력이 초과되는 한계상황에 발생 하며, 다음 식으로 표현됨.

$$z_2 = p_{burst} - p_{op} \tag{8}$$

○ 입력변수

개별 부식결함은 매설기간(Life time)동안 일정한 부식속도를 가진다는 것임.

$$d(T) = d_0 + V_r(T - T_0) \tag{9}$$

$$l(T) = l_0 + V_a(T - T_0) \tag{10}$$

여기서 $d(T)$는 시간결과에 따른 원심방향(Radial) 부식깊이, V_r는 원심방향 부식속도, V_a는 축 방향 부식속도, d_0, l_0는 마지막 검사가 이루어진 시점(T_0)에서의 부식결함 깊이와 길이임. 한편, 각 각의 부식결함은 다른 부식속도를 가짐. 부식결함의 가진 배

관의 잔존강도를 예측하는 방법은 전술한 바와 같이 다양한 판별식이 개발되어 있음. 본 연구에서는 다음 식을 사용하였음.

$$P_{burst} = \frac{2.3t}{D}\sigma_{yield}[\frac{1-h_{avg}/t}{1-h_{avg}/Mt}] \quad (11)$$

여기서, P_{burst}=잔존강도, t=배관두께, D=관경, σ_{yield}=최소 항복응력, h_{avg}=평균 결함깊이 임. 평균 부식결함 깊이는 최대 부식결함 깊이 (dmax)의 1/2로 가정하였음.

○ 신뢰도 계산방법

신뢰도(또는 손상확률)을 계산하는 방법은 크게 근사해석법(Approximate analytical method), Monte Carlo simulation, 근접 신뢰도법(Nested reliability method) 3가지로 대별될 수 있음. Monte Carlo simulation법은 해석적 해가 존재하지 않거나 비연속적 함수에 대해서는 수치적 근사를 할 수 있어 널리 사용되고 있으나 정밀도를 높이기 위해 샘플링 수를 늘리 게 되면 계산시간이 증가한다는 단점이 있음. Monte Carlo법 적용을 위해 무작위 변량(Random variate)을 샘플링하는 방법 중 가장 널리 사용되는 방법은 역변환법으로서 분포의 누적 분포함수의 역함수로 부터 변량을 구하는 방법임.

전통적 Crude Monte Carlo(CMC) 방법은 고장 확률(Failure probability)을 계산하기 위한 방법으로 시뮬레이션에 기반 한 방법임. 고장 확률은 “하중”과 “저항” 분포의 무작위 샘플의 쌍을 비교함에 의해 얻어지며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같음.

$$\hat{p}_f = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} I[G(R_i < S_i)] \quad (12)$$

○ Separable Monte Carlo 법 제안

“하중”과 “저항” 사이에 상호 의존성이 없다면 변량을 샘플링할 때 동시에 샘플링을 수행할 필요 없이 각각 독립적으로 샘플링을 수행하더라도 상호 의존성에 따른 오차를 유발하지 않음. 이런 경우 Separable Monte Carlo(SMC) 시뮬레이션을 적용할 수 있음.

2) 파일럿 현장 유증기 위험성 분석

오일샌드 모듈화 플랜트 파일럿 현장은 Process fluid로 중질유를 사용함. 따라서 중질유 누출에 따른 증기운 형성 가능성을 배재할 수 없고, 이로 인한 화재 및 폭발사고에 대비하여야 함. 이를 위해 한국가스안전공사는 화재폭발분야 전문가를 통한 선제적 조치 및 피해확산 방지대책에 대한 평가를 실시하였음.

○ 위험성 분석절차

1. (서류검토) 파일럿 테스트 베드 설계-준공도서 검토
2. (기준검토) 위험물안전관리법(제4석유류), NFPA, IEC 등 국내외 유류취급설비 관련 법령
3. (현장평가) 파일럿 현장 방문 및 운영실태 조사를 통한 관련 법령 및 기준 적합성 검토

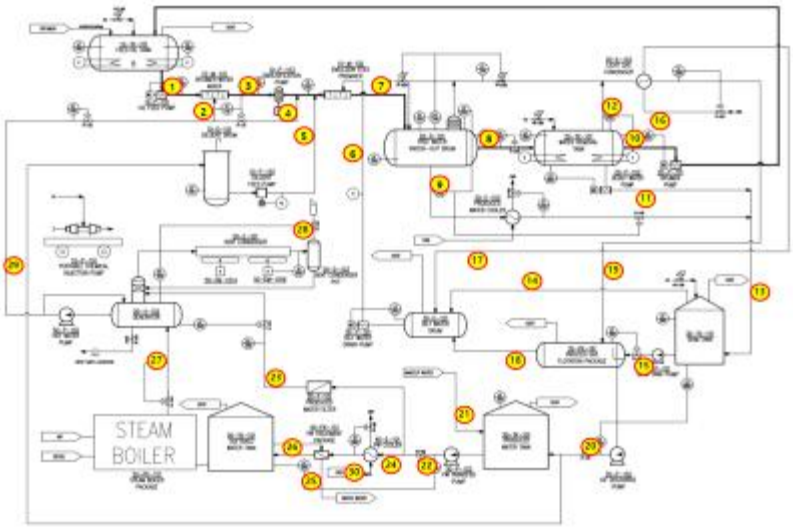
- 작업자 안전관리 수칙 준수 여부
- 운전 및 유지관리 이력 검토 및 모니터링 여부 확인

○ 검토인원 : 총 3명
- 한국가스안전공사 : 김광석 차장(위험물기능사 자격보유)
- 세부주관 : 송영규 차장(비츠로넥스텍)
- 전 문 가 : 최현호 기술위원장(한국화재감식학회, 미국화재조사관 자격보유)

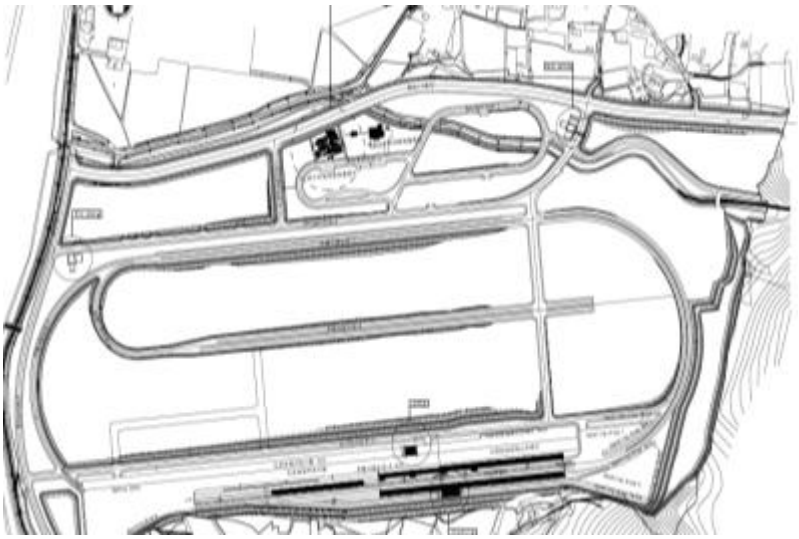
<그림 18> 파일럿 현장 유증기 위험성 평가(경기도 연천군)

□ 서류검토

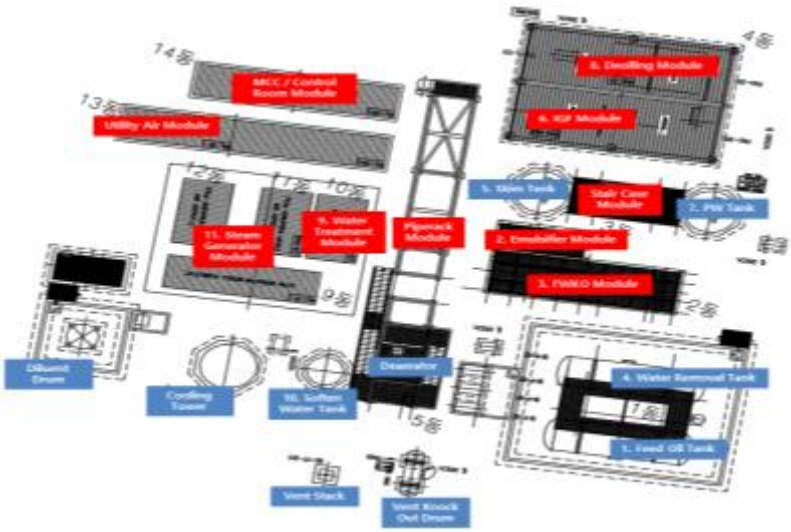
○ 파일럿 플랜트 설계도면(전체 공정도)



○ 파일럿 플랜트 단지 내 배치도



○ 파일럿 플랜트 설비 배치도



○ 파일럿 플랜트 운전온도 계산서

항목	단위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
물질명	-	Oil	H. Water	Oil + W	H. Water	Diluent	P.Water	Oil + W	Oil	P.Water	Oil
용량	kg/hr	1,549	1,004	2,553	2,821	235	549	5,958	2,150	3,808	1,929
온도	℃	40	64	54	64	25	40	60	60	60	40
비열	kcal/kg.℃	0.47	1.00	0.68	1.00	1.00	1.00	0.86	0.52	1.00	0.47
열량	kcal/hr	29,121	64,210	93,332	180,469	5,864	13,975	293,640	46,505	228,459	36,265
압력	kg/cm2.g	7.00	9.00	7.00	9.00	0.51	0.00	7.00	6.63	6.63	0.00
항목	단위	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
물질명	-	Oily Water	Vapor	P.Water	P.Water	P.Water	Water	Light Gas	Oily Water	Light Gas	Water
용량	kg/hr	151	70	3,959	215	3,744	93	93	267	70	3,477
온도	℃	40	60	40	40	40	25	40	40	40	40
비열	kcal/kg.℃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
열량	kcal/hr	6,040	4,200	158,346	8,600	149,746	2,333	3,733	10,667	2,800	139,079
압력	kg/cm2.g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
항목	단위	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
물질명	-	M.Water	P.Water	P.Water	P.Water	W.Water	S.Water	Vapor	Vapor	H. Water	C.Water
용량	kg/hr	204	3,681	3,338	343	30	313	1,449	1,304	3,825	110
온도	℃	25	38	38	38	30	30	151	100	64	25
비열	kcal/kg.℃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	656.1	638.8	1.00	1.00
열량	kcal/hr	5,093	139,866	126,831	13,035	889	9,402	950,843	832,965	244,679	2,744
압력	kg/cm2.g	3.08	7.10	7.10	7.10	0.00	0.10	5.10	0.00	9.00	0.00

○ 현장실사

[외부전문가(미국화재폭발조사관) 파일럿 플랜트 점검 사진]

관련사진	점검의견
	▪ 파일럿 플랜트 주변 보호시설 없음 ▪ Feed Oil Tank : 32,000 L - 지정수량의 16배 ▪ 공지 확보 5 m 이상

관련사진	점검의견
	▪ Feed Oil Tank pump motor 방폭 성능 적합 - Ex d IIB T4 Gb ▪ 공지 확보 5 m 이상
	▪ Feed Oil Tank 및 Water Removal Tank : 적합 - 인입/토출 배관, 밸브의 방향 표기, 비상시 펌프 공급방향과 밸브의 개방/폐쇄 상태 육안 확인 표시 등이 누락되었으나, 특수 목적의 파일럿 플랜트임을 고려할 때 허용 가능
	▪ FWKO 모듈 및 Safety Valve - 안전밸브의 기능 정상 - 일반적인 플랜트에서 안전밸브 토출관을 Vent Stack/Drum*에 연결하나, 배출량이 작아 관내 누적 위험이 있어 미실시한 것으로 파악 * 참고 : 내압상승으로 방출된 유증기 중 낮은 인화점 물질이 하계 복사열로 점화 가능성
	▪ 4동 IGF Module & Deoiling Module : 적합 ▪ 방폭등급 외함체 T설치 양호

관련사진	점검의견
	▪ 4동 IGF Module & Deoiling Module / Fire Alarm & Electric Panel : 적합 ▪ 방폭등급 외함체 T설치 양호.
	▪ 5동 Deaerator ● 점검의견 : 스팀, 원유 혼합 안전방출부의 유증기 또는 원유가 대기로 방출된 흔적 발견. 드레인 배관을 통해 Vent Stack으로 처리 또는 집유통 설치로 해결 가능
	▪ 12동 Steam Generation Module ● 점검의견 : (부적합) 임시 가설된 전선 및 콘센트/공압호스 조치 필요

□ 종합의견

○ Process fluid로 중질유를 사용하였으며, Feed Oil Tank 내용적은 약 32,000 L로 지정 수량의 16배에 해당함.

○ 옥외저장탱크 주변에 방유둑과 집유소를 설치하였으며, 관련 법령에 따라 공지 5 m 이상을 확보하였고, 오일저장탱크임을 표기하였음.

○ 연구를 위한 파일럿 시설이며, 참여연구원 내 위험물 취급관련 자격증 소지자(한국가스안전공사 김광석 차장 등) 확인.

○ 안전밸브 작동으로 물+중질유 에멀전이 분산된 지역(FWKO, Deaerator)을 기준으로 기자재 방폭 성능 여부를 점검한 결과. 일부 모터 등이 기준에 부합하지 않았음.

○ 통상적으로 안전밸브 토출구를 vent stack까지 연장하나, 해당 연구시설의 경우 실제 사용하는 중질유의 양과 vent stack까지의 드레인 배관 길이 등을 고려할 때 벤트량이 작아 배관 내 중질유 등이 체류할 수 있어 현장 방출 방식을 선택한 것으로 판단됨.

○ 압력 상승 시 안전밸브를 통해 직접 대기 방출시키는 대신 드레인 배관을 통해 집유소로 유도하는 방식을 제안함. 이로부터 토출되는 가연성 에멀전의 부지 내 확산을 방지할 수 있음.

○ 유증기 발생 위험이 가장 높은 옥내 설치된 IGF 및 Deoiling Module을 중점적으로 검토한 결과 적합한 방폭등급의 전등기구와 외함, 화재경보 시스템 등 구비. Deoiling Module에는 해당 시설에 적합한 Ex d IIB T4 Gb 등급의 방폭형 모터 사용됨.

(4) 기능모듈 운송 고려사항

1) 국내 모듈 육상운송을 위한 인허가 고려 사항

(가) 관련 법규
- 도로법 제77조 도로법시행령 제79조 도로법시행규칙 제40조, 국토교통부훈령(차량의 운행제한 규정) 제5조~제10조에 따라 중량물(변압기)의 안전한 운송을 위한 제한차량 운행허가 및 이에 따른 설계, 보강공사

(나) 운행허가 계획수립
- 허가 신청 경로 설계
- 우회도로 지정·활용계획 수립
- 휴차지·임시 정차지 지정·활용 계획 수립
- 도로·구조·시설 통과 계획 수립
- 지원차량 운용 계획 수립
- 도로구조 안전성 확보 계획 수립

(다) 운행허가 신청
- 제한차량 운행허가 신청서
- 차량검사증(또는 차량등록증)
- 차량중량표
- 구조물 통과 하중계산서
- 구조물 보강공사 설계도면
- 허가차량 운행 계획서
- 허가차량 운행 적정성 검토서
- 허가 신청 경로(우회도로 포함) 및 경로 상 휴차지·임시 정차지, 도로구조·시설 등의 위치가 표시된 5만분의 1 이상의 지형도 등

(라) 특별허가 신청시 필요 서류
- 허가차량 운행 계획서
- 도로구조·시설·교통 안전성 확보 계획서
- 비상대처계획서
- 허가차량 운행 적정성 검토서
- 허가 신청 경로(우회도로 포함) 및 경로 상 휴차지·임시 정차지, 도로구조·시설 등의 위치가 표시된 5만분의 1 이상의 지형도
- 도로구조의 안전성 확보를 위한 도로구조 성능 개선, 가도·가교 설치, 도로 굴착 등의 공사 구간의 위치(공사로 인한 교통 통제 등이 필요한 경우 해당 위치 포함)가 표시된 5만분의 1 이상의 지형도
- 도로시설의 안전성 확보 조치가 필요한 도로시설, 가공선로 등의 위치가 표시된 5만분의 1 이상의 지형도
- 도로교통의 안전성 확보를 위한 교통 통제 구간 및 유도·안내시설 설치 위치가 표시된 5만분의 1 이상의 지형도

2) 사전 조치

사전 조치는 도로관리청이 운행허가 심사를 통해 도로구조・시설・교통 안전성 확보 계획, 비상대처계획 등을 최종 확정하고, 도로구조・시설・교통의 안전성, 차량 주행 안전성, 구조물통과하중계산서 검토 결과의 유효성, 기존(도로구조 성능 개선 전, 허가차량 운행 전) 도로구조의 성능 및 도로포장의 상태 등을 확인하고, 사전 조치의 착수를 승인한 경우에 실시함.

(가) 도로구조 안전성 확보 조치

- 도로구조 안전성 확보 계획의 도로구조 성능 개선 계획에 의거하여 도로구조에 대한 보수·보강 등의 공사 수행
- 도로구조 안전성 확보 계획의 가도·가교 설치·제거 계획에 의거하여 관할 도로관리청 감독 하에 설치 공사 수행
- 도로구조 안전성 확보 계획의 도로 굴착·원상 복구 계획에 의거하여 관할 도로관리청 감독 하에 공사 수행

(나) 도로시설 안전성 확보 조치

- 도로시설 안전성 확보 계획의 도로관리청 관할 도로시설 제거·원상 복구 계획에 의거하여 관할 도로관리청 감독 하에 중앙분리대, 도로표지, 델리네이터, 단속 및 정보수집장치 등 도로시설의 임시 제거 조치 수행
- 도로시설 안전성 확보 계획의 경찰관청 관할 도로시설 제거·원상 복구 계획에 의거하여 관할 경찰관청 감독 하에 신호등, 도로표지, 단속 및 정보수집장치 등 도로시설의 임시 제거 조치 수행
- 도로시설 안전성 확보 계획의 가공선로 제거·원상 복구 계획에 의거하여 해당시설 관리기관(전선의 경우 한전, 통신선의 경우 통신사 등) 감독 하에 자격을 보유한 전문기관·업체가 가공선로의 임시 제거 조치 수행

(다) 도로교통 안전성 확보 조치

- 도로교통 안전성 확보 계획의 유도·안내시설 설치·제거 계획에 의거하여 관할 도로관리청 감독 하에 허가차량의 지정 차로 통행, 우회도로·가교·가도 통행, 휴차지·임시 정차지 진출입 등 허가차량의 통행 유도·안내시설 설치
- 도로교통 안전성 확보 계획의 유도·안내시설 설치·제거 계획에 의거하여 허가차량 운행에 따른 교통 통제 안내, 허가 신청 경로 상 차량 통행 자제 및 우회 권고, 휴차지·임시 정차지 주정차 금지 안내 등 허가 신청 경로 상 원활한 교통소통 및 각종 사고 예방을 위한 대민안내시설 설치

3) 허가차량 운행

허가차량은 허가 경로 상의 모든 관계기관이 해당 차량의 운행을 허가하고, 허가차량의 운행을 위한 사전 조치(각종 계획에 의거한 도로구조・시설・교통 안전성 확보 조치 등)의 이행 완료 사실을 확인하고, 허가차량 운행 계획을 최종 확정하여 운행허가 신청을 접수받는 도로관리청으로부터 제한차량 운행허가서를 발급한 경우에 한해 운행할 수 있음.

(가) 운행 전 조치

- 운행허가 신청인은 도로관리청이 허가차량 운행 개시 전 허가차량에 대하여 허가제원(허가규격 및 중량) 일치 여부를 확인하기 위하여 차량 제원의 계측을 요구하는 경우, 이에 반드시 협조하여야 함
- 허가차량 운행시 교통 안전을 확보하고 발생 가능한 각종 사고의 예방 및 신속 대응을 위해 지원차량 운용 계획에 의거하여 허가차량 전·후방에 유도차량, 예비차량, 작업차량, 구급차량 등 지원차량의 대열 구성

(나) 허가차량 운행 현장 관리

- 허가차량 운행 현장에서의 컨트롤 타워로서, 허가차량이 허가차량 운행 계획에 의거하여 운행될 수 있도록 차량 운행 전반에 대한 관리 수행
- 허가차량 운행 현장에서의 컨트롤 타워로서, 선도차량의 운영을 통해 허가차량 운행 경로 전방에 도로구조·시설·교통 안전성 확보 계획에 의거한 각종 조치의 이행 완료 여부 및 이상 유무를 실시간으로 확인·점검
- 허가차량 운행 현장에서의 컨트롤 타워로서, 차량 운행 및 화물 운송 관계자에게 허가차량 운행과 관련한 도로관리청 등 관계기관의 지시·요구 사항을 전달하고, 관계기관과의 상호 협조를 위한 협의 수행

(다) 비상근무

- 허가차량의 운행 결과(운행 현황, 특이사항 및 조치 내용 등, 일정 기간에 걸쳐 허가차량을 운행하는 경우에는 일일 현황)를 허가차량 운행구간 관할 도로관리청에 보고
- 허가차량 운행시 도로구조·시설 손상·파괴, 적재화물의 낙하 및 교통사고 등으로 인한 인적·물적 피해, 허가차량·유도차량·지원차량 고장 등이 발생한 경우, 그 즉시 비상대처 프로세스에 따라 조치 후 허가차량 운행구간 관할 도로관리청에 보고

4) 국내 모듈 해상운송 시 고려사항

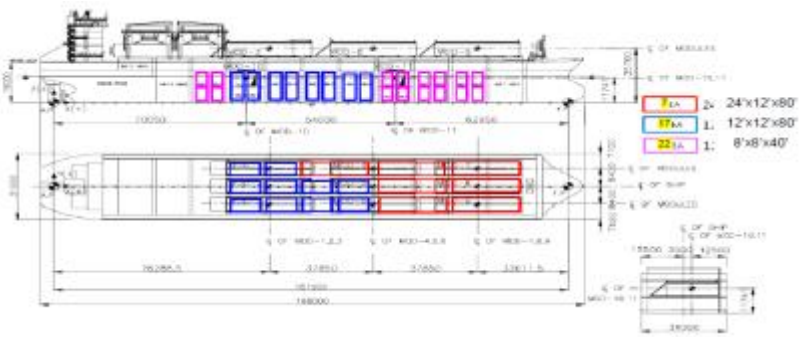
해상운송 시 운송선박에 따른 모듈 사이즈 제한이 있으며, 해양운송업체의 협조를 통한 운송선박에 따른 모듈사이즈를 설정함.

(가) 국내 해상운송 시 가능한 해상 운송 envelope 사이즈 산정

Fabrication	Envelope Size	Area	J-Class Vessel
KOREA	7.3 m(W)×3.6 m(H)×24 m(L)	Main Rack Area	1
	3.6 m(W)×3.6 m(H)×24 m(L)		
	2.4 m(W)×2.4 m(H)×12 m(L)		
	3.6 m(W)×3.6 m(H)×24 m(L)	Other Area	
	2.4 m(W)×2.4 m(H)×12 m(L)		

(나) 운송선박에 대한 모듈사이즈 산정

Fabrication	Envelope Size(ft)	Area	No.	J-Class Vessel	Remarks
KOREA	24'W x 12'H x 80'L	Main Rack Area	7	1 (See Picture Below:)	
	12'W x 12'H x 80'L		10		
	8'W x 8' H x 40'L		19		C- Container
	12'W x 12'H x 80'L	Other Area	7		
	8'W x 8' H x 40'L		3		C- Container
KOREA	24'W x 12'H x 80'L	Overall	12	1 (To Be Defined)	
	8'W x 8' H x 40'L	Overall	3		C- Container
KOREA	8'W x 8' H x 40'L	Overall	35		C- Container



<그림 19> J-Class Vessel
출처 : Rush Lake Commercial Thermal Project

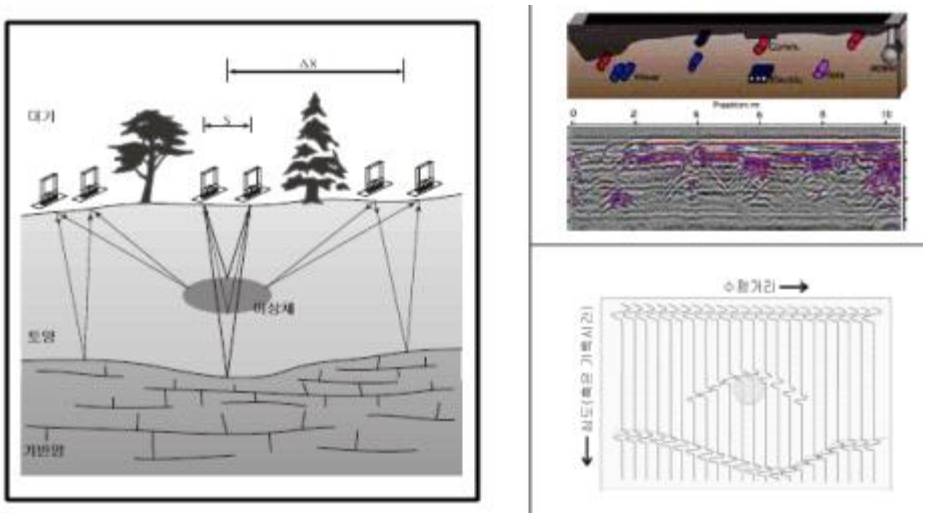
사. 지반 평가 및 이동로 안정화 공법

(1) 오일샌드 동토지반 현장평가

극한지 오일샌드 플랜트 현장은 건설 활동이 매우 열악하며 특히 지반의 경우 지반의 동상이나 동결된 지반의 융해 등에 의해 토목, 건축 구조물이 파손되는 일이 많으며, 콘크리트에 버금가는 강도를 지닌 영구동토지반을 굴착하는 작업도 매우 어려움. 또한 한중콘크리트를 비롯한 극한지에서의 건설재료의 가공 및 취급 등 동토지대가 아닌 지역에 비해지오레이더(GPR)란 고주파의 전자파신호를 공중에 방사시킨 후 목표물의 위치를 파악하는 지상레이더를 지하에 적용시킨 것임. 지오레이더의 기본원리는 지상레이더와 같지만 지상레이더의 경우, 파의 전달 매질이 균질한 공기이고 탐지목적이 단순히 탐지대상의 공간상의 위치파악에 있지만 지오레이더는 지반의 구성이 아주 불균질한 매질이기 때문에 매우 정밀한 자료처리 및 해석기법이 필요할 뿐만 아니라 연속적인 탐사를 통해 지하단면의 영상(reflection image)및 관련 정보를 획득하는데 있음.

다음 탐사모식도에서 화살표로 나타낸 직선은 전자파의 반사경로(ray path)를 개념적으로 나타냄. 송신안테나에서 방사된 전자파가 기반암과 토양의 경계면, 이상체(지하매설물)의 선단에서 반사되어 수신안테나를 통해 기록되고 이 기록된 자료를 분석하여 해석을 하게 됨.

탐사자료의 처리 및 해석에 영향을 미치는 전자파의 전달 속도는 유전상수의 영향을 받으며 파의 감쇠(attenuation)는 주로 전기전도도에 영향을 받음. 파의 전달속도는 유전상수의 제곱근에 반비례하며 감쇠는 전기전도도에 비례하고 유전상수에 반비례하는 특성을 가짐. 일반적으로 전기전도도는 매질 내 수분함량과 전도성 물질의 함량에 영향을 받으며 유전상수는 매질이 균질한 경우 수분함량과 공극률에 영향을 받게 됨.



<그림 20> GPR 탐사모식도

1) 연구수행 내용

(가) 조사지역

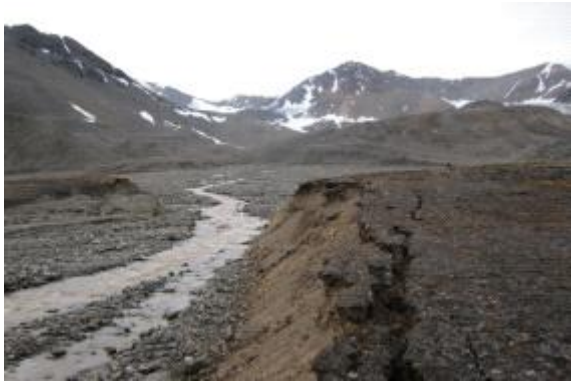
본 현장평가는 노르웨이령 스발바르 군도 스피츠베르겐 섬 니알슨(고도 8 m, 북위 79도 55분/동경 11도 56분)에 위치한 다산과학기지 인근 계측 현장에서 수행하였음. 측선길이는 20m로 활동층과 동토층의 경계면 탐사를 주목적으로 하였음.

<그림 21> 탐사지점 모습

<그림 22> 지반온도 계측기 설치

<그림 23>지반탐사 측선 설정

주변현장에 대한 육안조사를 실시한 결과 현장은 빙하후퇴지역으로 표층에 피트층 등이 광범위하게 분포되고 있었음. 현장 주변 개요는 다음과 같음.



<그림 24> 빙하후퇴 지역 모습

<그림 25> 표층 빙퇴석

- 육안으로 확인한 결과 암석 중 풍화가 많이 진행된 빙퇴석이 광범위하게 분포
- 빙하 후퇴지역에서는 일부 실트질 점토, Pingo 등이 발견
- 표층 흙시료 분석 결과

· 상부는 미세분 함량이 높고 모래 함량이 낮았으며, 빙하 후퇴 후 토양발달이 아직 미약한 상태로 판단
· 중부는 토양 내 수분함량 높음
· 하부는 사질토의 함량이 다른 지역보다 높았고 수분함량은 낮아 빙하나 눈이 녹아 흐른 물에 의해 미사나 점토가 씻겨 갔거나, 새로운 토양이 씻겨 내려와 퇴적되었을 가능성이 있다고 판단됨
· 니알슨 지역은 빙하 후퇴 후, 식생 발달 정도가 다른 지역에서 미생물 군집 구조 양상과 토양 유기탄소 특성 규명하고자 베스트레 (Vestre Loven) 빙하에서 해안가로 내려오는 상부, 중부, 하부를 대표하는 연구지를 선정하여 조사 (샘플 채취)/분석
· 표층 토양 분석 결과, 상부는 미사 함량이 높고 모래 함량이 낮았으며, 토양 유기탄소와 질고가 낮아 빙하 후퇴 후 토양발달이 아직 미약한 상태로 판단
· 중부는 토양 내 수분함량도 높고 토양유기탄소 (12 %) 및 질소의 함량이 높았음
· 하부는 모래의 함량이 다른 지역보다 높았고 수분함량은 낮아 빙하나 눈이 녹아 흐른 물에 의해 미사나 점토가 씻겨 갔거나, 새로운 토양이 씻겨 내려와 퇴적되었을 가능성이 있다고 판단

(나) 자료획득

GPR 탐사는 수십 ~ 수천 MHz의 고주파수 성분의 전자기파의 일종인 레이더 파를 이용하는 탐사 방법으로 송신 안테나에서 방출된 전자기파가 이상체에서 반사 또는 산란된 것을 수신 안테나에서 감지하여 천부의 지하 구조를 규명하는 탐사 기법이며, 안테나 주파수에 따라 적용대상이 다양함. 해당 지점의 GPR 탐사에서는 일반적으로 많이 사용되는 TE모드 반사법 탐사를 사용하였음.

본 탐사에서는 본체로부터 노트북으로 디지털 형태로 기록되었으며 한 개의 트레이

스는 총 1,044개의 샘플로 기록하여 총 297 ns의 시간을 취득하였음. 측선은 GPS를 이용하여 매 0.4초의 간격으로 중합수는 32로 설정하였음.

GPR 탐사자료의 해석에 대한 일반적인 사항은 다음과 같음.

① 각 단면에서 가로 방향은 측정거리를 나타내며, 세로 방향은 심도를 나타냄.

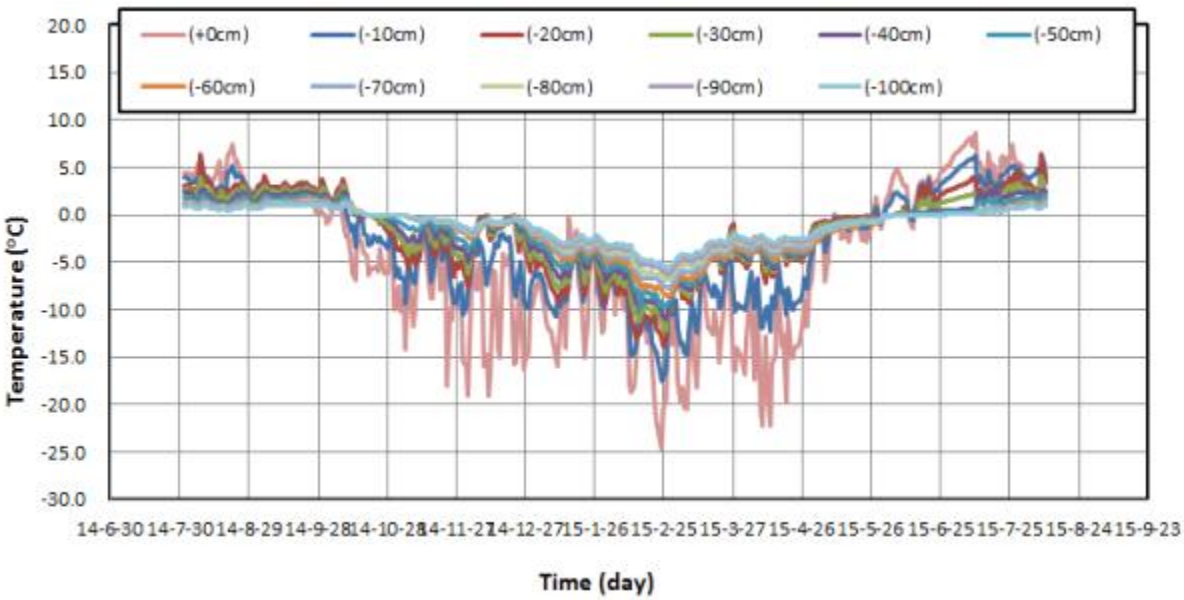
② 각 단면도에서 색상은 수신된 전자파의 세기를 나타낸 것임. 보통 그레이 스케일을 많이 사용하는데 이는 구별하기가 가장 쉽기 때문임.

③ 각 단면에서의 심도는 전자파가 투과하여 반사되어진 왕복주시와 가장 일반적으로 사용되는 유전상수에 의해 계산된 속도값을 곱하여 심도가 결정되어지는데 매질에 따른 정확한 유전상수의 결정은 어렵기 때문에 약간의 오차가 동반됨.

(다) 조사결과

□ 장기계측 자료 및 현장자료

현장에서의 온도 측정 결과는 다음과 같음.

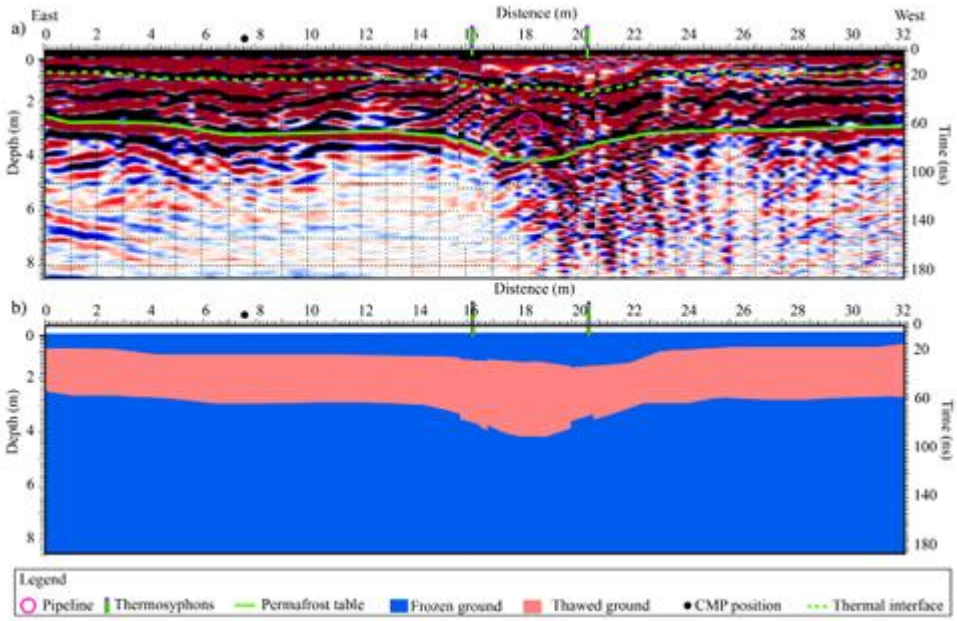


<그림 26> 온도계측 결과

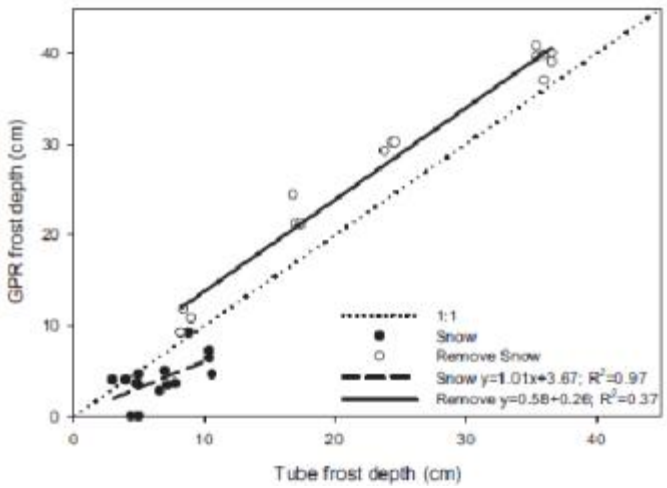
그림 26의 온도 계측 결과, 활동층의 최대 깊이는 1.2m로 나타났음.

GPR 탐사에서 취득한 자료는 대부분 동토지반으로 판단됨. 동토에서의 전자기파 속도는 그 범위가 크기 때문에 동일속도로 적용하는 것이 어려우나 본 지역에서 CMP 방법으로 취득된 전자기파의 평균 속도(12cm/ns)를 근거로 하여 심도를 결정하였음.

동결된 지반의 깊이는 평균 1.0 ~ 1.2m 하부에 존재하는 것으로 해석됨. GPR 탐사 결과로 동결깊이를 산출하였으며, 온도계측 결과와 유사한 깊이를 나타냈음.



<그림 27> GPR 탐사 결과



<그림 28> 온도계측 결과와의 비교

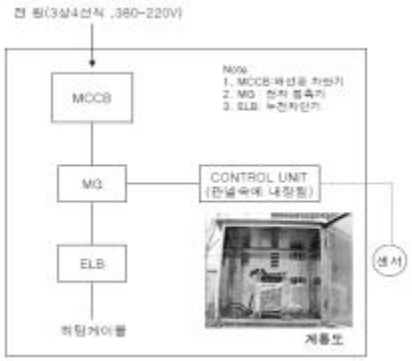
(2) 표층 결빙방지공법

극한지 환경을 고려하여 해당지역의 평균온도에 따른 발열에너지를 파악하여야 함. 표 4.1은 평균온도에 따른 요구되는 발열에너지를 정리하였음.

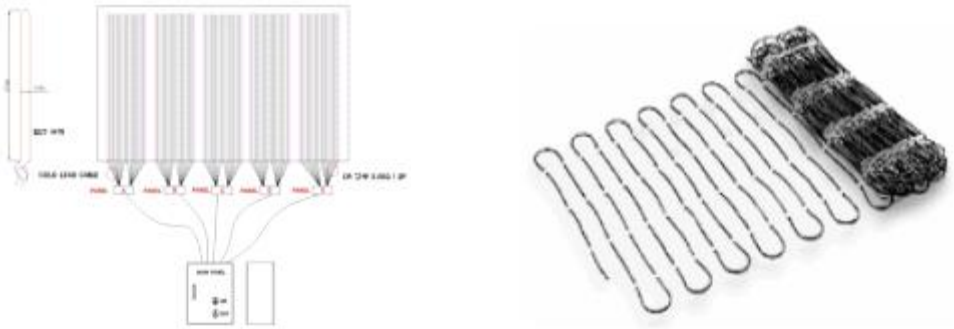
<표 6> 온도별 발열에너지 요구량

동절기 평균온도(oC)	강설량 (cm/hr)	발열에너지(w/m2)
-2	1.7	250
-6	2.0	300
-10	2.5	350
-15	3	400
-20	4	450
-30	5	550

결빙방지시스템은 외기온도와 노면수분 두가지 외부조건이 충족되면 작동하는 원리로 설계하며 각 조건들은 노면에 설치되어 있는 온도센서와 습도센서에 의해 검출되어 컨트롤 판넬 내부의 컨트롤러에 설정되어 있는 설정온도 이하로 내려가고 동시에 노면에 설치되어있는 습도센서에 습도가 감지될 경우 감지센서에서 시스템의 가동을 작동하게 설계함. 제어반은 수동조작도 가능하며 또한 예열기능이 있어 외기온도가 설정온도 이하로 내려갈 경우 자동으로 동작하여 신속한 스노우멜팅이 될 수 있도록 하는 기능을 고려하여야 함. 시스템 작동원리와 계통도는 다음의 그림 4.1과 그림 4.2에 나타냈음.



<그림 29> 시스템 계통도



(a) 전체 배치도 (b) 발열체 시작품

<그림 30> 전체배치도 및 그리드 발열체 모습

2) 성능평가를 위한 현장 적용

(가) 현장 개요

본 연구에서는 제작한 그리드형 발열체와 경기도 연천의 한국건설기술연구원 SOC 실증센터 부지에서 수행하였음.

연천지역의 동절기(12월~다음년도 2월) 평균기온을 살펴보면 -4.8 oC (기상청 공개자료, 2018)로 나타났으며, 동결깊이는 118cm (한국건설기술연구원 자체연구사업 - 포장국도 동결깊이 조사연구, 2017)로 측정되었음.

본 실험은 영하여 외기조건에서 제작된 그리드형 발열체를 지반 표층에 포설하여 현장시험을 수행하였음.

본 실험을 통해 기상조건(외기온도, 강설량, 풍속 등)에서 결빙방지시스템을 가동함으로써 지반의 노면 온도변화를 파악하고, 결빙방지 효과 정도를 확인하여 실제 적용될 시스템의 가동시점 및 지속시간 등을 결정할 수 있는 자료를 수집함. 또한 발열체가 매설된 지반에서의 내구성을 확인하고, 균열 및 파손 등으로 인한 누전 등의 전기적 안정성 문제를 검토하였음. 향후 연구에서는 발열체와 함께 기상온도를 지속적으로 모니터링 할 수 있는 센서와 본 시스템을 원격에서 작동할 수 있는 제어시스템을 개발하여 그 효용성을 검증할 계획임.

<그림 31> 현장 위치

<그림 32> 현장 설치 모습

(나) 시험 결과

현장시험은 길이 5m×20m의 면적에서 설치되어 중앙 부분에 온도계측기를 수직 설치하여 온도변화를 계측하였음. 또한 전력선을 별도로 연결하여 해당되는 전력, 저항 및 발열온도를 측정하여 전력량과 한전의 전기규정에 의거하여 산출하였음.

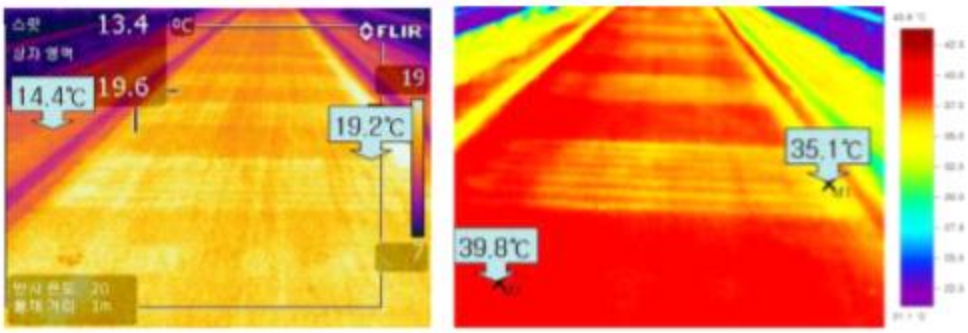
(단위 : kW)

위치	A1	A2	A3	A4	A5	A6
전력량	0.501	0.485	0.453	0.356	0.614	0.458
위치	B1	B2	B3	B4	B5	B6
전력량	0.694	0.553	0.492	0.433	0.411	0.478

전력량 MAX	B- 0.694	kW
전력량 MIN	A4 - 0.356	kW
총 전력량	5.928	kW
평균 부분별 전력량	0.494	kW

<그림 33> 부분별 계측 전력량

현장시험에서 온도보상을 계측한 결과 외기온도 14oC일 때 표면온도는 15.4oC로 나타났고, 외기온도 39.8oC일 때 표면온도는 35.1oC로 나타났음.



<그림 34> 열적 절감효과 영상 계측 결과

아. 모듈형 기초 급속 시공 및 연결공법

(1) 모듈 플랜트 기초 최적 설계요건 도출

1) 개요

(가) 기초 이론

기초는 상부구조 및 하부구조에 작용하는 하중을 안전하게 지지하는 구조물로, 구조물에 가해지는 하중에 대해 충분한 지지력이 발현되어야 한다. 기초의 지지력이 부족하면 지반 변형에 따른 구조물의 손상 및 기능 저하를 야기할 수 있으므로, 올바른 기초의 시공은 필수적이다. 기초는 기초의 폭(B) 또는 직경이 근입 깊이(Df)의 4배 이상일 경우 얕은 기초로, 4배 이하일 경우 깊은 기초라고 정의할 수 있다. 얕은 기초는 일반적으로 지표면에서 5 m 정도 이내의 설계하중이 작거나 깊지 않은 지지층이 확보될 때 주로 사용되며, 깊은 기초는 설계하중이 큰 경우에 주로 사용된다.

얕은 기초($4D_f$ < B) 깊은 기초($4D_f$ > B)

<그림 35> 얕은 기초와 깊은 기초

(나) 강관 말뚝

강관 말뚝은 항타를 이용하여 설치가 쉽고 빠르기 때문에, 북미 지역 및 동토 지역에서 가장 많이 사용된다. 강관 말뚝은 콘크리트 말뚝과 다르게 휨에 의한 인장파괴가 없어 횡방향 외력에 대응하는 수평저항력이 크다. 또한, 매입성능이 뛰어나 N치가 큰 단단한 지반에서도 쉬운 시공이 가능하며, 대량생산이 가능하다. 하지만 재료비 증가 및 소음과 진동의 발생 때문에 최근 사용이 줄어들고 있다.

<그림 36> 강관말뚝의 형상

(다) Helical Pile (회전 관입 말뚝)

헬리컬 파일은 강관 축에 한 개 이상의 헬릭스를 부착한 형태로, 기초 두부에 가해

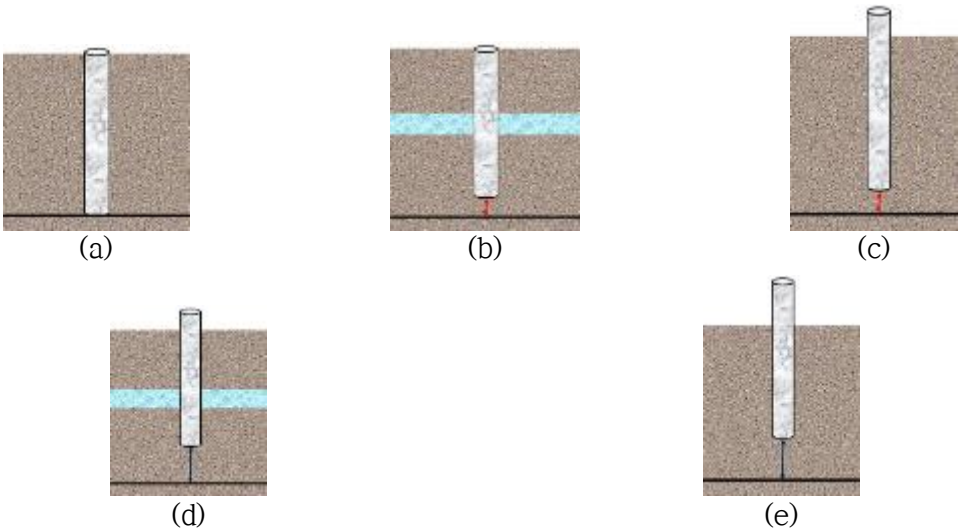
지는 회전력에 의해 지반으로 관입 된다. 항타 및 굴착의 과정 없이 간단한 시공이 가능하며, 지반 교란의 최소화가 가능하다. 또한, 백호에 회전 관입 장치를 결합하여 시공하기 때문에, 대형 장비를 필요로 하지 않는다. 헬리컬 파일은 인발 및 재활용이 용이해 시공성 및 경제성, 친환경성을 동시에 갖는다. 해외에서는 헬리컬 파일을 앵커로 사용하는 등 다양하게 사용되고 있으며, 최근 국내에서는 매립지반의 대규모 주거시설에 사용되고 있다.

<그림 37> 헬리컬 파일의 형상

(라) 동토의 기초 시공

보통 흙은 토립자, 공기, 물로 구성된다. 하지만 동토에서는 대기 온도가 영하로 지속 되면, 지중온도가 영하로 내려가고 흙 속의 간극수가 얼게 된다. 이때, 얼지 않은 지중의 수분이 모세관현상에 의해 동결면으로 이동하면 빙정(Ice lenses)이 만들어진다. 영하의 기온이 계속되면 빙정의 크기 및 개수가 증가하면서 지반을 들어 올리는데 이 현상을 동상(Frost heave)이라 하며, 동상을 일으킬 때 입자 사이를 넓히려는 힘을 동상압이라고 한다.

계절적 동토에서는 지반의 외기 온도가 영하 및 영상을 반복하여, 지반의 동결 및 융해가 발생한다. (a)는 동상압이 작용하지 않는 기초의 상태로, (b)는 영하의 온도가 계속됨에 따라 융기가 시작된 상태이다. (c)는 다시 온도가 높아져 빙정이 사라진 상태이며, (d)는 다시 빙정이 생성되어 지반이 융기되는 상태이다. (e)는 융기가 반복된 상태의 기초이다. 최초 위치보다 기초는 눈에 띄게 융기되었다. 이 경우의 기초는 상부의 구조물을 융기 혹은 침하시킨다.

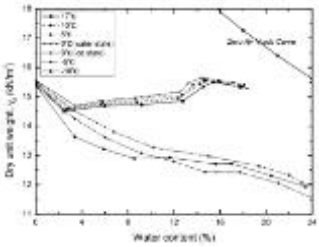


<그림 38> 동상에 의한 기초 융기

(마) 온도에 따른 지반의 다짐 시험

흙은 온도변화에 따라 흙 속에 존재하는 물의 점성이 바뀌기 때문에, 동토 지역에서는 온도변화에 따른 흙의 다짐특성변화가 예상된다. 따라서 본 실험에서는 외부 환경인자인 흙의 온도를 -10° C ~ +17° C 범위에서 변화시키며 다짐시험을 수행하였다. 다양한 영상 온도에 대하여 함수비를 0%부터 24%까지 증가시키며 모래 다짐을 수행하였으며 이에 따른 다짐특성변화 및 부피 변화를 분석하였다.

함수비가 0%일 때, 흙의 건조단위중량은 온도와는 무관하였으며, 이후 함수비에 대해서는 영상과 영하 온도에 따른 물의 동결 유무별 다짐 곡선의 형태가 상이함을 확인하였다. 낮은 온도의 건조단위중량 값이 작게 나타났으며, 함수비 약 11%를 기점으로 이전까지는 -5° C의 건조단위중량이 -10° C의 건조단위중량보다 큰 값을 나타내었고, 그 이후부터는 -10° C의 건조단위중량이 더 큰 값을 나타내고 있다.



<그림 39> 온도에 따른 다짐 곡선 결과

또한, 함수비 증가에 따른 흙의 부피 팽창 정도를 파악하기 위해, 초기상태(ω=0%)를 기준으로 각 함수비의 부피에 대한 비를 구하였다.

$$\Delta V(\%) = \left(\frac{1/\gamma_{d,x\%} - 1/\gamma_{d,0\%}}{1/\gamma_{d,0\%}} \right) \times 100\% = \left(\frac{\gamma_{d,0\%}}{\gamma_{d,x\%}} - 1 \right) \times 100\%$$

영상 온도에 따른 부피 팽창율은 온도가 높을수록 최대 부피 팽창율이 크며, 최대 부피 팽창율에 해당하는 함수비가 가장 적다. 즉, 온도가 높을수록 부피 팽창율은 상대적으로 높은 값을 가지게 되며 함수비를 많이 포함하고 있어도 초기부피에 비해 부피가 증가한다. 반대로 온도가 낮으면 부피 팽창율은 감소하고 낮은 함수비에서 벌킹 효과가 사라진다.

영하 온도에서는 0° C(얼음 상태) 시료의 부피 팽창율이 가장 낮게 나타났으며, -5° C와 -10° C에서는 약 11% 함수비까지 -10° C의 부피 팽창율이 더 크지만 그 이상의 함수비에서는 -5° C의 부피 팽창율이 더 크게 나타났다. 해당 그래프는 'Ice filling voids' 상태 전후의 거동 때문으로 판단된다.

(a) 영상온도 (b) 영하온도

<그림 40> 각 함수비와 온도에 따른 부피 팽창율

2) 신형식 기초 형식 도출

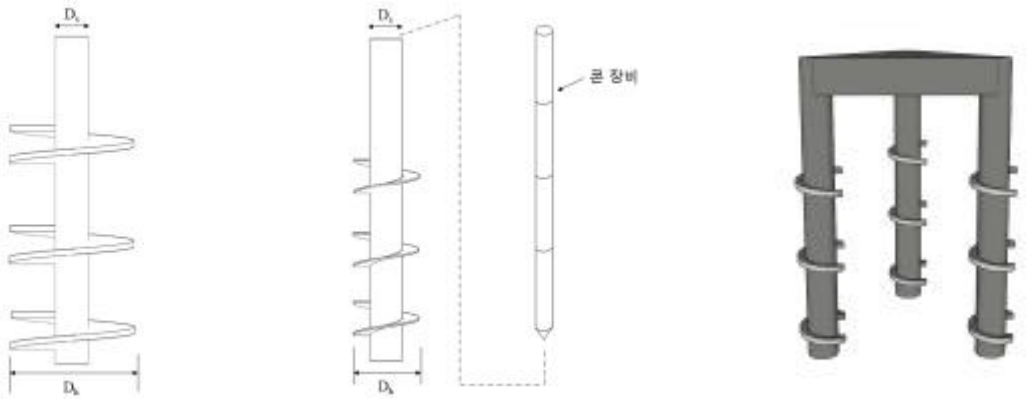
본 연구에서는 오일샌드 플랜트 최적 기초 형식을 개발하기 위해, 기초 및 동토에 대한 문헌 조사와 온도에 따른 다짐 시험을 실시한 결괴를 토대로 신형식 기초의 형식을 결정하였다.

동토에 기초를 시공할 경우, 항타 시공에 어려움이 있다. 또한, 지반의 융해가 발생하는 해빙기 시기에는 큰 장비의 접근성이 낮다. 따라서 회전 관입기를 체결한 소형장비를 통해 급속시공이 가능한 헬리컬 파일이 시공성 부분에서 유리할 것으로 판단된다. 기존 헬리컬 파일은 지지력 증대를 위하여 중심축(Shaft)직경/헬릭스(Helix)직경의 비(Ds/Dh)가 1/3 또는 그 이상이나, 본 연구개발대상에 적용되는 헬리컬 파일은 Ds/Dh의 비가 1/2 이내로 헬릭스의 존재로 인한 시공성 향상에 목적이 있다. 또한, 헬릭스 직경의 감소로 인한 지지력 증가 비율이 감소되므로 이를 보완하기 위하여 중심축 내부에 콘 장비를 항타하여 추가적인 지지력을 발현할 수 있도록 설계하였다.

기초의 시공성은 근입깊이가 증가할수록 감소한다. 기존의 기초보다 얕게 시공하고, 지지력의 신뢰도를 높이기 위해 기초의 시공 개수를 증가시키는 것이 바람직하다. 따라서 신형식 기초는 군말뚝 형식의 기초가 시공성 및 안정성 부분에서 효율적일 것이라고 판단된다.

다짐시험을 통해 사질토 지반의 영하온도 다짐은 부피 팽창을 일으킨다고 확인되었다. 함수비를 많이 포함한 동토는 다짐 시 부피 팽창에 대한 각별한 주의가 필요하다. 이에 따라, 말뚝의 시공 과정에서 항타는 지반에 다짐으로 작용할 수 있기 때문에, 회전 관입이 부피 팽창에 대한 영향이 적을 것으로 판단된다.

위의 결론들을 통해, 오일샌드 플랜트 최적 기초는 시공성 향상을 위하여 기존 기초보다 얕게 시공하는 군말뚝 형식의 헬리컬 파일의 증공에 콘 장비가 항타된 구조가 적합할 것으로 판단된다.



(a) 기존 헬리컬 파일 (b) 신형식 기초 헬리컬 파일 (c) 단위 신형식 기초 예시

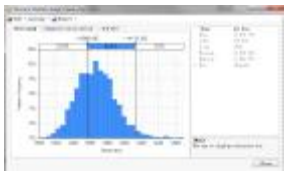
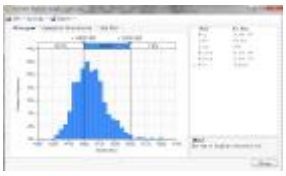
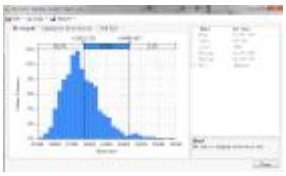
<그림 41> 신형식 기초 모식도

3) 신형식 기초 경제성 및 시공성 분석

본 신형식 기초의 현장 적용성 입증을 위하여 캐나다 알버타 대학에서 연구한 공기 및 공사비 산출 시뮬레이션 프로그램을 통한 기존 기초 대비 극한지에서의 경제성 및 시공성 이점에 대한 타당성을 증명하였다.

캐나다 알버타주 지반조건의 시공 현장을 모사하여 동일한 지점별 하중을 기준으로 한 현장 타설 말뚝, 항타 말뚝, 신형식 기초의 말뚝인 헬리컬 파일의 시공 가정하에 공기 및 공사비를 시뮬레이션 한 결과는 다음과 같다.

<표 7> 신형식 기초 경제성 및 시공성 분석 (Chaojue and Ming, 2015)

말뚝 종류	헬리컬 파일	항타 말뚝	현장 타설 말뚝
공기 (1일 10시간 근무)	26일	29일	46일
총 공사비	$ 892,968	$ 1,089,585	$ 1,305,974
파일 1본 당 시공비	$ 2188.65	$ 2837.46	$ 3886.83
근입깊이 당 시공비	$ 305.50	$ 328.98	$ 583.02
공기 시뮬레이션 결과	 최빈치 : 260 hr	 최빈치 : 290 hr	 최빈치 : 460 hr

신형식 기초는 기존 기술에 비해 공기 단축 및 공사비 감소 등의 품질 향상으로 단위 말뚝 당 최소 10% 공기 단축의 효과, 최소 20% 공사비 절감의 효과가 있는 것으로 판단되어 극한지에서 급속시공 및 최적의 적용성을 가지는 기초라고 판단된다.

<표 8> 헬리컬 파일 공사비 산출 내역 (Chaojue and Ming, 2015)

자재비	Type	Qty	Unit Price	Total
	P1	72	$570	$41,040
	P2	182	$990	$180,180
	P3	30	$1,260	$37,800
	P4	20	$1,300	$26,000
	P5	8	$2,123	$16,984
	P6	96	$1,730	$166,080
	Total	408		$468,084
운반비	Type	Qty	Oty/Load	Trips
	P1	72	96	0.75
	P2	182	55	3.31
	P3	30	42	0.72
	P4	20	42	0.48
	P5	8	23	0.35
	P6	96	33	2.9
	Total	408		8.51(≒9)
	- 53 ft Step Deck tri-axle Trailer : $205/hr			
	- 3 hours x 2 (round trip) + 1 hour loading + 1 hour unloading + 1 hour rest time +1 hour contingency = 10 hours			
	∴ 9 X $205/hr X 10 hr = **$18,450**			
노무비	Construction Manager (w/truck):	260 hr @ $147/hr		= $38,220
	Supervisor (w/ truck):	260 hr @ $147/hr		= $38,220
	Install Equip. Operator:	260 hr @ $93/hr		= $24,180
	Loader Operator:	260 hr @ $75/hr		= $19,500
	Swamper:	260 hr @ $62/hr x 2		= $32,240
	Welder:	260 hr @ $100/hr x 2		= $52,000
	Survey Crew:	26 d x 2 hr/d @ $316/hr		= $16,432
	Field QA/QC	260 hr @ $62/hr		= $16,120
	Total cost			**$236,912**
장비비	70K 25 Ft Reach:	180 hr @ $265/hr		= $47,700
	156K 33 Ft Reach:	80 hr @ $425/hr		= $34,000
	Komatsu Loader:	260 hr @ $125/hr		= $32,500
	Crew Truck:	260 hr @ $27/hr x 2		= $14,040
	Total cost			**$128,240**
기타 직접비	Orientation:	$65.00/man/hour x 3 hours x 10		= $12,432
	Drill Rig:	16 hr @ $100/hr		= $1,600
	Barricades, signs, signals			= $1,000
	Stand by:	30 hours @ $810/hr		= $24,300
	Total cost			**$41,282**
계	**$ 892,968**			

<표 9> 항타 말뚝 공사비 산출 내역 (Chaojue and Ming, 2015)

자재비	Type	Qty	Unit Price	Total
	P1	8	$655	$5,243
	P2	102	$803	$81,877
	P3	8	$1,180	$9,442
	P4	40	$1,059	$42,363
	P5	126	$1,013	$127,671
	P6	4	$1,340	$5,361
	P7	8	$1,572	$12,579
	P8	16	$1,686	$26,977
	P9	72	$2,056	$148,039
	Total	384		$459,552
운반비	Type	Qty	Oty/Load	Trips
	P1	8	56	0.14
	P2	102	46	2.22
	P3	8	30	0.27
	P4	40	33	1.21
	P5	126	34	3.71
	P6	4	26	0.15
	P7	8	22	0.36
	P8	16	21	0.76
	P9	72	17	4.24
	Total	384		13.06(≒14)
	- 53 ft Step Deck tri-axle Trailer : $205/hr			
	- 14 hours x 2 (round trip)+ 1 hour loading + 1 hour unloading + 2 hour rest time + 2 hour contingency = 34 hours			
	∴ 14 X $205/hr X 34 hr = $97,580			
노무비	Supervisor (w/ truck):	290 hr @ $135/hr		= $39,150
	Construction manager:	290 hr @ $122/hr		= $35,380
	Install Equip. Operator:	290 hr @ $95/hr		= $27,550
	Loader Operator:	290 hr @ $75/hr		= $21,750
	Swamper:	290 hr @ $62/hr		= $17,980
	Rigger:	290 hr @ $62/hr x 2		= $35,960
	Welder:	290 hr @ $92/hr x 2		= $53,360
	Survey Crew:	33 d x 2 hr/d @ $370/hr		= $21,460
	Field QA/QC	290 hr @ $62/hr		= $17,980
	Total cost			$270,570
장비비	100 Ton Crane:	290 hr @ $380.15/hr		= $110,244
	Hydraulic Lead:	290 hr @ $51.25/hr		= $14,863
	Hydraulic Hammer:	290 hr @ $45.75/hr		= $13,268
	Helmet:	290 hr @ $27/hr		= $7,830
	Loader (Volvo L120):	290 hr @ $123.75/hr		= $35,888
	Crew Truck:	290 hr @ $23.15/hr x 2		= $12,644
	Manlift:	290 hr @$45/hr		= $13,050
	Total cost			$207,785
기타 직접비	Orientation:	$65.00/man/hour x 3 hours x 10		= $1950
	Predrill:	16 hr @ $777/hr		= $12,432
	Hydrovac:	8 hr @ $777/hr		= $ 6,216
	Pile Cushion:	4 @ $100/ ea		= $400
	Hammer Cushion:	4 @ $100/ ea		= $1,500
	Barricades, signs, signals	370 hr @ $23.15/hr x 2		= $1,000
	Stand by:	30 hours @ $1020/hr		= $30,600
	Total cost			$54,098
계	$ 1,089,585			

<표 10> 현장 타설 말뚝 공사비 산출 내역 (Chaojue and Ming, 2015)

자재비	Type	Qty	Unit Price	Total
	P1	8	$323	$2,576
	P2	226	$496	$111,870
	P3	8	$660	$5,280
	P4	46	$695	$31,954
	P5	8	$1,229	$9,835
	P6	16	$897	$14,351
	P7	24	$2,770	$66,480
	Total	384		$242,346
운반비	- The total weight of rebar : 87,963 kg (193,925.22 lb) - 193,925.22 lb / 60,000 lb/trip = 3.142 (≒4) trips - 53 ft Step Deck tri-axle Trailer : $205/hr - 1 hours x 2 (round trip)+ 1 hour loading + 1 hour unloading + 0.5 hour rest time + 0.5 h contingency= 5 hours ∴ 4 X $205/hr X 5 hr = $4,100			
노무비	Supervisor (w/ truck):	460 hr @ $125/hr		= $57,500
	Foreman:	460 hr @ $105/hr		= $48,300
	Drilling & Casing. Operator:	460 hr @ $95/hr		= $43,700
	Loader Operator:	460 hr @ $82/hr		= $37,720
	Skid Steer Operator:	460 hr @ $65/hr		= $29,900
	Swamper:	460 hr @ $62/hr		= $28,520
	Rigger:	460 hr @ $65/hr		= $29,900
	Pump Truck Operator:	460 hr @ $82/hr		= $37,720
	Survey Crew:	46 d x 2 hr/d @ $370/hr		= $34,040
	Concrete Testing&Inspection	460 hr @ $120/hr		= $55,200
	Iron man:	552 hr @ $80/hr x 3		= $132,480
	Total cost			$508,300
장비비	Drilling & Casing Machine:	460 hr @ $510/hr		= $234,600
	25 Ton Crane:	460 hr @ $105/hr		= $48,300
	Concrete Pump Truck, 110' Boom:	460 hr @ $128/hr		= $58,880
	Skid Steer:	460 hr @ $100/hr		= $46,000
	Loader (Cat 950K):	460 hr @ $120/hr		= $55,200
	Crew Truck:	460 hr @ $23.15/hr x 2		= $21,298
	Total cost			$464,278
기타 직접비	Orientation:	$65.00/man/hour x 3 hours x 10		= $1950
	Barricades, signs, signals	= $1,000		
	Stand by:	70 hours @ $1200/hr		= $84,000
	Total cost			$86,950
계	$ 1,305,974			

(2) 신형식 기초 평가

1) 헬리컬 파일 및 콘 장비 성능 평가

제작된 신형식 기초 프로토타입과 개단 강관 말뚝의 실내·외 모형실험을 진행하여 헬리컬 파일 및 콘 장비의 성능을 평가하였음.

이를 위해 제작된 실내실험용 원형 토조와 강사장치를 통해 균질한 지반을 형성하고 재하시험을 진행하여 지지력 성능을 분석하였음. 오일샌드 플랜트 현장에 적용된 기초인 개단 강관 말뚝과 신형식 기초의 형식으로 이용되는 헬리컬 파일의 거동을 비교하였음.

(가) 개단 강관 말뚝 모형실험

제작된 개단 강관 말뚝의 실내 모형실험을 통해 오일샌드 플랜트에 주로 사용되는 기초인 개단 강관 말뚝의 지지력과 콘 장비의 유·무에 따른 지지력을 확인하였음.

<표 11> 실험 조건에 따른 개단 강관 말뚝 실내실험 Case 분류

실험 Case	실험 조건		
	기초	항타 높이	콘장비
Case 1	파쇄모래	200 mm	무
Case 2	파쇄모래	500 mm	무
Case 3	표준사	200 mm	무
Case 4	표준사	500 mm	무
Case 5	파쇄모래	200 mm	유
Case 6	파쇄모래	500 mm	유
Case 7	표준사	200 mm	유
Case 8	표준사	500 mm	유

Davisson의 곡선 해석을 이용하여 실내 말뚝 재하시험의 극한하중을 분석하였음. 콘 장비를 사용한 경우의 극한하중이 콘 장비를 사용하지 않았을 때 보다 약 40% 증가하였음.

<표 12> Davisson’s 곡선 해석법 결과(강관말뚝)

실험 Cases	하중(kg)
Case 1	316.67
Case 2	516.68
Case 3	366.67
Case 4	816.68
Case 5	510.01
Case 6	815.46
Case 7	516.58
Case 8	933.35

축소 모형 헬리컬 파일의 중심 강관 규격과 동일하게 개단 강관말뚝을 제작하여 항타 관입을 통한 시공 시간을 3회 측정한 결과, 600 mm가 관입 될 때까지의 총 항타 횟수는 각각 40회, 41회, 43회로 평균적으로 약 42회 정도임. 기존 현장에서 사용되는 드롭형 해머는 약 3초에 1회 항타하는 것을 토대로 시공속도를 분석하면 개단 강관 말뚝이 항타 관입 되는데 소요되는 시간은 약 126초 정도임을 확인 할 수 있음.

<표 13> 개단 강관 말뚝 시공 속도 분석

실험 차수	항타 횟수	평균	시공속도 환산 (초)
1차	40회	41.333회 ≒ 약 42회	126초 (2분 6초)
2차	41회		
3차	43회		

(나) 헬리컬 파일 모형실험

헬리컬 파일 실내 모형실험에서는 콘 장비 유·무에 따른 헬리컬 파일의 지지력 변화를 알아보고 신형식 기초에 적용되는 헬리컬 파일의 헬릭스 간격, 관입 속도, 상재하중에 따른 거동 분석을 통하여 기존 오일샌드 플랜트 기초보다 헬리컬 파일이 적합한 기초인지 확인하였음.

<표 14> 실험 조건에 따른 헬리컬 파일 실내실험 Case 분류

실험 Cases	실험 조건			
	헬릭스 간격	회전속도	하중	콘장비
Case H1	50 mm	15 rpm	45 kg	무
Case H2	50 mm	15 rpm	45 kg	유
Case H3	150 mm	15 rpm	45 kg	무
Case H4	150 mm	15 rpm	45 kg	유
Case H5	50 mm	15 rpm	85 kg	유
Case H6	150 mm	15 rpm	85 kg	유
Case H7	50 mm	30 rpm	45 kg	유
Case H8	150 mm	30 rpm	45 kg	유

헬리컬 파일 관입 시간은 헬리컬 파일이 조성된 지반에 600 mm 관입되는 동안의 시간을 의미함. 헬릭스 간격이 작아질수록, 하중이 커질수록, 회전속도가 빨라질수록 시공속도가 증가하는 것을 확인하였으며, 회전 속도의 증가가 시공속도 증가에 가장 지배적인 요소임을 확인하였음.

<표 15> Case 별 헬리컬 파일 관입 시간

실험 Cases	헬리컬 파일 관입 시간	
Case H1	1분 19초	평균
Case H2	1분 20초	1분 20초
Case H3	1분 48초	평균
Case H4	1분 40초	1분 44초
Case H5	1분 18초	
Case H6	1분 19초	
Case H7	46초	
Case H8	1분 02초	

Davisson의 곡선 해석을 이용하여 헬리켤 파일 실내 재하시험의 극한하중을 분석하였음. 콘 장비를 사용할 경우 콘 장비를 사용하지 않을 때보다 극한하중이 약 28.9% 정도 증가하였음.

<표 16> Davisson’s 곡선 해석법 결과(헬리컬 파일)

실험 Cases	하중(kg)
Case H1	400.94
Case H2	632.08
Case H3	778.30
Case H4	1023.58
Case H5	943.40
Case H6	1344.34
Case H7	863.21
Case H8	1391.51

개단 강관 말뚝과 헬리컬 파일의 실내실험이 진행되는 지반조건은 일치하지만 개단 강관 말뚝은 항타를 이용하여 기초를 설치하였고 헬리컬 파일은 회전 관입을 진행했기 때문에 정확한 지지력의 차이를 논하기 어려우나, 말뚝의 형식을 제외한 말뚝의 재료와 치수, 지반조건은 모두 동일하기 때문에 강관 말뚝보다 헬리컬 파일의 지지력이 49% 더 크다고 판단할 수 있음.

또한, 시공속도 부분에서 헬릭스의 유・무를 제외한 다른 변수가 없는 조건에서 관입 시간을 통하여 시공성을 평가하였음. 시공속도가 가장 느린 헬리컬 파일의 관입 시간인 104초와 개단 강관 말뚝의 항타 관입 시간인 126초를 비교하면 헬리컬 파일의 시공속도가 개단 강관 말뚝의 시공속도에 비하여 약 17.46% 정도 감소 되었으므로 헬리컬 파일은 기존에 사용되는 강관 말뚝에 비하여 시공성이 좋다고 판단됨.

2) 최적 헬리컬 파일 형상 분석

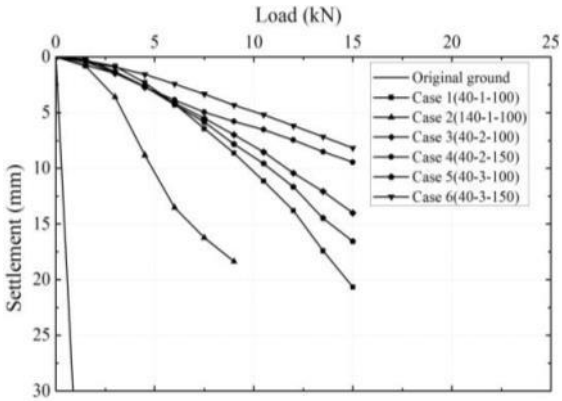
(가) 헬릭스 형상별 헬리컬 파일의 실내 모형실험

신형식 기초의 지지력 및 시공성을 향상시키기 위해 신형식 기초를 구성하는 헬리컬 파일의 헬릭스 형상(최하단 헬릭스 위치, 헬릭스 개수, 헬릭스 직경)을 변화시켜 실내 모형실험을 실시하였으며, 헬리컬 파일의 극한하중 및 시공속도를 분석하였음.

<표 17> 실험 조건에 따른 Case 분류

실험 Cases	실험 조건		
	헬릭스 개수	최하단 헬릭스 위치	헬릭스 직경
Case 1	1	40 mm	100 mm
Case 2	1	140 mm	100 mm
Case 3	2	40 mm	100 mm
Case 4	2	40 mm	150 mm
Case 5	3	40 mm	100 mm
Case 6	3	40 mm	150 mm

극한하중 분석 결과, Case 6에서 가장 큰 극한하중이 발현되었으며, Case 2에서 가장 작은 극한하중이 발현되었음. 특히 헬릭스 개수가 다른 경우 헬리컬 파일의 극한하중 차이가 뚜렷하게 발생하지 않았으며, 헬릭스 직경이 증가한 경우 최대 1.7배까지 극한하중이 증가하였음. 이에 따라, 헬릭스 개수보다 헬릭스 직경이 헬리컬 파일의 지지력에 큰 영향을 끼치는 것을 확인하였음.



<그림 42> Case 별 헬리컬 파일의 하중-침하 곡선

관입 소요시간 분석 결과, Case 2의 시공 시간이 가장 길었으며, Case 6의 시공이 가장 빨랐음. 헬릭스 직경이 150 mm인 Case 4와 Case 6을 비교하면, 헬릭스 개수 증가에 따라 시공 시간이 약 7.9% 단축되었지만, 헬릭스 직경이 100 mm인 Case 1, 3, 5에서는 헬릭스 개수 증가에 따라 시공 시간의 변화는 미미하였음. 헬릭스 개수가 2개인 Case 3, 4와 헬릭스 개수가 3개인 Case 5, 6에서는 헬릭스 직경이 증가함에 따라 시공 시간이 각각 9.8%, 26.3% 단축되는 것으로 확인되었음. 따라서, 헬리컬 파일의 시공성은 최하단 헬릭스 위치, 헬릭스 직경, 헬릭스 개수 순으로 영향을 받는다고 판단됨.

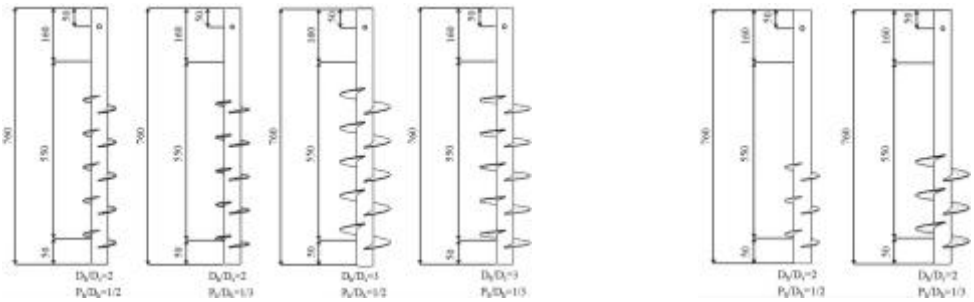
<표 18> Case별 헬리컬 파일의 관입 소요시간

Case	시공 시간 (초)
Case 1(40-1-100)	46
Case 2(140-1-100)	729
Case 3(40-2-100)	45
Case 4(40-2-150)	41
Case 5(40-3-100)	48
Case 6(40-3-150)	38

(나) 헬릭스 형상별 헬리컬 파일의 실외 모형실험

헬릭스 개수 및 형상별 헬리컬 파일의 시공속도 및 지지력을 실외모형실험을 통해 비교, 분석하였음. 헬리컬 파일의 시공속도와 지지력은 각각 관입 소요시간, 극한하중으로 분석하였음. 실외모형실험에 사용된 헬리컬 파일은 총 길이 760 mm, 중심축 직경 50 mm, 중심축 두께 2 mm, 헬릭스 두께 2 mm, 소요 관입깊이는 600 mm로, 헬릭스 개수, 직경, 피치에 따라 총 6종류의 헬리컬 파일을 제작하였음.

헬릭스 직경은 100 mm, 150 mm로 나누고 각각 헬릭스 직경/중심축 직경(Dh/Ds)으로 하여 2와 3으로 변수를 나누었으며, 헬릭스 피치/헬릭스 직경(Ph/Dh)인 1/2와 1/3 또한 변수로 두어 헬릭스가 5개 부착된 헬리컬 파일의 실험을 우선적으로 진행하였음. 실험 결과, 관입 시간이 빠르게 나온 Ph/Dh가 1/2인 Case에 맞추어 헬릭스가 3개 부착된 헬리컬 파일을 추가 제작하여 실험을 진행하는 방식으로 하였음.



(a) 헬릭스가 5개 부착된 헬리컬 파일 (b) 헬릭스가 5개 부착된 헬리컬 파일

<그림 43> 헬리컬 파일 제작 모식도

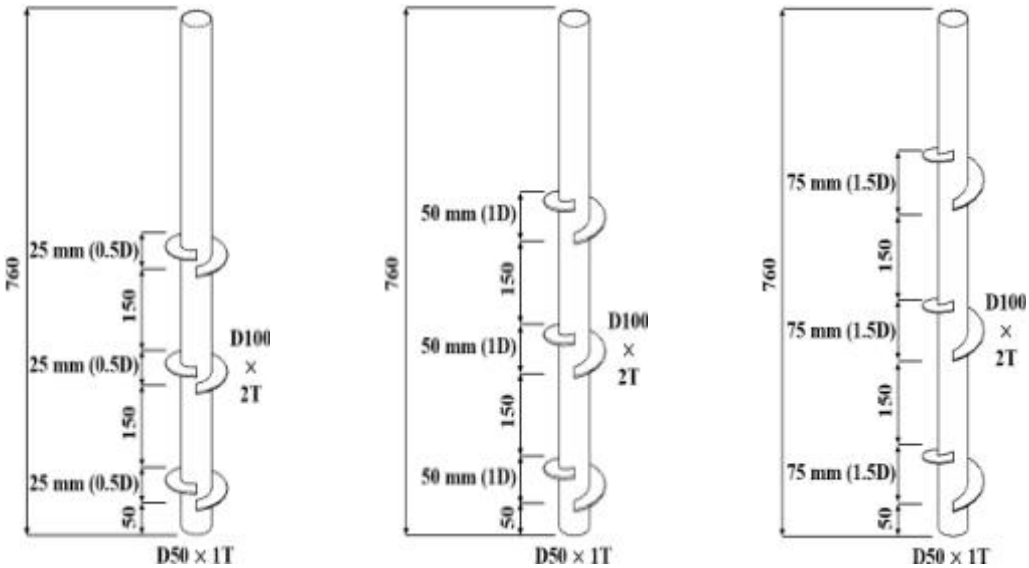
헬리컬 파일의 형상에 따른 시공속도는 헬릭스 직경 및 피치가 증가할수록 감소하였음. 또한, 연속형 헬리컬 파일보다 헬릭스가 3개 부착된 헬리컬 파일의 시공속도가 더 빨랐으며, 헬릭스가 5개 부착된 헬리컬 파일의 시공속도가 가장 빠른 것으로 확인되었으므로 동일한 조건의 경우 헬릭스 5개, 헬릭스 3개 헬리컬 파일의 순으로 시공속도가 빠른 것을 확인하였음.

<표 19> 헬리컬 파일 형상별 관입 시간

헬릭스 개수	D_h/D_s	P_h/D_h	관입 시간 (초)			평균 (초)
			1st	2nd	3rd	
5개	2	1/2	22.95	22.75	22.57	22.76
		1/3	30.58	32.45	35.99	34.51
	3	1/2	18.07	17.77	18.30	18.05
		1/3	24.47	24.77	25.63	24.96
3개	2	1/2	22.52	22.73	28.33	24.53
	3		18.09	20.15	17.66	18.74

(다) 헬릭스 피치에 따른 헬리컬 파일의 수치해석적 거동 분석

수치해석의 목적인 헬릭스 피치별 헬리컬 파일의 지지력, 헬릭스의 변위, 헬릭스의 하중 분담률을 분석하기 위해 수치해석 Case를 설정하였음. 헬리컬 파일은 강관축과 3개의 헬릭스로 구성되어 있으며, 강관 중심축 길이 760 mm, 직경 50 mm, 두께 1 mm, 헬릭스 직경 100 mm, 두께 2 mm, 간격 150 mm로, 헬릭스 피치를 제외한 규격은 실내모형실험과 동일함. 수치해석의 변수로 설정한 헬릭스 피치는 헬리컬 파일의 강관 중심축을 기준으로 25 mm, 50 mm, 75 mm로 정하였음.



(a) 25 mm(0.5D) (b) 50 mm(1D) (c) 75 mm(1.5D)

<그림 44> 헬릭스 피치에 따른 헬리컬 파일 Case

수치해석 결과, 모든 Case에서 하중-침하 곡선에서의 선형 부분(linear region)은 헬릭스 피치 변화에 따른 거동의 차이가 나타나지 않았음. 하지만 전이 부분(transition region)부터는 헬릭스 피치 증가에 따라 뚜렷하게 극한하중이 증가하였음. 세 가지 헬리컬 파일의 곡선 해석법으로 극한하중을 산정한 결과, 세 가지 곡선 해석법 모두에서 헬릭스 피치의 증가에 따라 헬리컬 파일의 극한하중이 증가하는 것을 확인하였음.

<표 20> 세 가지 곡선 해석법으로 산정한 헬릭스 피치별 극한하중

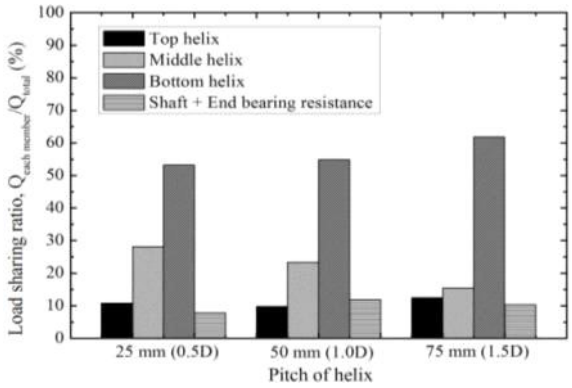
Pitch	Davisson (1973)		O' Neill and Reese (1999)		Elkasabgy and El Naggar (2014)	
	Ultimate load (kN)	Settlement (mm)	Ultimate load (kN)	Settlement (mm)	Ultimate load (kN)	Settlement (mm)
25 mm (0.5D)	2.27	0.84	9.96	5	7.82	3.51
50 mm (1.0D)	2.40	0.84	10.34	5	8.13	3.52
75 mm (1.5D)	2.58	0.84	10.90	5	8.57	3.52

헬릭스의 변위 분석 결과, 헬릭스의 피치가 증가할수록 헬리컬 파일의 헬릭스 변위가 적게 발생하였음. 특히 모든 경우에서 하단 헬릭스의 변위가 상단, 중단 헬릭스의 변위에 비해 헬릭스 피치 25 mm, 50 mm, 75 mm별 각각 3.2%, 5%, 7.7% 적게 변위가 발생하였음. 헬릭스 피치 증가에 따라 하단 헬릭스의 변위량도 감소하였으며, 헬리컬 파일의 최하단에 위치한 헬릭스가 위쪽으로 가장 많은 휨이 발생하며 헬릭스 피치 증가에 따라 휨의 정도가 증가하는 것을 확인하였음. 따라서 헬리컬 파일의 최하단에 위치한 헬릭스가 다른 헬릭스와 비교하여 가장 많은 하중을 받는다고 판단됨.

<표 21> 동일한 하중(21 kN)에 따른 헬리컬 파일의 헬릭스 변위 이동량

Helix location	Average displacement of each helix with pitch of helix		
	25 mm (0.5D)	50 mm (1.0D)	75 mm (1.5D)
Top	19.4 mm	16.8 mm	14.0 mm
Middle	19.4 mm	16.7 mm	13.8 mm
Bottom	18.8 mm	16.0 mm	13.0 mm

헬릭스의 하중 분담률을 분석한 결과, 하단 헬릭스가 헬릭스 피치에 따라 최소 50% 이상의 하중을 분담하는 것을 확인하였음. 하단 헬릭스의 하중 분담률은 헬릭스 피치가 25 mm에서 75 mm로 증가함에 따라 약 53%에서 63%까지 증가하였으며, 반대로 중단 헬릭스의 하중 분담률은 약 30%에서 15%까지 감소하였음. 또한, 상단 헬릭스와 헬리컬 파일의 선단 및 축의 하중 분담률은 15% 이내로 헬릭스 피치에 따라 변화가 크게 발생하지 않았음. 헬릭스의 변위측정과 같이, 하단 헬릭스가 다른 헬릭스와 비교하여 가장 큰 하중을 받는다는 것을 확인하였음. 따라서, 헬리컬 파일의 최하단에 위치한 헬릭스가 헬리컬 파일의 지지력에 있어서 가장 중요한 역할을 한다고 판단됨.



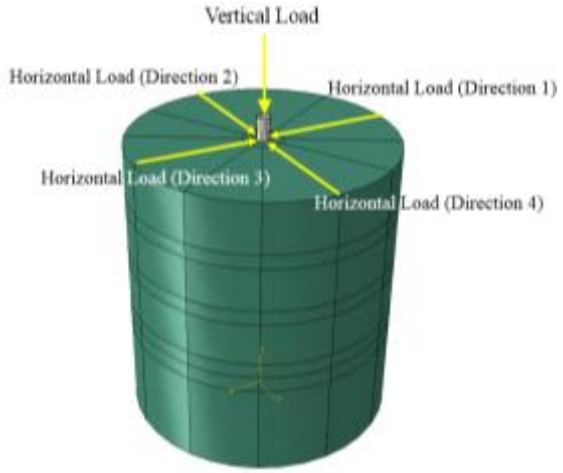
<그림 45> 헬릭스 피치 변화에 따른 헬릭스 위치별 하중 분담률

(라) 헬릭스 형상에 따른 헬리컬 파일의 연직 및 수평 거동 분석

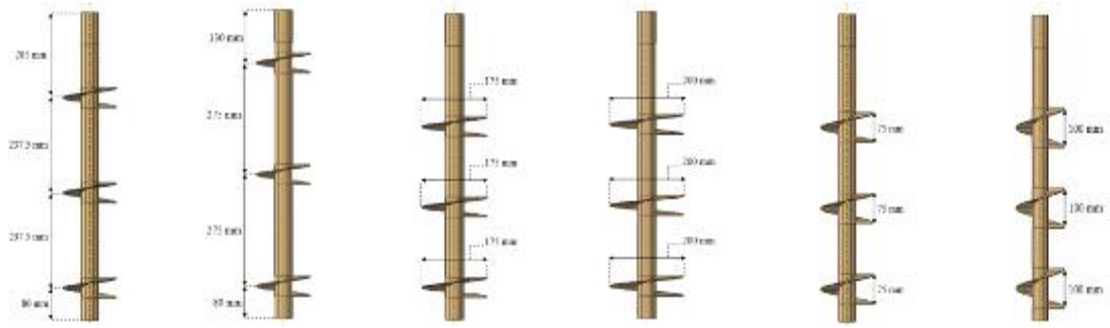
헬릭스 형상에 따른 헬리컬 파일의 연직 극한 지지력 및 수평 극한 지지력을 도출하여 헬릭스 형상을 결정하는 변수들이 헬리컬 파일 거동에 미치는 영향을 분석하기 위하여 ABAQUS/CAE 프로그램(SIMULIA, 2016)을 통해 수치해석을 진행하였음.

헬리컬 파일에 작용하는 연직 외력은 헬리컬 파일의 두부에 작용하도록 하였으며, 수평 하중 방향은 4방향으로 작용하도록 결정하였음. 헬릭스의 형상은 축대칭의 형상이 아니기 때문에 수평 하중은 헬릭스의 입체적인 나선 형상을 고려하여 4개 방향에서 각각 적용되었음. 헬릭스의 피치가 최대로 된 방향(간격이 가장 많이 벌어진 방향)을 Direction 1으로 정하고 반시계 방향으로 90° 씩 회전시켜 각각 Directions 2, 3, 4로 결정하였음.

기본 형상의 헬리컬 파일을 정하고 헬릭스 간격, 직경, 피치를 해석 변수로 설정하여 6개의 case를 정하였음. 각 case의 비교를 위하여 기본 모델로 정한 헬리컬 파일은 중심관의 직경 D(50 mm)를 기준으로 헬릭스 간격 4D, 헬릭스 직경 3D, 헬릭스 피치 1D로 결정하였음. 기본 모델 이외 추가적인 수치해석 case의 해석 변수는 다음과 같음: (1) 헬릭스 간격은 4.75D와 5.5D; (2) 헬릭스 직경은 3.5D와 4D; (3) 헬릭스 피치는 1.5D와 2D를 고려하였음.



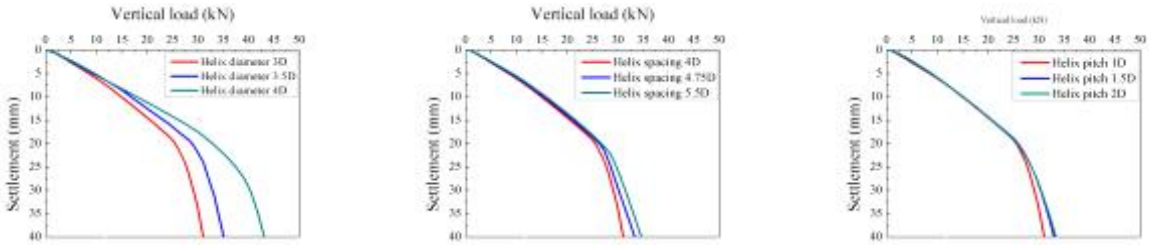
<그림 46> 헬리컬 파일에 작용하는 외력의 방향



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

<그림 47> 헬리컬 파일의 수치해석 Case

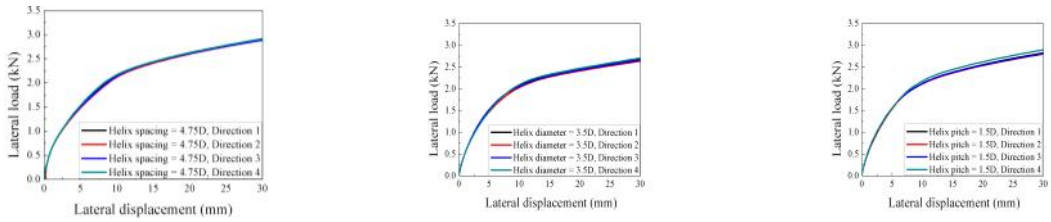
헬릭스 형상에 따른 연직 외력에 의한 하중-침하 곡선을 비교 분석한 결과, 모든 Case에서 헬릭스 간격, 헬릭스 직경, 헬릭스 피치의 값이 커질수록 주어진 침하량에 대해 연직 지지력이 높아지는 것을 확인하였음. 특히, 헬리컬 파일의 극한 지지력에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 헬릭스의 직경이라 판단됨.



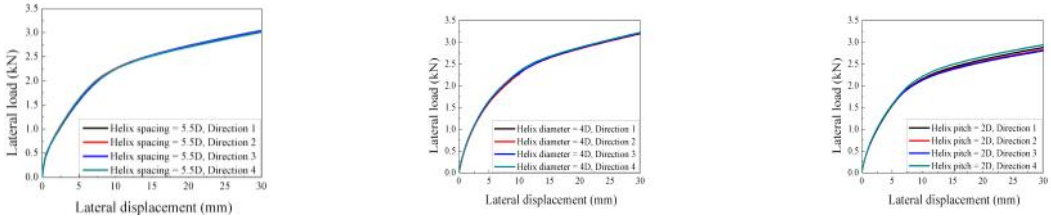
(a) 해석 변수 : 헬릭스 직경 (b) 해석 변수 : 헬릭스 간격 (c) 해석 변수 : 헬릭스 피치

<그림 48> 연직 외력에 대한 해석 변수에 따른 하중-침하 곡선

수평 하중의 방향에 따른 지지력 차이를 확인하기 위한 수치해석을 수행하였음. 모든 Case에서 하중 방향에 따른 헬리컬 파일의 수평 거동 차이는 거의 발생하지 않았으며, 해석 변수의 증가와 상관없이 수평 하중 방향은 지지력에 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인하였음.



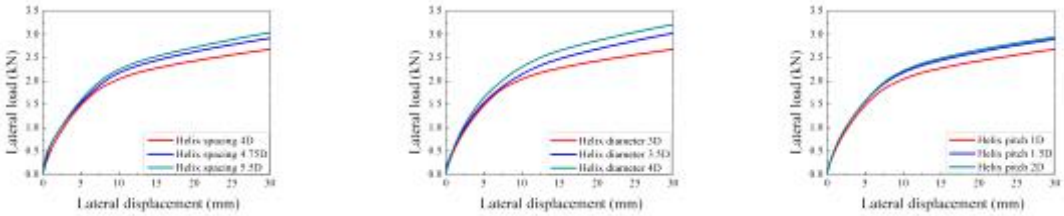
(a) 헬릭스 간격 4.75D (b) 헬릭스 직경 3.5D (c) 헬릭스 피치 1.5D



(d) 헬릭스 간격 5.5D (e) 헬릭스 직경 4D (f) 헬릭스 피치 2D

<그림 49> 수평 외력 방향에 대한 해석 변수에 따른 하중-침하 곡선

수평 하중 방향에 따른 헬리컬 파일의 수평 거동 차이가 크지 않기 때문에, 피치의 방향인 direction 1 하중에 대한 헬리컬 파일의 거동을 해석 변수(헬릭스 간격, 헬릭스 직경, 헬릭스 피치)에 따라 산정하였음. 수평 하중-변위 곡선에서 위쪽에 위치한 곡선이 아래쪽에 위치한 곡선보다 동일한 하중에 대해서 더 작은 변위를 보였음을 의미하며, 이는 더 높은 수평 지지력을 갖는다고 할 수 있음. 따라서 해석 변수의 값이 증가할수록 헬리컬 파일의 수평 지지력이 큰 것을 확인하였음. 또한, 헬릭스 피치가 증가한 경우의 하중-침하 곡선은 연직 외력이 작용했을 때와 동일하게 지지력이 수렴하려는 경향을 확인할 수 있음.



(a) 헬릭스 간격 (b) 헬릭스 직경 (c) 헬릭스 피치

<그림 50> 수평 외력의 작용에 대한 해석 변수에 따른 하중-침하 곡선

결과적으로, 헬릭스 직경이 증가할수록 헬리컬 파일의 연직 및 수평 지지력이 증가하므로 중심관과 헬릭스의 접합 부분이 헬릭스에서 발생하는 휨모멘트를 지지할 수 있는 한에서 헬릭스 직경은 크게 설계되는 것이 유리하다고 판단됨.

3) 신형식 기초 평가

지반에 신형식 기초를 회전 관입한 뒤, 상부 연결체를 결합하여 실외 모형실험을 진행하였음. 실험을 통하여 단항 말뚝과 신형식 기초의 지지력 비교와 신형식 기초의 간격별 지지력을 비교하여 복합거동에 대한 분석을 진행하였음.

(가) 축소모형 신형식 기초 실외 모형실험

신형식 기초에 대한 거동의 분석을 위하여 단항으로 회전 관입된 헬리컬 파일과 신형식 기초의 극한하중의 차이를 비교하고, 상부 연결체 중심을 기준으로 헬리컬 파일의 간격별 극한하중을 분석하였음.

(a) 중앙으로부터 15 cm 관입 (b) 중앙으로부터 25 cm 관입 (c) 중앙으로부터 30 cm 관입

(d) 중앙으로부터 45 cm 관입 (e) 중앙으로부터 60 cm 관입 (f) 중앙으로부터 80 cm 관입

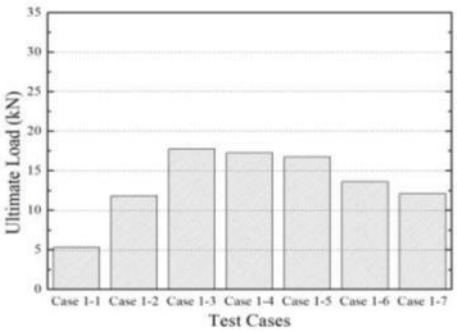
<그림 51> 축소모형 신형식 기초 헬리컬 파일 관입

<표 22> 실험 조건에 따른 Case 분류

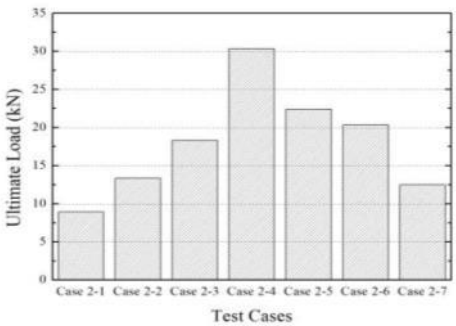
실험 Cases	실험 조건		
	헬릭스 간격	말뚝	중앙으로부터 거리
Case 1-1	50 mm	단항	없음
Case 1-2	50 mm	신형식 기초	15 cm
Case 1-3	50 mm	신형식 기초	25 cm
Case 1-4	50 mm	신형식 기초	30 cm
Case 1-5	50 mm	신형식 기초	45 cm
Case 1-6	50 mm	신형식 기초	60 cm
Case 1-7	50 mm	신형식 기초	80 cm
Case 2-1	150 mm	단항	없음
Case 2-2	150 mm	신형식 기초	15 cm
Case 2-3	150 mm	신형식 기초	25 cm
Case 2-4	150 mm	신형식 기초	30 cm
Case 2-5	150 mm	신형식 기초	45 cm
Case 2-6	150 mm	신형식 기초	60 cm
Case 2-7	150 mm	신형식 기초	80 cm

신형식 기초 중앙 지점으로부터 거리별 극한하중 비교를 하였음. Type 1인 경우 중앙부터의 거리 25 cm에서 가장 큰 극한하중이 발현되었고, 15 cm에서 가장 낮은 극한하중이 발현되었음. Type 2인 경우에 30 cm 에서 가장 큰 극한하중이 발현되었고, 80 cm에서 가장 낮은 극한하중이 발현되었음. 이를 통해 헬리컬 파일 나선형 날개 간격별 중앙 지점 거리에 따라 최대, 최소 극한 하중의 조건이 다르다는 것을 확인하였음. 또한, 헬리컬 파일 나선형 원판 간격별 극한 하중은 Type 1보다 Type 2에서 크게 발현되었음. 신형식 기초 또한 나선형 원판 간격별 극한하중의 차이를 나타냈음.

전체적으로 일반 단항 헬리컬 파일의 극한하중보다 신형식 기초에서의 극한하중이 더 크게 발현되는 것을 확인할 수 있음.



(a) Type 1
(헬릭스 간격 50 mm)

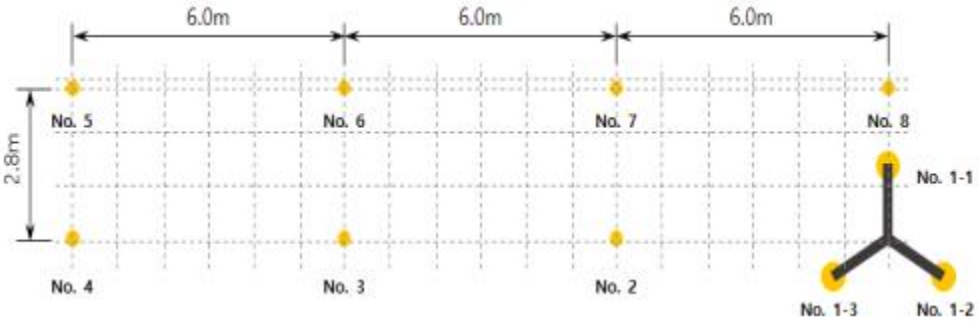


(b) Type 2
(헬릭스 간격 150 mm)

<그림 52> 단항 말뚝과 신형식 기초의 극한하중 비교

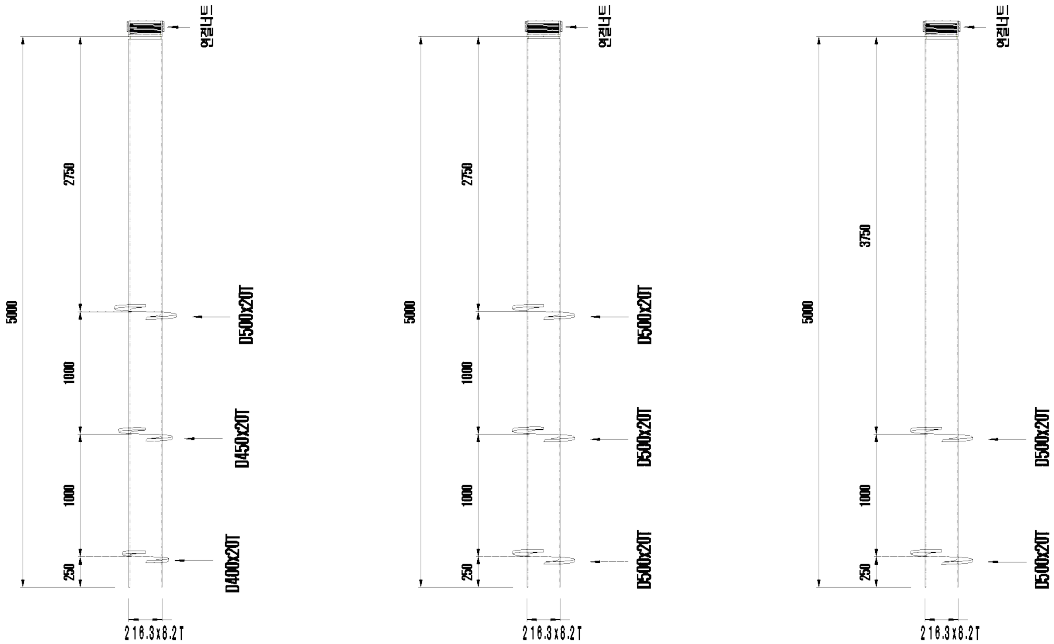
(나) 신형식 기초 현장실험

현장실험은 실대형 헬리컬 파일을 나선형 원판(helix plate)의 개수와 면적을 다르게 제작하여 재하시험을 진행하였음. 재하시험을 토대로 설계하중에 대한 적합성 여부와 헬리컬 파일 회전 관입이 완료되는 시간 또한 확인하여 시공성 부분도 분석을 진행하였음.



<그림 53> 신형식 기초 시공 지점

지지력 및 시공성을 확인하기 위하여 헬리컬 파일의 헬릭스 제원을 달리하여 제작하였음. Type-A의 경우 3개의 헬릭스를 부착하며, 1m 간격으로 그 크기를 하단(D400), 중단(D450), 상단(D500)으로 제작하였음. Type-B는 Type-A와 헬릭스 부착 위치를 동일하게 하며, 헬릭스의 크기를 D500으로 동일하게 하였음. Type-C의 경우 D500 크기의 헬릭스를 1 m 간격으로 2개 부착한 형태로 제작하였음.



(a) Type-A (No.1-1, 1-2, 1-3, 3, 4, 5, 6, 8)

(b) Type-B (No.2)

(c) Type-C (No.7)

<그림 54> Type별 헬리컬 파일 모식도

시공성 확인을 위하여 각 헬리컬 파일별 시공 시간을 측정하였으며 평균 시공 시간은 16분 48초가 소요되었음. Type-B와 Type-C가 Type-A에 비하여 시공속도가 더 빠르며, 같은 Type의 말뚝도 지반조건에 따라 시공 시간이 달라지는 것을 확인하였음.

<표 23> 파일별 시공 시간

말뚝 No.	말뚝 Type	말뚝길이	시공시간
No. 1-1	Type-A	5m	18분 47초
No. 1-2			26분 43초
No. 1-3			14분 10초
No. 2	Type-B		10분 07초
No. 3	Type-A		15분 27초
No. 4			19분 55초
No. 5			18분 23초
No. 6			13분 30초
No. 7	Type-C		12분 22초
No. 8	Type-A		18분 32초

설계하중의 300%를 목표로 재하시험을 실시한 결과, 3 종류의 Type에서 모두 최대 시험 하중(약 16 ton)까지 항복 하중에 해당하는 변곡점이 발생하지 않았고, 침하량 또한 기준치 이내의 침하만이 발생하였음. 최대 시험 하중에 안전율 3.0을 적용한 결과 허용지지력은 평균 1.1배 크게 측정되었음. 헬리컬 파일 조건별 허용지지력은 모든 Type에서 동일하게 측정되었지만, 침하량은 Type-A로 시공된 No. 1-1이 가장 적게 측정되었음.

본 연구에서 개발된 신형식 기초의 경우, 지반조건에 따라 시공 시간이 상이하지만 기존의 강관 말뚝에 비해 높은 시공성과 안정성을 발현할 수 있는 기초로 평가됨.

<표 24> 허용지지력 및 침하량 시험결과

구 분	분석방법	최대시험하중 (ton/m2)	허용지지력 (ton/m2)	설계하중 (ton/m2)	전체침하량
No. 1-1 (Type-A)	P-S	16.30	5.43	5.00	2.27
	LogP-LogS	16.30			
No. 2 (Type-B)	P-S	16.30	5.43	5.00	5.50
	LogP-LogS	16.30			
No. 7 (Type-C)	P-S	16.30	5.43	5.00	5.06
	LogP-LogS	16.30			

□ 4) 소결

개발된 신형식 기초의 말뚝으로 적용되는 헬리컬 파일의 형상변수에 따른 시공성 및 지지력을 분석한 결과는 다음과 같음.

<표 25> 헬리컬 파일의 형상변수에 따른 시공속도 및 지지력 분석

형상변수	시공 시간 분석
헬릭스 간격	▪ 헬릭스 간격이 증가할수록 시공 시간 증가 - 헬릭스 간격 3배 증가 시, 시공 시간 약 32% 증가
헬릭스 개수	▪ 헬릭스 개수가 증가할수록 시공 시간 소폭 감소
최하단 헬릭스 위치	▪ 최하단 헬릭스 위치가 높아질수록 시공 시간 증가 - 최하단 헬릭스 위치 3.5배 증가 시, 시공 시간 약 1485% 증가
헬릭스 직경	▪ 헬릭스 직경이 커질수록 시공 시간 감소 - 헬릭스 직경 1.5배 증가 시, 시공 시간 약 18% 감소
헬릭스 피치	▪ 헬릭스 피치가 증가할수록 시공 시간 감소 - 헬릭스 피치 1.5배 증가 시, 시공 시간 약 45% 감소
형상변수	지지력 분석
헬릭스 간격	▪ 헬릭스 간격이 증가할수록 지지력 증가 - 헬릭스 간격 3배 증가 시, 지지력 약 60% 증가
헬릭스 개수	▪ 헬릭스 개수가 증가할수록 지지력 소폭 증가
최하단 헬릭스 위치	▪ 최하단 헬릭스 위치가 높아질수록 지지력 감소 - 최하단 헬릭스 위치 3.5배 증가 시, 지지력 약 50% 감소
헬릭스 직경	▪ 헬릭스 직경이 커질수록 지지력 증가 - 헬릭스 직경 1.5배 증가 시, 지지력 약 60%(최대 90%) 증가
헬릭스 피치	▪ 헬릭스 피치가 증가할수록 지지력 감소 - 헬릭스 피치 1.5배 증가 시, 지지력 약 15% 감소

동일조건에서 헬리컬 파일의 시공속도는 최하단 헬릭스 위치, 헬릭스 피치, 헬릭스 직경, 헬릭스 간격의 순서로 영향을 받으며, 헬리컬 파일의 지지력은 헬릭스 직경, 헬릭스 피치, 헬릭스 간격, 최하단 헬릭스 위치의 순서로 영향을 받는 것을 확인하였음. 헬릭스 개수가 증가할수록 지지력과 시공속도는 소폭으로 증가하나 다른 인자에 비하여 영향력이 적은 변수임을 확인하였음. 최종적으로 본 연구결과를 통하여 개발된 신형식 기초 시공가이드라인(안)을 개발하였음.

헬리컬 파일은 다양한 형상변수를 가지고 있으며, 형상변수의 차이로 인한 각기 다른 시공성과 지지성능을 가짐. 그러므로 시공 현장의 지반조건, 예산, 시공 기간 및 발주자의 추가적인 요구과 같은 다양한 조건을 고려하여 최적 헬리컬 파일의 형상을 결정하고 신형식 기초를 설계하는 것을 제안하는 바임.

자. 파일럿 모듈 제작 및 검증 피드백

(1) 구조 프레임 파일럿 실증

1) 신형식 기초 현장실험

(가) 개요

오일샌드 플랜트의 기초는 일반적으로 콘크리트 말뚝 또는 강관말뚝을 사용하고 있음. 하지만 콘크리트 말뚝 또는 강관말뚝을 사용할 경우 재활용이 어려우며, 시공깊이가 깊어 재료비 및 시공이 어려운 단점이 있음. 이러한 문제점을 보완할 수 있는 기초는 회전관입형 소구경 말뚝(이하 ‘헬리컬 파일’)으로 판단되었음. 헬리컬 파일은 콘크리트 및 강관말뚝에 비해 시공깊이가 비교적 짧고, 시공장비가 간단함. 헬리컬 파일은 중공형 파일에 helix가 부착된 형태이며, helix의 크기 및 개수에 따라 시공성능(속도, 지지력, 등)의 증감이 발생함.

따라서 본 현장실험을 통해 ①헬리컬 파일의 helix 제원에 따른 비교시험과 ②신형식 기초의 복합지지 성능을 검증하는데 목적이 있음.

(나) 현장실험 위치

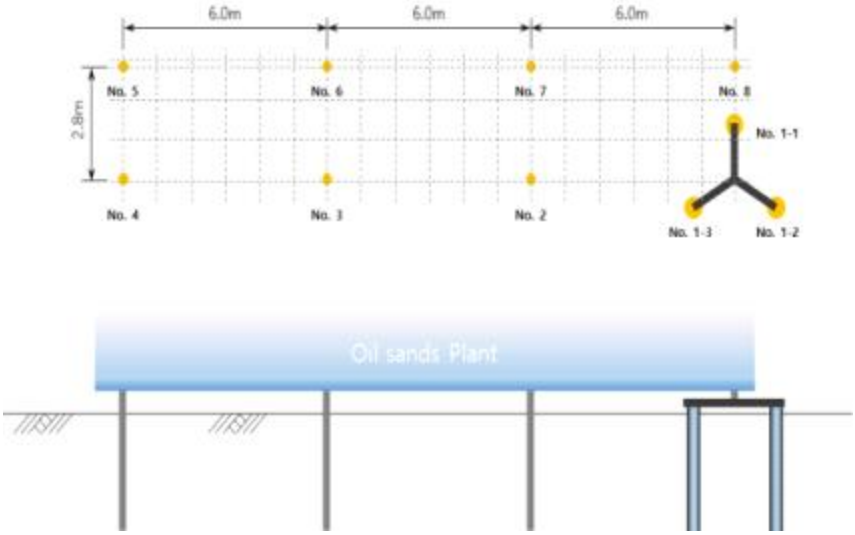
현장실험은 경상북도 안동시에 위치한 한국건설기술연구원 하천실험센터부지 내로 계획하였음. 현장실험부지는 북측에서 발원하여 사행하는 풍산천과 신역천이 남측에서 동서측으로 사행하는 낙동강으로 유입되는 소하천 인근으로 수계가 발달하여 자갈이 다수 혼재되어 있을 것으로 판단됨.

<그림 55> 현장실험 위치

(다) 현장실험 시공 계획

오일샌드 플랜트의 상부 하중지점은 8개의 지점으로 구성되어 있으며, 지점의 간격은 X축방향 6.0m, Y축방향 2.8m로 계획되어 있음. 신형식 기초의 복합거동 특성을 분석하기 위해 그림 56과 같이 지점번호 No.1-1, 1-2, 1-3을 포함하여 10개의 헬리컬 파일 시공지점이 있으며, 지점의 정확한 시공위치 파악을 위해 GPS를 이용하였음.

<그림 55> GPS를 이용한 시공위치 측정



<그림 56> 회전관입형 말뚝 시공계획 현황

(라) 회전관입형 말뚝 시공

헬리컬 파일은 일반적으로 항타나 굴착이 필요하지 않기 때문에 대형 항타장비가 필요 없으며, 굴삭기 앞부분에 회전관입이 가능하도록 유압모터를 장착하여 시공이 가능함.

<그림 56> 시공장비 조립

개발된 유압모터에 굴삭기 버켓체결부분과 연결함으로써 헬리컬 파일의 시공장비의 준비는 완료되었으며, 헬리컬 파일을 결합하기 위하여 야적된 파일에 와이어를 이용하여 시공위치에

인양하고 작업자가 가이드핀과 유압모터의 첼결부를 연결하였음.

<그림 57>. 시공장비와 말뚝 조립

말뚝 시공중 수직오차를 방지하기 위해 굴삭기 내부에 장착되어 있는 경사계와 휴대용 디지털 경사 측정기를 이용하여 작업자가 외부에서 수시로 확인하였음.

<그림 58> 수직도 관리

<그림 59> 헬리컬 파일 시공종료

시험계획에 맞게 총 10본의 회전관입형 말뚝을 목표심도까지 회전 관입시켜 완료하였음. 또한, 시공성 확인을 위하여 각 말뚝마다 시공시간을 측정하였으며 평균 시공시간은 16분 48초가 걸렸음.

<표 26> 파일별 시공시간

말뚝 No.	말뚝 Type	말뚝길이	시공시간
No. 1-1	Type-A	5m	18분 47초
No. 1-2			26분 43초
No. 1-3			14분 10초
No. 2	Type-B		10분 07초
No. 3	Type-A		15분 27초
No. 4			19분 55초
No. 5			18분 23초
No. 6			13분 30초
No. 7	Type-C		12분 22초
No. 8	Type-A		18분 32초

(마) 재하시험 및 데이터 분석

지지력 확인을 위해 말뚝 Type별 1개소씩 총 3개소에 재하시험을 실시하였으며, 시험조건은 표3과 같음.

<표 27> 재하시험 조건

시험파일	재하판 규격 (cm)	시험하중 (ton/m^2)	하중조건	설계하중 (ton/m^2)
No. 1-1	30	16.30	하중물 이용	5.00
No. 2	30	16.30	하중물 이용	5.00
No. 3	30	16.30	하중물 이용	5.00

(a) 지압판 설치

(b) 유압실린더 설치

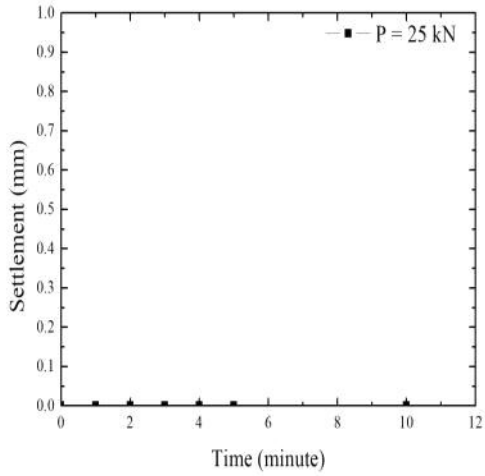
(c) 변위측정 지지대 (Reference Beam)

(d) 다이얼게이지 장착

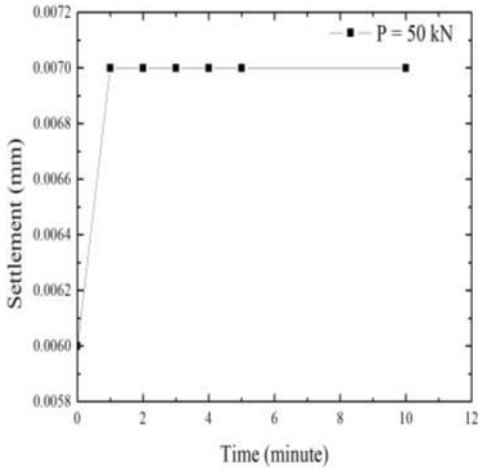
(e) 하중물 위치

(f) 하중재하 및 변위측정

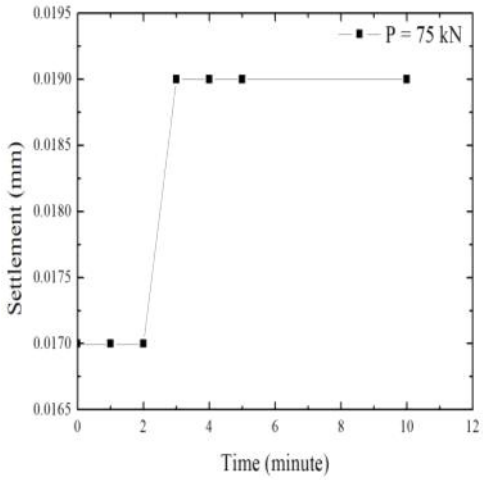
<그림 60> 재하시험 전경



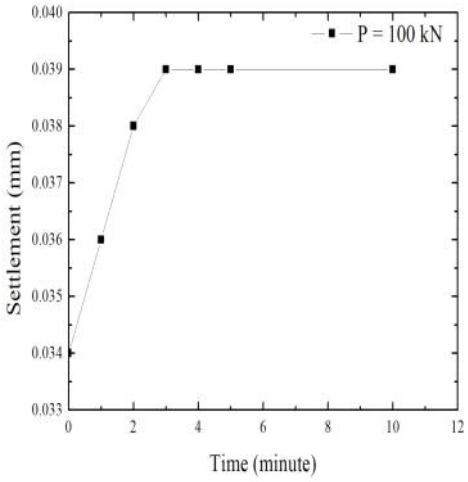
(a) 재하 1단계



(b) 재하 2단계

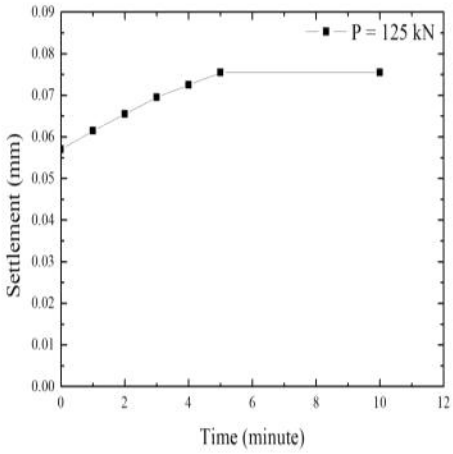


(c) 재하 3단계

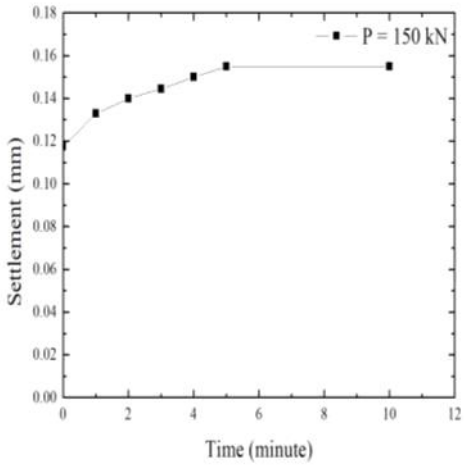


(d) 재하 4단계

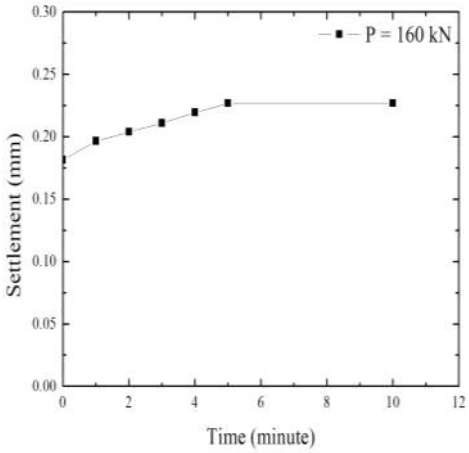
<그림 61> Type A 재하시험 결과 - 1



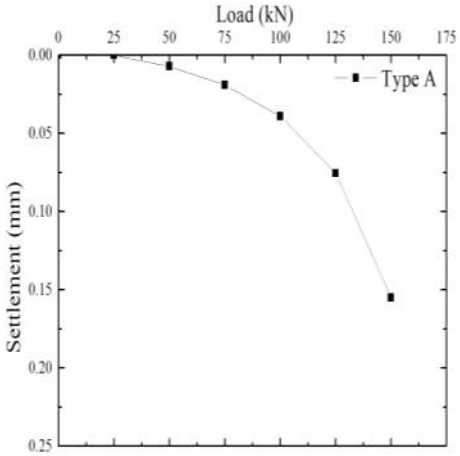
(a) 재하 5단계



(b) 재하 6단계

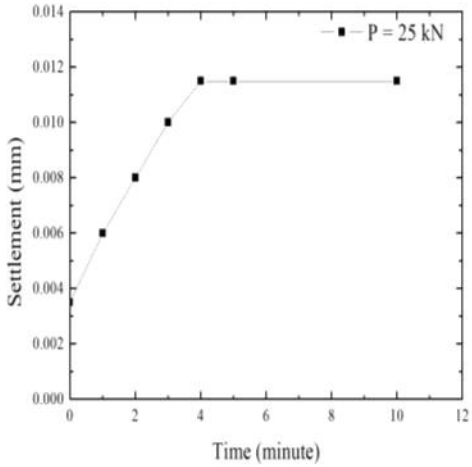


(c) 재하 7단계

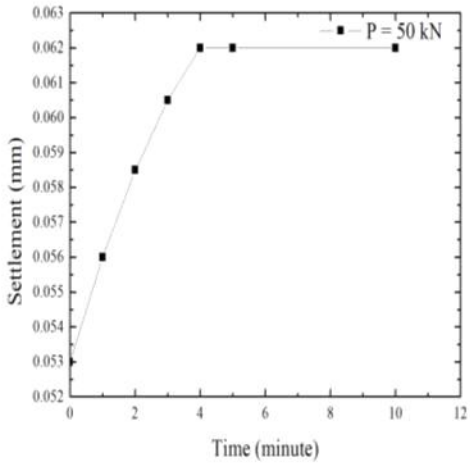


(d) Type A 재하시험 결과

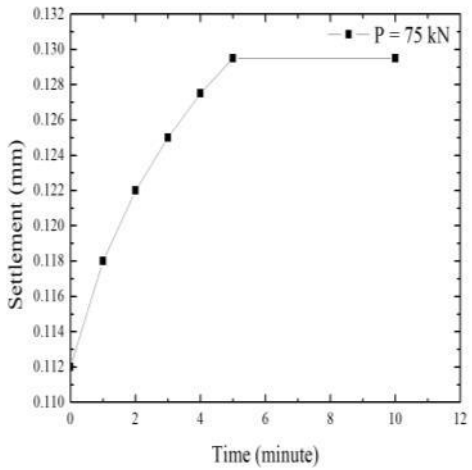
<그림 62> Type A 재하시험 결과 - 2



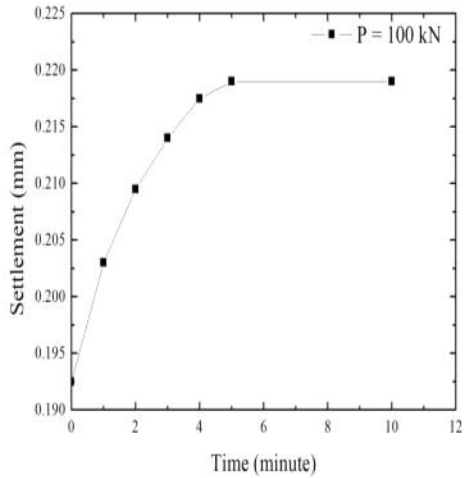
(a) 재하 1단계



(b) 재하 2단계

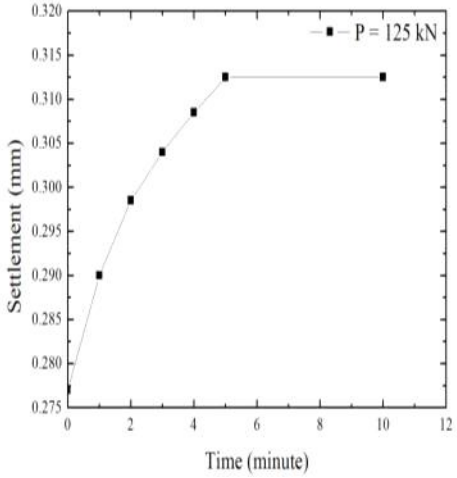


(c) 재하 3단계

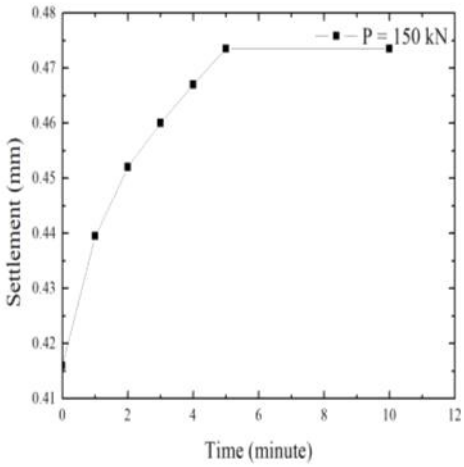


(d) 재하 4단계

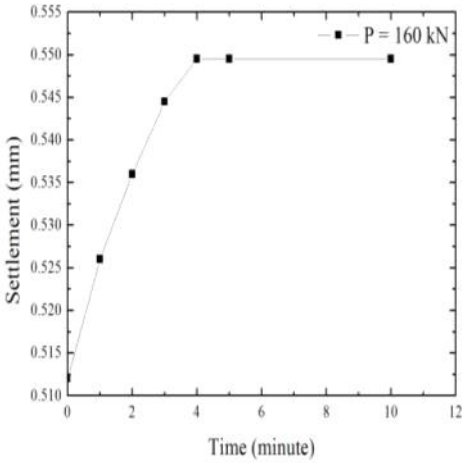
<그림 63> Type B 재하시험 결과 - 1



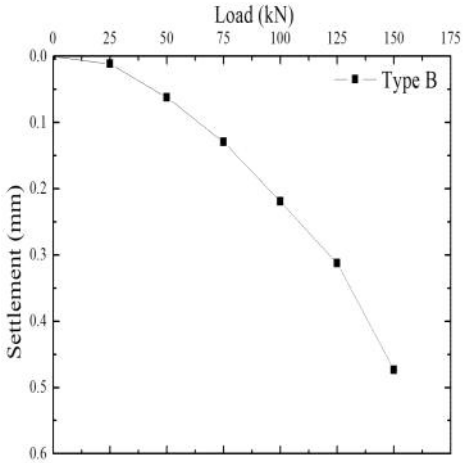
(a) 재하 5단계



(b) 재하 6단계

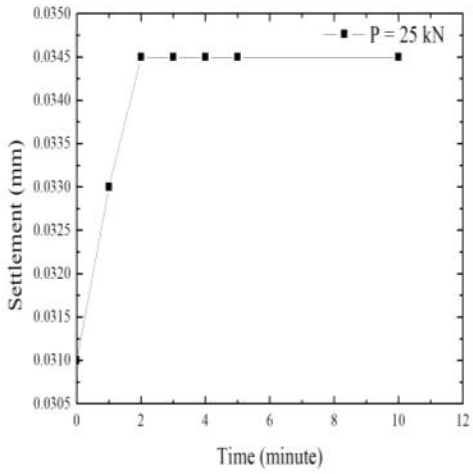


(c) 재하 7단계

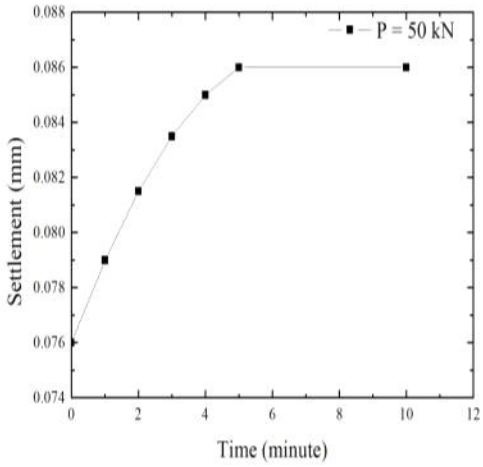


(d) Type B 재하시험 결과

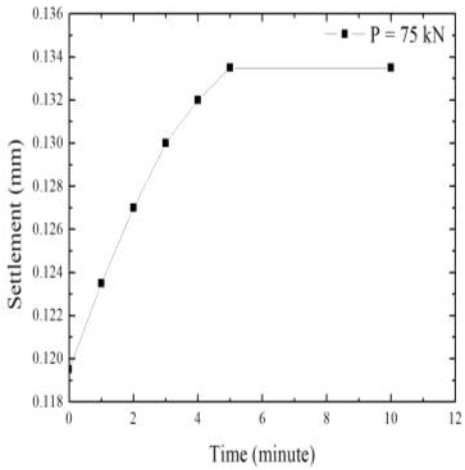
<그림 64> Type B 재하시험 결과 - 2



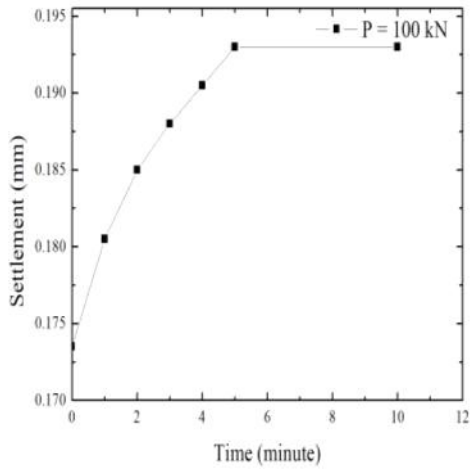
(a) 재하 1단계



(b) 재하 2단계

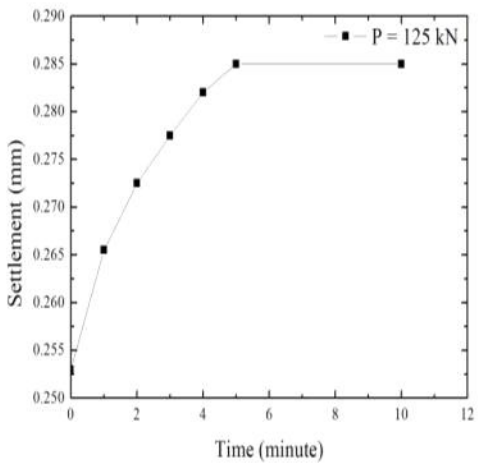


(c) 재하 3단계

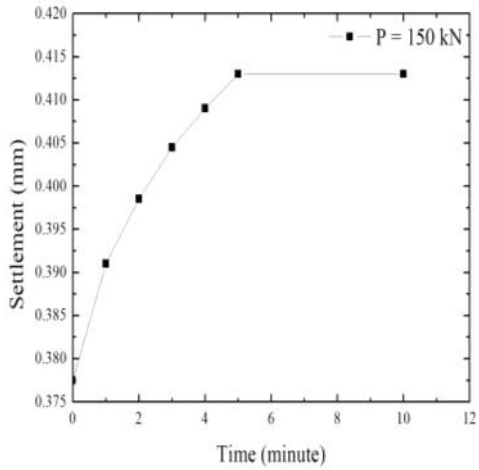


(d) 재하 4단계

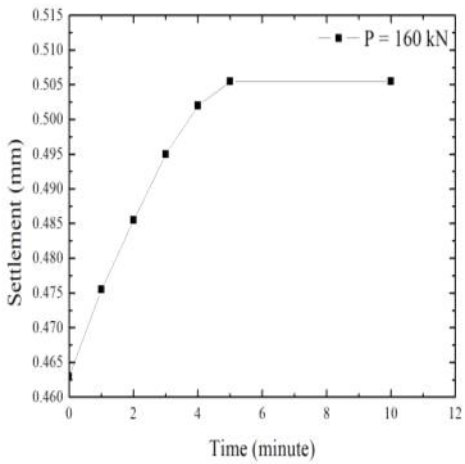
<그림 65> Type C 재하시험 결과 - 1



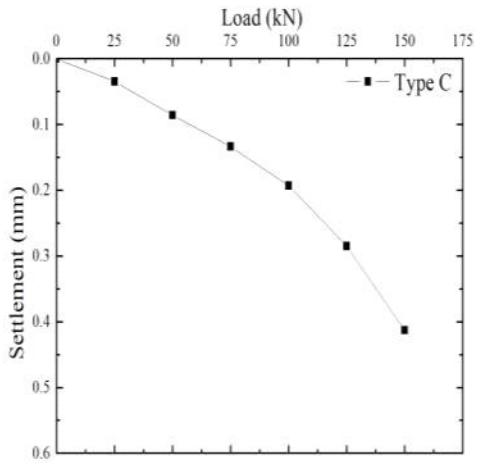
(a) 재하 5단계



(b) 재하 6단계



(c) 재하 7단계



(d) Type C 재하시험 결과

<그림 66> Type C 재하시험 결과 - 2

신형식 기초의 1지점에 대해 3본의 시공된 말뚝의 복합적인 거동 특성을 확인하기 위해 별도의 변위대응형 연결체를 제작하여 재하시험을 계획하였음,

하지만 시공된 헬리컬 파일의 레벨이 모두 상이하여 별도의 커플링 제작을 통해 각 파일별로 레벨을 맞추어 재하시험을 실시하였음.

<그림 67> 말뚝 레벨측정

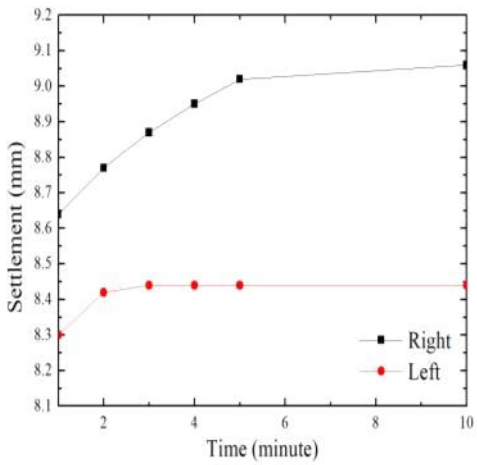
<그림 68>. 변위대응형 연결체

앞서 시험한 오일샌드 플랜트의 각 지점과 같이 설계하중(5ton/m2)의 300%인 15ton/m2이상의 하중을 총 6단계로 나눠 측정하였으며, 1단계의 하중이 2.5ton으로 단계가 증가할 때마다 2.5ton씩 하중을 증가시켜 각 단계별 변위를 측정하였음.

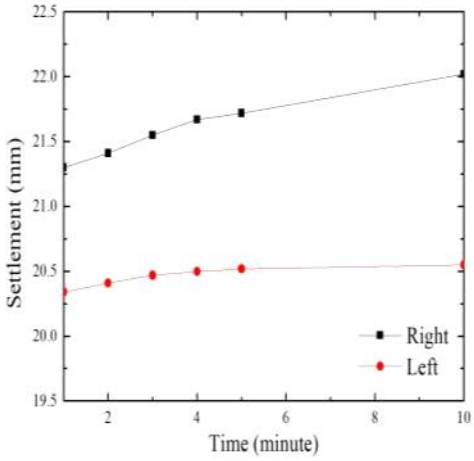
<그림 69>. 신형식 기초 3지점 재하시험

3단계(재하하중 7.5ton)에서 10분 경과후 변위가 수렴하여 4단계(재하하중 10ton)로 진행하였지만 변위대응형 연결체 자재변형에 의해 시험을 종료하였음.

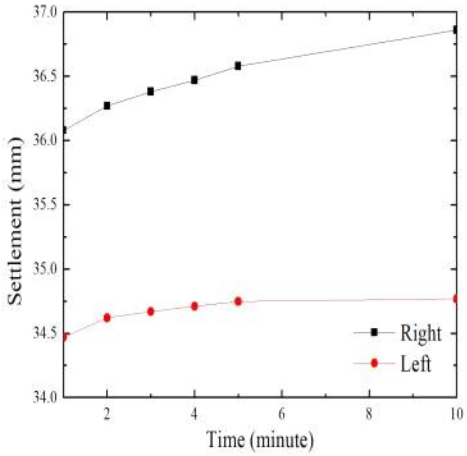
<그림 70> 재하시험중 변위대응형 연결체의 자재변형



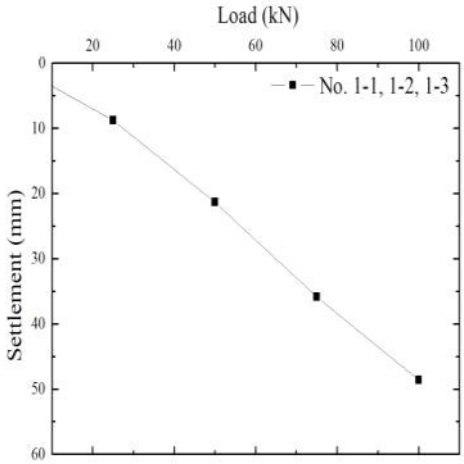
(a) 재하 1단계



(b) 재하 2단계



(c) 재하 3단계



(d) 하중 침하량 관계
(신형식 기초 복합거동)

<그림 71> No.1-1, 1-2, 1-3 재하시험 결과

시험 종료 후 철거작업이 가능유무를 확인하기 위하여 추가로 시공된 헬리컬 파일 철거작업을 실시하였음. 특별히 어려운점은 발견되지 않았으며, 철거작업 또한 매우 간편하였음.

<그림 72> 헬리컬 파일의 철거

(바) 결과 분석

현장시험 결과, Helix의 조건에 따라 3차례 시험한 재하시험에서 설계하중(5.0ton)을 모두 만족하지만, 시공속도는 Type-B, C가 더 빠르다는 것을 알 수 있었음. 이는 Helix의 조건에 따른 영향 보다는 지반조건에 의한 영향으로 판단됨.

추후 시공성 및 지지성능을 향상시킬 수 있는 적절한 형태의 헬리컬 파일 Type에 대한 연구가 필요할 것으로 판단됨.

(사) 소결

기초의 위치는 각 모듈 플랜트가 만나는 지점에 주로 설치가 되며, 한 지점당 40 ton으로 연구가 진행되었음. 필요에 따라 설계하중이 변할 경우, 지반 조건에 따라 (1) 말뚝 개수, (2) 말뚝 간격, (3) 말뚝 근입깊이, (4) 말뚝 헬릭스 피치 간격, (5) 말뚝 헬릭스 개수 및 현상 등을 현장 자료를 토대로 설계해야 함. 본 연구의 목적에 부합되도록 급속시공, 모듈화의 극대화를 위하여, 위 항목을 조정하여 현장 설계하는 것을 권장함.

2) 파이프렉 표준모듈 구조프레임 실증

(가) 개요

모듈화 플랜트 건설기술이란 육상플랜트 구조물을 운송 가능한 크기의 모듈로 구성, 제작/현장 조립함으로써 공사비(운송비) 및 공사기간을 단축시킬 수 있는 기술이며, 오일샌드 플랜트의 표준 구조프레임 모듈은 운송 표준규격에 맞게 모듈을 구성하는 구조뼈대를 개발하는 것으로써 운송용 가설부재, 공용 중 불필요부재, 현장 공사용 별도부재 등을 최소화할 수 있는 기술이 구조프레임 모듈 안에 포함되어 있어 모듈간 현장 연결 및 정렬을 단기에 쉽게 할 수 있는 기술임. 오일샌드 플랜트 표준 모듈 중 파이프랙 구조프레임에 대한 제작상세도를 도출하고, 실제 제작 운송 및 안동하천실험센터 테스트베드에 설치함으로써, 제작 프로세스에 대한 실증을 진행하였음.

(나) 구조프레임 제작

구조프레임 구조해석과 제작상세설계 자료를 바탕으로 Shop에서 모듈의 외부한계를 설정하는 플랜트 부재, 연결체의 반복적인 제작 및 조립, 개선 작업을 통해 실증모듈 제작이 완성됨.

(마) 구조프레임 육상운송 및 해상운송 실증

(바) 안동하천실험센터 테스트베드 구조프레임 현장 설치

3) 변위 대응형 플랜트 모듈의 현장 적용성 평가

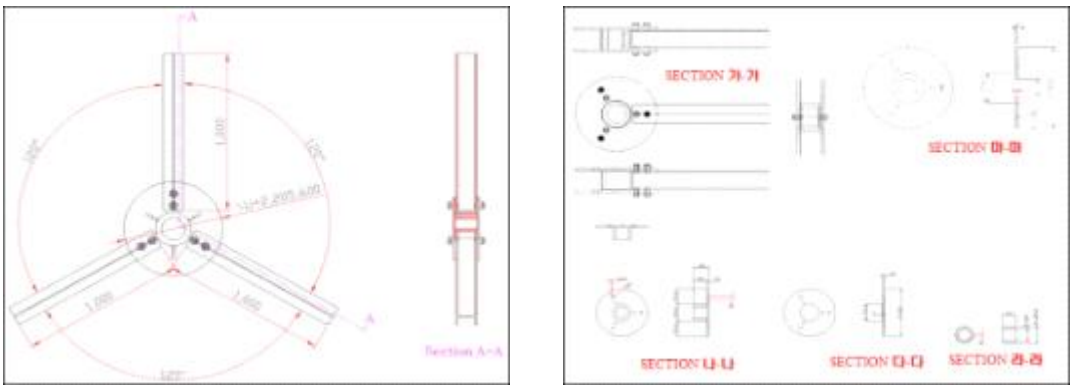
(가) 변위 대응형 플랜트 모듈의 필요성

극한환경조건에서 거주 구조물 건설, 연구시설 플랫폼 구축, 운송/수송 인프라 건설 등을 위해서는 건축/토목 구조물을 안전하게 지지하는 기초구조물 설계 및 시공과 관련된 핵심 기술의 확보가 필요함. 극한지에서의 건설 활동은 하절기에 국한되어 수행되는 것이 일반적이며, 일반 건설과 달리 접근성이 낮아 자재의 반입이 자유로이 허용되지 않기 때문에 설계 및 시공의 정확성을 확보 할 수 있는 기술을 필요로 함. 극한지는 영구동토지역에 속하여 동상, 동착현상 등이 나타나므로 이러한 동토지반특성을 고려한 최적 기초 설계 기술의 개발이 필요하며 극한지의 지반거동은 온도 조건에 지배되므로 지반 내부의 온도를 제어하는 방식의 변위 대응기술을 접목한 기초형식의 도축이 필요함. 따라서 극한지의 지반 특성을 반영할 수 있는 말뚝기초 설계 정수를 분석하고 이를 바탕으로 동토지반에서의 최적 기초설계 기법을 개발하며, 극한 환경조건에서 기초의 지지성능을 유지하고, 지반거동에 효과적으로 대응할 수 있는 변위 대응형 플랜트 모듈 형식의 최적 설계/시공 기법 도축 및 지지성능을 확보할 수 있는 시스템을 개발하고자 함.

(나) 변위 대응형 플랜트 모듈의 개요

제안된 변위 대응형 플랜트 모듈은 오일샌드 모듈화 플랜트의 기초나 연약지반, 계절적 동토지역 등에 적용이 가능하도록 개발되었음. 이 모듈은 마이크로 파일형태의 신형식 기초의 근입 깊이 부족으로 인한 지지력 부족이나 동결융해에 따른 지지력 상실로 인한 부분침하의 문제점을 보완이 가능함. 이 구조체는 빔부재와 원형부재의 조합으로 빔부재의 선단부위는 마이크로파일의 두부가 체결되는 부위고 반대측은 원형부재가 연결되는 부위임. 원형부재는 플랜트 구조물의 하중 전달이 예상되는 부재로 빔부재의 휨을 최소화하기 위해 제작하였음. 본

구조체는 4가지 부재의 연결체로 파일의 설계 및 시공 형상에 따라 변형이 되도록 나사 형식으로 제작되어 3~4개의 개별말뚝을 복합거동 하도록 연결하고 이를 통해 축방향과 횡방향의 응력을 인접말뚝으로 분산시키도록 유도함. 이를 통해 하나의 말뚝이 침하되었을 경우 연결체로 연결된 인접말뚝이 지지력을 발현하거나 축소된 동일한 침하가 무리말뚝에 전달되도록 함. 발생된 침하의 경우 중심부에 설치되는 유압 변형부를 통해 플랜트 시설물이 가동되는 동안 또는 지지력이 회복되는 계절까지 회복되도록 함.



<그림 73> 변위 대응형 플랜트 모듈의 설계도

(다) 모듈의 현장적용 평가

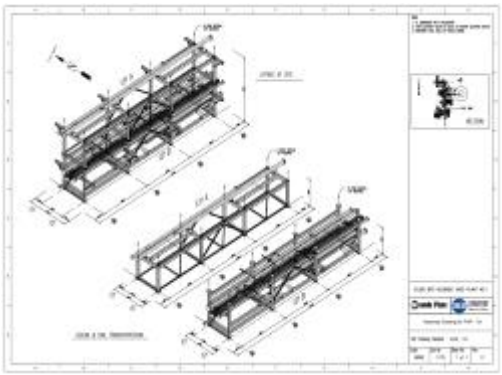
오일샌드 모듈화 플랜트에 적용할 수 있도록 운송, 성능, 안전, 운영(유지보수 포함)을 고려한 기능모듈 분할 및 최적화 설계기술을 개발하고, 현장적용 파일럿 실증 모듈을 제작하고 Pilot 실험 부지를 선정하여 신형식 변위 대응형 플랜트 모듈을 제작·설치하여 현장 적용성 평가를 하고자 함. 모듈의 성능평가를 위하여 그림 74에서 보여주듯이 빔 부재와 원형부재의 조합으로 빔 부재의 선단부위는 마이크로파일의 두부가 체결되는 부위고 반대측은 원형부재가 연결되는 부위임. 원형부재는 플랜트 구조물의 하중 전달이 예상되는 부재로 빔 부재의 휨을 최소화하기 위해 제작하였음. 본 모듈은 4가지 부재의 연결체로 파일의 설계 및 시공 형상에 따라 변형이 되도록 나사 형식으로 제작되어 하중 전달부 및 부재별 접촉부위에 변형 집중이 예상됨.

<그림 74> 변위 대응형 플랜트 모듈

(라) 현장적용평가 계획

실물 크기의 변위 대응형 플랜트 모듈의 사이즈가 실내에서 실험을 진행하기 어려운 점이 있어 부득이하게 실외에서 실험이 실시되었음. 모듈은 하중 재하 실험시 제작하였던 모듈과

같은 형상으로 사용되었으면 제작된 후 9개월 동안 자연환경에서 처짐 값을 측정하였음.



<그림 75> 변위 대응형 플랜트 모듈의 현장 적용

(마) 측정

하중이 재하된 모듈의 처짐은 다음 표 24와 같은 간격을 두고 측정하였음. 또한 처짐 값 이외에도 현장의 온도를 매번 측정하였음. 처짐은 위의 그림 76과 같이 원형판의 중심부 밑면에 레이저거리측정기를 사용하여 처짐을 측정하였음.

<표 28> 측정간격

	측정기간(개월)	간격	횟수
Step1	재하 후 ~ 2시간	1시간 간격	2회
Step2	1	월1회	1회
Step3	1	월1회	1회
Step4	1	월1회	1회
Step5	1	월1회	1회
Step6	1	월1회	1회
Step7	1	월1회	1회
Step8	1	월1회	1회

<그림 76> 레이저거리측정기를 통한 측정부위

(바) 처짐

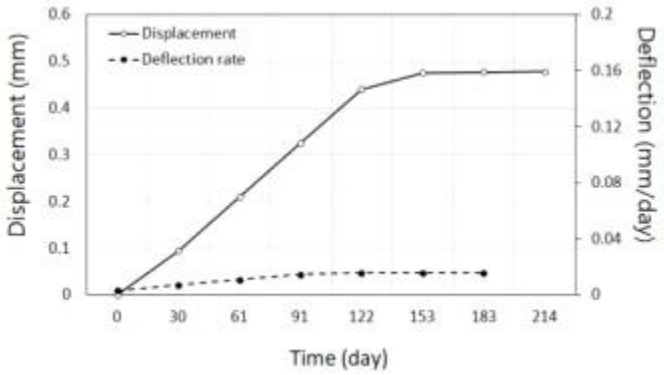
변위 대응형 플랜트 모듈에 하중을 재하 하였을 때 발생하는 9개월간의 처짐을 월별로 나타낸 표임. 30~31일을 기준데이터로 월별 정리하였음.

<표 29> 변위 대응형 플랜트 모듈의 장기 처짐

	경과시간 (개월)	일수 (day)	처짐(mm)	처짐속도 (mm/day)	측청시 온도
Step1	1	30	2.247	0.003	13.8℃
Step2	2	61	2.457	0.007	19.7℃
Step3	3	91	2.572	0.010	21.3℃
Step4	4	122	2.687	0.015	27.5℃
Step5	5	153	2.722	0.016	31.5℃
Step6	6	183	2.724	0.015	19.8℃
Step7	7	214	2.725	0.016	12.2℃

(사) 처짐의 분석

모듈의 처짐 그래프는 위의 그림 77에서 확인 할 수 있음. 장기 처짐에 대한 장기 처짐 데이터를 가질 수 있었음. 현장적용평가결과 9개월 동안 하중을 재하 하였을 경우 변위는 약 2.725mm 까지 발생하였음. 초기하중을 가했을 시 2.247mm의 변위가 발생하였기 때문에 9개월 동안 산술적으로 0.478mm의 변위가 발생하였음. 결과적으로 원형플랜지는 전단면적이 파일부위보다 작아 변위가 비교적 높게 나타난 것으로 판단되고 이에 따라 연결체의 크기, 부재의 두께, 강도 등 여러 가지 조건을 변동한다면 안정성의 문제는 없는 것으로 판단됨. 따라서 나타난 하중에서는 특별한 징후가 나타나지 않음을 알 수 있고, 향후 나사부의 강도를 유지한 상태에서 무게의 감량이 가능할 것임.



<그림 77> 변위 대응형 플랜트 시험체의 처짐/처짐속도 그래프

(아) 결론

본 연구에서는 실물크기의 변위 대응형 플랜트 모듈을 활용하여 장기 하중 재하 실험을 실시하였음. 실험을 통해 다음과 같은 결론을 낼 수 있었음.

- 장기 하중재하 실험결과 원형플랜지는 약 2.725mm의 변위가 발생하였음. 원형플랜지는 전단면적이 파일부위보다 작아 변위가 비교적 높게 나타난 것으로 판단됨. 이에 따라 연결체의 크기, 부재의 두께, 강도 등 여러 가지 조건을 변동한다면 안정성의 문제는 없는 것으로 판단됨.

- 전체적으로 원형부재의 비인접 부위가 파손의 위험성이 가장 크게 나타났으나, 초기 하중의 경우 하중재하전 이격과 초기하중재하 시 충격에 의해 빔 부재의 인접부에서 크게 나타난 것으로 판단됨. 이러한 결과로 마이크로 파일의 설계지지력이 결정되면 복합거동 연결체의 취약 지점 평가와 보강 정도를 산정할 수 있을 것으로 판단됨.

- 계측 분석 결과 축방향으로 하중을 주었을 때 변위가 발생했으며 처짐 기간이 증가되면서 변위의 양을 점점 줄어드는 것을 확인하였고 말뚝기초와 캡핑 두부부분과 결합하지 않은 상태라서 다소 변위가 발생한 것으로 판단됨

(2) 열캐리어 가압모듈 파일럿 실증

1) 복합열캐리어발생기 현장 Pilot Test (강원도 영월)

① 목적 및 배경

실규모 복합열캐리어발생기 모듈 유닛에 대한 파일럿 테스트를 실시하여 오일샌드 모듈화 플랜트 적용성을 검토하고 스팀 토출량, 토출압, 온도 등 주요 성능인자들에 대해 연속 모니터링을 통한 복합열캐리어발생기 단위 유닛 당 오일 회수능력을 예측

② 시험장소

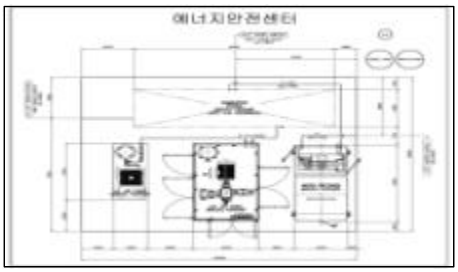
- 에너지안전실증연구센터 야외시험장 : 가로30m, 세로 60m, 높이 8m
  - · 중앙 시험대 패드(가로 14m, 세로 8m)
  - · 타 시험 설비와 강판제 구획벽으로 격리
  - · 외벽의 두께는 1m인 철근콘크리트 구조물
  - · 급수량 : 시간당 1.3ton, 전기용량 : 450kW

에너지안전실증연구센터 전경

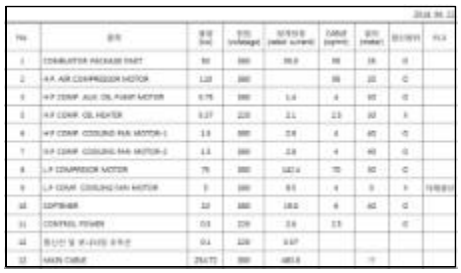
초저온동 모델 및 지하 PIT

③ 현장 Pilot Test를 위한 제반사항 준비

- 복합열캐리어발생기 모듈·패키지 현장 설치 위한 배치도 및 운전조건 도출



<에안센터 현장배치도>



<현장 설치 전력 부하 계산>

- 복합열캐리어발생기 모듈·패키지 Trailer를 통한 육상 이송 및 설치

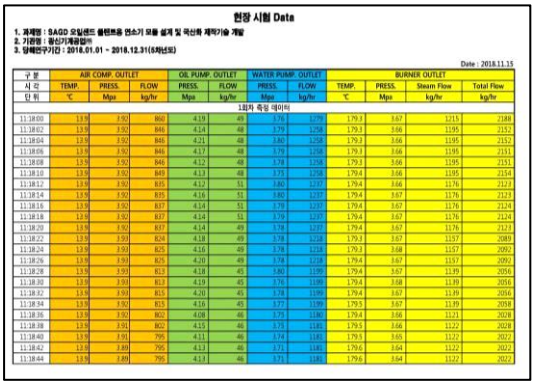
④ 복합열캐리어발생기 Pilot Test운전 및 Data 수집

- 복합열캐리어발생기 현장 운전사양

Mode		FDL/FDH
Power	Voltage(V)	380
	Frequency(Hz)	50
	Power(kW)	550
Max Output Pressure		2
Oil Well Depth Range(m)		300-3,000
Temperature of Heat Carrier (oC)		12-350
Max Air Flow Rate (Nm3/hr)		1,200
Max Delivery Pressure (MPa)		25
Max Fuel Flow Rate (L/hr)		125
Max Gas Flow Rate (Nm3/hr)		110
Heat Carrier Flow Rate (t/hr)		1-5.6

- 복합열캐리어발생기 현장 운전 및 모니터링

- 복합열캐리어발생기 현장 운전 Data 분석

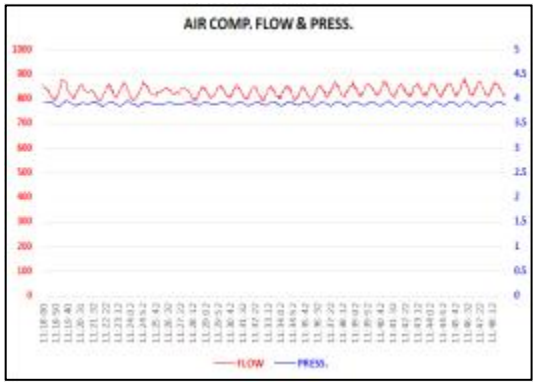


현장 시험 Data

1. 과제명 : SAGD 오일샌드 플랜트용 연소기 모듈 설계 및 국산화 제작기술 개발
2. 기관명 : 한신기계공업㈜
3. 당해연구기간 : 2016.01.01 ~ 2018.12.31(5차년도)

Date : 2018.11.15

구 분	AIR COMP. OUTLET			OIL PUMP. OUTLET		WATER PUMP. OUTLET			BURNER OUTLET			
시 간	TEMP.	PRESS.	FLOW	PRESS.	FLOW	PRESS.	FLOW	TEMP.	PRESS.	Steam Flow	Total Flow
단 위	℃	Mpa	kg/hr	Mpa	kg/hr	Mpa	kg/hr	℃	Mpa	kg/hr	kg/hr
1회차 측정 데이터											
11:18:00	13.9	3.92	860	4.19	49	3.76	1277	179.3	3.67	1215	2169
11:18:02	13.9	3.92	846	4.14	48	3.79	1253	179.3	3.66	1195	2152
11:18:04	13.9	3.92	846	4.21	48	3.80	1253	179.3	3.66	1195	2152
11:18:06	13.9	3.92	846	4.17	48	3.79	1253	179.3	3.66	1195	2151
11:18:08	13.9	3.92	846	4.12	48	3.78	1253	179.3	3.66	1195	2151
11:18:10	13.9	3.92	849	4.13	48	3.75	1253	179.4	3.66	1195	2154
11:18:12	13.9	3.92	835	4.12	51	3.80	1237	179.4	3.66	1176	2123
11:18:14	13.9	3.92	835	4.16	51	3.80	1237	179.4	3.67	1176	2123
11:18:16	13.9	3.92	837	4.14	51	3.79	1237	179.4	3.67	1176	2124
11:18:18	13.9	3.92	837	4.14	51	3.79	1237	179.4	3.67	1176	2124
11:18:20	13.9	3.92	837	4.14	49	3.78	1237	179.4	3.67	1176	2123
11:18:22	13.9	3.90	824	4.18	49	3.78	1215	179.3	3.67	1157	2089
11:18:24	13.9	3.90	825	4.16	49	3.78	1215	179.3	3.68	1157	2092
11:18:26	13.9	3.90	825	4.20	49	3.78	1215	179.4	3.67	1157	2092
11:18:28	13.9	3.90	813	4.18	45	3.80	1195	179.4	3.67	1139	2056
11:18:30	13.9	3.90	813	4.19	45	3.76	1195	179.4	3.68	1139	2056
11:18:32	13.9	3.90	815	4.20	45	3.74	1195	179.4	3.67	1139	2056
11:18:34	13.9	3.90	815	4.16	45	3.77	1195	179.5	3.67	1139	2058
11:18:36	13.9	3.90	802	4.08	46	3.75	1185	179.4	3.66	1121	2028
11:18:38	13.9	3.91	802	4.15	46	3.75	1185	179.5	3.66	1122	2028
11:18:40	13.9	3.91	795	4.11	46	3.74	1185	179.5	3.65	1122	2022
11:18:42	13.9	3.89	795	4.13	46	3.71	1185	179.6	3.64	1122	2022
11:18:44	13.9	3.89	795	4.13	46	3.71	1185	179.6	3.64	1122	2022



<Pilot Test 운전 Data> <Pilot Test 운전 Data 분석>

⑤ 10,000BPD급 생산 공정에 적용 할 수 있는 연소기 모듈 설계 검토를 실시
모듈패키지를 고려한 기존 설비의 수량을 늘릴 경우 10,000BPD급 설비 구축 가능

- 시설 기준

구 분		주 요 내 용	비 고
설 비 면 적		· 165m2 x 8Set = 1,320m2	
장 비 면 적		· 연소기(22.2m2), H.P Air Comp.(45m2), L.P Air Comp.(6.5m2), 연수기(12.2m2) x 8Set	
운 전 시 간		· 8hr/일, 30일	-
설 비 구 성		· SAGD 오일샌드 복합열캐리어발생 모듈 플랜트 설비	
시 설 용 량		· 270℃, 10MPa, 28,800Nm3/hr	
공 사 기 간		· 12개월	
사용원료	원료조건	· 물 + 디젤 + Air / 혼합 연소 후 Steam 상태	

- Utility 기준

구 분		Q' TY	주 요 내 용	비 고
Combustor Part		8	· 150kW, 380V, 3PH, 60Hz x 8대	
H.P Air Comp.	Comp. Motor	24	· 110kW, 440V, 3PH, 60Hz x 24대	
L.P Air Comp. Motor		8	· 225kW, 380V, 3PH, 60Hz x 8대	
Softener		8	· 10kW, 380V, 3PH, 60Hz x 8대	
Combustor Control Power		8	· 0.5kW, 220V, 1PH, 60Hz x 8대	
H.P Comp. Control Power		8	· 1.0kW, 220V, 1PH, 60Hz x 8대	

⑥ 현장 Pilot Test(강원도 영월) 결과

5차년도에 목표한 복합열캐리어발생기 모듈·패키지의 시작품 제작 및 Pilot Test를 진행한 결과 3건의 시작품과 1건의 현장운영 결과를 확보하였고, 현장 테스트를 통해 개발 된 제품의 성능이 당초 계획했던 수준으로 나타남을 확인 함.

본 과제의 핵심 기술인 모듈·패키지 기술은 기존 대형화 된 SAGD 오일샌드 플랜트를 캐나다 현지 제작할 경우 높은 인건비와 현지 생산기반 부족 및 자재수급의 어려움등의 문제로 구축 단가가 비싼 반면 국내 생산 후 캐나다 현지로 이송 할 경우 이러한 구축 비용을 절감 할 수 있는 장점이 있음.

3건의 시작품은 모두 Enclosure 형태로 제작하여 당사의 생산공장(경남 함안소재)에서 Pilot Test 장소인 강원도 영월까지 Trailer를 통해 패키지 단위로 이송할 수 있음을 확인하였고, 현지에서의 하차 및 설치 기간도 획기적으로 줄어듬을 확인 함.

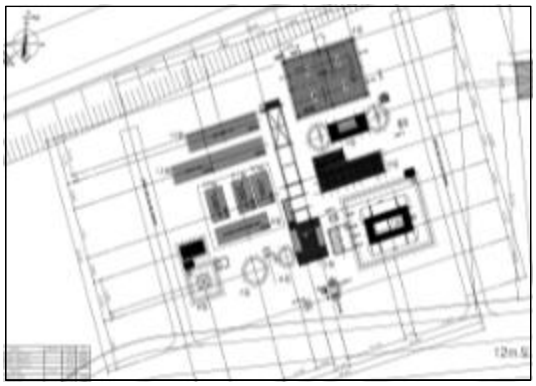
Pilot Test는 기본 Setting을 위한 가운전 후 총 4시간 동안 4회에 걸쳐 실시했으며, 1회에 운전 시간은 약 30분간 연속운전 조건을 유지했음. 이에 대한 결과로 실시간 통합모니터링을 통해 운전데이터를 수집 했고, 수집 된 데이터는 운전 조건별 분류하여 분석 완료하였음.

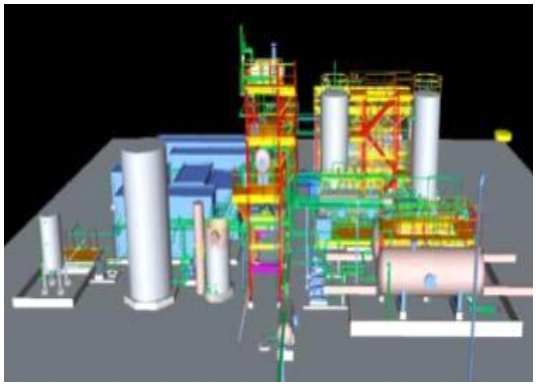
(3) 파일럿 통합 모듈 실증

1) 오일샌드 300BPD 파일럿 실증모듈 현장 설치 및 시공

300BPD Pilot Plant 제작 모듈은 캐나다 오일샌드 현지 기후를 고려해, 국내에서 동절기 테스트 시 비슷한 조건을 조성할 수 있는 경기도 연천군 옥산리 일원에 위치한 한국건설기술연구원 연천SOC실증센터 테스트베드에 현장 설치를 수행하였음.

Pilot Plant 내에 설치되는 장비들은 대부분 Module화되어 이송 및 설치가 용이하도록 구성한 Module 집적 Plant로 구성됨. 장비 배치는 Piperack Module을 중심으로 좌측면에 Utility Zone, 열 Carrier Zone 및 폐수 처리 Zone, 배기가스처리 Zone으로 구성하고 우측면에 Oil Tank, FWKO, IGF, P. Water Zone으로 구성하여 Utility Zone과 Bitumen을 분리하는 설비로 구성함.

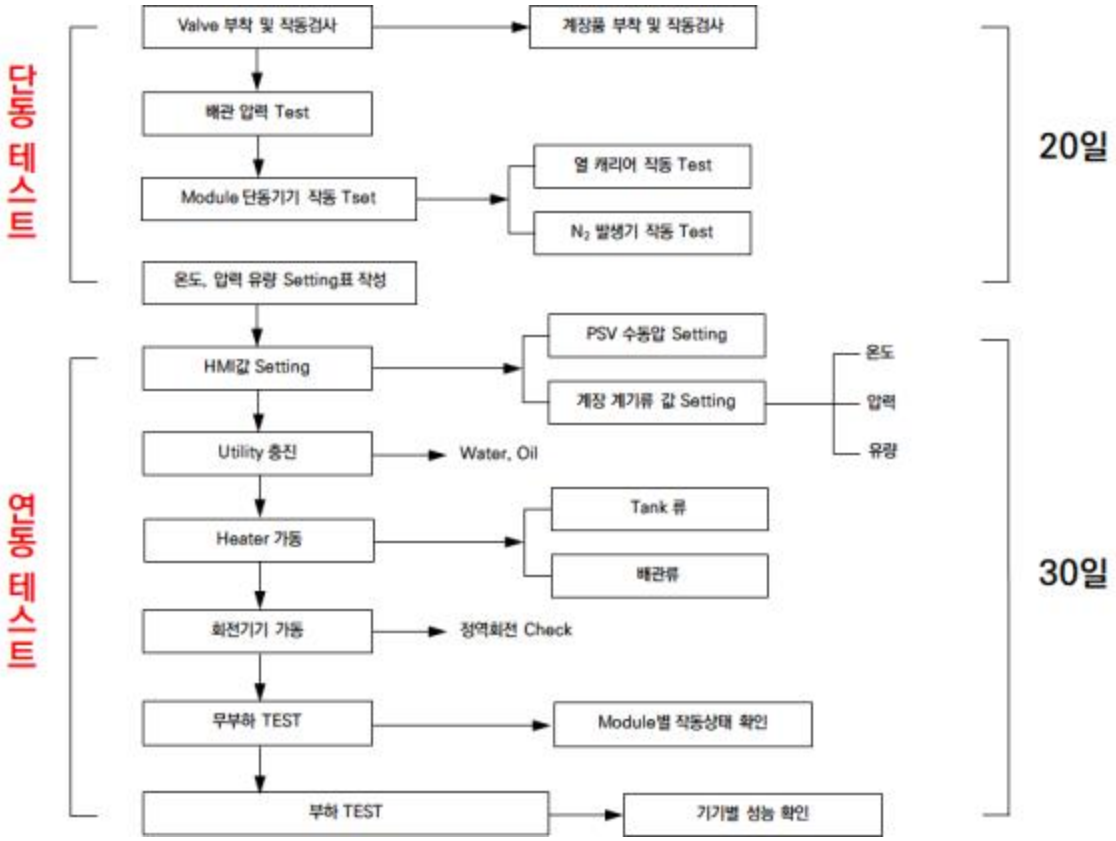




2) 현장적용 시운전 수행계획

(가) 시운전 절차계획

시운전은 각 기기별 작동검사, 압력 Test, 온도, 유량 Setting 등의 단동테스트와 회전기기 Test, 무부하 Test, 부하 Test 등의 연동테스트를 수행하였음. 열물질수지표에 의한 각 기기별 운전조건 확인 및 각 기기별 성능 확인을 위한 연속운전을 절차대로 수행함.



(나) 밸브류 현장 테스트

□ 시험목적

오일샌드 플랜트 파일럿 배관 설치공사가 완료된 후 각 배관과 연결되어있는 밸브류의 설치상태를 파악하여 누락된 밸브는 재 부착시키고 밸브의 OPEN, CLOSE 상태를 CHECK하여 초기 계획 단계의 OPEN, CLOSE 로 정위치 시키면서 밸브의 작동상태를 수동으로 확인하여 배관 및 밸브의 강도기밀시험을 수행할 수 있도록 대비하는데 그 목적이 있음.

□ 적용범위

현장에 설치된 파일럿 플랜트의 모든 수동 및 자동 밸브에 대해 전반적으로 부착상태 및 작동상태를 점검하는데 적용함. 점검순서는 P&ID에 준하여 각 공정별로 밸브 번호를 부여하고 번호가 부여된 밸브의 규격, 종류, 개폐상태 등 일일이 확인하여 검사함.

P&ID-101-1

Teg NO.	기기 명칭	Size	이송물질	온도(℃)	압력	작동상태		비고	확인
						정지시	가동시		
GV-101	Gate Valve	25A	N_2 가스	상온		Open	Open		OK
GV-102	Gate Valve	20A	N_2 가스	상온		Close	Close		OK
GV-103	Gate Valve	50A	N_2 가스	상온		Open	Open		OK
GV-104	Gate Valve	25A	N_2 가스	상온		Open	Open		Ok
PCV-1001	Control Valve	25A	N_2 가스	상온	0.6kPa	Open	Open	압력 Control	OK
PG-1001	Pressure Gauge	20A	N_2 가스	상온		Open	Open	현장압력 Gauge	OK
GV-105	Gate Valve	50A	Vent 가스	상온		Open	Open		OK
PVSV-1001	Pressure V/S/Valve	150A	N_2 가스	상온	2.36kPa, -0.25kPa			압력안전 Valve	OK
PSV-1003	Pressure S/Valve	450A	N_2 가스	상온	2.8kPa			압력안전 Valve	OK
GV -106	Gate Valve	75A	비취멘			Open	Open		OK
10-TK-101	Feed Oil Tank	30m^3	비취멘	130℃	3.5kPa	-	-	폐작물	OK
10-E-101A	Electric Heater	-	비취멘		27.5kW	-	-	10-TK-101	OK
10-E-101B	Electric Heater	-	비취멘		2.6kW	-	-	10-TK-101	OK
GV-107	Gate Valve	75A	비취멘			Open	Open		OK
GV-108	Gate Valve	75A	비취멘			Open	Open		OK
PG-1003	Pressure Gauge	40A	비취멘			Open	Open		OK
GV-109	Gate Valve	20A	비취멘			Close	Close		OK
10-P-101	Oil Feed Pump	2.3m^3/hr	비취멘						OK
PSV-1001	Pressure S/Valve	20A	비취멘		9.5bar, 3.07m^3/hr	Open	Open		OK
PG-1004	Pressure Gauge	40A	비취멘			Open	Open		OK
CV-101	Check Valve	50A	비취멘			Open	Open		OK
GV-110	Gate Valve	20A	비취멘			Open	Open		OK
GV-110-1	Gate Valve	20A	비취멘						OK
GV-111	Gate Valve	50A	비취멘			Open	Open		OK
FIT-1002	Flow. I.C	50A	비취멘			Open	Open		OK
GV-112	Gate Valve	150A	비취멘			Open	Open		OK

P&ID-101-2

Teg NO.	기기 명칭	Size	이송물질	온도(℃)	압력	작동상태		비고	확인
						정지시	가동시		
GV-113	Gate Valve	20A	비취멘			Close	Close		OK
CV-102	Check Valve	150A	비취멘			Open	Open		OK
GV-114	Gate Valve	20A	비취멘			Close	Close		OK
GV-115	Gate Valve	75A	비취멘			Open	Open		OK
GV-116	Gate Valve	20A	비취멘			Close	Close		OK
GV-117	Gate Valve	75A	비취멘			Open	Open		OK
GV-118	Gate Valve	100A	비취멘			Close	Close		OK
LIT-1001	Level Indicator	50A	비취멘	130℃	3.5kPa	Open	Open		X
TIT-1001	Temp. I.C	40A	비취멘	130℃	0.6kg/cm^2	Open	Open		
TG-1002	Temp. Gauge	40A	비취멘			Open	Open		X

(나) 배관 강도기밀, 압력 현장시험

□ 시험목적

오일샌드 플랜트 파일럿 배관 설치공사가 완료 된 후 배관의 기밀 상태를 Check함으로서 시험설비에 대한 신뢰도를 향상 시키며, Leak발생 시 신속하고 정확한 조치를 통한 실제 운영 시에 발생할 수 있는 사고를 대비하는데 그 목적이 있음.

□ 적용범위

오일샌드 플랜트 파일럿 공사 중 완료된 배관에 대해 전반적으로 내압시험(Leak Test)을 적용 함. 다음의 그림은 오일샌드 플랜트 파일럿 설비 전체의 KEY PLAN이며, 정확한 Leak Point Check를 위해 Test의 안정성을 고려하여 구간을 나눠 Test함.

□ 시험 방법

① 시험설비에 있는 장비(Air Compressor, GN2 등) 사용하게 될 경우 한국가스안전공사의 완성검사(부분완성검사포함)를 반드시 득한 후 사용함.

② 내압시험의 사용유체가 기체(Air)이므로 내압 및 기밀시험을 동시에 실시함.

③ 각 구간에 배관 종단 포트 마감(Valve, Flange, Plug 등)을 확인함.

④ 가압용 기체 Air 또는 GN2 공급 전 Open/Close 밸브 및 측정할 압력게이지를 확인함.(구간별 시험절차 참조)

⑤ Test에는 Air 또는 GN2를 사용하고, 약 1~9bar의 압력을 순차적으로 가압하여 Leak 등을 점검함.

⑥ Test 시험 압력은 실 사용압력으로 하며 압력을 순차적으로 Test 목표 압력까지 가압함.

⑦ 구간에 따라 같은 시험 압력일 경우, 시험구간을 연결하여 함께 시험함.

⑧ 시험 압력 도달 후 5~20분까지 Leak 및 누설상태 여부를 확인함.

⑨ 내압시험 시 필요공구, 버블, 안전장구류, 무전기 등을 준비함.

⑩ Plug 및 Blind Flange, 밸브 등의 Leak 발생여부는 버블Test를 통해 진행하며, 필요에 따라 자재를 교체함.

□ 시험장비

구 분		범 위	제 조 사	비 고
Air Compressor Set	Compressor	Max. 10 bar		
	Pressure Gauge	Max. 10 bar	wise	
	Air Supply Valve		Hy-Lok	
	Vent Valve		Hy-Lok	
버 블, 무 전 기, 안전장구류				

□ 시험 방법

① 시험 전 모든 기기 상태 점검

시험 전 모든 Valve (Open/Close) 상태를 계통에 맞는 상태인지를 반드시 확인한 후 Test 가 진행되어야 하며, Valve 상태를 확인 할 수 있게 Valve Status 표를 작성하여 일괄적으로 부착되어 있는지 확인함.

② 내압시험 사용 기체

내압시험은 Air를 사용함을 원칙으로 하며 이외의 기체를 사용할 경우에는 현장소장에게 지시를 받아야 함.

③ Test 기준 압력

각 구간별 시험압력은 모두 9 bar 기준으로 실시함.(각 구간별 사용압력이 9 bar 이하이며, 배관 및 밸브는 모두 9 bar 이상의 내압을 견딜수 있도록 설계되어 있음.)

④ 압력 가압 절차

최종 시험압력이 도달하기 전에 만약의 누설 부위가 있을 경우 안전을 고려하여 저압에서 압력 가압을 중지 시키고 누설 여부를 확인한 후, 이상이 없을시 순차적으로 Test 압력까지 증가 시킴.

⑤ 시험 압력 유지 시간

각 구간별 시험압력을 공급한 후 5~20분 경과하여야 하며(한국가스안전공사 기준임.), 이때 시험 구간 Leak 여부를 Pressure Gauge 로 확인함.

⑥ Leak Test 작업 사항

- Leak가 생기면 버블(Snoop)로 연결부분을 Check 하여야 하며, Leak가 발생한 부위는 Marking을 하고 감독관과의 협의 후 Leak 누설량에 따라 조치를 취함.
- Leak Test가 끝나고 난 후 모든 버블(Snoop)을 제거 후 깨끗하게 닦음.

⑦ 시험 압력 기록계 및 압력계

- 시험에 사용되는 Pressure Gauge는 시험압력의 1.5배 이상(한국가스안전공사 기준임.)의 Range가 가능한 Gauge를 선정하여 하며 육안으로 확인 가능한 곳에 압력계를 설치하여야 함.
- Test가 불가능한 (천장, 은폐된 부분)부분(검사 불가능한 부분)에 한해서는 배관시공 중간에 현장소장의 검사를 받아야 함.

<구간별 상세 시험절차>

Description	PDF DWG No.	Pressure (kg/㎠g)	Test Pressrue (kg/㎠g)	Remark
Bitumen to 10-M-101	1179-BD-PFD-101	7.0	9	
Hot Water to 10-M-101	1179-BD-PFD-101	9.0	9	
Hot Water to 10-M-102	1179-BD-PFD-101	9.0	9	
TO 20-D-101	1179-BD-PFD-101	7.0	9	
TO 10-P-102	1179-BD-PFD-101	9.0	9	
TO 10-P-103	1179-BD-PFD-101	0.5	9	
TO 20-E-101	1179-BD-PFD-201	7.0	9	
TO 20-TK-101	1179-BD-PFD-201	7.0	9	
TO 20-E-102	1179-BD-PFD-201	6.6	9	
TO 20-P-102	1179-BD-PFD-201	0.0	9	
TO 20-P-103	1179-BD-PFD-201	0.0	9	
TO 20-E-103	1179-BD-PFD-201	0.0	9	
TO 30-D-101	1179-BD-PFD-201	0.0	9	
TO 30-D-161	1179-BD-PFD-201	0.0	9	
TO 30-TK-151	1179-BD-PFD-301	0.0	9	
TO 30-TK-161	1179-BD-PFD-301	0.0	9	
TO 30-D-161	1179-BD-PFD-301	0.0	9	
TO 30-D-101 (From 30-TK-151)	1179-BD-PFD-301	0.0	9	
TO 30-P-102	1179-BD-PFD-301	0.0	9	
TO 30-D-101 (From 30-D-161)	1179-BD-PFD-301	0.0	9	
TO 30-P-101	1179-BD-PFD-301	0.0	9	
TO 30-P-103	1179-BD-PFD-301	0.0	9	
TO 30-F-101	1179-BD-PFD-301	7.1	9	
TO PW Cooler	1179-BD-PFD-301	7.1	9	
Make-up Water	1179-BD-PFD-301	3.1	9	
To 30-D-101	1179-BD-PFD-401	0.0	9	
TO 50-TK-101	1179-BD-PFD-401	0.1	9	
Waste Water	1179-BD-PFD-401	0.0	9	
To steam Generator	1179-BD-PFD-401	0.1	9	
Steam to Deaerator	1179-BD-PFD-401	5.1	9	
To steam Vent	1179-BD-PFD-401	0.0	9	
Hot Water to Emulsion Mixers	1179-BD-PFD-401	9.0	9	

□ 현장 기밀 테스트

(다) 전기 계장품 작동 테스트

□ 시험목적

오일샌드 플랜트 파일럿 설비 설치공사가 완료 된 후 각종 탱크 및 배관에 설치된 전기 계장품의 작동 상태를 Test하고 Test된 결과가 실시 설계에 명기된 기존 값의 적정한지 여부를 파악하고 적장하지 않은 경우 재조정하여 적정범위 내로 작동되도록 확인에 그 목적이 있음.

□ 적용범위

현장에 설치된 파일럿 플랜트의 모든 전기 계장품의 전반적인 작동상태점검하는데 적용함. 점검 내용은 다음과 같음

- Control Valve 류
- Transmitter 류
- 절연저항값

□ 현장 테스트 결과 Report

(라) 파일럿 플랜트 무부하 시운전

□ 시험목적

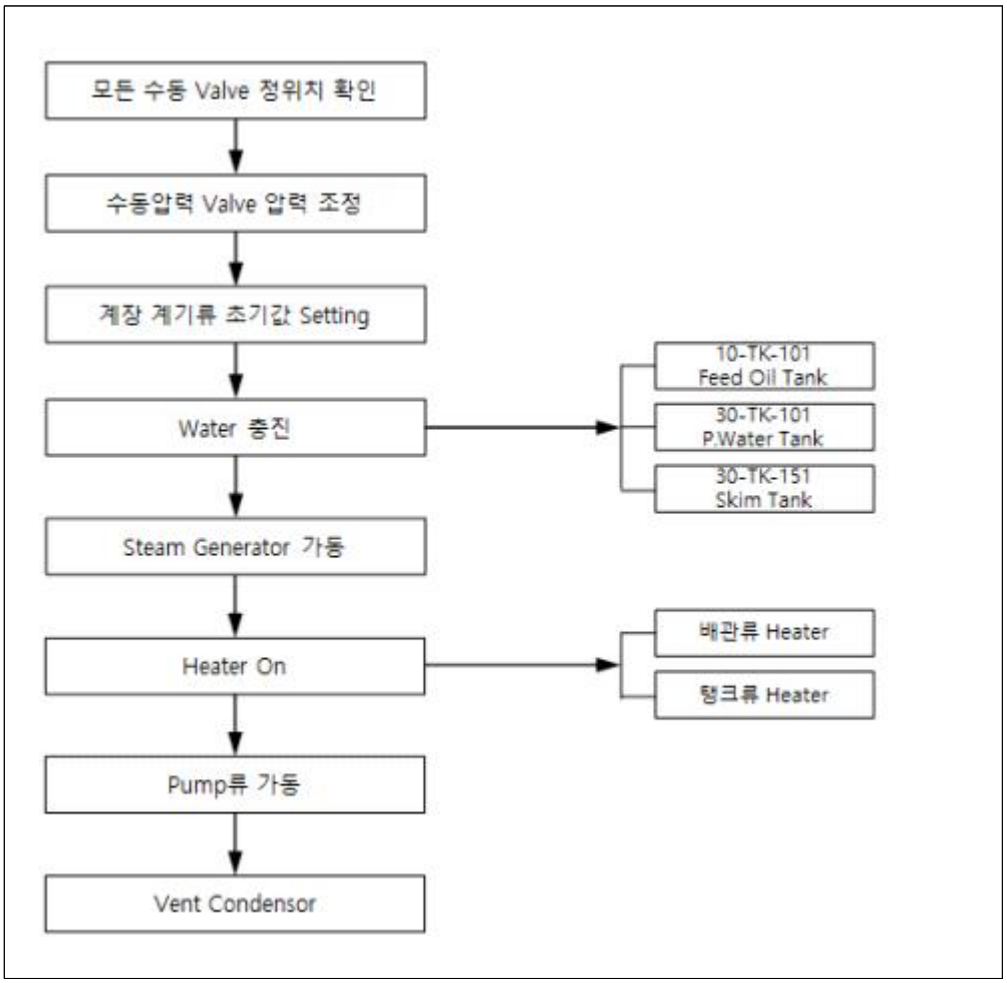
오일샌드 파일럿 플랜트를 현장설치하고 단동기기 Test가 완료된 후 비츄멘을 사용하기 전에 Plant Water를 이용하여 전체적으로 장비를 운영하면서 정상 가동상태를 확인하여 후속으로 부하 Test를 무리 없이 수행할 수 있도록 사전에 온도, 압력, 유량등을 적정상태로 Setting 시킬 수 있는 기초 자료를 얻는데 그 목적이 있음.

□ 적용범위

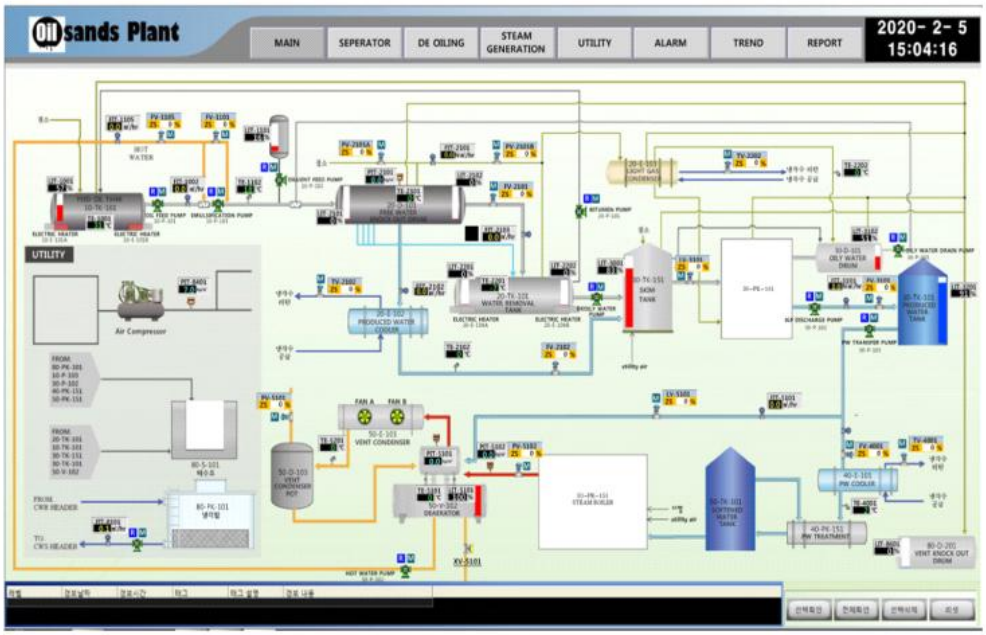
오일샌드 파일럿 플랜트 현장에 설치된 모든 기자개의 상태를 Setting한 값으로 운전할 수 있는 여부를 Test하는 것임.

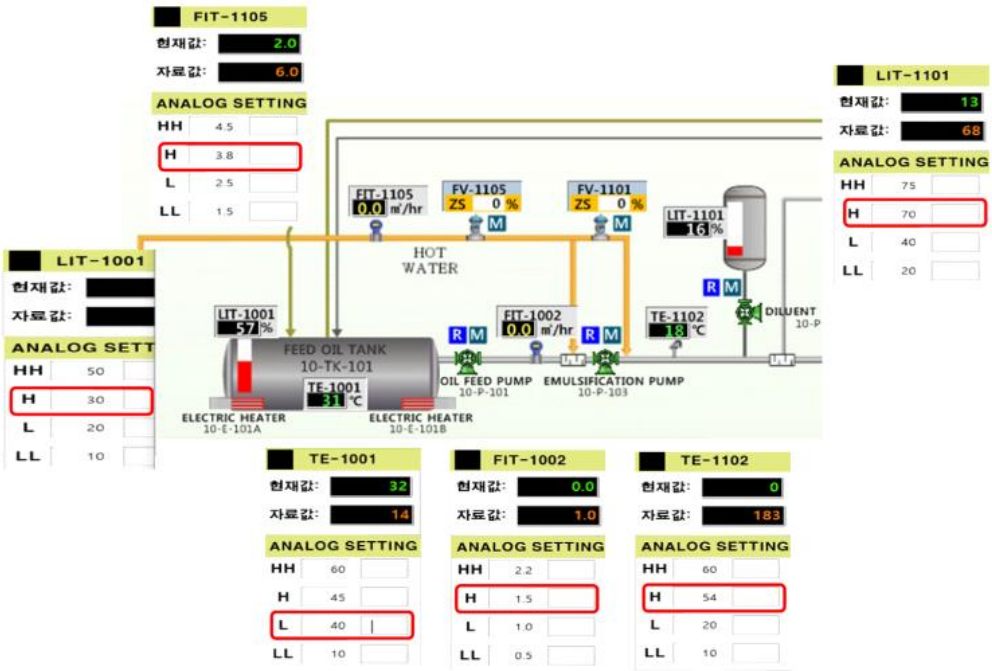
□ 무부하 운전방법

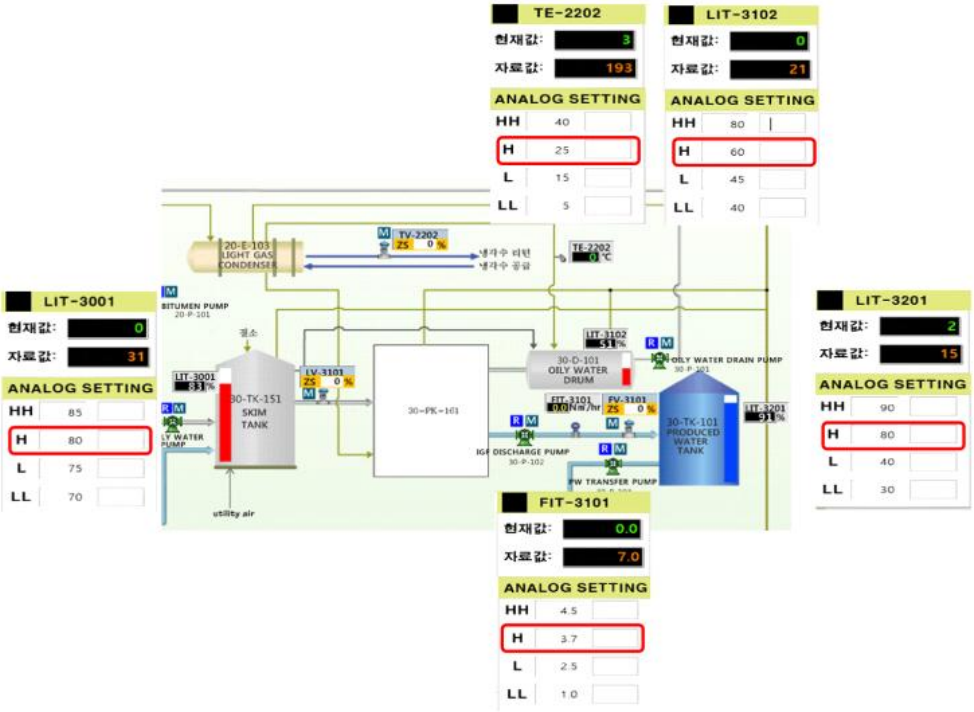
- 운전순서

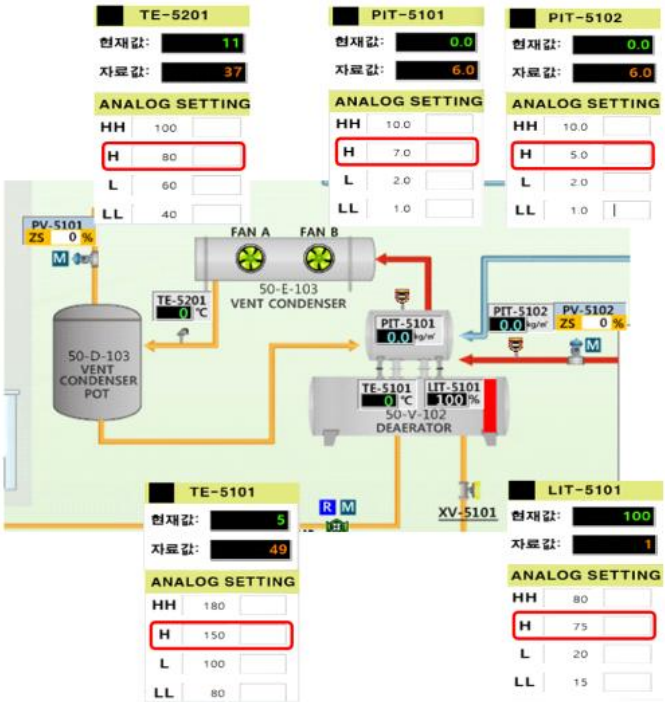


- 전체 System 무부하 운전



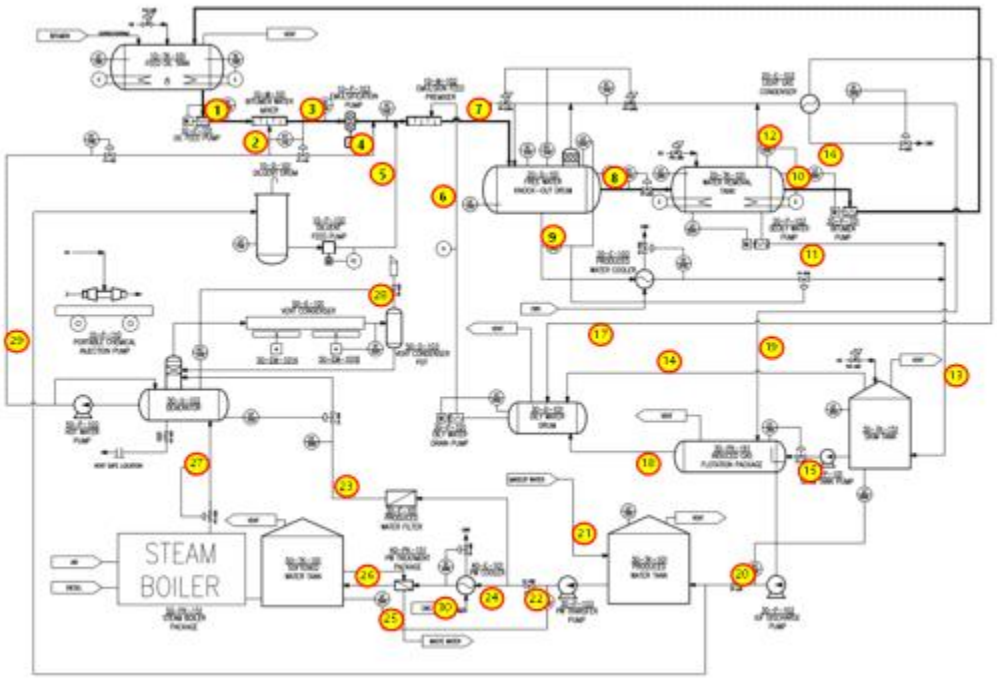



TE-2202
현재값: 3
자료값: 193
ANALOG SETTING
HH 40
H 25
L 15
LL 5
LIT-3102
현재값: 0
자료값: 21
ANALOG SETTING
HH 80
H 60
L 45
LL 40
LIT-3001
현재값: 0
자료값: 31
ANALOG SETTING
HH 85
H 80
L 75
LL 70
LIT-3201
현재값: 2
자료값: 15
ANALOG SETTING
HH 90
H 80
L 40
LL 30
FIT-3101
현재값: 0.0
자료값: 7.0
ANALOG SETTING
HH 4.5
H 3.7
L 2.5
LL 1.0
20-E-103 LIGHT GAS CONDENSER
TV-2202
BITUMEN PUMP 20-P-101
30-TK-151 SKIM TANK
30-PK-161
30-D-101 OILY WATER DRUM
OILY WATER DRAIN PUMP 30-P-101
30-TK-101 PRODUCED WATER TANK
IGF DISCHARGE PUMP 30-P-102
PW TRANSFER PUMP
utility air


TE-5201
현재값: 11
자료값: 37
ANALOG SETTING
HH 100
H 80
L 60
LL 40
PIT-5101
현재값: 0.0
자료값: 6.0
ANALOG SETTING
HH 10.0
H 7.0
L 2.0
LL 1.0
PIT-5102
현재값: 0.0
자료값: 6.0
ANALOG SETTING
HH 10.0
H 5.0
L 2.0
LL 1.0
PV-5101
FAN A
FAN B
50-E-103 VENT CONDENSER
50-D-103 VENT CONDENSER POT
PIT-5102
PV-5102
50-V-102 DEAERATOR
XV-5101
TE-5101
현재값: 5
자료값: 49
ANALOG SETTING
HH 180
H 150
L 100
LL 80
LIT-5101
현재값: 100
자료값: 1
ANALOG SETTING
HH 80
H 75
L 20
LL 15

(마) **전체 파일럿 플랜트 운전데스트**

□ 열 및 물질수지 데이터



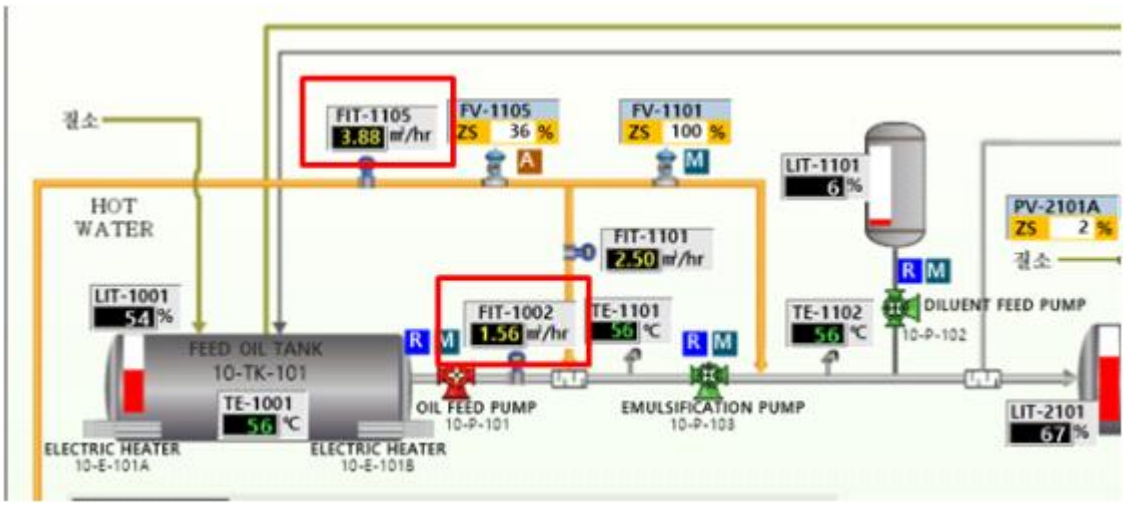
항목	단위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
물질명	-	Oil	H. Water	Oil + W	H. Water	Diluent	P.Water	Oil + W	Oil	P.Water	Oil
용량	kg/hr	1,549	1,004	2,553	2,821	235	349	5,958	2,150	3,808	1,929
온도	℃	40	64	54	64	25	40	60	60	60	40
비열	kcal/kg.℃	0.47	1.00	0.68	1.00	1.00	1.00	0.86	0.52	1.00	0.47
열량	kcal/hr	29,121	64,210	93,332	180,469	5,864	13,975	293,640	46,505	228,459	36,265
압력	kg/cm2.g	7.00	9.00	7.00	9.00	0.51	0.00	7.00	6.63	6.63	0.00
항목	단위	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
물질명	-	Oily Water	Vapor	P.Water	P.Water	P.Water	Water	Light Gas	Oily Waer	Light Gas	Water
용량	kg/hr	151	70	3,959	215	3,744	93	93	267	70	3,477
온도	℃	40	60	40	40	40	25	40	40	40	40
비열	kcal/kg.℃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
열량	kcal/hr	6,040	4,200	158,346	8,600	149,746	2,333	3,733	10,667	2,800	139,079
압력	kg/cm2.g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
항목	단위	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
물질명	-	M.Water	P.Water	P.Water	P.Water	W.Water	S.Water	Vapor	Vapor	H. Water	C.Water
용량	kg/hr	204	3,681	3,338	343	30	313	1,449	1,304	3,825	110
온도	℃	25	38	38	38	30	30	151	100	64	25
비열	kcal/kg.℃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	656.1	638.8	1.00	1.00
열량	kcal/hr	5,093	139,866	126,831	13,035	889	9,402	950,843	832,995	244,679	2,744
압력	kg/cm2.g	3.08	7.10	7.10	7.10	0.00	0.10	5.10	0.00	9.00	0.00

□ 실제 운전 데이터

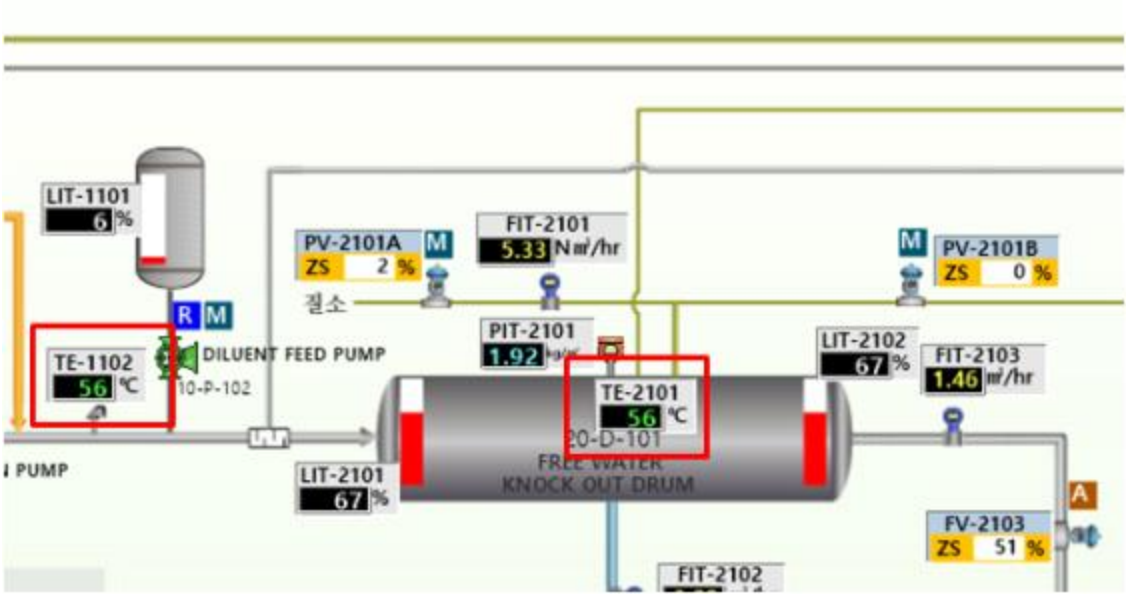
연속운전을 통한 정상운전 시, 설계된 열물질수지 데이터와 실제 운전데이터 값 비교 결과 거의 유사한 데이터를 도출할 수 있었음. 또한, 모든 구동기기는 HMI상에서 On / Off 표시되며, 가동 상태표시는 HMI상에서 계측기기별로 온도, 압력, 유량 등이 연속적으로 상태표시 됨.

□ 연속 운전 결과

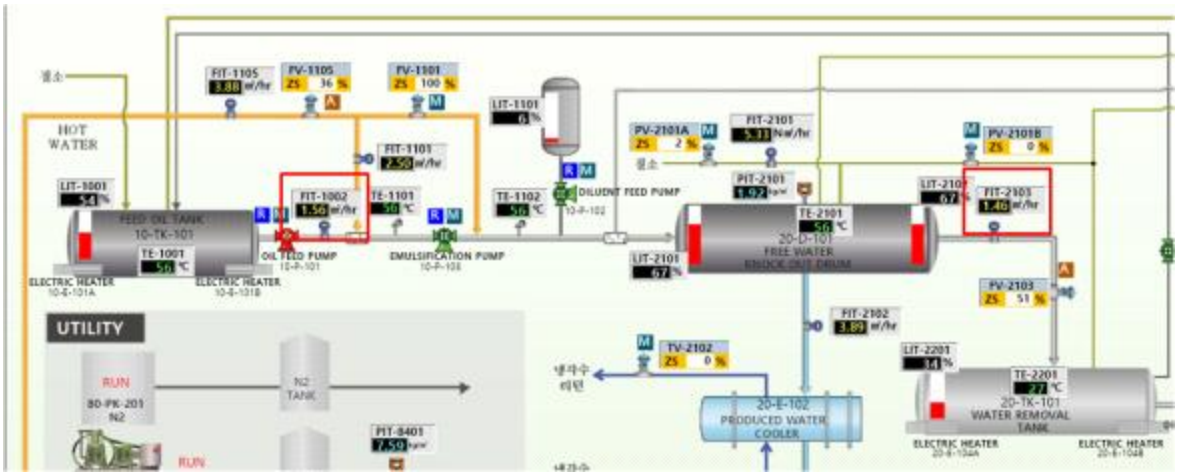
- 물질수지표로 계산된 작동유와 H-Water의 SOR비율 2.47이며, 실제 연속운전시 투입된 SOR 비율은 약 2.49로 운전되었음.



- FWKO 전단에 투입되는 Oil + H-Water의 온도는 110℃에서 비튜멘의 동점성도와 일치하는 온도인 54℃로 물지수지표에 산정하였으며, 실제 연속운전시 Oil + H-Water의 운전온도는 약 56℃로 운전되었음. 이는 복합 열캐리어 발생기의 스팀을 이용하여 H-Water를 원하는 운전온도까지 도달할 수 있도록 조건을 잡아 연속운전을 수행할 수 있었음.



- FWKO에서 분리된 오일의 유량은 약 1.46㎥/hr로 투입 오일의 유량 약 1.56㎥/hr에 대비하여 약 90%이상의 오일의 분리효율이 나타나도록 운전되었음.



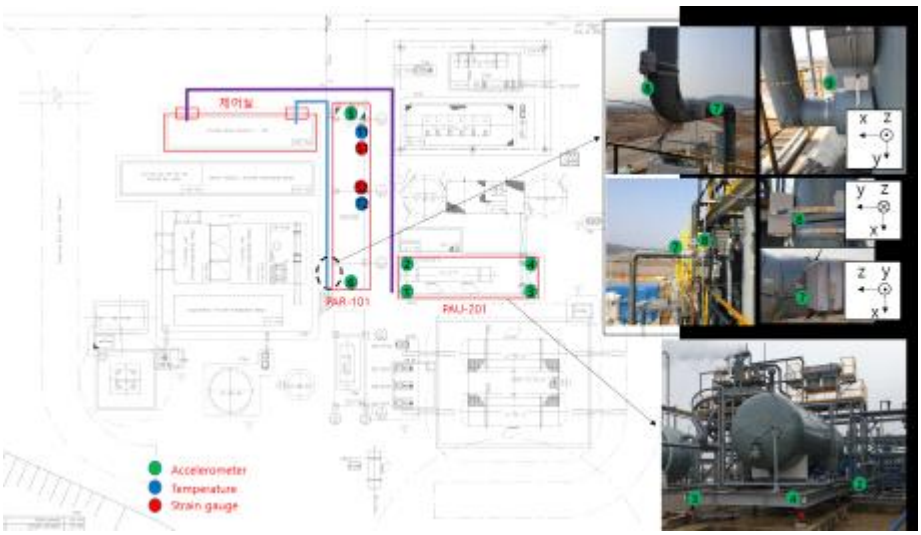
- Skim Tank에서 정제된 Water-Oil은 IGF에서 미세기포를 이용하여 Oily Water와 Produced Water로 연속운전을 통해 분리될 수 있도록 연계하여 운전되었음.

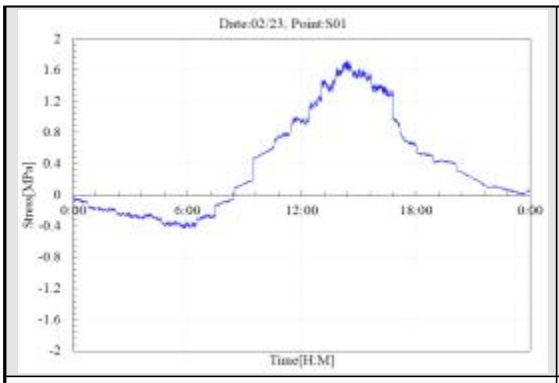
- 5bar 이내의 운전압력으로 설계된 FWKO 모듈의 경우, 연속운전을 진행하면서 운전압력 조절을 잘못하여, 8bar 이상으로 운전이 되었지만, FWKO Vessel 보호를 위한 Safety Valve가 작동하여 유체가 일부 누출되었지만, Vessel의 Leak나 다른 큰 사고 없이 안전하게 운전을 수행할 수 있었음.

- 파일럿 모듈 플랜트는 주요 기능모듈인 복합열캐리어 모듈, FWKO 모듈, IGF 모듈을 비롯하여 각각의 모듈들을 전체적으로 연계하여 연속운전이 가능하도록 모듈 구성을 하였으며, 물질수지 데이터를 통한 설계 운전 조건과 유사하도록 운전을 진행할 수 있었음.

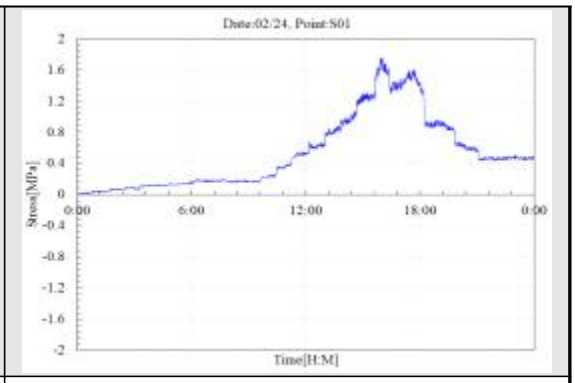
(바) 공용중 손상탐색 및 건전성 평가를 위한 WSN 모니터링 시스템 현장 시험

오일샌드 플랜트 모듈에 설치된 WSN 시스템의 현장 적용성 평가 및 건전성 평가를 위한 데이터 수집을 목적으로 현장에서 무선센서를 이용하여 공용중 발생하는 개발된 모듈의 변형 및 상태를 감지함. 개발된 모듈에 부착한 센서는 파이프렉을 중심으로 온도와 변형을 측정하고 공용중 가장 취약한 진동을 측정하고자 가속도센서를 추가하여 현장에서의 모니터링 시스템의 데이터를 획득하였음. 설치된 센서의 위치와 결과는 다음과 같음.

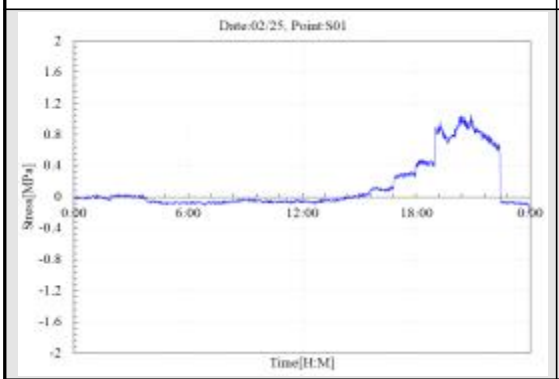




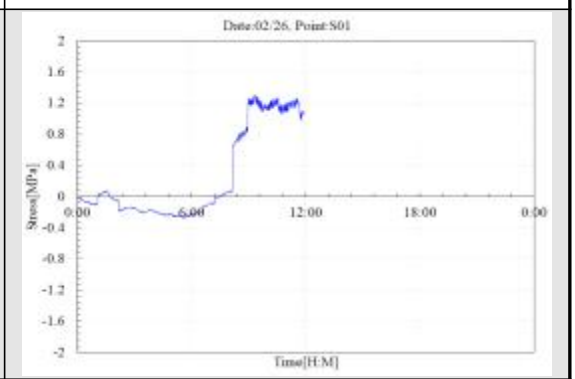
23일 S1의 변형률계 모니터링 결과



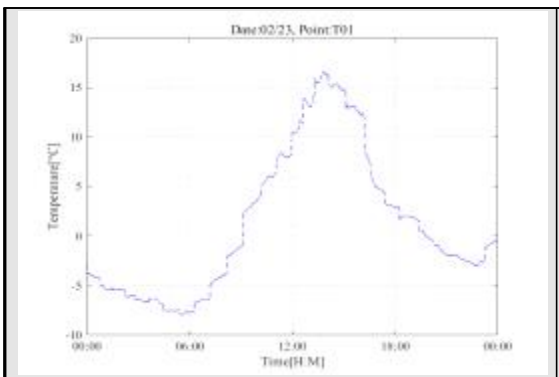
24일 S1의 변형률계 모니터링 결과



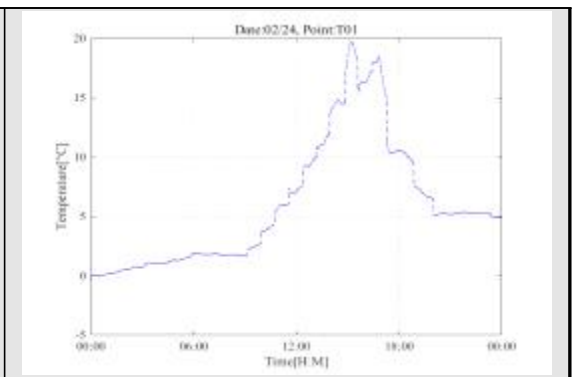
25일 S1의 변형률계 모니터링 결과



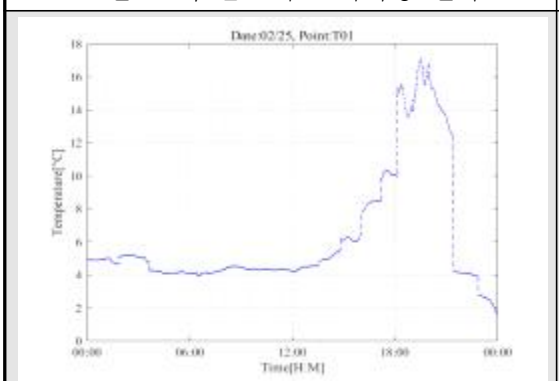
26일 S1의 변형률계 모니터링 결과



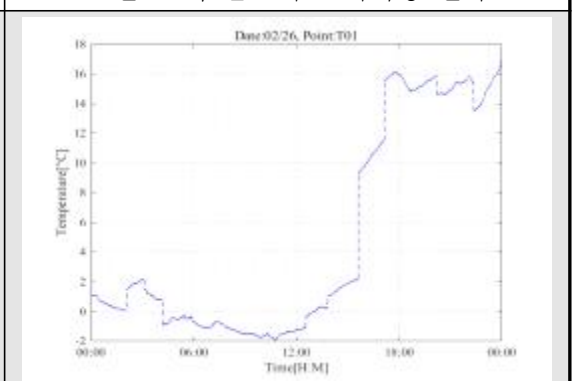
23일 T1의 온도계 모니터링 결과



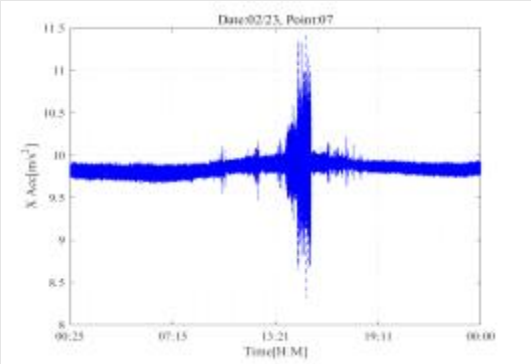
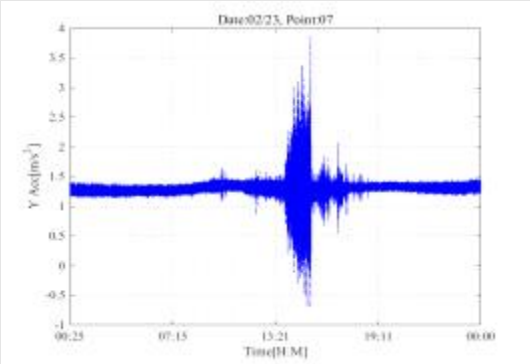
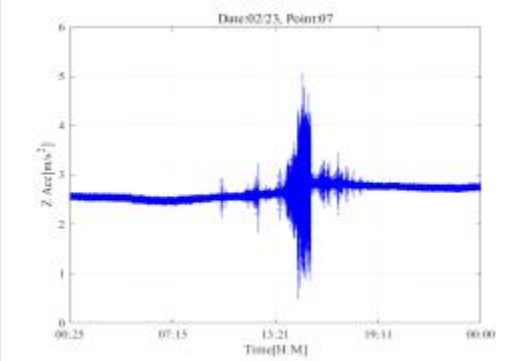
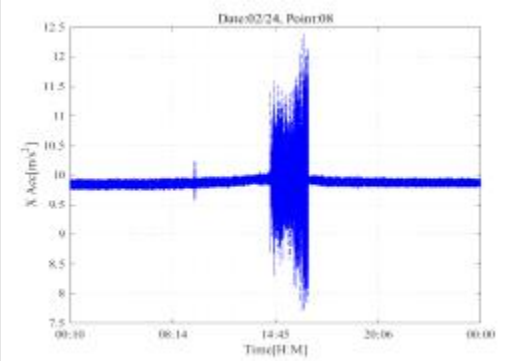
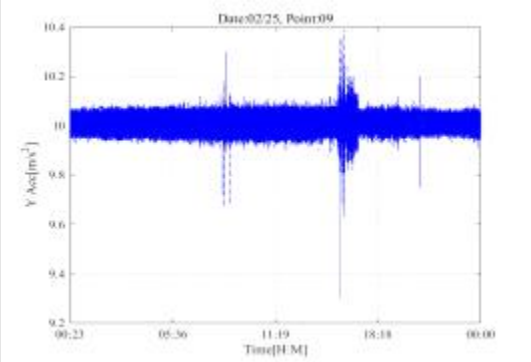
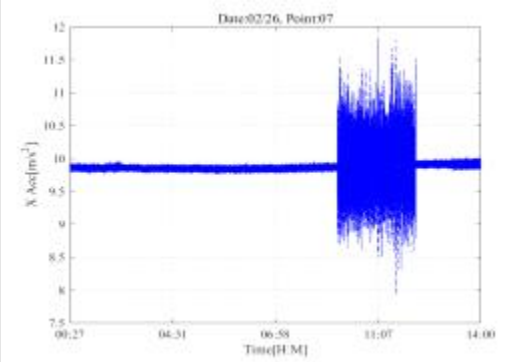
24일 T1의 온도계 모니터링 결과



25일 T1의 온도계 모니터링 결과



26일 T1의 온도계 모니터링 결과

	
23일 7의 X축 가속도계 모니터링 결과	23일 7의 Y축 가속도계 모니터링 결과
	
23일 7의 Z축 가속도계 모니터링 결과	24일 8의 X축 가속도계 모니터링 결과
	
25일 9의 Y축 가속도계 모니터링 결과	26일 7의 X축 가속도계 모니터링 결과

(사) GNSS를 이용한 변위 모니터링 시스템 현장 시험

파일럿 실증모듈에서 가장 진동이 많이 발생할 것으로 예상되는 부재를 선정하여 레이저거리계, 가속도계, GNSS를 이용하여 변위를 측정하였음.

<파일럿 실증 모듈 계측센서 부착>

<파일럿 실증 모듈 계측 센서 부착 현황>

1번 가속도계

X축 거리계

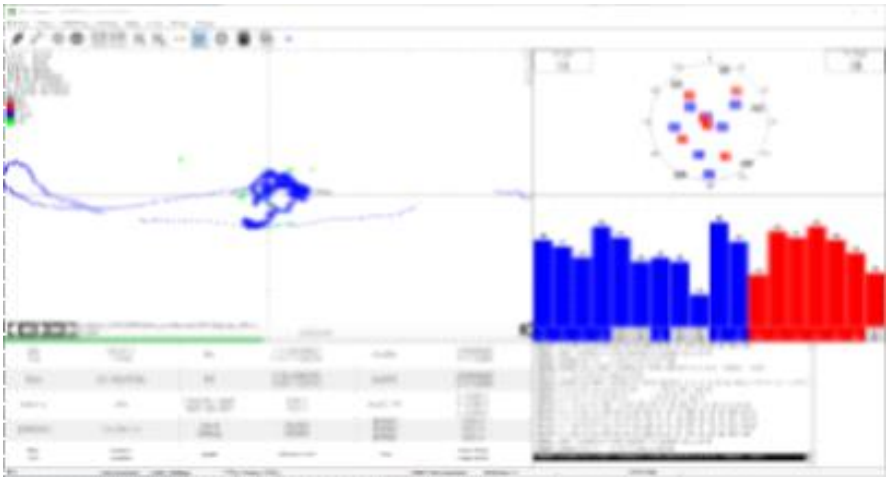
2번 가속도계

Y축 거리계

Z축 거리계

GNSS 모듈은 다음 그림과 같이 데이터 수신 프로그램을 이용하여 초당 1회의 데이터를 수신하였으며, PDOP가 1.7, HDOP가 0.9, VDOP가 1.5로 수신이 메유 양호간 것으로 판단됨.

GNSS 모듈로부터 수신된 데이터는 절대적 위치경로를 분석할 수 있으며, 그리에서와 같이 GNSS모듈 설치 초기에는 위성신호가 약하여 오차가 많이 발행되었으나 점차 오차범위내에서 관측과 있는 것을 알 수 있음.



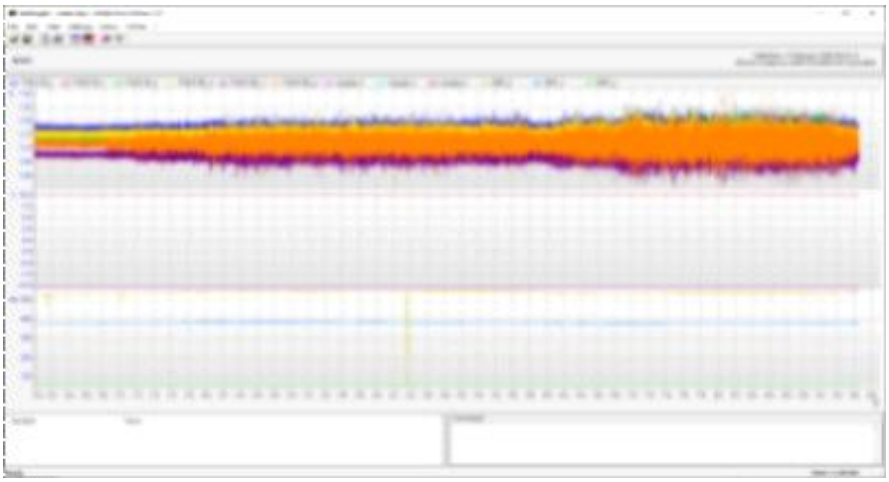
<GNSS 모듈에 의한 위치 변화 현황>

GNSS 모듈로부터 수신된 데이터를 이용하여 파일럿 실증모듈의 변위를 분석한 결과 과대오차를 제외하면 다음 표와 같이 X축 방향으로는 평균 0.004mm, Y축 방향으로는 평균 0.023mm, Z축 방향으로는 평균 0.014mm의 변위가 발생한 것으로 분석되었음.

<GNSS모듈에 의한 변위 계측 결과>

(단위 : mm)

	X	Y	Z
최대	306.890	161.026	276.000
최소	-306.884	-154.366	-279.000
평균	0.004	0.023	-0.014



<가속도계 및 레이저 거리계 데이터 수신 현황>

가속도계 모듈과 레이저 거리계로부터 수집된 데이터를 분석한 결과 다음 표와 같은 변위를 측정 할 수 있었음. 측정된 데이터는 5Hz로 초당 5회의 데이터가 수신되었기 때문에 0.2초 단위로 측정됨. 따라서 측정된 g값을 9.8을 곱하여 m/s^2으로 환산하고, 0.2초로 2번 적분하게 되면 m단위로 거리값이 나오게 됨. 따라서 이를 mm로 환산하면 다음 표와 같음.

<가속도계 및 레이저거리계 측정 결과>

(단위 :mm)

	가속도계_X	가속도계_Y	가속도계_Z	가속도계2_X	가속도계2_Y	가속도계2_Z	변위_X	변위_Y	변위_Z
최대	0.0527	0.0505	0.0528	0.0516	0.0500	0.0533	543.5740	385.3390	51.1880
최소	0.0437	0.0397	0.0402	0.0429	0.0390	0.0391	542.5000	375.0830	50.1880
평균	0.0478	0.0456	0.0460	0.0471	0.0439	0.0456	536.6307	380.9712	50.6880
표준편차	0.0006	0.0008	0.0010	0.0006	0.0009	0.0010	5.9727	2.0765	0.2893

1번째 가속도계로부터 측정된 데이터 중 X축으로 최댓값이 0.0527mm, 최솟값이 0.0437mm, 평균값이 0.0478mm, 표준편차가 0.0006으로 매우 미세하게 진동하고 있음을 알 수 있음. Y축으로는 최댓값이 0.0505mm, 최솟값이 0.0397mm, 평균값이 0.0456mm, 표준편차가 0.0008, Z축으로는 최댓값이 0.0528mm, 최솟값이 0.0402mm, 평균값이 0.0460mm, 표준편차가 0.0010으로 매우 미세하게 진동하고 있음을 알 수 있음.

2번째 가속도계로부터 측정된 데이터 중 X축으로 최댓값이 0.0516mm, 최솟값이 0.0429mm, 평균값이 0.0471mm, 표준편차가 0.0006으로 매우 미세하게 진동하고 있음을 알 수 있음. Y축으로는 최댓값이 0.0500mm, 최솟값이 0.0390mm, 평균값이 0.0439mm, 표준편차가 0.0009, Z축으로는 최댓값이 0.0533mm, 최솟값이 0.0391mm, 평균값이 0.0456mm, 표준편차가 0.0010으로 매우 미세하게 진동하고 있음을 알 수 있음.

레이저 변위계로 측정된 데이터를 분석해 보면 X축으로 5.9727mm, Y축으로 2.0765mm, Z축으로 0.2893mm로 측정되어 좌우 방향으로 조금 더 흔들리고 있음을 알 수 있음.

본 연구를 통해 개발된 “플랜트모듈 운송 모니터링 프로그램”과 “실시간 진동 모니터링”을 이용하여 데이터를 취득하고 분석하였음.

(4) 파일럿 모듈 운송 T/F 운영 및 상태감지 테스트

1) 센서의 위치 선정을 위한 파일럿 모듈 응력 분석

(가) 구조프레임 모듈 형상 도출 및 대상 모듈 선정

□ 오일샌드연구단 현장실증 플랜트를 참고하여 국내 코드를 적용한 구조물에 대한 육상 운송해석을 수행하였으며, 아래 경계조건을 적용한 구조프레임 (steady state)정상상태의 해석을 실시하였음.

□ 모니터링 선정 대상 모듈은 PAR-101 파이프랙 모듈과 PAU-201 FWKO 모듈로써, 구조프레임 중 정하중이 높고, 운전 중에 유체의 이송이 많아 변위가 가장 많이 일어날 것으로 예측되는 구조프레임으로 모니터링 선정 대상을 정하였음.

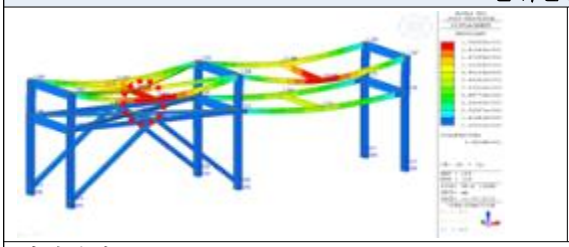
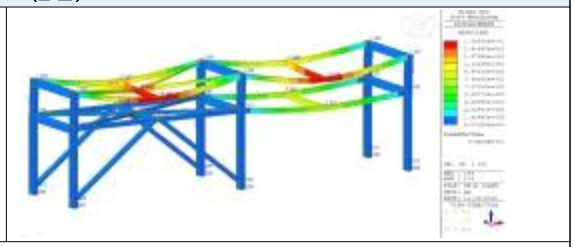
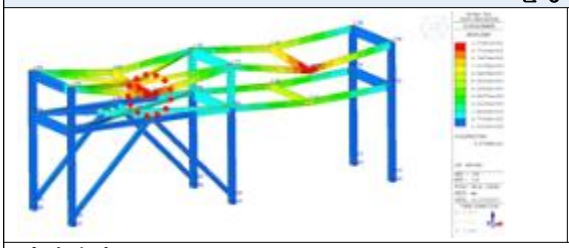
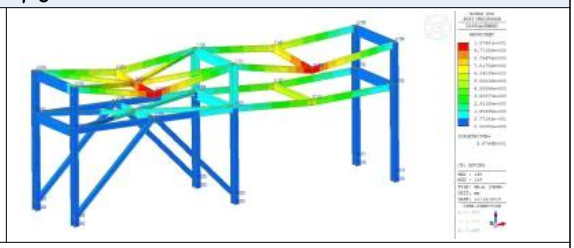
- 구조프레임 해석 경계조건

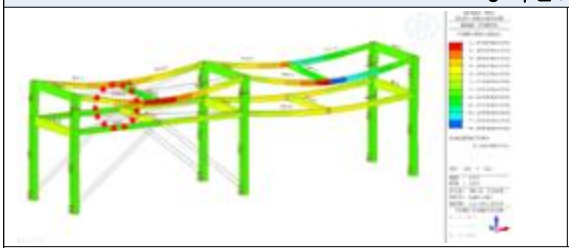
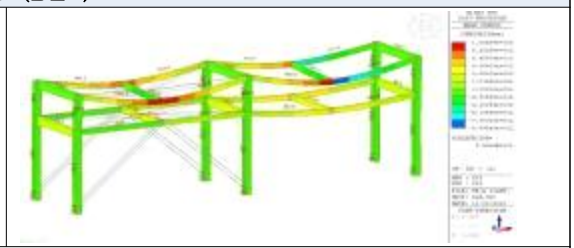
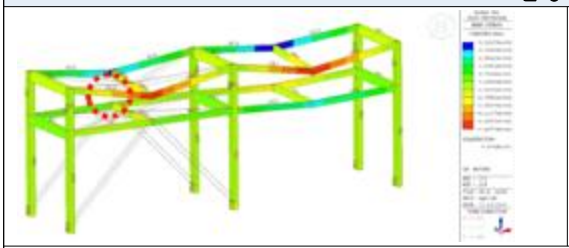
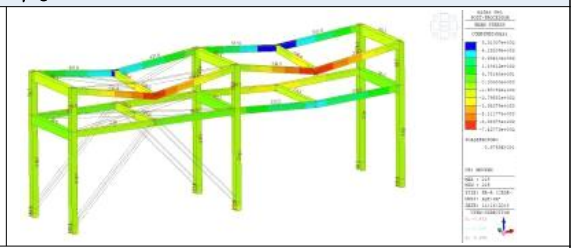
CASE	고정 SIZE	경계조건
PAR-101	2.5m(W)*12m(L)*5m(H)	정하중(Dead Load) : 자중 등분포 활하중(Live Load) : 5 kN/m2 (기계실) 풍속 : 24 m/s (연천) 노풍도 : D (해상 및 개방지역 적용) 이송 Load X : ± 0.2 g, Y : ± 0.2 g g : 중력가속도(9.81 m/s2) 장치하중 : 각 모듈 장치하중 적용
PAU-201	3.1m(W)*11.1m(L)*5m(H)	
CASE	강재	
Case A	일반용접구조용 SS400	

- 구조해석 조건 (PAR101-A, SS400)

구분	내 용	
Case2 (PAR 101)	사이즈	2.5m(W)*12m(L)*5m(H)
	적층구조 설계	
	풍하중 WX	
	풍하중 WY	
	장치하중	

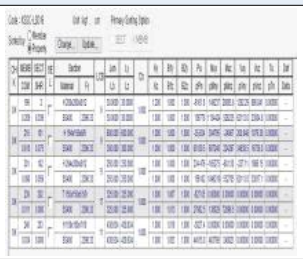
- PAR101 - A(SS400) 구조물 해석 결과

변위분포(DL)	
	
최대변위 : 15.545 mm	
운송하중	
	
최대변위 : 10.749mm	

응력분포(DL+)	
	
최대응력 : 98.5MPa	
운송하중	
	
최대응력 : 72.8MPa	

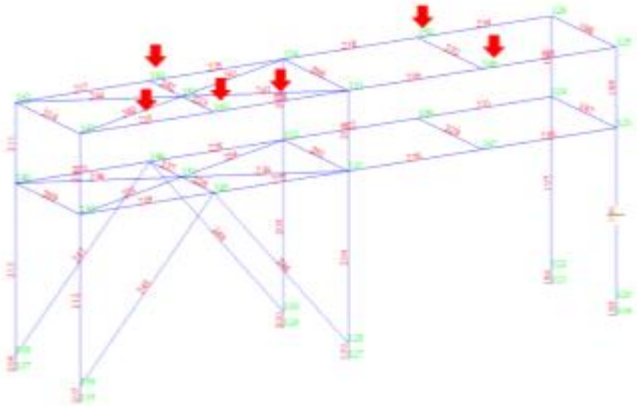
해석결과

구분		DL+LL	운송
Case2-A (SS400)	최대변위(mm)	15.545	10.749
	최대응력(MPa)	98.5	72.8

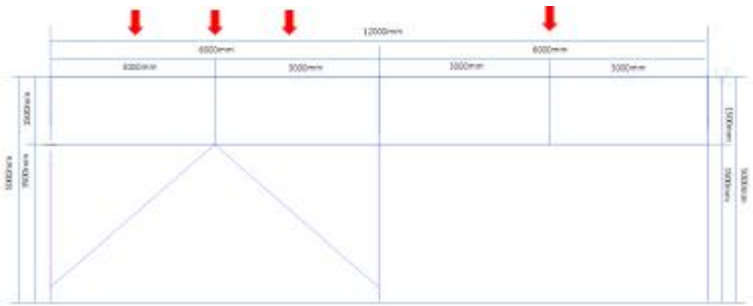


2) 구조프레임 해석 결과에 따른 센서 위치

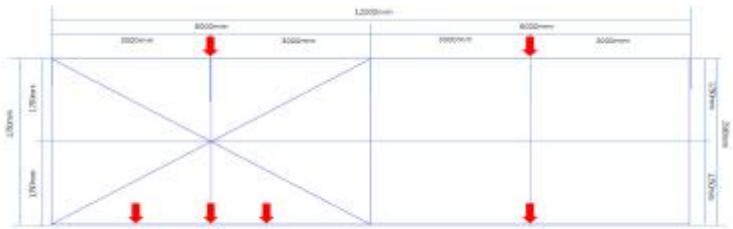
(가) PAR-101 모듈 센서 위치



<그림 78> 모듈 Node(Green)/Element(Red) Number



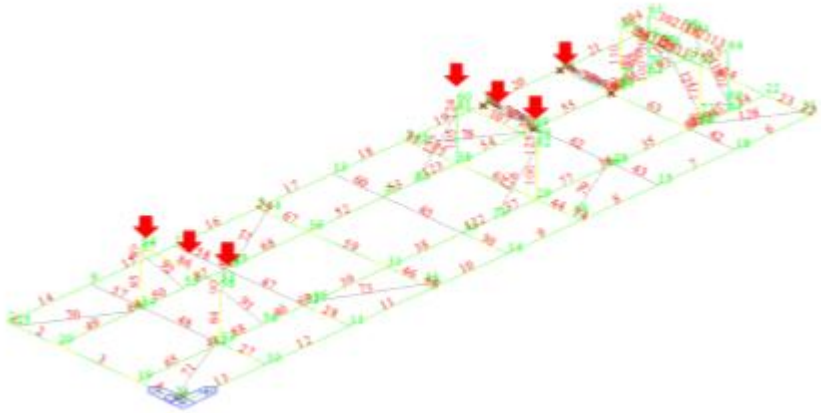
(a) 측면



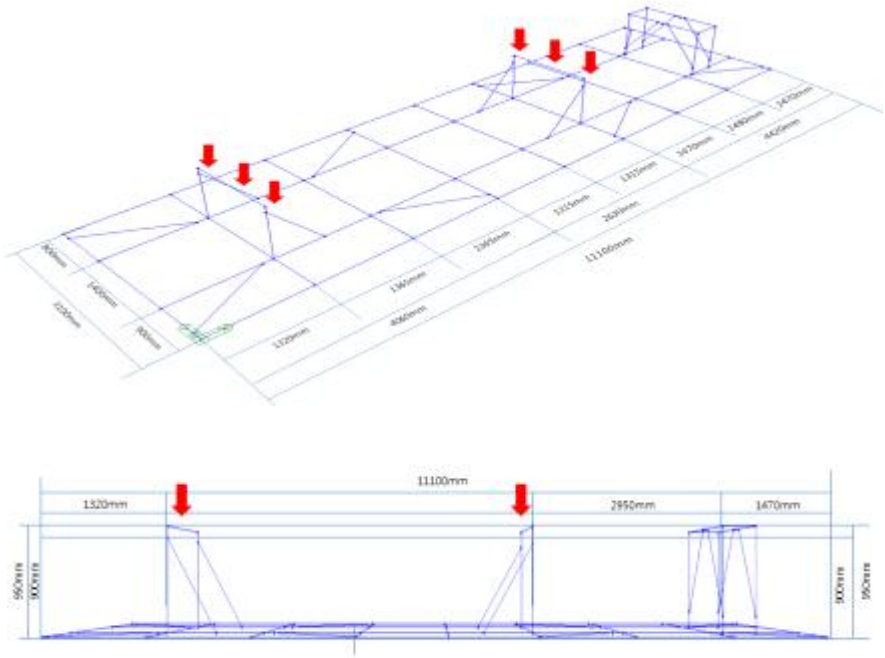
<그림 79> 모듈 Node 및 센서 부착 위치

Node	변위(mm)	Beam forces(Mpa)
215(Element)		138.87
224(Element)		138.87
150	3.36	
152	6.35	
143	7.8	
149	7.29	

(나) PAU-201 모듈 센서 위치



<그림 80> 모듈 Node(Green)/Element(Red) Number



<그림 81> 모듈 센서 부착 위치(정면 및 측면도)

Node	변위(mm)	Beam forces(Mpa)
86(Element)		188
107(Element)		185
86(Element)	0.052	
107(Element)	0.052	

3) 상태감지센서 실제 부착위치

4) 파이프렉 파일럿 모듈 운송

파일럿 모듈의 육상운송을 진행하면서, 실제 상용급 기능모듈의 운송을 가정하여, 제한차량의 인허가 절차, 운송 중에 발생할 수 변수 고려, 지원차량 운행 등을 통해 상용급 기능모듈의 육상운송을 Simulation으로 실증하였음.

5) 건전성 평가를 위한 WSN 모니터링 시스템 Pilot Test

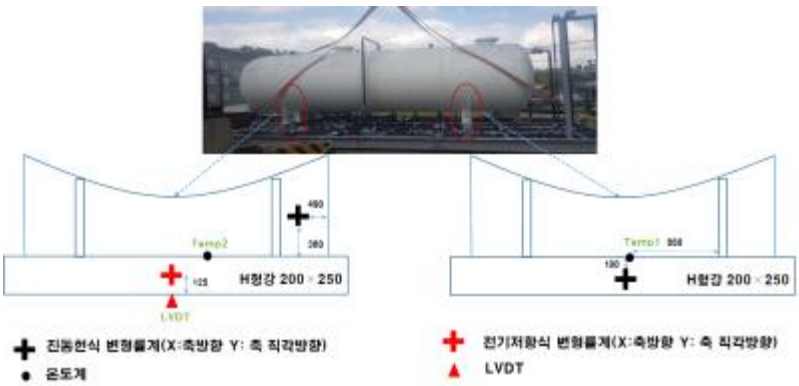
(가) 개요

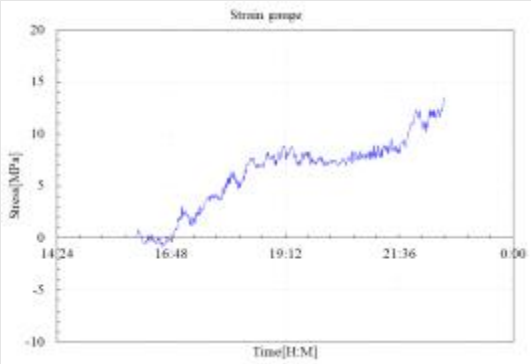
오일샌드 플랜트 모듈에 설치된 WSN 시스템은 지금까지 국내에서 시행되었던 지반 및 구조물 계측과는 다르게 지반 및 구조물의 거동을 지속적으로 감시하는 구조물 장기 계측관리 시스템(long-term structural monitoring system)임. 따라서 계측 계획에서부터 센서의 선정, 센서 및 통신장비의 설치 등 전체적인 계측관리 시스템 구축시 계측관리 시스템의 내구성과 안정성을 고려하였음. 특히 실내시험을 통해 -40℃의 온도에서도 개발된 프로토타입이 작동가능함을 확인하였음.

1(	
일반 센서 및 모듈	개발된 WSN 시스템

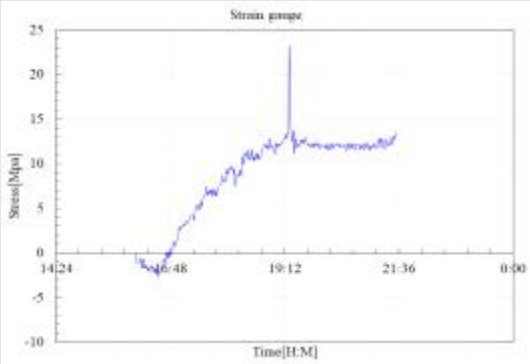
(나) 운송중 손상탐색 WSN 모니터링 시스템 현장 시험

오일샌드 플랜트 모듈에 설치될 WSN 시스템의 현장 적용성 평가를 위해 무선센서를 이용하여 운송중 발생하는 개발된 모듈의 변형 및 상태를 감지함. 개발된 모듈에 부착한 센서는 침하나 변위 등을 확인할 수 있는 LVDT (linear variable differential transformer), 응력을 측정할 수 있는 strain gauge, 개발된 모듈의 상태를 평가하는 온도계를 설치하였고 설치 위치와 운송중 모니터링의 결과는 다음과 같음. 특히 현장에서 얻은 데이터를 통한 PER 산정시 최소 1%의 요구사항을 만족하는 결과를 도출하였음.

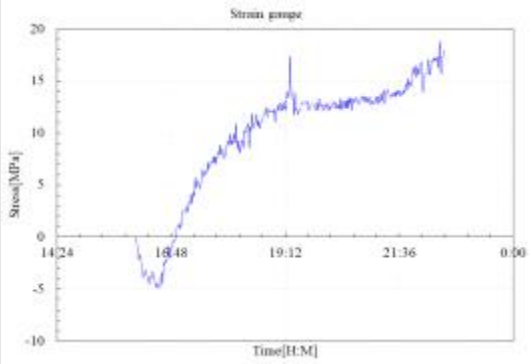




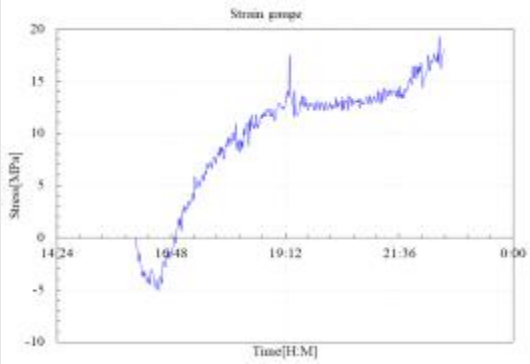
진동현식 변형률계, X축, 하판 프레임



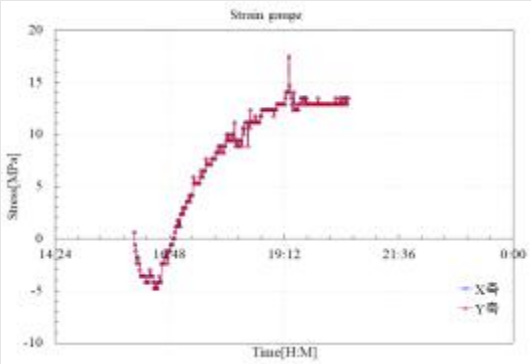
진동현식 변형률계, Y축, 하판 프레임



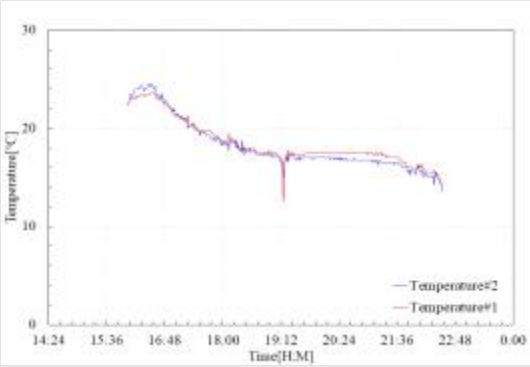
진동현식 변형률계, X축, 상판 프레임



진동현식 변형률계, Y축, 상판 프레임



전기저항식 변형률계



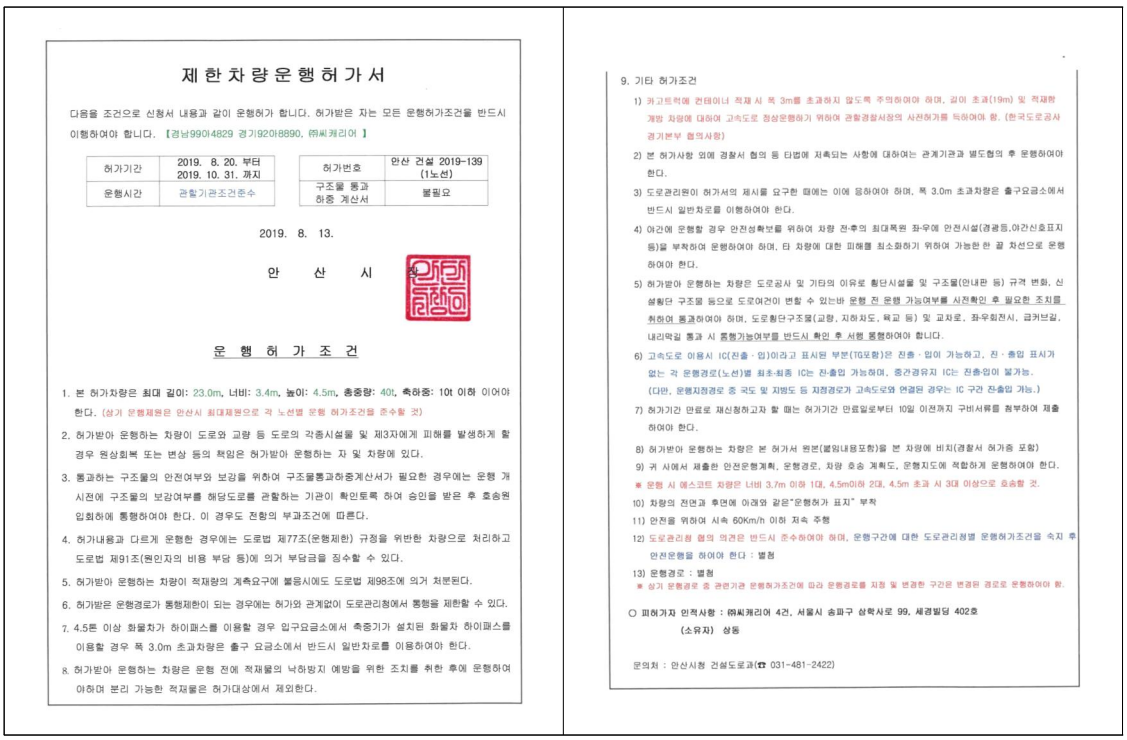
온도

(5) 국내 기능모듈 제한차량 육상운송 실증

본 실증은 경기도 연천군 Oilsand SAGD Pilot Plant 테스트 베드 내 파일럿 기능모듈 수송을 시행함에 있어, 제작업체인 비츠로넥스텍(경기도 안산시)에서 연천 SOC실증연구센터 Oilsand SAGD Pilot Plant 테스트 베드 현장(경기도 연천군)까지 현 도로법을 준수하는 범위 내에서 가장 안전하고 경제적인 최적의 노선을 선정하고, 운행 경로 상에 설치된 구조물에 피해가 없도록 구조 안전성 검토하여 적절한 보강계획을 수립하여 중량물을 수송하며, 운반 완료 후 구조물에 설치된 보강 부재를 제거하여 원상태로 복구하는 절차를 실증함.

또한, 파일럿 모듈의 육상운송을 진행하면서, 실제 상용급 기능모듈의 운송을 가정하여, 제한차량의 인허가 절차, 운송 중에 발생할 수 변수 고려, 지원차량 운행 등을 통해 상용급 기능모듈의 육상운송을 Simulation으로 실증하였음.

1) 제한차량 운행허가서



제 한 차 량 운 행 허 가 서

다음을 조건으로 신청서 내용과 같이 운행허가 합니다. 허가받은 자는 모든 운행허가조건을 반드시 이행하여야 합니다. 【경남99이4829 경기92이8890, ㈜씨캐리어 】

허가기간	2019. 8. 20. 부터 2019. 10. 31. 까지	허가번호	안산 건설 2019-139 (1노선)
운행시간	관할기관조건준수	구조물 통과 하중 계산서	불필요

2019. 8. 13.

안 산 시 장

운 행 허 가 조 건

1. 본 허가차량은 최대 길이: 23.0m, 너비: 3.4m, 높이: 4.5m, 총중량: 40t, 축하중: 10t 이하 이어야 한다. (상기 운행제원은 안산시 최대제원으로 각 노선별 운행 허가조건을 준수할 것)
2. 허가받아 운행하는 차량이 도로와 교량 등 도로의 각종시설물 및 제3자에게 피해를 발생하게 할 경우 원상회복 또는 변상 등의 책임은 허가받아 운행하는 자 및 차량에 있다.
3. 통과하는 구조물의 안전여부와 보강을 위하여 구조물통과하중계산서가 필요한 경우에는 운행 개시전에 구조물의 보강여부를 해당도로를 관할하는 기관이 확인토록 하여 승인을 받은 후 호송원 입회하에 통행하여야 한다. 이 경우도 전항의 부과조건에 따른다.
4. 허가내용과 다르게 운행한 경우에는 도로법 제77조(운행제한) 규정을 위반한 차량으로 처리하고 도로법 제91조(원인자의 비용 부담 등)에 의거 부담금을 징수할 수 있다.
5. 허가받아 운행하는 차량이 적재량의 계측요구에 불응시에도 도로법 제98조에 의거 처분된다.
6. 허가받은 운행경로가 통행제한이 되는 경우에는 허가와 관계없이 도로관리청에서 통행을 제한할 수 있다.
7. 4.5톤 이상 화물차가 하이패스를 이용할 경우 입구요금소에서 축중기가 설치된 화물차 하이패스를 이용할 경우 폭 3.0m 초과차량은 출구 요금소에서 반드시 일반차로를 이용하여야 한다.
8. 허가받아 운행하는 차량은 운행 전에 적재물의 낙하방지 예방을 위한 조치를 취한 후에 운행하여야하며 분리 가능한 적재물은 허가대상에서 제외한다.

9. 기타 허가조건
1) 카고트럭에 컨테이너 적재 시 폭 3m를 초과하지 않도록 주의하여야 하며, 길이 초과(19m) 및 적재함 개방 차량에 대하여 고속도로 정상운행하기 위하여 관할경찰서장의 사전허가를 득하여야 함. (한국도로공사 경기본부 협의사항)
2) 본 허가사항 외에 경찰서 협의 등 타법에 저촉되는 사항에 대하여는 관계기관과 별도협의 후 운행하여야 한다.
3) 도로관리원이 허가서의 제시를 요구한 때에는 이에 응하여야 하며, 폭 3.0m 초과차량은 출구요금소에서 반드시 일반차로를 이행하여야 한다.
4) 야간에 운행할 경우 안전성확보를 위하여 차량 전·후의 최대폭원 좌·우에 안전시설(경광등,야간신호표지 등)을 부착하여 운행하여야 하며, 타 차량에 대한 피해를 최소화하기 위하여 가능한 한 갈 차선으로 운행하여야 한다.
5) 허가받아 운행하는 차량은 도로공사 및 기타의 이유로 횡단시설물 및 구조물(안내판 등) 규격 변화, 신설횡단 구조물 등으로 도로여건이 변할 수 있는바 운행 전 운행 가능여부를 사전확인 후 필요한 조치를 취하여 통과하여야 하며, 도로횡단구조물(교량, 지하차도, 육교 등) 및 교차로, 좌우회전시, 급커브길, 내리막길 통과 시 통행가능여부를 반드시 확인 후 서행 통행하여야 합니다.
6) 고속도로 이용시 IC(진출·입)이라고 표시된 부분(TG포함)은 진출·입이 가능하고, 진·출입 표시가 없는 각 운행경로(노선)별 최초·최종 IC는 진출입 가능하며, 중간경유지 IC는 진출입이 불가능.
(다만, 운행지정경로 중 국도 및 지방도 등 지정경로가 고속도로와 연결된 경우는 IC 구간 진출입 가능.)
7) 허가기간 만료로 재신청하고자 할 때는 허가기간 만료일로부터 10일 이전까지 구비서류를 첨부하여 제출하여야 한다.
8) 허가받아 운행하는 차량은 본 허가서 원본(붙임내용포함)을 본 차량에 비치(경찰서 허가증 포함)
9) 귀 시에서 제출한 안전운행계획, 운행경로, 차량 호송 계획도, 운행지도에 적합하게 운행하여야 한다.
※ 운행 시 에스코트 차량은 너비 3.7m 이하 1대, 4.5m이하 2대, 4.5m 초과 시 3대 이상으로 호송할 것.
10) 차량의 전면과 후면에 아래와 같은"운행허가 표지" 부착
11) 안전을 위하여 시속 60Km/h 이하 저속 주행
12) 도로관리청 협의 의견은 반드시 준수하여야 하며, 운행구간에 대한 도로관리청별 운행허가조건을 숙지 후 안전운행을 하여야 한다 : 별첨
13) 운행경로 : 별첨
※ 상기 운행경로 중 관련기관 운행허가조건에 따라 운행경로를 지정 및 변경한 구간은 변경된 경로로 운행하여야 함.

○ 피허가자 인적사항 : ㈜씨캐리어 4건, 서울시 송파구 삼학사로 99, 세경빌딩 402호
(소유자) 상동

문의처 : 안산시청 건설도로과(☎ 031-481-2422)

2) 운송대상 중량물 및 수송장비 허가신청제원

중량물 제원

구 분	규 격 (L×W×H)	중 량	수 량
중량물(FWKO 모듈)	11,500×3,300×4,300 mm (실사이즈 기능모듈 가정)	13,000 kg	1 EA

허가신청 제원

구 분	차량번호		차량 + 화물				
	트랙터	트레일러	길이 (m)	폭 (m)	높이 (m)	축중량 (ton)	총중량 (ton)
수송차량	인천99아8681 서울82사6239 (예비)	경기98바3653 경기81바6272 (예비)	23.760	3.3	4.6	7.027	33.72

3) 허가차량 운행계획 설계

(가) 기본방침

▷ 허가 신청 경로는 다음의 조건을 만족하는 경로 중 최단경로로 설계

✓ 허가 신청 경로는 도로의 폭, 높이, 최소회전반경, 종 · 횡단구배 등을 고려하여 허가차량 운행시 차량 주행 안전성을 담보할 수 있는 경로로 선정

✓ 허가 신청 경로는 교량 등 도로구조의 개수가 최소인 경로로 선정

✓ 허가 신청 경로 상 교량은 2등교 이상이어야 하고, 지간장이 짧고 구조형식이 단순한 슬래브교 및 라멘교 통과 구간으로 선정하되, 거더교, 합성교 구간의 통과가 불가피한 경우에는 다음의 순서에 따라 선정

【1순위】 ➡ 【2순위】 ➡ 【3순위】 ➡ 【4순위】 【제외】

RC/PSC슬래브교	RCT형교	강I형교·강판형교	아치교	사장교
RC/PSC중공슬래브교	PSC I형교	강박스형교	트러스교	현수교
라멘교	RS/PSC박스형교	프리플렉스교	엑스트라도즈드교	

※ 허가 신청 경로 설계시, 케이블 장대교량(사장교, 현수교) 통과 구간은 제외

(나) 경로선정 중점 고려사항

중량물 수송노선은 수송 계획에 준거하여 비츠로넥스텍(안산시)에서 오일샌드 파일럿 현장(연천군)까지 편도로 수송이 가능한 노선들을 도상에서 선정하고, 현장 조사를 통하여 도로 폭원, 구배, 포장상태, 구조물 및 지장물 현황 등을 면밀히 조사하여 분석, 검토 결과에 따라 다음 사항을 고려한 최적의 노선을 선정하였음.

- 보강 공사비 및 수송거리가 최소인 노선
- 도로 폭원 및 종단 구배가 허용치 이내인 노선
- 관련기관의 인허가가 용이한 노선
- 민원발생이 적은 노선
- 기존 도로의 교통 소통 장애가 최소인 노선

(다) 운송경로선정

허가신청경로는 현장조사를 통한 도로 구조, 시설 조사 결과를 바탕으로 관련 인허가 및 안전성, 경제성을 비교 검토하여 설계하였으며, 교통흐름에 대한 영향 및 주변 민원의 최소화를 고려한 노선임.

- 허가신청경로 : 총 연장 122.8km

(라) 휴차지·임시 정차지 지정 및 활용계획

휴차 예정지 [가능삼거리(경기도 의정부시 가능동), STA.98+780]

(마) 도로구조·시설 통과 계획

선정된 노선에 대하여 수송로 조사결과 구조물 현황은 아래와 같으며 BOX 및 교량현황은 중량물 운송중량(13톤)이 BOX 및 교량통과시 제한중량 52.8톤을 초과하지 않아 구조물보강이 필요 없기에 표기하지 않음.

○ 교량 현황

STA.	현황	통과여부	최소높이
0+000 ~ 122+800	24	가능 (중량물 H=4.5M)	4.8M(개화육교)

○ 인도교(육교) 현황

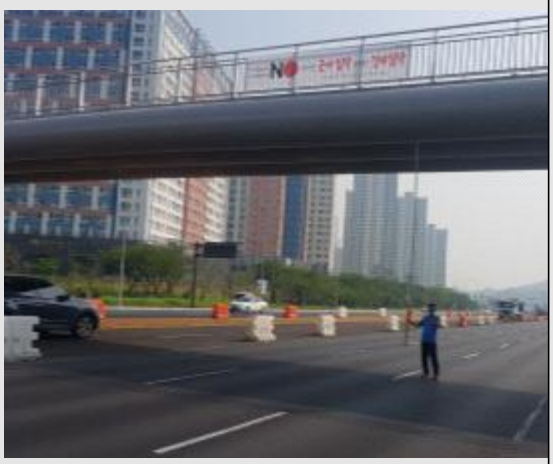
STA.	현황	통과여부	최소높이
0+000 ~ 122+800	9	가능 (중량물 H=4.5M)	4.8M(원당육교)

○ 터널, 지하차도 현황

STA.	현황	통과여부	최소높이
0+000 ~ 122+800	2	가능 (중량물 H=4.5M)	4.9M(장흥터널)

○ 현황표

번호	구조물명	STA.	도로명	구조물높이	차량높이	차이	관리청	비고
1	평택시흥고속도로	1+000	별망로	6.0M	4.5M	-1.5M	안산시	
2	옥구공원교	8+300	공단2대로	5.5M	4.5M	-1.0M	시흥시	
3	퀸즈파크배곧육교(인도)	10+200	서해안로	5.8M	4.5M	-1.3M	시흥시	
4	달월대교	12+200	서해안로	8.0M	4.5M	-3.5M	시흥시	
5	수인선 철도교	12+800	서해안로	5.8M	4.5M	-1.3M	시흥시	
6	논현6교	15+600	소래로	6.0M	4.5M	-1.5M	인천시 종합건설본부	
7	도림2육교	16+100	소래로	5.4M	4.5M	-0.9M	인천시 종합건설본부	
8	도림고가교	16+400	소래로	5.4M	4.5M	-0.9M	인천시 종합건설본부	
9	도림1육교	16+500	소래로	4.9M	4.5M	-0.4M	인천시 종합건설본부	
10	수산3교	17+700	소래로	5.0M	4.5M	-0.5M	인천시 종합건설본부	
11	남동구청사거리 육교	19+400	소래로	6.0M	4.5M	-1.5M	인천시 종합건설본부	
12	신월초등학교 육교	20+700	인주대로	5.2M	4.5M	-0.9M	인천시 종합건설본부	
13	석정삼거리 육교	24+500	경원대로	5.0M	4.5M	-0.5M	인천시 종합건설본부	
14	검암역 고가교	39+000	서곶로	6.0M	4.5M	-1.5M	인천시 종합건설본부	
15	백석중학교 육교	40+200	서곶로	5.0M	4.5M	-0.5M	인천시 종합건설본부	
16	상부 구조물	40+500	서곶로	6.0M	4.5M	-1.5M	인천시 종합건설본부	
17	갈현육교	45+200	드림로	5.0M	4.5M	-0.5M	인천시 종합건설본부	
18	다남교	45+900	드림로	6.0M	4.5M	-1.5M	인천시 종합건설본부	
19	육교교	52+100	벌말로	5.1M	4.5M	-0.6M	인천시 종합건설본부	
20	행주1교	52+500	벌말로	5.4M	4.5M	-0.9M	인천시 종합건설본부	
21	개화IC 램프	52+900	벌말로	4.8M	4.5M	-0.3M	인천시 종합건설본부	
22	개화육교	52+900	벌말로	4.8M	4.5M	-0.3M	인천시 종합건설본부	

구조물 사진대지 1	
평택시흥 고속도로 H=6.0M	2. 옥구공원교 H=5.5M
	
3. 퀸즈파크배곧 육교 H=5.8M	4. 달월대교 H=8.0M
5. 수인선 철도교 H=5.8M	6. 논현6교 H=6.0M

구조물 사진대지 2	
7. 도림2육교 H=5.4M	8. 도림고가교 H=5.4M
9. 도림1육교 H=4.9M	10. 수산3교 H=5.0M
11. 남동구청사거리 육교 H=6.0M	12. 신월초등학교 육교 H=5.2M

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 최종목표

□ 오일샌드 플랜트 기능모듈 구성설비 집약도 향상을 통한 고유모듈 개발

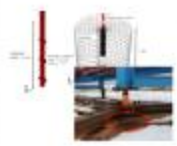
- 오일샌드 모듈화 플랜트에 적용할 수 있도록 운송, 성능, 안전, 운영(유지보수 포함)성을 고려한 기능모듈 분할 및 최적화 설계기술을 개발
- 현장적용 파일럿 실증모듈 제작을 위한 상세설계를 작성

□ 성능목표

- 모듈단위 설계단면 : 3.6mH×5.5mW 기준
- 상용급 설계기준 : 10,000bbl/day급
- 모듈화율 제고 : 현재 30%→50% 이상
- 국산소재 적용비율 50%, 내구수명 20%향상, 모듈중량 10%감소

□ 오일샌드 플랜트 모듈제작 및 시공기술개발

- 오일샌드 플랜트 모듈의 운송을 고려한 제작상세, 제작, 설치, 유지관리 기술개발
- 개발된 요소기술을 파일럿 모듈 제작 및 통합, 현장 검증

오일샌드 플랜트 요소기술 확보		오일샌드 SAGD 플랜트 제작상세 및 파일럿 현장검증			
					
극한지 시공속도 30%향상	상태변형감지, 유지관리기술	기능모듈 제작상세	자재 국산화율 50%이상	파일럿 모듈 제작	파일럿 플랜트 통합 구축

□ 성능목표

- 모듈단위 설계단면 : 3.6mH×5.5mW 기준
- 상용급 설계기준 : 10,000bbl/day급
- 모듈화율 제고 : 현재 30%→50% 이상
- 국산소재 적용비율 50%, 내구수명 20%향상, 모듈중량 10%감소

나. 목표달성도

□ 질적성과

단위성과	성과지표	선진기술 수준 (보유국/ 보유기관)	연구전 국내수준	목표치	달성치	평가방법	달성도 (%)
기능모듈 설계집	모듈크기	7×8m (캐나다/Husky)	없음	3.6×5.5m	3.6×5.5m	설계서 모듈단면 크기 확인	100
파일럿 모듈 상세설계집	모듈화율	30% (캐나다/Husky)	없음	50%	57%	Plot plan 에서 전체 대비 모듈화설계 대상면적 비율계산	100↑
	국산화율	-	-	50%	소재 : 92.6% 계장류 : 78.6%	파일럿 자재리스트상의 국산자재비율	100↑
극한환경 고성능 소재특성 및 모듈 성능평가	설계지침서, 보고서	캐나다/ Sunco	-	1부	1부	파일럿 플랜트 모듈 설계지침서	100
해외시험인증절차DB 구축	해외시험인증절차 시스템DB 구축	미국/ASME	KS	해외인증 DB시스템 1건	해외인증 DB시스템 1건	시험·인증 시스템 DB 시연 및 구축보고서	100
오일샌드 플랜트용 컴팩트 구성유닛설계 가이드라인 제시	FWKO vessel 규격	11m x 2.4m x 2.4m	없음	11m x 2.4m x 2.4m 이내	6.6m x 2.2m x 2.2m	공정유닛 형상 설계서 확인 및 실증데이터 검증	100↑
복합열캐리어 발생기 설계 및 제작	복합열캐리어 발생기 시작품 운전데이터 (압력, 온도, 유량)	-	-	234℃, 2MPa, 2,000kg/h , (오차범위 ±10%)	234℃, 2MPa, 2,000kg/h , (오차범위 ±10%)	현장 Pilot Test 운용성 평가 보고서 및 Test 결과치	100
오일샌드 플랜트 표준 구조 프레임 및 집적모듈	PWT 집적 패키지 규격화	-	-	85%	85%	공인시험	100
표준인증 취득	표준인증 승인	-	-	1건	2건	인증서 및 보고서	100
파일럿 모듈 제작, 실증보고서	파일럿 모듈제작, 현장설치, 시운전	-	-	공정율 100%	공정율 100%	파일럿 실증 보고서	100
표준모듈 제작상세 가이드라인(안) 제시	제작상세 가이드라인(안) 제시	-	-	1건	1건	제작상세 가이드라인(안) 보고서	100
모듈 기초연결기술 개발	시작품 개수, 캡퍼의 성능평가	-	-	2개 이상, 50t의 90%이상	100%	1/6스케일 축소모형 재하실험 진행, 파일럿테스트 실대형 재하실험 진행 및 유압램 상승력 평가	100
Compatibility test 및 performance test 데이터 평가	Packet error rate	1% (세계표준) -40℃ (미국/허니웰)	없음	1%/-40℃	100%	프로토타입 및 논문	100
신형식 기초 모형 제작 및 모형실험 환경 구축	신형식 기초 형상 도출	-	-	1건	100%	신형식 기초 설계 도면	100

신형식 기초 평가	시공속도 증가, 지지력(극한하중) 향상	-	-	10%, 30%	100%	현장 및 모형실험, 수치해석 보고서	100
현장실무자를 위한 시공 가이드라인(안)	시공 가이드라인 (안)	-	-	1건	100%	시공 가이드라인(안)	100
오일샌드 플랜트 특수토 품질평가 기준(안)	오일샌드 현장특수토 품질평가 지표	-	-	동상품질 평가기준 (안)	100%	품질평가 지표	100
표층 결빙장치 현장 시험	결빙방지 현장평가	-	-	결빙방지 현장 평가수행	100%	현장 평가보고서	100
모듈별 변형, 진동 및 상태 감지 시스템 개발 기술	감지율 90% 이상	-	-	100%	100%	이론적 수신율과 실제 수신율의 비교분석 보고서	100
오일샌드 모듈화 플랜트 모니터링 시스템 개발기술	모니터링율 90% 이상	-	-	100%	100%	계측기별, 측정주기별 상시 모니터링 가능 여부 확인 보고서	100
광역 화재감지 시스템	이미지 폭	-	-	1% 이하	0.99%	외부 전문기관 입회실험	100
화재안전 그리드 구축 및 실증	오작동률	-	-	경보시간 2분이내 오작동률 1/60 이하	30초 이내 오작동 없음	외부 전문기관 입회실험	100

□ 양적성과

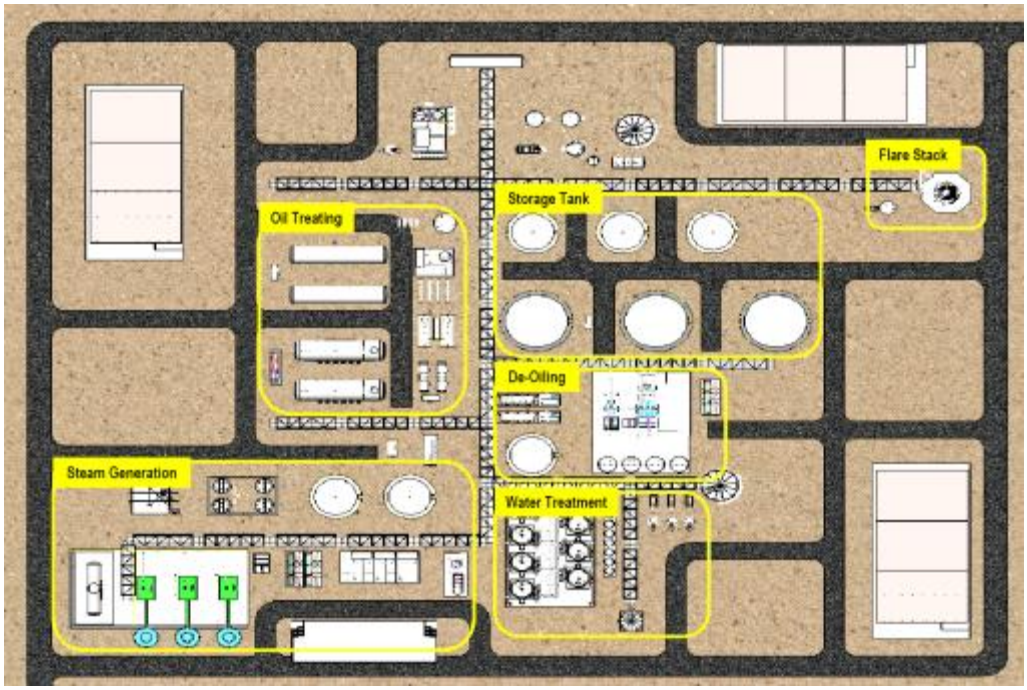
양적성과 항목		목표치	달성치	달성도(%)	비고
논문	SCI	22	19	92	심사중 5건
	비SCI	60	65	111	초과달성
특허	출원	36	37	91	추가 출원 예정
	등록	14	23	110	초과달성
인력양성		14	41	243	초과달성
기술실시/사업화		4	5	25	연구개발활용계획서 계획 참조
소프트웨어		10	13	167	
기타	시작품	8	11	133	
	성과홍보	6	23	500	

다. 개발성과물

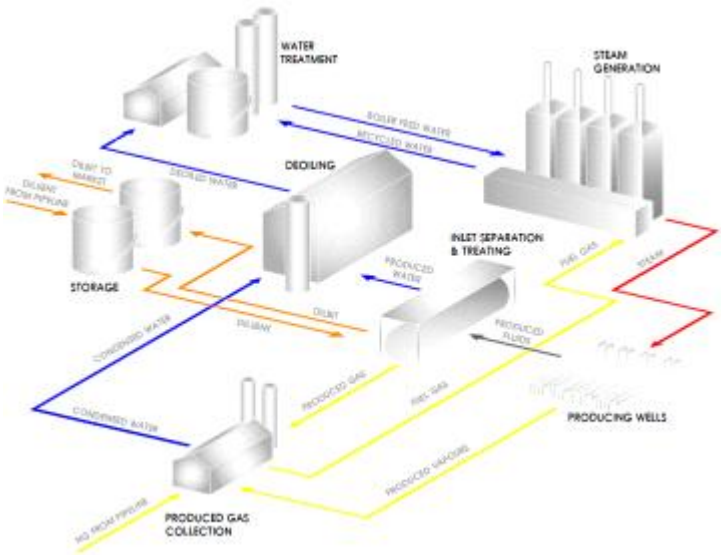
연구개발 성과

(1) 오일샌드 플랜트 기능모듈 기본설계 개발

□ Plot Plan



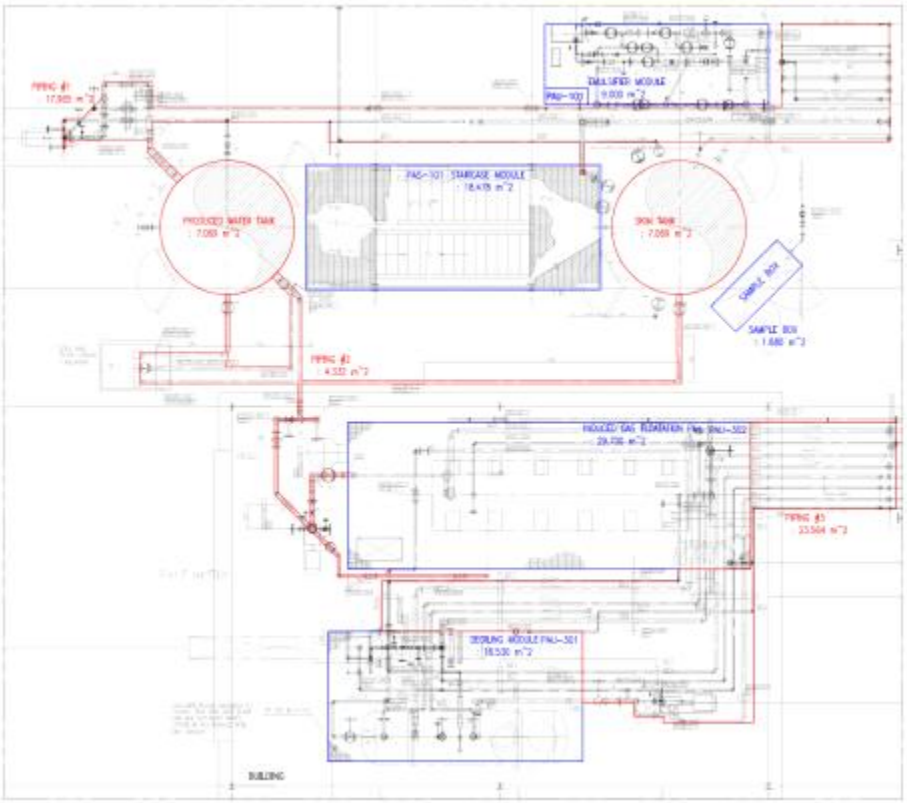
□ Block Flow Diagram



(2) 오일샌드 플랜트 파일럿 기본설계 및 상세설계 개발

□ 모듈화 및 집적율

- 전체 플랜트 면적대비 모듈화와 집적화가 이루어진 면적을 산출하여 산정 함.
- 예시) West-1 Area



[그림] Pilot Plant West-1 Area

구역	면적(㎡)	모듈화	집적화
Emulsifier Module	9.00	o	
Produced Water Tank	7.07		
Skim Tank	7.07		
Staircase Module #1	18.48	o	
Staircase Module #2	18.48	o	o
Sample Box	1.68	o	
Induced Gas Floatation Pkg.	29.70	o	o
Deoiling Module	16.53	o	o
Piping #1	17.97		o
Piping #2	4.33		
Piping #3	23.56		o
합계	153.87	93.87	106.24
면적비율		**61%**	**69%**

- **총 모듈화 및 집적률**

총면적(㎡)	모듈화		집적화	
	면적(㎡)	%	면적(㎡)	%
728.84	413.64	57%	333.68	46%

□ 국산화 소재적용비율

- **철구조물(형강류, 파이프류)**

구분	총중량	중량대비 비율
외산 자재	5.7ton	7.4%
국산 자재	71.2ton	92.6%
합계	76.9ton	100.0%

- 파이프류 중 국내에서 생산되지 않는 Seamless Pipe가 주로 외산 자재

- **계장품류(Valve, Transmitter, Gauge류)**

구분	수량	수량대비 비율
외산 자재	44개	21.4%
국산 자재	161개	78.6%
합계	205개	100.0%

- 방폭 및 오일플랜트 제품 품질이 우수한 Transmitter류가 주로 외산 자재

□ 모듈단위 설계단면 (Envelope Size)

- **최종 Envelope Size : 3.6mH×5.5mW**

□ 관련 설계서 및 보고서 작성 완료

- 공정설계보고서
- 시장성, 기술성 및 추진전략 조사분석 보고서
- 오일샌드플랜트 특허기술 심층 조사분석 보고서
- 파일럿 실증계획 보고서
- 용량별 공사비 산정보고서
- 오일샌드플랜트 모듈화 설계요건서
- 오일샌드플랜트 파일럿모듈 기본설계집
- 오일샌드플랜트 파일럿모듈 상세설계집
- 오일샌드플랜트 기능모듈 기본설계집
- 오일샌드플랜트 모듈화

(3) 오일샌드 플랜트 모듈화 공정설계 및 시뮬레이션 평가연구

□ 오일샌드 플랜트 주요 공정계통 특성 보고서

- 오일샌드 생산방법, 처리기술
- 공정도 구축(Oil Treatment, De-Oiling, Evaporator, Warm Lime Softening Steam Generator, Drum Boiler)

□ 오일샌드 Simulation 보고서

- SAGD CPF 열 교환망 simulation
- Warm lime softening 공정 세부 simulation

(4) 오일샌드 모듈화 플랜트 Project Total Solution 개발

□ 오일샌드 모듈화 플랜트 초기단계 의사결정 솔루션

- 모듈화 프로젝트 초기 타당성 검토 모듈
- 개략공사비 산출 모듈

(5) 극한환경 오일샌드 모듈화 플랜트용 고성능 소재 이용기술 개발

□ 오일샌드 플랜트 기자재 소재 정보 제공 사이트

- KS, ASTM, ASME 표준에 기반하여 사용조건과 용도에 따른 고성능 소재의 선정을 위한 가이드 역할을 수행

  * 용도별(압력용기용/구조용/파이프용) 국제표준(ASME) DB 구축
  * 국가별 플랜트 기자재의 시험·인증 Guide line 구축
  * 기본적인 물리·화학적 특성에 더하여 내마모, 내부식, 피로강도 등 고성능 소재 선정을 위한 시험방법 표준 및 절차서를 구축

< 오일샌드 재료연구센터 홈페이지 >

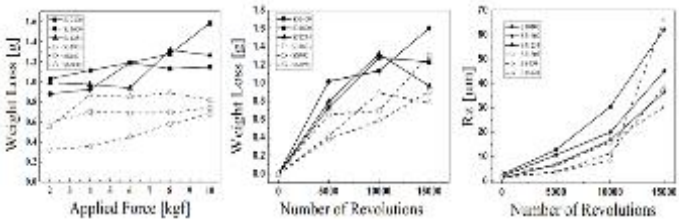
< 재료 DB >

< 시험인증 DB >

< 시험절차서 DB >

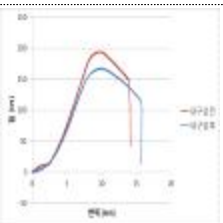
□ 극한환경 고성능 소재 특성 평가 및 선정위한 장비 및 시험절차서 개발

<오일샌드 플랜트용 소재 내마모 특성 평가 >



- 하중, 회전수(유체 속도), 표면거칠기 변화에 따른 소재 내마모성 영향 평가
- 탄소강, 스테인리스강의 내마모 특성 비교・분석

- 오일샌드 기자재의 극한환경(극저온, 마모)에서의 강재의 특성 평가를 위한 시험장치 개발: 금속시료 내마모성 테스트 장치

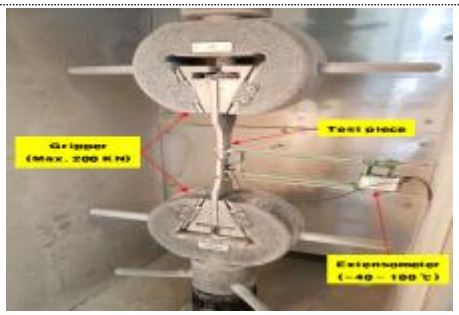


< 모듈 연결구조 내구성 평가 및 분석>

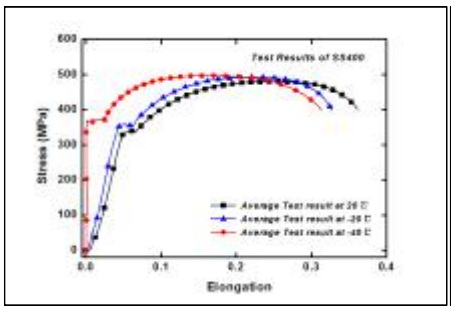
- 오일샌드 플랜트 소재에 가해지는 **동적하중**의 정량적 영향 평가 및 분석
- 기자재 운반, 풍하중, 진동 및 지진 등의 영향에 따른 플랜트 구조물의 내구수명 영향성 평가
- S-N 커브 분석을 통한 오일샌드 플랜트 **연결구조(볼트) 내구수명** 평가

- 오일샌드 플랜트 모듈 프레임 연결 시 적용 가능한 연결부 구조를 분석하고 연결부의 하중반복에 따른 피로인장강도의 영향성 평가

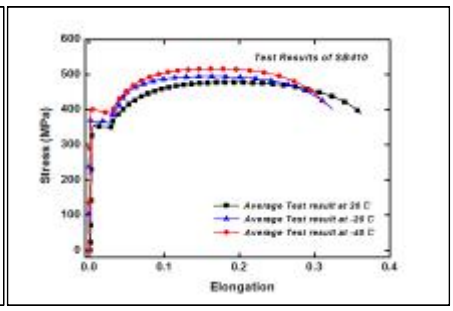
<저온챔버 장착, 인장시험기>



<저온 인장시험 셋업>



<SS400, 온도별 거동 비교>



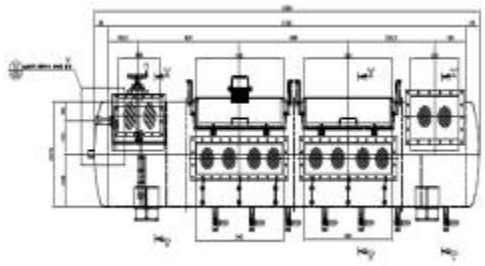
<SB410, 온도별 거동 비교>

- 상온대비 저온영역(-20 ℃ 및 -40 ℃)에서의 저온인장 시험을 수행하고 물성치의 변화를 관찰하여 재료특성 보고서를 발행・공유
- 오일샌드 플랜트가 적용되는 극한지의 경우 영하 40도에 이르므로 해당 온도 영역에서의 물성치 변화에 대한 정량적 평가 데이터를 분석/제공 함
- SS400, A516-60, SB410의 저온 시험을 통해 분석한 결과, 연신율은 상온대비 (15 ~ 20) %의 극격한 감소와, 소재의 취성 발현의 문제가 야기됨을 확인함

(6) 오일샌드 플랜트 모듈화를 위한 공정유닛의 최적설계에 관한 연구

□ Lab scale 크기의 FWKO 구축

- 설계 기술은 향후 압력 용기 및 수평형 유수분리장치 제작에 활용될 수 있음. 또한 모듈화 오일 샌드 플랜트 준공 및 주요 공정 유닛 설계에 반영함.
- 소형화 된 Lab scale FWKO를 통해 파일럿 크기 및 실제 크기의 기기를 모사한 실험이 가능함.



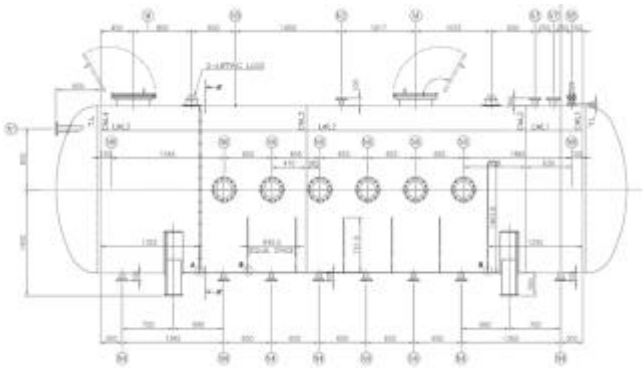
< Lab scale FWKO 간략화 도면 >

< Lab scale FWKO >

- 실험 데이터는 플랜트 운전 조건 도출에 활용될 예정임.

□ 300 BPD 급 Pilot-sized FWKO

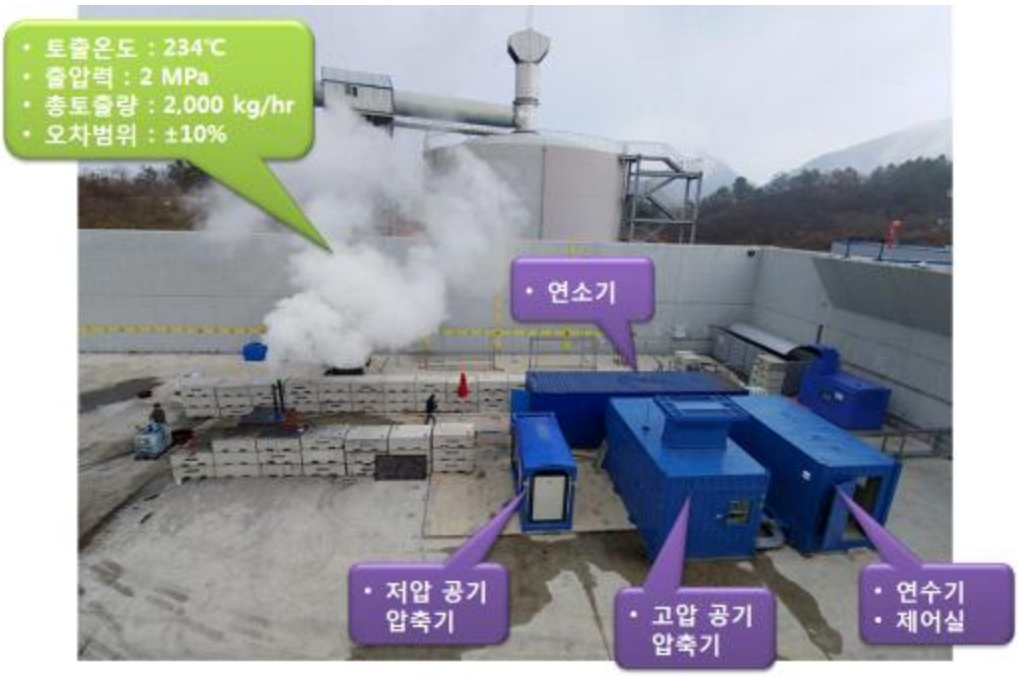
- 압력 용기 설계 기준인 ASME Code를 충족하는 모듈화 FWKO 제작
- 설계에 적용된 이론 및 기술 획득
- 해당 장비를 이용한 실험 방법 및 운전 조건 도출
- 다상유동 분리장치는 복수 개의 유체 분리부를 적용하여, 장치의 길이를 줄임으로써, 장치의 제작, 운송 및 설치가 용이함.
- 국내특허 출원



(7) 열캐리어 방식 SAGD 신모듈 설계 및 국산화 제작기술 개발SAGD

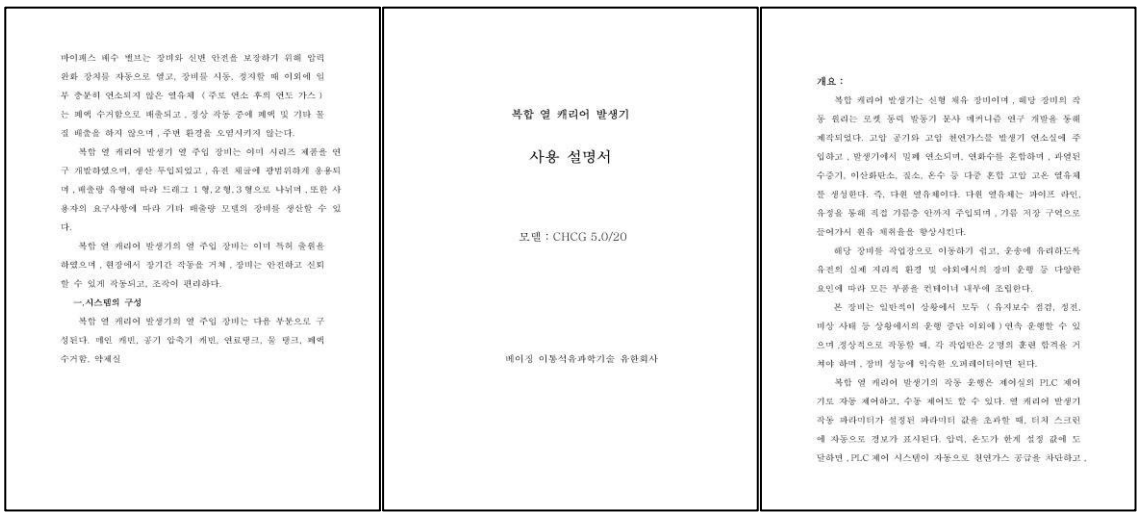
□ 복합열캐리어발생기 설계, 제작 및 운영 기술

- 복합열캐리어발생기 압축기, 연소기 최종 설계도서
- 복합열캐리어발생기 압축기, 연소기 최종 시작품 3건
  - Steam states : 234℃, 2MPa, 2,000kg/h



<복합열캐리어발생기 현장 시험(강원도 영월)>

- 복합열캐리어발생기 운전 매뉴얼



바이패스 제수 밸브는 장비와 신변 안전을 보장하기 위해 압력 완화 장치를 자동으로 열고, 장비를 시동, 정지할 때 이외에 일부 충분히 연소되지 않은 열유체 (주로 연소 후의 연도 가스)는 배연 수거함으로 배출되고, 정상 작동 중에 배연 및 기타 물질 배출을 하지 않으며, 주변 환경을 오염시키지 않는다.

복합 열 캐리어 발생기 열 주입 장비는 이미 시리즈 제품을 연구 개발하였으며, 광산 투입되었고, 유전 채굴에 광범위하게 응용되며, 배출량 유형에 따라 드래그 1 형, 2 형, 3 형으로 나뉘며, 또한 사용자의 요구사항에 따라 기타 배출량 모델의 장비를 생산할 수 있다.

복합 열 캐리어 발생기의 열 주입 장비는 이미 특허 출원을 하였으며, 현장에서 장기간 작동을 거쳐, 장비는 안전하고 신뢰할 수 있게 작동되고, 조작이 편리하다.

一,시스템의 구성

복합 열 캐리어 발생기의 열 주입 장비는 다음 부분으로 구성된다. 메인 캐빈, 공기 압축기 캐빈, 연료탱크, 물 탱크, 배연 수거함, 악제실

복합 열 캐리어 발생기

사용 설명서

모델 : CHCG 5.0/20

베이징 이동석유과학기술 유한회사

개요 :

복합 캐리어 발생기는 신형 채유 장비이며, 해당 장비의 작동 원리는 로켓 동력 발동기 분사 메커니즘 연구 개발을 통해 제작되었다. 고압 공기와 고압 천연가스를 발생기 연소실에 주입하고, 발생기에서 일제 연소되며, 연화수를 혼합하며, 과열된 수증기, 이산화탄소, 질소, 온수 등 다중 혼합 고압 고온 열유체를 생성한다. 즉, 다원 열유체이다. 다원 열유체는 파이프 라인, 유정을 통해 직접 기름층 안까지 주입되며, 기름 저장 구역으로 들어가서 원유 채취율을 향상시킨다.

해당 장비를 작업장으로 이동하기 쉽고, 운송에 유리하도록 유전의 실제 지리적 환경 및 야외에서의 장비 운행 등 다양한 요인에 따라 모든 부품을 컨테이너 내부에 조립한다.

본 장비는 일반적이 상황에서 모두 (유지보수 점검, 정전, 비상 사태 등 상황에서의 운행 중단 이외에) 연속 운행할 수 있으며, 정상적으로 작동할 때, 각 작업반은 2 명의 훈련 합격을 거쳐야 하며, 장비 성능에 익숙한 오퍼레이터이면 된다.

복합 열 캐리어 발생기의 작동 운행은 제어실의 PLC 제어기로 자동 제어하고, 수동 제어도 할 수 있다. 열 캐리어 발생기 작동 파라미터가 설정된 파라미터 값을 초과할 때, 터치 스크린에 자동으로 경보가 표시된다. 압력, 온도가 한계 설정 값에 도달하면, PLC 제어 시스템이 자동으로 천연가스 공급을 차단하고,

<복합열캐리어발생기 운전 매뉴얼>

(8) 오일샌드 플랜트 표준모듈 및 기능집적 패키지 개발

□ 오일샌드공정 장비 시험인증을 위한 요구단계별 방안 수립

- 오일·가스 선진기관과 국제공동연구를 추진하여 우리나라 여건에서 개발 현장·시험 실적이 미비한 약점을 해소
  - 타겟으로 하는 시장으로 진출기반을 마련하기 위하여, 연구개발 성과물에 대한 현지 기준 시험·인증체계를 이해하고, 시장접근방안을 마련하여 사업의 성공가능성 및 연구개발 성과의 수출 가능성 제고
- 본 오일샌드 모듈화 플랜트 과제의 경우에 성과물의 활용을 위해 북미 캐나다 Alberta 시장을 겨냥하고 있으며, 현지 시장에 친화적인 사업여건과 개발기술의 적용성을 확보하는 것이 관건님
  - 이를 위해 캐나다 Alberta 현지 기관과 국제공동연구를 통해 선진기술을 흡수하고, 현지 시장진출을 위한 시험·인증 등 교두보 확보가 중요함

※ 추진경과

- ('16.04.20) 오일샌드연구단에서 Alberta주정부 방문 : 관계기관 공동연구 타진
- ('16.05.31) 캐나다 Alberta주정부에서 국토교통부 방문 : 공동연구 추진 공감
- ('16.12.08) ICOS 2016 행사, 한-캐나다 Alberta 관계기관 참여, 공동연구 협의
- (2017.9.27.) 제2회 ICOG 행사, 한-캐나다 Alberta 관계기관 참여, 공동연구 협의

□ 오일샌드 플랜트의 Module Envelope 설계 가이드 및 활용지침

- 상용플랜트 설계에 사용하기 위한 시스템 거동해석 정보 제공 및 발생가능한 문제점들을 해결하고 규정하기 위해 필요함
  - 개발기술과 연관된 분석으로 적시에 현실적인 방법으로 관리 가능한 규모로 프로세스 문제 분석 및 조사 필요
- 플랜트 사업의 구조적, 환경적 변화에 따른 물량 절감, 성능 우위, 가격 경쟁, 지속적인 피드백 등 구조용 고성능 소재 적용방안 도출이 필요함
  - 내진 안정성, 용접성, 에너지 흡수능력, 변형능력, 내(耐)충격성능이 뛰어난 고성능 제품

※ 연구개발과제 수행 상 운송이 가능한 모듈 제작 국산화 및 고성능 소재 도출에 관한 중요한 내용을 반영되어 있으며, 본 과제에서는 기존 기술 및 시장 현황 분석을 통해 사업화 가능성 및

시장 진입 방안을 구체화하는 단계로 기술개발과 병행하고자 함

○ 통합 micom 제작

○ 다중화재징후 판별 및 정보화 및 경보 등 통합진단모듈 제작

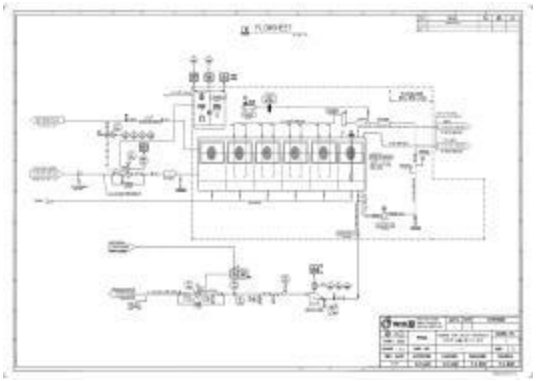
○ 어플(Mobile Application)을 이용한 실시간 데이터 복합감지장치 제작

□ 기대효과 및 활용방안

- 건축구조용 고성능 소재에 대한 재료적 특성 신뢰도 및 효율적 사용을 통한 국산화 모듈 제작 기술 제고
- 구조프레임 해석을 통해 파일럿 실증 구축 및 운영 안정화 방안 도출
- 개발기술의 사업화 전략 병행을 통해 조기 사업화 달성

□ PWT 계통 설계의 파일럿 검증 및 공간 패키징

- Bench-scale (180BPD) Induced Gas Flotation(IGF) 설계 및 제작, 검증을 통해 기초연구 자료 획득
- 기초연구 DB를 기반으로 Pilot-scale (1200BPD) IGF 설계 및 제작, 검증



< Pilot-scale IGF P&ID>

< Pilot-scale IGF 의 실제 설치사진(연천 SOC 실증연구센터) >

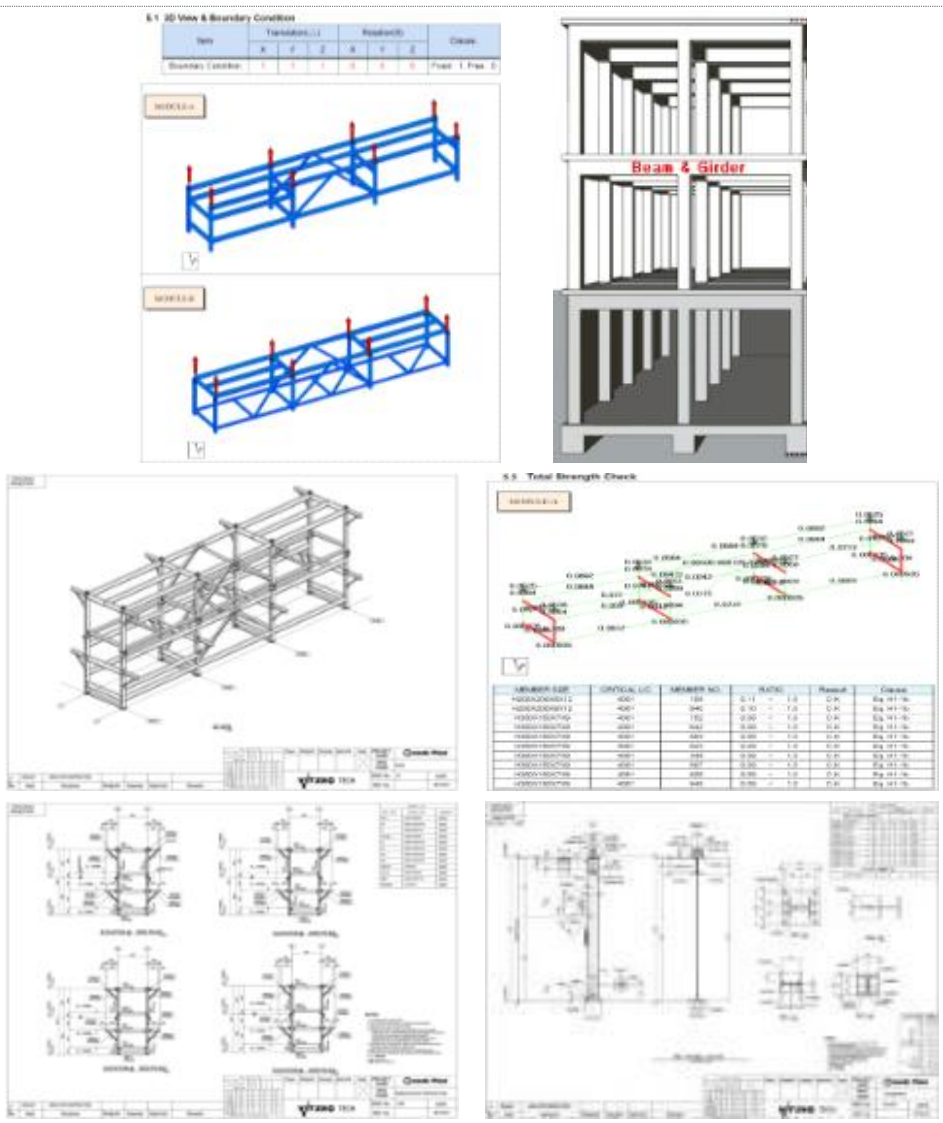
(9) 오일샌드 플랜트 표준 모듈 제작 및 파일럿 현장 적용 개발

□ 오일샌드 300BPD 파일럿 모듈 플랜트 제작 및 통합 현장구축

- 파일럿 모듈 플랜트 제작을 위한 구조해석 및 상세설계
- 파일럿 모듈 제작
- 모듈 운송을 위한 제한차량인허가 및 운송 실증
- 파일럿 실증 모듈 제작 및 현장 구축 (연천SOC실증연구센터)

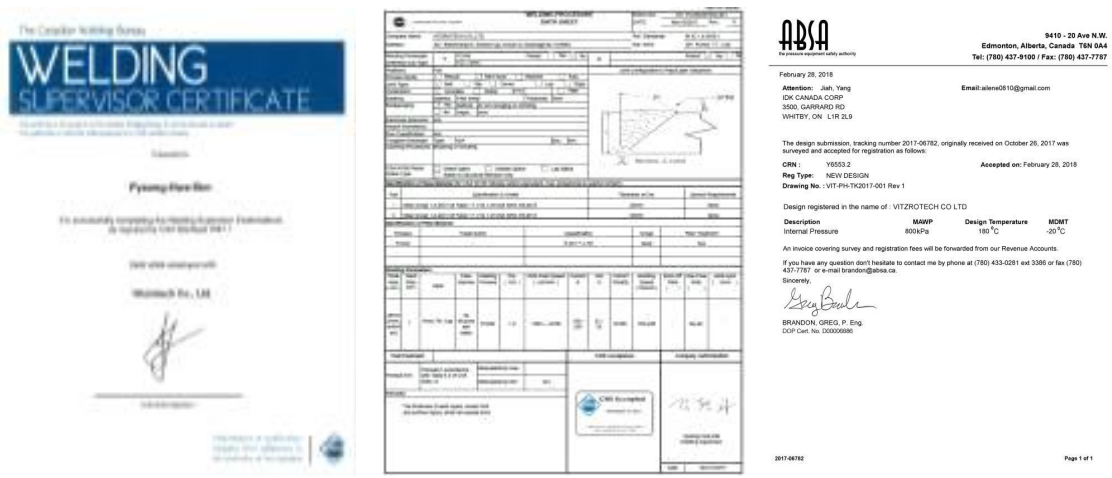
□ 오일샌드 플랜트 표준모듈 제작상세 가이드라인 및 제작상세도

- 모듈 운송을 위한 상하차 시 Lifting Analysis
- 구조프레임 운송을 고려한 모듈 부재(Temporary) 설계
- 극한지 환경을 고려한 구조프레임 제작상세 가이드라인
- 모듈 연결을 위한 접합부 시공 가이드라인
- 파이프펙 표준 구조프레임 제작상세도



□ 오일샌드 SAGD 플랜트 표준인증

- CWB (Canadian Welding Bureau) 인증 수행
- ABSA (Alberta Boilers Safty Associatioin) 안전인증 절차 수행



(10) 변위 대응형 모듈플랜트 기초 연결기술개발

□ 커넥터의 장기 변형률 측정 및 기초형식에 따른 최적 캡핑 설계법 제안

- 변위 대응형 플랜트 모듈의 현장 적용성 평가

Fig. 4.1 변위 대응형 플랜트 모듈

□ 오일샌드 플랜트 기초에 적용하는 변형형 캡퍼 및 커넥터의 복합단위 현장 적용성 평가

- 하중재하 유지에 따른 시간별 피로 변위 거동평가

Fig. 4.2 변위 대응형 플랜트 시험체의 하중재하 실험

- 현장적용성 (변위 대응형 플랜트 시험체의 현장적용)

Fig. 4.3 변위 대응형 플랜트 시험체의 현장적용

(11) 오일샌드 모듈 플랜트 최적 기초 형식 개발

□ 오일샌드 모듈 플랜트 신형식 기초 형식 도출

- 개발된 신형식 기초는 군말뚝 형식의 기초로 3본의 헬리컬 파일과 상부연결체, 캡퍼, 헬리컬 파일 내부에 관입되는 콘 장비로 구성
  - 말뚝 설치를 위한 선굴착 또는 항타 과정 없이 소형장비로 회전관입되며, 단일 말뚝을 깊게 설치하지 않고 여러개의 말뚝을 얕게 설치하여 여용성 확보가 가능하며 인발제거에 용이하고 재활용이 가능한 기초
  - 회전관입으로 인한 급속시공이 가능하며 운행 중 발생하는 크리프(Creep)나 진동에 의해 발생 가능한 침하에 대응할 수 있는 기초
  - 헬리컬 파일 중공에 삽입되는 콘 장비는 지반에 항타되어 말뚝의 지지력을 향상시키며, 콘 장비 내에 설치된 히팅코일의 열 에너지가 기초 주변 지반으로 전달되어 지반 동결이 해소 되는 것을 특징으로 하는 자가 동결융기 해소형 말뚝 기초
  - 기존 기초 대비 시공속도는 10% 이상 절감시킬 수 있는 장점이 있으며 가장 큰 장점으로는 운용 중 발생할 수 있는 추가 침하 및 지반 변형에 대하여 능동적으로 대응할 수 있는 기초

(a) 단위 신형식 기초(군말뚝 형식) 예시 (b) 모듈 플랜트 신형식 기초 적용 예시

(c) 신형식 기초 현장 적용 사진

(d) 온도센서가 부착된 콘 장비 모식도

Fig. 4.1 개발된 신형식 기초

□ 신형식 기초 시공 가이드라인(안) 개발

- 개발된 신형식 기초의 실용화 및 오일샌드 모듈 플랜트 건설 현장에 적용하기 위해, 현장 실무자를 위한 오일샌드 플랜트 모듈 기초 시공 지침(안) 개발

(a) 시공 가이드라인(안)

(b) 목 차

(12) 오일샌드 기능모듈 변형 진동 및 상태 실시간 감지시스템 기술개발

□ 오일샌드 기능 모듈의 변형 및 상태감지 모니터링

- 오일샌드 기능 모듈의 변형 및 상태감지를 위한 운송 모니터링 시스템 개발
  - 변형감지시스템은 GPS, IMU 및 데이터 처리 모듈로 구성. 데이터 처리 모듈에 GPS와 IMU를 각각 연결하고 작동시키면 데이터 처리 모듈에서 GPS의 시각을 이용하여 각각의 데이터를 시각 동기화 하여 실내로 전송하도록 구현
  - 상태감지시스템은 동작감지기 및 데이터 처리 모듈로 구성하였음. 데이터 처리 모듈에 동작감지기를 연결하고 작동시키면 변형 감지 센서와 동작 감지 센서의 거리가 변할 때, 즉 누군가 변형 감지 센서를 만지거나 근처에 왔을 때 이상 감지 신호를 출력해서 GPS의 시각과 함께 실내로 전송
  - 본 연구의 특성상 극한지에서의 플랜트 구조물의 변형을 확인하는 것으로 극지연구소에서 개발된 통신장비가 - 40° C의 내한성을 가지고 있으므로 변형감지시스템이 획득하는 데이터를 극지연구소의 통신장비를 이용해 전송한다면 극한지에서도 전송 지연 없이 실시간으로 모니터링 할 수 있을 것으로 판단.
  - 이러한 변형 및 상태감지시스템을 통해 극한지역의 파일럿 모듈의 장기운송 시 지속적으로 변형 및 상태를 감지뿐만 아니라 모듈 플랜트의 위험 및 취약부위를 파악하여 그 수명을 연장시키고 안정성을 확보할 수 있는 기술임.
  - 국내에서 이러한 기술을 개발함으로써 극한지역의 해외 사업진출 시 효율적이고 경제적인 유지관리 가능

< 플랜트 모듈 내부 센서부착(왼쪽) >

< 플랜트 모듈 내부 센서부착(뒤쪽) >

< 신트레일러에 상차된 모듈 >

< 이동 위치에 따른 계측결과 >

□ 플랜트 운송 모니터링 프로그램 개발

- 운송모니터링에 대한 프로그램 저작권 등록 및 논문게재

저작권 등록증

한국저작권위원회

Monitoring System Development for Deformation and State Detection of Oil sand Function Module

□ WSN 모니터링 시스템 프로토타입 제작

- 영하 40도 사용 가능
- PER < 1%

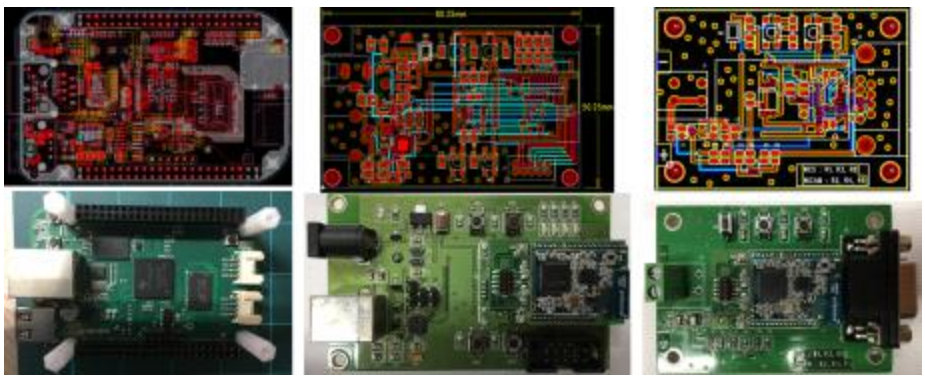


Fig. WSN 모니터링 시스템 제작

라. 양적성과 및 기여도

(1) 산업 기여도

특허출원 37건 :

1) 특허명칭 : 오일샌드 채취 및 제어용 컨테이너 모듈
출원번호 : 10-2019-0056201

2) 특허명칭 : 오일샌드특허 등록 유화제 주입장치가 내장된 컨테이너 모듈
출원번호 : 10-2019-0058838

3) 특허명칭 : 오일샌드 채취용 모듈 프레임에 구비된 가이드 플레이트
출원번호 : 10-2019-0090336

4) 특허명칭 : 대표공종 기반의 모듈화 플랜트 개략공사비 산정을 위한 시스템 및 방법
출원번호 : 10-2018-0153357

5) 특허명칭 : 금속시료 내마모성 테스트 장치
출원번호 : 10-2016-0183069

6) 특허명칭 : 배관 재료의 응력 측정을 위한 인장 시험 장치
출원번호 : 10-2016-0021227

7) 특허명칭 : 사용 환경 하에서의 플랜트 재질 추천 장치
출원번호 : 10-2017-0126820

8) 특허명칭 : PLANT MATERIAL RECOMMENDATION APPARATUS IN USE ENVIRONMENT (중국)
출원번호 : 201810365418.0

9) 특허명칭 : PLANT MATERIAL RECOMMENDATION APPARATUS IN USE ENVIRONMENT (미국)
출원번호 : 15/939142

10) 특허명칭 : 다상유동 분리장치
출원번호 : 10-2017-0057633

11) 특허명칭 : 천연가스를 이용한 EOR 설비의 스팀 주입 장치
출원번호 : 10-2017-0063660

12) 특허명칭 : 다단 압축기 및 이를 이용한 가스 충전 방법
출원번호 : 10-2018-0073765

13) 특허명칭 : 레저버의 인젝션 웰을 이용한 모듈화된 고압, 고온 스팀 생산 및 주입장치
출원번호 :10-2018-0167498

14) 특허명칭 : 레저버의 인젝션 웰 분사용 고압, 고온 스팀생산을 위한 멀티 노즐 고압 연소 버너
출원번호 : 10-2019-0139188

15) 특허명칭 : 레저버의 인젝션 웰을 위한 고압, 고온 스팀 인젝터
출원번호 : 10-2019-0139569

16) 특허명칭 : 레저버의 인젝션 웰을 위한 최적화된 스팀 인젝터
출원번호 : 10-2019-0140972

17) 특허명칭 : 내부 형상과 구조가 개선된 IGF 시스템
출원번호 : 10-2019-0117276

18) 특허명칭 : 오일샌드 플랜트 제어시설 소화설계&유지보수 프로그램

출원번호 : 10-2019-0117277
19) 특허명칭 : 오일샌드 플랜트
출원번호 : 10-2016-0022450
20) 특허명칭 : 오일샌드 플랜트의 처리수탱크
출원번호 : 10-2017-0097792
21) 특허명칭 : Treated water tank in oil sand plant (유럽)
출원번호 : EP17189802.6
22) 특허명칭 : Treated water tank in oil sand plant (미국)
출원번호 : 15/710,875
23) 특허명칭 : Treated water tank in oil sand plant (캐나다)
출원번호 : 2,980,082
24) 특허명칭 : 오일샌드의 비튜멘 분리장치
출원번호 : 10-2018-0113668
25) 특허명칭 : 오일샌드 플랜트의 유수 분리장치
출원번호 : 10-2019-0105159
26) 특허명칭 : 지하회수법(SAGD)에 적용되는 인젝션 연결구조 및 이의 시공방법
출원번호 : 10-2020-0078635
27) 특허명칭 : 모듈화된 복합 가압설비와 웰패드 조립
출원번호 : 10-2020-0079230
28) 특허명칭 : 부상식 말뚝기초 연결장치
출원번호 : 10-2016-0040842
29) 특허명칭 : 자가 동결융기 해소형 말뚝기초
출원번호 : 10-2016-0019002
30) 특허명칭 : 말뚝 내부 콘 타격형 말뚝기초 및 이의 시공방법
출원번호 : 10-2016-0019001
31) 특허명칭 : 오일샌드 플랜트 수명 예측 시스템 및 오일샌드 플랜트 수명 예측 방법 그리고 컴퓨터프로그램
출원번호 : 10-2017-0136662
32) 특허명칭 : 가속도센서 및 자이로 센서를 융합한 구조물의 응력 측정 시스템 및 방법
출원번호 : 10-2016-0128822
33) 특허명칭 : 다수의 GPS 및 IMU를 사용한 대형 구조물의 거동 특성 분석 시스템 및 방법 그리고 컴퓨터프로그램
출원번호 : 10-2017-0006446
34) 특허명칭 : 다기능 지진동 저감장치
출원번호 : 10-2017-0148733
35) 특허명칭 : 고발열량 연소실험 시스템
출원번호 : 10-2017-0168527
36) 특허명칭 : 수소제트화염 연소실험장치 및 이를 이용하는 수소제트화염 연소실험방법
출원번호 : 10-2017-0173565
37) 특허명칭 : 벽면부 화재를 모사하는 화염공급장치 및 이를 이용하는 화재시험방법

출원번호 : 10-2020-0065446

특허등록 23건 : 1) 특허명칭 : 오일샌드 채취 및 제어용 컨테이너 모듈
등록번호 : 10-1993859
2) 특허명칭 : 오일샌드 유화제 주입장치가 내장된 컨테이너 모듈
등록번호 : 10-1994675
3) 특허명칭 : 오일샌드 채취용 모듈 프레임에 구비된 가이드 플레이트
등록번호 : 10-2048299
4) 특허명칭 : 금속시료 내마모성 테스트 장치
등록번호 : 10-1901625
5) 특허명칭 : 배관 재료의 응력 측정을 위한 인장 시험 장치
등록번호 : 10-1828275
6) 특허명칭 : 사용 환경 하에서의 플랜트 재질 추천 장치
등록번호 : 10-1966779
7) 특허명칭 : PLANT MATERIAL RECOMMENDATION APPARATUS IN USE ENVIRONMENT
등록번호 : 10678859, 미국
8) 특허명칭 : 천연가스를 이용한 EOR 설비의 스팀 주입장치
출원번호 : 10-1858605
9) 특허명칭 : 다단 압축기 및 이를 이용한 가스충전 방법
출원번호 : 10-1965140
10) 특허명칭 : 레저버의 인젝션 웰을 위한 모듈화 된 고압, 고온 스팀 생산 및 주입장치
출원번호 : 10-1958605
11) 특허명칭 : 내부 형상과 구조가 개선된 IGF 시스템
출원번호 : 10-2110737
12) 특허명칭 : 오일샌드 플랜트의 처리수탱크
등록번호 : 10-1961298
13) 특허명칭 : 오일샌드의 비튜멘 분리장치
등록번호 : 10-2004259
14) 특허명칭 : Treated water tank in oil sand plant (유럽)
등록번호 : EP3438060B1
15) 특허명칭 : Treated water tank in oil sand plant (미국)
등록번호 : US10,358,369B2
16) 특허명칭 : Treated water tank in oil sand plant (캐나다)
등록번호 : 2,980,082
17) 특허명칭 : 오일샌드 플랜트의 유수 분리장치
등록번호 : 10-2101594
18) 특허명칭 : 부상식 말뚝기초연결장치
등록번호 : 10-1869833
19) 특허명칭 : 자가 동결융기 해소형 말뚝기초
등록번호 : 10-1746597
20) 특허명칭 : 말뚝 내부 콘 타격형 말뚝기초 및 이의 시공방법

등록번호 : 10-1746592
21) 특허명칭 : 다기능 지진동 저감장치
등록번호 : 10-1829592
22) 특허명칭 : 고발열량 연소실험 시스템
등록번호 : 10-1851683
23) 특허명칭 : 수소제트화염 연소실험장치 및 이를 이용하는 수소제트화염 연소실험방법
등록번호 : 10-1851684

S/W 등록 13건 : 1) 등록명칭 : 모듈화 플랜트 초기단계 의사결정 솔루션
등록번호 : C-2020-001516
2) 등록명칭 : Web 기반 사용환경 하에서의 플랜트 재질 추천 S/W
등록번호 : C-2019-008640
3) 등록명칭 : 오일샌드 PWT(생산수 처리) 제어
등록번호 : C-2019-043728
4) 등록명칭 : 오일샌드 플랜트 제어시설 소화설계&유지보수 프로그램
등록번호 : C-2020-015986
5) 등록명칭 : 오일샌드 플랜트 제어시설을 위한 발화진단 시뮬레이터
등록번호 : C-2020-015987
6) 등록명칭 : 신형식기초 유지관리 어플리케이션
등록번호 : C-2017-0034417
7) 소프트웨어명칭 : 실시간 진동 모니터링 시스템
등록번호 : C-2017-001613
8) 소프트웨어명칭 : 플랜트 모듈 운송 및 변형 실시간 모니터링 프로그램v1
등록번호 : C-2018-035349
9) 소프트웨어명칭 : 플랜트 상태이상 알람 프로그램
등록번호 : C-2017-025541
10) 소프트웨어명칭 : 플랜트 관리자 의사결정 지원 프로그램
등록번호 : C-2017-025540
11) 소프트웨어명칭 : 플랜트 모듈 운송 모니터링 프로그램
등록번호 : C-2019-043479
12) 소프트웨어명칭 : 실내화재시험 발열량 측정 프로그램
등록번호 : C-2017-033532
13) 소프트웨어명칭 : 고압용기화염시험 제어 및 모니터링 프로그램
등록번호 : C-2019-033533

기술이전 5건 : 1) 다상유동 분리기 모듈화를 위한 유입구 형상
2) 지반 동결깊이 측정장치 기술이전
3) 동결지반 굴착성능 평가기술
4) 구조물 모니터링 시스템

5) 모듈 운송 중 변형 모니터링

시작품 3건

1) 시작품명 : 복합열캐리어발생기 Air Compressor module/package
설치위치 : Pilot Test 현장
2) 시작품명 : 복합열캐리어발생기 CNG Compressor module/package
설치위치 : Pilot Test 현장
3) 시작품명 : 복합열캐리어발생기 Combustor module/package
설치위치 : Pilot Test 현장

국내외 연수

1) 오일샌드 SAGD 플랜트 기본설계 기술 확보
기관 : ENORAMA社 (Calgary, Canada)
대상 : 신홍식 단장 외 6인 (5-7개월)
내용 : CPF, WELL설계

(2) 학술 기여도

학술등재
비SCI 65건 :
SCI 19건 :

1) 비SCI 등재지 : 65건
- Ce0.8Sm0.2O2 Sol-gel Modification on La0.8Sr0.2Mn0.8Cu0.2O3 Cathode for Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell
- 비투멘 유체 분리를 위한 오일천리공정의 설계와 평가
- SAGD법을 이용한 오일샌드 플랜트 열교환기망 최적화를 위한 사례연구
- Steam-assisted gravity drainage법을 이용한 오일샌드 플랜트에서 열교환기망 최적화를 위한 사례연구
- Steam-assisted gravity drainage법을 이용한 오일샌드 플랜트에서 증기 생산기의 증기 특성 분석
- Dextran/DMSO/초임계 CO2 계의 상거동 측정
- 일정압력하에서 1-propanol/benzene 계의 기-액 상평형
- Optimization of Heat Exchanger Network in the Steam Assisted Gravity Drainage Process Integration
- 플랜트, 건축, 토목 공종별 해외건설 리스크평가 비교분석
- 해외투자개발사업의 건설투자자와 금융투자자간 리스크 태도분석
- AWP (Advanced Work Packaging) 체계 도입을 위한 국내건설기업의 필요 조직역량 도출연구
- 오일샌드 플랜트용 초경합금과 스테인레스강의 진공브레이징 특성평가
- 오일샌드 플랜트용 금속소재의 마모 특성에 대한 실험적 연구
- 저온 기계 재료용 TP304, TP316 소재의 저온거동 특성 평가
- 오일샌드 플랜트 구조 프레임 연결부 피로인장강도 특성 비교
- Reproducing Failure Mode and Life Prediction of Expansion
- 오일샌드 플랜트 구조프레임 하중분석 및 안전강도 구조해석 연구
- A Study of Mechanical Properties Evaluation for Stainless
- 저온영역에서의 A516-60, A283-C, A285-C, SB410 소재 특성
- 반응표면법을 이용한 축류 압축기의 동익형상 최적설계
- 익형 변화에 따른 유도공기부상기 성능특성 연구
- Effect of The Impeller Discharge Angle on the Performance of a Spurt Vacuum Pump
- 다상유동 분리기 모듈화를 위한 유입구 형상 설계에 관한 수치해석적 연구.
- 블레이드 형상 변화에 따른 초음속 분리기의 열유동 특성 연구

- 다목적 최적화기법을 이용한 유도공기 부상기 임펠러 형상 최적설계
- Performance Evaluation of Cleaning Energy of An Induced Gas Flotation Machine Using Multiple-Size-Group (MUSIG) Model
- 복통 사이클론 분리기를 이용한 다상유체의 분리효율 향상연구
- 에너지 플랜트용 유수분리장치의 설계인자가 성능에 미치는 영향
- 하이드로사이클론 내벽 헬리컬 패턴 최적 설계에 따른 미세 입자 집진 효율 향상 연구
- 소규모 플랜트 기자재의 고장밀도함수가 가용도에 미치는 영향 평가
- 특허분석을 통한 오일샌드 플랜트 모듈화 기술동향 연구
- 유도 공기 부상기에서 마이크로 기포의 거동 특성에 관한 수치해석적 연구
- 오일샌드 플랜트 모듈 형상에 따른 구조프레임 해석
- 오일샌드 생산수 처리를 위한 미세오일 제거특성에 관한 실험적 연구
- 오일샌드 파일럿 플랜트 기자재 형상에 따른 구조프레임 소재 분석
- “Steam-assisted gravity drainage법을 이용한 오일샌드 플랜트에서
- 열교환기망 최적화를 위한 사례연구“
- 플랜트 민감설비를 위한 가스계 저소음 소화노즐의 예비실험 연구
- 유수분리기 baffle 위치변화에 따른 유동특성에 관한 연구
- SAGD 방식 오일샌드 플랜트의 모듈계통의 Envelope 접근법
- 축소모형에 의한 복합거동 연결체의 실험적 성능평가
- 유한요소해석을 이용한 복합거동연결체의 하중지지특성
- 복합거동 연결체의 하중재하에 따른 변형 특성 및 취약부위 산정
- 사질토 지반에서 N값과 말뚝의 길이비가 지지력 분담 특성에 미치는 영향
- 캐나다 오일샌드 플랜트 온도 조건을 고려한 구조물 모니터링 통신 모듈 적용성에 관한 연구
- 반복적인 다짐실험을 통한 동결 및 비동결 모래의 파쇄특성 평가
- 영하온도에서 표준사의 다짐특성 평가
- 내부 콘 항타를 적용한 헬리컬 파일의 거동 분석
- 현장재하시험을 통한 헬리컬 파일의 거동 분석
- 수치해석을 이용한 헬릭스 형상에 따른 헬리칠 파일의 거동 분석
- Behaviour of Single and Group Helical Piles in Sands from Model Experiments
- 헬릭스 그림자 효과 범위에 따른 헬리컬 파일의 거동 분석
- 지반조사범위에 따른 PHC 말뚝지지력의 변동성 분석
- 헬릭스 형상에 따른 헬리컬 파일의 수직 및 수평 거동 분석
- 캐나다 오일샌드 분포지역에서의 유체기계 주행성능 평가를 위한 지반공학적 특성분석
- 극한지에서의 유체기계를 위한 플랜트설비 구조물의 비파괴 건전도 평가
- 부산물석회 성토지반의 지반공학적 특성
- 극한지 오일샌드 플랜트 구조물 현장안정성 평가
- 점도 변화에 따른 유류오염 모래의 역학적 특성
- Long-Term Temperature Monitoring of Permafrost Ground in Cold Region
- 남극 장보고기지 주변 흙시료에 대한 동상민감성 평가 (제출)
- Velocity Probe를 활용한 연약지반 압밀연구 (제출)
- 오일샌드 기능 모듈의 변형 및 상태감지를 위한 모니터링 시스템 개발
- FFC2Q 모형을 이용한 노면의 수막두께 분석
- 공기호흡기용 Type3 용기의 자긴압력과 수명에 관한 연구
- 대용량 헵탄 풀버너 연소의 발열량 측정 기술 (제출)

2) SCIE 등재지 19건

- Phase behavior of arbutin/ethanol/supercritical CO2 at elevated pressures
- Naive Bayesian Classifier for Selecting Good/Bad Projects during the Early Stage of International Construction Bidding Decisions
- Empirical Analysis of Host-Country Effects in the International Constructio n Market: An Industry-Level Approach
- Wear resistance characteristics of materials used in oil sands plants
- Hydrodynamic optimization for design of a submersible axial flow pump wit h a swept impeller
- Optimal design of impeller for centrifugal compressor under the influence of one-way fluid-structure interaction
- Effect of inner wall configurations on the separation efficiency of hydrocy clone
- Numerical analysis on performance of induced gas flotation machine using MUSIG model
- Effects of gap between impeller and volute tongue on a pressure fluctuatio n in double-suction pump
- Separation of valuables from spent selective catalytic reduction catalyst lea ching solution by fabricated anion extraction resins
- Fire Extinguishing System and Temperature Profile in a Confined Space
- “Optimization of heat exchanger network in the dehydration process
- using utility pinch analysis “
- Examination of changes of rock physical properties from freeze-thaw weat hering in Ny-Ålesund region: Part 1
- Examination of changes of rock physical properties from freeze-thaw weat hering in Ny-Ålesund region: Part 2
- Development of a Shallow-Depth Soil Temperature Estimation Model Based on Air Temperatures and Soil Water Contents in a Permafrost Area
- Development of Shallow-Depth Soil Temperature Estimation Model Based o n Thermal Response in Permafrost Area
- Evaluation of High-precision Earth works Calculating System using Drone S urvey to Utilize Underground Space with Complex Plant(제출)
- Geotechnical Study To Design aGis Platform for Developing Construction T echnology of Pipelines in Cold Regions(제출)
- CSTR Model developed for measurement of heat release rate of fire in larg e space (제출)

학술발표
국내 25편
국외 10편 :

1) 국내 학술발표 : 25편
- 오일샌드 플랜트 구조 프레임 연결부 피로인장강도 특성 비교
- EXPERIMENTAL STUDY ON THE WEAR CHARACTERISTICS OF THE PIPE AGAINST THE SAND SLUDGE IN THE OIL SAND PLANT
- 오일샌드 플랜트 구조프레임 하중분석 및 안전강도 구조해석 연구
- 극한지 오일가스 플랜트 기술개발 방향 연구
- A study on the optimal separation parameters of oil-water separation proce ss by Induced Gas Flotation(IGF)
- 온도에 따른 사질토의 다짐 특성
- 동토 플랜트 유체기계 구조물 설치를 위한 PET 골재적용 말뚝의 주면작용 수평력 평가

- 개단 강관말뚝 내부 콘항타에 의한 지지력 증대효과 분석
- 내부 콘 항타를 적용한 헬리컬 파일의 지지력 및 시공성 분석
- 사질토에 근입된 헬릭스 피치에 따른 헬리컬 파일의 수치해석적 거동 분석
- 헬릭스 개수 및 직경에 따른 헬리컬 파일 거동의 수치해석적 분석
- 동재하시험을 통한 선단이 암반에 근입된 초고강도 매입 PHC 말뚝의 지지력 특성 분석
- 북극 다산과학기지 동토지반 열적거동 분석을 위한 장기모니터링
- 실측자료를 활용한 동결깊이 분석
- 국내 지반의 동결-비동결에 따른 특성변화 연구
- 극한지 오일샌드 개발지역에 분포하는 특수토의 특성분석
- 극한지 동결지반 온도거동 분석을 위한 장기계측
- 극한지의 오일샌드 분포지역 지반의 동토공학적 특성연구
- 극한지역에서의 구조물 안정을 위한 결빙방지 발열체 연구
- 극한지 오일샌드 분포지역 특수토의 동상거동 특성
- 단열재료를 활용한 성토재 열적 저감재료 연구
- 극한지 구조물 안정을 위한 동상방지재 개발
- 북극권 건설 환경 특성 분석
- 플랜트 모듈의 변형 및 상태감지 시스템 개발
- VENT CAPACITY OF INDOOR FACILITY FOR FIRE TEST OF HYDROGEN & FUEL

2) 국외 학술발표 : 10편
- Reproducing Failure Mode and Life Prediction of Expansion Joint Using Field Data
- A Study of Mechanical Properties Evaluation for Stainless Steel under Low Temperature Region
- PREDICTION OF MINERAL SCALE FORMATION IN THE PRODUCED WATER TREATMENT SYSTEM
- A study on the size effect of bubble in the oil-water separation process using induced gas flotation
- Prediction of By-products from Wet Air Oxidation (WAO) Module for Sludge Treatment of Produced Water
- Frozen Ground Engineering Properties of Muskeg Soil distributed in Oil-sand Areas
- A Study on the Adfreezing Force on Foundation in Oil-sand Area
- Long-Term Temperature Monitoring of Permafrost Ground in Cold Resion
- A study on the estimation of frozen depth considering material characteristics
- Application of dynamic cone penetrometer for measuring active thaw layer depth

인력양성 39인	1) 박사 3인 2) 석사 36인

마. 질적성과

단위성과	성과지표	선진기술 수준 (보유국/ 보유기관)	연구전 국내수준	목표치	달성치	평가방법	달성도 (%)
기능모듈 설계집	모듈크기	7×8m (캐나다/Husky)	없음	3.6×5.5m	3.6×5.5m	설계서 모듈단면 크기 확인	100
파일럿 모듈 상세설계집	모듈화율	30% (캐나다/Husky)	없음	50%	57%	Plot plan 에서 전체 대비 모듈화설계 대상면적 비율계산	100↑
	국산화율	-	-	50%	소재 : 92.6% 계장류 : 78.6%	파일럿 자재리스트상의 국산자재비율	100↑
극한환경 고성능 소재특성 및 모듈 성능평가	설계지침서, 보고서	캐나다/ Sunco	-	1부	1부	파일럿 플랜트 모듈 설계지침서	100
해외시험인증절차DB 구축	해외시험인증절차 시스템DB 구축	미국/ASME	KS	해외인증 DB시스템 1건	해외인증 DB시스템 1건	시험·인증 시스템 DB 시연 및 구축보고서	100
오일샌드 플랜트용 컴팩트 구성유닛설계 가이드라인 제시	FWKO vessel 규격	11m x 2.4m x 2.4m	없음	11m x 2.4m x 2.4m 이내	6.6m x 2.2m x 2.2m	공정유닛 형상 설계서 확인 및 실증데이터 검증	100↑
복합열캐리어 발생기 설계 및 제작	복합열캐리어 발생기 시작품 운전데이터 (압력, 온도, 유량)	-	-	234℃, 2MPa, 2,000kg/h, (오차범위 ±10%)	234℃, 2MPa, 2,000kg/h, (오차범위 ±10%)	현장 Pilot Test 운용성 평가 보고서 및 Test 결과치	100
오일샌드 플랜트 표준 구조 프레임 및 집적모듈	PWT 집적 패키지 규격화	-	-	85%	85%	공인시험	100
표준인증 취득	표준인증 승인	-	-	1건	2건	인증서 및 보고서	100
파일럿 모듈 제작, 실증보고서	파일럿 모듈제작, 현장설치, 시운전	-	-	공정율 100%	공정율 100%	파일럿 실증 보고서	100
표준모듈 제작상세 가이드라인(안) 제시	제작상세 가이드라인(안) 제시	-	-	1건	1건	제작상세 가이드라인(안) 보고서	100
모듈 기초연결기술 개발	시작품 개수, 캡퍼의 성능평가	-	-	2개 이상, 50t의 90%이상	100%	1/6스케일 축소모형 재하실험 진행, 파일럿테스트 실대형 재하실험 진행 및 유압램 상승력 평가	100
Compatibility test 및 performance test 데이터 평가	Packet error rate	1% (세계표준) -40℃ (미국/허니웰)	없음	1%/-40℃	100%	프로토타입 및 논문	100
신형식 기초 모형 제작 및 모형실험 환경 구축	신형식 기초 형상 도출	-	-	1건	100%	신형식 기초 설계 도면	100
신형식 기초 평가	시공속도 증가, 지지력(극한하중) 향상	-	-	10%, 30%	100%	현장 및 모형실험, 수치해석 보고서	100

현장실무자를 위한 시공 가이드라인(안)	시공 가이드라인 (안)	-	-	1건	100%	시공 가이드라인(안)	100
오일샌드 플랜트 특수토 품질평가 기준(안)	오일샌드 현장특수토 품질평가 지표	-	-	동상품질 평가기준 (안)	100%	품질평가 지표	100
표층 결빙장치 현장 시험	결빙방지 현장평가	-	-	결빙방지 현장 평가수행	100%	현장 평가보고서	100
모듈별 변형, 진동 및 상태 감지 시스템 개발 기술	감지율 90% 이상	-	-	100%	100%	이론적 수신율과 실제 수신율의 비교분석 보고서	100
오일샌드 모듈화 플랜트 모니터링 시스템 개발기술	모니터링율 90% 이상	-	-	100%	100%	계측기별, 측정주기별 상시 모니터링 가능 여부 확인 보고서	100
광역 화재감지 시스템	이미지 폭	-	-	1% 이하	0.99%	외부 전문기관 입회실험	100
화재안전 그리드 구축 및 실증	오작동률	-	-	경보시간 2분이내 오작동률 1/60 이하	30초 이내 오작동 없음	외부 전문기관 입회실험	100

바. 목표 미달성 시 원인 및 차후 대책

□ 논문(SCI)

- 현재 심사 중인 논문 및 게재 대기 중 논문 6편으로 사후 성과 관리 예정.

1) Applied Science, SCIE, Interferometric Study of the Heat Transfer Phenomena Induced by Rapid Heating of Nickel Sheet (1-5 건설기술연구원, 심사중)

2) Sensors, SCIE, Evaluation of Intelligent Fire Detection by Similarity of Signature Data in the Fast Cable Fire (1-5 건설기술연구원, 심사중)

3) Evaluation of High-precision Earth works Calculating System using Drone Survey to Utilize Underground Space with Complex Plant (2-4 한국건설기술연구원, 심사중)

4) GEOTECHNICAL STUDY TO DESIGN A GIS PLATFORM FOR DEVELOPING CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF PIPELINES IN COLD REGIONS (2-4 한국건설기술연구원, 심사중)

5) CSTR Model developed for measurement of heat release rate of fire in large space (2-5 한국가스안전공사, 심사중)

6) 2-5 한국가스안전공사, 제출 준비중

□ 논문(비SCI)

- 현재 심사 중인 논문 및 게재 대기 중 논문 3편으로 사후 성과 관리 예정.

1) 남극 장보고기지 주변 흙시료에 대한 동상민감성 평가 (2-4 한국건설기술연구원, 심사중)

2) Velocity Probe를 활용한 연약지반 압밀연구 (2-4 한국건설기술연구원, 심사중)

3) 대용량 헵탄 풀버너 연소의 발열량 측정 기술 (2-5 한국가스안전공사, 심사중)

□ 특허 출원

- 연구개발활용계획서상 사후 사업기간 중 추가 출원 계획 중

1) 열수수계통을 개선한 멤브레인 방식 수처리 계통, 2020.11 출원 계획

2) IGF 내부형상 및 기포 부양기구, 2020.11 출원계획

□ 사업화 성과 미비.

- 연구성과 활용계획에 의거하여 지속적으로 사업화 추진

1) KICT 웰패드 특허기술 → 광신기계(2020.12～2021.03 계획)

2) KICT IGF 특허기술 → 비츠로넥스텍(2020.12～2021.03 계획)

5. 연구개발성과의 활용계획

가. 개발성과 활용방안

□ 파일럿 플랜트 적용을 통한 성능 점검 및 개선 후 타깃 시장 진출

□ 국산 소재산업과 연관성이 크며, 국제기준에 부합되는 기자재 모듈의 개발을 통하여 연관산업 활성화 가능

□ 오일샌드 플랜트 모듈화 기술은 전체 플랜트 중 적은 비율을 차지하기 때문에 오일샌드 플랜트 모듈화 기술에 대한 특허 장벽은 낮은 것으로 보임

□ 기업 중심의 응용·개발에 중점을 두고 있으며, 현장 적용 및 사업화를 전제로 하고 있어 실용화 가능성이 높은 것으로 판단 됨 따라서 기초·원천 측면보다는 상용화를 위한 실증개발이 주가 되며, 따라서 1단계 개발 후에 대외적인 성과 홍보 및 전시 등 목적으로 국제협력을 추진할 계획임

□ 기술 경쟁력 강화 방안을 통한 플랜트 설계 관련 시장 진출전략 수립

- 인수 및 합병(M&A)과 기술제휴를 통한 기술력 확보와 시장진출
- 기술적 차별화를 달성한 해외 선진업체들의 경우, 추가적인 경쟁력 제고를 기업 내부에서 이끌어내기보다는 필요역량을 보유하고 있는 업체와의 인수합병을 통해 단기간에 확보하려는 전략을 채택하고 있음
- 적극적인 인수합병과 기술제휴를 통해 신규시장 진출, 미래 성장 동력의 확보 등에 공격적으로 나서고 있음
- 이러한 전략을 통해 업체의 규모를 키우는 동시에 고부가가치 영역에서의 차별화된 기술력을 바탕으로 해당 시장에서의 독점적 지위를 강화하고, 후발업체에 대한 기술이전을 거부하는 경향을 보임
- Oil Sand 플랜트 분야의 경우, 현재 Canada 시장이 주요대상국 이므로 AMEC,CBI,KIWIET,PCI 등의 엔지니어링 업체들과 제휴하여 시장진입을 모색하여야하고,또한 그산업 특성이 오일 메이저들의 발주가 수주의 중요 관건으로 연구단을 통하여 얻은 지식,특허,엔지니어링 스탠다드,모듈화 기법들을 IMPERIAL, HUSKY, SUNCOR,SHELL 등의 메이저들에 홍보물 소개,또는 Presentation 시연을 통하여 수주하는 접근이 매우 효과 있을것으로 보임.

□ 소재 이용기술 DB 구축, 국산소재를 적용한 파일럿 플랜트 설계안, 소재 및 기자재 성능평가 절차서, 소재 및 기자재 시험인증기반 구축임

□ 본 연구로부터 얻어지는 성과물들은 1, 2세부 주관기업 및 위탁기관들이 수행하게 될 플랜트 기능모듈 설계 및 제작상세설계, 공정유닛/기자재 최적화, 공정설계 및 시뮬레이션, 그리고 파일럿 플랜트 모듈설계를 위한 각 공정별, 기자재별 사용재료에 대한 기준 데이터로 활용될 예정임.

□ 본 연구를 통하여 구축될 고성능 소재 DB는 향후 플랜트 모듈 제작업체가 필요할 경우 상시 활용할 수 있도록 정보를 제공할 예정이며, 소재 및 기자재 시험인증 분야에서는 필요 기업이 해외수출시 인증용으로 구축장비를 활용할 수 있도록 적극 홍보할 예정임

□ 복합열캐리어발생기 설계 제작, 운영 기술 : SAGD 오일샌드 모듈화 플랜트는

기존 대형 플랜트 공사 시 설비 및 자재의 대형화로 제작, 이송, 설치 시 많은 비용이 발생됨.
본 연구에서는 SAGD 오일샌드 플랜트에서 Steam을 생산하는 설비로 기존 대형화 플랜트 대비 컨테이너 사이즈의 Enclosure 내부에 각 파트별 핵심부품(연소기, 저압 압축기, 고압압축기, 연수기 등)을 집약하여 모듈·패키지로 제작함으로써 소형화가 가능하고 캐나다 현장으로의 이송 및 설치 시 많은 비용을 절감할 수 있음.

- 특허등록 확보, 현장시험 및 운전 데이터 확보

□ 최본 개발 성과로 핵심기술에 대한 설계기술 및 제작기술을 확보했고, 현장 시험을 통해 운용성을 확인 했으며, 개발품에 대한 특허등록을 진행하여 기술권에 대한 대비도 완료 함. 당사는 본 기술의 완성도를 위해 기존 해외 복합열캐리어바생기 선도 업체인 중국 Beijing Unbstruct Petroleum Technology seveice Co.,Limited(이하 "BUPT")와 Composite Heat Carrier Generator(이하 "CHCG) 기술에 대한 MOU를 체결 하였고, 추후 기술의 업그레이드 및 현장운영에 대한 지원 등을 받을 수 있도록 대비함.

□ 사업초기 단계에서 한국형 패키지의 성공가능성을 전략적으로 검토 및 분석해보고, 이후 단계에서 발생할 수 있는 문제를 선제적/통합적으로 관리하는데 활용 가능

□ 본 연구를 통하여 구축될 고성능 소재 DB는 향후 플랜트 모듈 제작업체가 필요할 경우 상시 활용할 수 있도록 정보를 제공할 예정이며, 소재 및 기자재 시험인증 분야에서는 필요 기업이 해외수출시 인증용으로 구축장비를 활용할 수 있도록 적극 홍보할 예정임

□ 본 연구의 성과물을 1세부 주관기관 및 공동연구 기관들이 수행하게 될 기능모듈 설계 및 제작 상세설계, 공정유닛/기자재 최적화에 대한 기준 데이터로 활용 가능

□ 모듈화 공정유닛에 대한 시험성적서 및 운전 DB는 향후 오일샌드 진출 업체들의 기본 지침서로 활용가능

□ 모듈화 공정유닛 설계자료 확보를 통한 제조업체 평가 및 기술이전 등의 신규사업 확보 가능

□ 국제 규격에 부합되는 집적 패키지화 적합성 평가기법과 단위모듈의 공간 집적 및 프레임 통합공법을 개발을 통하여 현장적용 및 실용화 ⇒ 참여기업 기술이전 추진

□ 다양한 플랜트 시설의 모듈화 적용시 프레임 구조 및 형상, 집적모듈 평가 등 과학기술 및 산업 파급에 활용이 가능

□ 오일샌드 고유모듈 설계기술 확보를 통하여 해외진출시 인지도 제고 및 기자재 제작 등 연관효과 제고방안으로 활용

- 오일샌드 플랜트 표준모듈 개발을 통해 선진 외국과 대등한 기술의 확산
- 해외 프로젝트 수주 및 참여를 통한 한국형 표준모듈을 적용

- 오일샌드플랜트의 모듈화율 향상에 따른 모듈 수주 규모의 확대
- 지지구조재 개발에 따른 타 플랜트 분야로의 기술 확장
- 오일샌드 플랜트에 표준모듈 및 표준모듈 조합으로 구성된 플랜트 수출(EPC)
- 오일샌드 플랜트 이외에 타 플랜트로의 기술확대 및 적용
- 오일샌드플랜트 모듈 적용 유지보수 및 교체 주기 연장에 활용
- 오일샌드플랜트 내 다양한 파이프에 적용하여 내구수명 연장에 활용

□ 소재 및 기자재 시험인증 분야에서는 필요 기업이 해외수출시 인증용으로 구축 장비를 활용할 수 있도록 홍보방안 구축

- 오일샌드 모듈러 플랜트 분야에 진출하고자 하는 EPC 기업 및 모듈 참여기업의 실무자에게나 오일샌드 모듈러 플랜트 분야의 표준화된 업무 프로세스에 관한 정보를 제공하며, 프로세스에 따른 사업관리 솔루션을 제공
- 특히, Project Screening, Project Selection, Bid로 이루어지는 사업초기단계에서 EPC 기업의 전략 및 사업 기획담당자에게 사업의 적절성을 판단하고 사업수행과정에서 파급효과 큰 주요요인을 판단할 수 있는 Deciosion Support 솔루션을 제공
- 사업수행과정에서는 오일샌드 플랜트 건설공사의 리스크 관리를 위한 일련의 프로세스를 통해 지속적인 리스크 관리가 가능할 것이며, 기업 차원에서 시스템의 활용을 통해서 개별 프로젝트의 리스크 수준을 종합적으로 관리가 가능

□ 오일샌드 파일럿 플랜트 설계, 제작 및 현장적용 기술 : 오일샌드 SAGD 플랜트 모듈의 제작상세설계하여 파일럿 현장적용에 성공함으로써 기술자립 달성, 국내 플랜트 소재 및 기자재에 대한 국제수준의 시험평가를 통하여 해외인증 대상 제품의 사전 검증과 인증대행 등 절차 간소화로 인한 비용 절감 및 수출 증대 효과. 오일플랜트 제반환경 분석으로 향후 에너지 개발사업 수행 시 국내 기업의 참여 기회 증대가 가능함.

- 특허등록 확보, 표준인증 획득 등 완료

□ 오일샌드 모듈 플랜트 신형식 기초 설계 및 제작 : 오일샌드 모듈 플랜트의 목표 지역인 극한지에서의 적용을 통해, 지반의 동상융해에 따른 지반침하 및 플랜트 운행중 발생 될 수 있는 creep 또는 진동에 의해 발행하는 부등침하에 대응할 수 있는 말뚝기초로 성능 발현이 가능한 것을 확인하였음. 따라서 플랜트 가동 중 유지관리에 유리한 기술로서 열악한 시공조건에서 현재의 기술적인 한계를 극복하여 플랜트 기초 시공 분야 시장 확대 및 기술 발전에 기여할 것으로 판단됨.

- 특허등록 확보 완료

□ 오일샌드 모듈 신형식 기초 시공 가이드라인(안) : 신형식 기초의 적용 타켓인 극한지를 제외한 각종 구조물 시공에 있어 적용이 가능한 신형식 기초의 시공 가이드라인 반영을 통한 기술적 우위 확보와 향후 개발 및 보완을 통한 세계적인 수준의 기초기술 선진국 대열의 합류에 기여 가능할 것으로 판단됨.

□ 변위 대응형 모듈 플랜트 기초 연결기술개발 : 오일샌드 플랜트 기초에 적용이 가능한 변위 대응형 연결체의 개발을 위하여 시스템 설계, 해석 및 실험적 성능 검증을 통하여 최적화된 시스템을 완성함. 우수성이 검증된 기초에 적용이 가

능한 변위 대응형 연결체를 활용한 극한지 지역의 건설공사 및 플랜트 시설물 공사시 기초 구조물의 안정적인 설계기술 개발을 통해 손상을 상당량 저감하는 것이 가능하며 층간의 잔류 변형을 감소시켜서 구조물의 유지 및 보수로 소모되는 비용을 상당량 절감이 가능함.

- 특허등록 확보 완료, 공인시험, 형식승인 획득.

□ 모듈 변형 및 상태감지 모니터링 시스템 : 변형 및 상태감지시스템을 통해 극한지역의 파일럿 모듈의 장기운송 시 지속적으로 변형 및 상태를 감지뿐만 아니라 모듈 플랜트의 위험 및 취약부위를 파악하여 그 수명을 연장시키고 안정성을 확보할 수 있는 기술임. 국내에서 이러한 기술을 개발함으로써 극한지역의 해외 사업진출 시 효율적이고 경제적인 유지관리 가능.

□ WSN 모니터링 기술 : 구조물 운송/설치/유지시 변형 및 상태를 감지하고 PER<1% 및 영하 40도에서 사용 가능한 무선 모니터링 시스템을 개발하여 오일샌드 플랜트 모듈 및 지지구조물의 안정성을 정량적으로 평가할 수 있는 기초자료로 제공할 수 있을 것으로 판단됨.

- 논문 발간, 프로토타입 제작 등 완료

나. 기대효과

(1) 기술적 측면

- SAGD 플랜트 전체공정을 설계/제작하기에는 연구개발 비용이 부족하므로 공정 시뮬레이션을 통해 PFD 및 DB를 구축하여 모듈화 설계 제작을 위한 체계적인 기초자료로 활용 가능함.
- 시뮬레이션 모델을 활용하여 공정의 열/운전 성능 비교해석을 통해 실제 플랜트 성능향상 및 최적의 운전 조건을 적용하기 위한 연구 기술로 활용 가능
- 오일샌드 플랜트의 지속 가능한 경쟁력 확보를 위한 미래 기반기술 확보
- Pilot plant나 실제 공장을 가동하기 전 생산 제품의 양과 질의 예측 가능
- 기존 기술은 오일샌드 물성에 관한 연구 및 해석 수준으로 SAGD 공정을 포함한 오일샌드 플랜트 공정 모사 및 응용에 관한 국내 연구가 전무한 수준에서 오일샌드 공정 설계 연구에 대한 발판 마련
- 오일샌드 플랜트 표준모듈 개발을 통해 선진 외국과 대등한 기술의 확산 및 해외 프로젝트 수주 및 참여를 통한 한국형 표준모듈을 적용하는데 기여
- 오일샌드 공정설계와 관련된 국내 연구가 전무한 상황에서 본 연구를 통한 공정모델은 후속 연구의 기반을 마련하고 공정 성능향상 및 지속적인 연구가 가능할 것으로 판단됨
  - 고인성, 내마모성, 내부식성 등 고성능 소재를 적용한 플랜트 모듈 개발로 유지보수비용 최소화 및 내구수명 연장
  - 고성능 소재 이용기술 개발 및 모듈 적용을 통한 국내 플랜트 제작업체의 경쟁력 향상
- 기존의 SAGD 방식에서 벗어난, 신공법 설계 기준 및 시공 기술의 국내 플랜트 기초 시방서 반영을 통한 기술적 우위 확보와 향후 개발 및 보안을 통한 세계적인 수준의 플랜트 기초 기술 선진국 대열에 합류 할 수 있는 발판 마련
- 오일샌드 모듈화 설치를 위한 프레임 및 연결공법 및 장치 개발을 통하여 모듈화 프로젝트 현장까지의 운송경로에 따른 모듈의 안전한 운송을 국제수준으로 담보
- 집적 패키지화 공법과 시스템 개발을 통하여 이의 검증 및 사용 적합성 평가 확립을 통하여 국제 규격에 부합되는 기술력 확보
- 모듈화 플랜트에 특화된 시뮬레이션 프로그램을 독자적으로 개발함으로써 현장조건이나 운송경로, 운전조건 등을 고려한 다양한 시뮬레이션 역량을 확보
- 다양한 플랜트 시설의 모듈화 적용 시 프레임 구조 및 형상, 집적모듈 평가 등에 응용 및 파급이 가능
- 국내 원격 모니터링 기술의 해외 의존문제 해소, 정보/기술독립 기반마련
- 극한지 지역의 건설공사 및 플랜트 시설물 공사 시 기초구조물의 안정적인 설계기술을 개발하여 향후 사업 적용 시 기초 자료로 활용
- 지구 기후 변화, 극지 재해 예측, 미래형 자원 개발 분야의 최첨단 기술확보
- 극지지반의 기초설계기술은 극지에 설치되는 모든 구조물 설계 및 시공분야에서 적용이 가능
- 극한지 운전조건을 적용한 다상유동 해석기법 확보 및 해석기법을 활용한 주요 공정유닛 설계기법 및 평가기법 확립

(2) 사회·경제적 측면

- 모듈화 설계제작을 위한 시뮬레이션 모델 확보는 공정 시뮬레이션 관련 기술의 대외의존도를 줄이고 재래에너지 고갈과 같은 사회·경제적 변화에 따른 기반기술을 확보함은 물론 응용제품의 개발기간 단축 및 저가격화에 의한 국내 산업계의 경쟁력을 강화하는 효과를 가져 올 것임.
- 공정 설계를 통한 물질수지와 열수지를 기초로 공정의 경제성 검토 가능
- 최적화 기법을 통한 오일샌드 플랜트의 열/운전 성능 최적화 실현을 통해 운전비용 절감 및 생산성 향상 기대 가능
- 주요 설비 및 핵심기기 국산화로 인한 국내 장치 산업 경쟁력 향상
- 모듈 공사의 핵심인 모듈 운송비 절감과 모듈 현장 조립기간 단축이 가능한 모듈과 모듈 건설기술에 기여
- 오일샌드 플랜트 환경 분석으로 향후 에너지 개발사업 수행 시 국내 기업의 참여 기회 증대 및 선점 효과에 기여
- 에너지 관련 사업(송유관 건설, 석유 및 천연가스 생산시설 건설, 해양 석유, 가스 생산시설 및 수송시설)에 직접 참여하여, 국내 관련 산업, 건설장비, 해양 구조물 건설 등에도 2차적인 효과를 누릴 수 있을 것으로 기대
- 모듈화 건설구조물 기초 설계에 대한 우수한 연구 결과가 도출되어 세계적으로 인정을 받을 수 있다면 우리나라의 플랜트 기초기술에 대한 홍보를 극대화할 수 있어 세계적으로 우리나라의 위상을 높일 수 있음
  - 국가적으로 추진하고 있는 국제상호인정시험평가능력 인정구축(MRA) 체결 토대를 구축하고, 국내 제조업체의 해외인증획득을 위한 인증 절차 안내와 시험 성적서 제공 등을 통하여 인증 소요기간 및 비용을 절감할 수 있음

·중소기업의 특성상 고가의 시험장비 구축이 어렵고 자체 기술력을 평가하기 힘든 문제점을 해결하고, 국내기술 향상 및 수출 증진에 필요한 장비와 전문 인력 제공

·최신의 고정밀 시험·평가 장비 도입으로 국제 표준에 의한 시험·평가를 실시함으로써 국내 플랜트 소재 및 기자재 업체의 기술력 향상

(3) 전략적 측면

- 일반 플랜트 EPC 수행체제를 모듈화 기법으로 수행하는 솔루션 제안

1) 연구결과 수행된 경험을 통해 일반 석유화학,제철,케미칼,제약,비료등 다양한 플랜트 사업

수행시 대부분을 모듈화로 수행할수 있다는 결론을 갖게된 반면 대부분의 플랜트 사업시행관련 담당자들이 모듈화에 대한 어려움으로 일반 스틱 빌드 타잎으로 수행함으로서,많은 부가비용을 감당하고 있는 현실임. 이에 당사는 연구결과 개발된 Project Total system 의 적용으로 projectotal solution 결과. 공사기간등의 사업기간 단축,비용절감,공사에 관련된인원의 안전사고 방지, 불필요하고 과중한 기.자재 낭비,노동조합으로 인한 스케쥴관리 불가,다양한기후.환경 측면에서의 제약조건을 해소할수 있는 모듈화공법으로의 수행방식 적용제안.

2) 모듈화공법의 Standard 확립

모듈화에있어 설계 및 자재,시공에 가장 큰영향을 미치는 것이 설계의 규격화와 단순화임.

구조철강재,배관 및 케이블,덕트등의 standard support,운송방식의 규격화 3D 설계로 단순화와 규격화를 ,적용하면 설계 시간의 절감,사용기.자재의 과잉사용 방지,제작 및 설치공사의 시간과 자재,공사기간의 획기적 절감방안을 이룰수 있음.

- Well Pad control station Module system 상세설계 및 시제품화

연구단 예산,시간상 제외되었던 (기능모듈 및 파이럿 플랜트에서는 오일샌드 플랜트에서 CPF system 만 적용) Well Pad system에서 가장 집약되고 한국적인 상황에서 제품화하기 좋고 수익 구조가 좋은 Item 이 Well Pad control sysytem임. 오일샌드 시설에서 CPF 시설은 한번 시공되면 플랜트 수명이 다할때까지 지속되지만,시추시설인 Well Pad 및 control station 은 3~5년 Oil source 가 소진되면 다른곳으로 시추위치를 이동해야 함으로 짧은 기간에 소모되고 다른지역으로 재건립되어야 하는 특징으로 많은 수요와함께 기존 설비를 컨테이너 타입으로 개발되면 신속 철수하여 이동 설치하므로 자원의 낭비를 방지하고 신속하게 시공설치 가능함.

본연구기간중에 대략적인 concept 으로 특허 등록했지만 약 2년간의 지속 개발로 모든 부속품을 국산화기기 및 자재로 대치하여 제품화를 이룰수 있음.

- 국.내외 사업수주을 위한 영업인력 및 기술개발 인력 충원

현재 국.내외 플랜트시장은 성장정체 및 부진으로 2014년 밸생한 오일.개스 가격하락으로 산업침체가 심각한 상태임. 이런 상황하에 새로운 공법의 모듈화 기술적 기반을 갖춘다면, 시장을 떠난 기술자들의 고용창출과 기술수준 확대로 가까운 시기에 활성화될 국.내외 플랜트 시장에 용이하게 경쟁력있게 참여하여 성장할수 이으리라고 봄.

- s/w 기술이전 및 플랜트 기기/설치 제작자와의 협력

5년간에 걸친 연구개발의 성과를 공유하고 협업할수 있는 업체를 개발하여 그간의 기술을 이전하고, 또한 엔지니어링 회사인 당사의 Scope 외의 모듈제작업체 (Structure, 공정기기,기타) ,운송업체 (국.내외 육로,해상) 등과업무 제휴하여 엔지니어링 으로부터 사이트 도착시 까지 모든 창의적인 방향을 협업하고,또한 2세부에서 개발된 운송 모니터링 시스템,급속시공 공법등을 적용하여 그간의 연구개발을 통한 성과물로 플랜트 사업을 수행하여 국내외 관련기업의 해외수출을 견인하고 부재산업의 더불어 발전을 성취할수 있음.

- 시장개척을 위한 홍보 다변화 전략
- 극지에 적용 가능하고 재활용 가능한 신형식 기초를 개발함으로서 공기의 단축 및 재료 절감으로 인하여 비용적인 측면으로 직접적인 경제적 이득이 발생할 것임.
- 해외의 오일플랜트 시장 규모 확대 및 수요 증가에 대응하여, 기술 경쟁력을 바탕으로 해외 건설 사업을 수주함으로써 국가 경제 향상에 기여할 것으로 기대됨.
- 극한지 오일샌드 플랜트 구조물의 효율적 유지관리를 통한 유지기간 단축 및 비용절감 예상
- 사회간접 시설물의 신설보다 유지 보수에 초점이 맞춰지고 구조물의 파손에 의한 인적 물적 피해가 확대되는 시점에서 기초의 침하를 복구하여 상부구조물의 손상 가능성을 저감하여 2차 피해를 방지 및 사회혼란저감
- 플랜트 변형 모니터링과 관련하여 고가의 외국 제품을 이용함으로써 발생하는 경제적 손실을 줄일 수 있을 것으로 기대됨

- 국내 기술을 개발하고 이를 대형 구조물에 적용하여 안정성을 확보함으로써 사고 및 산업재해 등을 줄일 수 있을 것으로 기대됨
- 극지 건설 활동에 관한 연구 성과로 극한환경 건설 진출 시 효율적인 공사현장 관리 및 예산 절감 효과
- 에너지 관련 사업(송유관 건설, 석유 및 천연가스 생산시설 건설, 해양 석유, 가스 생산시설 및 수송시설)에 직접 참여하여, 국내 관련 산업, 건설장비, 해양 구조물 건설 등에도 2차적인 효과를 누릴 수 있을 것으로 기대

<table>
<tr><th>국제 Oil sand 박람회참여 (케나다)</th><th>기업홍보 자료</th></tr>
<tr><td>• 캐나다 오일샌드 박람회에 (캘거리, 포트 맥머리, 에드몬튼 등) 참가하여, 당사 연구결과 및 그간의 플랜트 참여수행실적을 가지고 적극적인 마켓팅을 행사하여 실제적 사업참여.</td><td rowspan="3">• 모듈화 플랜트 설계 및 파일럿 건설 홍보
• 연구개발에서 축적된 결과물 및 특허 등을 회사 브로셔에 소개하여 국내외 관련 전시회, 대상 기관 및 회사를 방문 또는 송부하여 마케팅에 적극활용</td></tr>
<tr><th>국내 플랜트 시장 홍보</th></tr>
<tr><td>• 국내.외 플랜트 관련 분야에 모듈화를 통한 플랜트 엔지니어링을 적극 홍보하여 기존의 현장건설 수행 방식(Stick-build)을 모듈화를 적용하여 안전, 환경, 정확도, 비용절감 할 수 있는 공사기법을 적용토록 적극 홍보하여 수주활동</td></tr>
</table>

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 플랜트연구 사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 플랜트연구사업 (19IFIP-B089075-06)의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.