

건설교통연구기획사업 최종보고서

R&D / 13RDPP-0065384-01

플랜트·인프라 시설물 설계정보체계 및
건설시뮬레이터 개발 기획연구 최종보고서

2015. 1. .

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "플랜트·인프라 시설물 설계정보체계 및 건설시물레이터 개발 기획연구"과제의 최종보고서로 제출합니다.

2015. 1.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

주관연구책임자 : 김태형

연구 원 : 김은주

" : 문현석

" : 이홍철

공동연구기관명 : 세종대학교

주관연구책임자 : 신영기

보고서 요약서

과제고유번호	13RDPP-0065384-01	해 당 단 계 연 구 기 간	7개월	단 계 구 분	1차/1차
연 구 사 업 명	사 업 명	건설교통연구기획사업			
연 구 과 제 명	세부과제명	플랜트·인프라시설물 설계정보체계 및 건설시뮬레이터 개발 기획연구			
연 구 책 임 자	김 태 형	해당단계 참 여 연구원수	총 : 11명 내부 : 11명 외부 : 명	해당단계 연 구 비	정부 : 100,000천원 기업 : 0천원 계 : 100,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 11명 내부 : 11명 외부 : 명	총연구비	정부 : 100,000천원 기업 : 0천원 계 : 100,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국건설기술연구원 환경연구실		참여기업명		
협 동 연 구	연구기관명 : 세종대학교		연구책임자 : 신영기		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약				보고서면수	186
- “동토지역 극한작업용 자동화 시공·운용기술”과 관련한 핵심기술을 도출하기 위하여 총 8단계로 기획연구를 수행함. 1)기술개발 동향 수요조사 실시, 2)미래사회 전망과 Needs 3)기술수준 조사 4)SWOT분석 및 Vision 5)과제도출 6)세부실행계획 7)타당성 조사 8)실용화 및 사업화 방안 - 그 결과, 3개의 세부과제 및 12개의 세세부과제가 도출되었으며, 기술로드맵과 RFP를 완성하였고, 도출된 세부과제는 다음과 같음. 1) 동토지역 파이프라인 연속시공을 위한 굴착 및 하부구조 건설기술 개발 2) 동토지역 파이프라인 가설 자동화 기술 개발 3) 동토지역 파이프라인 가상건설 통합 운용기술 개발					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	영구동토, 극한환경, 에너지, 자원, 이송망, 자동화			
	영 어	Permafrost, Extreme environment, Energy, Resource, Pipe line, Automation			

요 약 문

I. 제 목

동토 지역 극한작업용 자동화 시공·운용 기술 기획

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 동토지역의 작업 환경은 작업자의 체온저하 방지를 위한 방한복 착용으로 작업능률이 저하될 뿐 만 아니라 작업시간도 현저하게 단축됨.
- 국제선급협회(IACS ; International Association of Classification Societies)는 -20°C 이하 운항선박에 대해 두께별 강제 등급을 적용하여 취성파괴를 방지하도록 Unified Requirement S6 code를 제정함.
- 국내 기업의 동토지역에 대한 해외 시장 경쟁력 확보를 위해 동토지역 극한환경에서 수행되는 작업의 자동화시공과 시공장비의 운용기술 개발의 종합 계획을 수립하고자 함.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 연구비 투입의 효용성을 극대화하기 위하여 동토지역 자원 이송망의 대상을 도출하고 도출된 대상물의 자동화 시공 및 운용의 수행과제를 선정함.
- 이를 위해 다음과 같은 연구를 수행함.
 - 기술개발 동향 및 수요조사
 - 미래사회 전망과 Needs 분석
 - 기술수준 조사

- SWOT 분석 및 Vision 설정
- 과제 도출
- 세부실행계획 수립
- 타당성 조사
- 실용화 및 사업화 방안

IV. 연구개발결과

- 시장분석, 기준분석, 논문 및 특허 동향분석 결과를 바탕으로 연구 목표물을 동토지역 매립식 가스이송망으로 선정함.
- 기술수준분석, 시공비 투입을 분석, 기술수요조사 분석 등을 통하여 연구 범위를 매립식 가스이송망 건설을 위한 토목공사 자동화 시공, 배관공사 자동화 시공 및 운용시스템 기술로 한정함.
- 2025년까지 동토지역 가스이송망 시장을 5% 점유하고 외화가득액 1조원 달성을 목표로 설정하였으며, ‘동토지역 가스 이송망 자동화 시공·운용기술의 Global Leader’를 비전으로 제시함.
- 과제도출을 위해 기술개발 우선순위와 기술수요조사를 통한 핵심요소기술 (CTE)을 도출함.
 - 동토지역 매립식 가스이송망 시공절차를 분석하여 기술계통도를 작성하였으며, AHP 분석을 통하여 기술개발 우선순위를 도출함.
 - 기술수요조사를 통하여 핵심요소기술 선정과 TRL 목표를 설정함.
 - 도출된 기술개발 우선순위와 선정된 핵심요소기술을 바탕으로 3개의 세부과제와 12개의 세세부과제를 도출하였으며, 이에 대한 기술로드맵과 RFP를 완성하였음.
- 도출된 기술개발 우선순위와 선정된 핵심요소기술을 바탕으로 3개의 세부과

제와 12개의 세세부과제를 도출하였으며, 이에 대한 기술로드맵과 RFP를 완성하였음.

- 동토지역 파이프라인 연속시공을 위한 굴착 및 하부구조 건설기술 개발
- 동토지역 파이프라인 가설 자동화 기술 개발
- 동토지역 파이프라인 가상건설 통합 운용기술 개발

S U M M A R Y

I . Title

Planning of automation and management technologies for construction work of extreme environment in permafrost region

II . Purpose and Necessity

- Reduced efficiency of labor and shortened labor hours due to wearing arctic clothes to prevent body temperature from declining in permafrost region
- Enacted code of Unified Requirement S6 that prevents brittle fracture by applying steel grade by thickness to ships navigating below -20°C
- Establishment of a comprehensive development plan for automated construction work and management skills of construction machinery required in permafrost region to secure domestic construction firms' competitiveness in the market of the region

III. Contents and Scope

- In order to maximize the effectiveness of research funding commitment, tasks are analyzed to construct pipeline network to transport natural resources in permafrost region and key research topics are deduced which will serve successful completion of the construction work.
- The following research activities were conducted for the commitment,

- Surveying trends of recent technology development and demanded technologies
- Analysis of outlook and needs of the future society
- Surveying current level of related technologies
- SWOT analysis and setting up a vision
- Derivation of research subjects
- Establishment of detailed action plan
- Feasibility Study
- Practical application and commercialization plan

IV. Results

- Buried gas pipeline network was selected as the research target based on the results of market analysis, standards analysis and trend analysis of papers and patents
- Research scope was confined to the technologies for automated construction work, automated construction plumbing and their automation management systems based on the results of analyzing technology standards, construction cost and technology needs
- A research goal was set as securing 5% of the market share in permafrost region gas transmission pipeline network and achieving acquisition of foreign currencies equivalent to one trillion won by 2025 and a vision was presented as 'Global Leader in technologies of automated construction of gas transmission pipeline network in permafrost regions'
- Elicitation of critical technology elements(CTE) for embodiment of project

proposals through demand for technology research and technology development priorities

- Technology development priorities were deduced through AHP analysis, for which construction procedures of buried gas transmission pipeline in permafrost regions were analyzed and technological schematics were created.
 - Core technologies were selected and TRL targets were set up through survey of technology needs
- 3 project items and their 12 project sub-items were selected through the deduced technology development priorities and the elicited CTEs and their technical road maps and RFPs were prepared.
- Development of technologies of excavation and infrastructure construction for continuous construction work in permafrost regions
 - Development of technology for automated pipeline plumbing in permafrost regions
 - Development of integrated automation management technology via virtual reality of pipeline construction in permafrost regions

목 차

1. 사업개요	1
1.1 사업의 정의	1
1.2 추진 배경	1
1.3 추진 목적	10
2. 동향분석	11
2.1 시장동향	11
2.2 기술동향	23
2.2.1 분석 대상 설정	23
2.2.2 분석 범위 설정	25
2.2.3 기술개발 동향	31
2.3 특허 및 논문 동향	38
2.3.1 특허 동향 분석	38
2.3.2 논문 동향 분석	50
2.4 정책동향	69
2.4.1. 국내 정책 동향	69
2.4.2. 국외 정책 동향	74
3. 미래 사회 전망과 Needs	79
4. 기술수준 조사	82
4.1 기술수준 조사	82
4.1.1 국외 기술 수준	82
4.1.2 국내 기술 수준	85
4.2 기술수요 조사	86

5. SWOT 분석 및 Vision	91
5.1 SWOT 분석	91
5.2 Vision 및 목표	92
5.2.1 목표설정	92
5.2.2 Vision	97
6. 과제도출	98
6.1 과제도출	98
6.1.1 중점추진분야 도출	98
6.1.2 과제 구성	104
6.1.3 핵심 요소기술(CTE) 선정 및 TRL 목표	105
6.1.4 과제 구성	115
6.2 중복성 검토	118
6.3 성과목표 및 지표	121
7. 세부실행계획	125
7.1 기술로드맵	125
7.2 소요예산	127
8. 타당성 조사	130
8.1 기술적 타당성	130
8.2 정책적 타당성	133
8.3 경제적 타당성	135
8.3.1 분석 방법론	135
8.3.2 경제 사회적 파급효과 분석 방법론	139
8.3.3 R&D 연구비용	143
8.3.4 편익 추정	143
8.3.5 경제성 분석	148
8.3.6 민감도 분석	150
8.3.7 민자 투입 가능 검토	151

9. 실용화 및 사업화 방안	152
10. RFP	157
참 고 문 헌	181

Contents

1. Business Outline	1
1.1 Definition of business	1
1.2 Promotion background	1
1.3 Promotion purpose	10
 2. Trend Analysis	 11
2.1 Market Trends	11
2.2 Technology Trends	23
2.2.1 Analysis of the target set	23
2.2.2 Setting the scope of analysis	25
2.2.3 Technology Development Trends	31
2.3 Trends in patents and papers	38
2.3.1 Patent Trend Analysis	38
2.3.2 Papers Trend Analysis	50
2.4 Trends in government policies	69
2.4.1. Trends in national policies	69
2.4.2. Trends of foreign policies	74
 3. Outlook and needs of the future society	 79

4. Technology level research	82
4.1 Technology level research	82
4.1.1 Level of foreign technology	82
4.1.2 Level of domestic technology	85
4.2 Technology needs survey	86
 5. SWOT analysis and vision	 91
5.1 SWOT analysis	91
5.2 Vision and target	92
5.2.1 Target setting	92
5.2.2 Vision	97
 6. Challenges derived	 98
6.1 Challenges derived	98
6.1.1 Promotion focus areas derived	98
6.1.2 Task configuration	104
6.1.3 Selection of CTE and TRL targets	105
6.1.4 Task configuration	115
6.2 Overlapping Check	118
6.3 Performance targets and indicators	121

7. Detailed action plan	125
7.1 Technology road map	125
7.2 Budget	127
8. Feasibility Study	130
8.1 Technical feasibility	130
8.2 Political feasibility	133
8.3 Economic feasibility	135
8.3.1 Analysis Methodology	135
8.3.2 Economic and social impact analysis methodology	139
8.3.3 Cost of R & D studies	143
8.3.4 Estimated benefits	143
8.3.5 Economic analysis	148
8.3.6 Sensitivity analysis	150
8.3.7 Possibility review of private capital invest	151
9. Practical application and commercialization plan	152
10. Request for proposal	157
References	181

표 목 차

<표 1.1> 저체온 증상	3
<표 2.1> 노드스트림 프로젝트	14
<표 2.2> 블루스트림 프로젝트	15
<표 2.3> 사우스스트림 프로젝트	16
<표 2.4> 나부코 프로젝트 개요	17
<표 2.5> 화이트스트림 프로젝트 개요	18
<표 2.6> 세계 천연가스 생산량 및 국제교역량 추이	21
<표 2.7> 아시아 국제 가스배관 건설계획	22
<표 2.8> 설치방식의 장·단점 분석	24
<표 2.9> 시공 절차 별 무인화 및 자동화 가능 요소 기술	29
<표 2.10> 기술별 논문 검색식	51
<표 2.11> 주요 연구기관 및 연구자 현황	57
<표 2.12> 주요 피인용 논문 정보	58
<표 2.13> 주요 연구기관 및 연구자 현황	62
<표 2.14> 주요 연구기관 및 연구자 현황	63
<표 2.15> 주요 연구기관 및 연구자 현황	66
<표 2.16> 주요 피인용 논문 정보	67
<표 4.1> 기술수요조사 서식	87
<표 4.2> 기술수요조사 집단	88
<표 4.3> 기술수요조사 현황	89
<표 5.1> 미국 천연가스 및 원유배관 설치 비용	92
<표 5.2> 대수로공사 공종별 인건비 투입비율 대비 이송망 효율	93
<표 5.3> 과제 수행에 따른 연차별 인건비 절감 시나리오	94
<표 5.4> 과제 수행에 따른 연차별 인건비 절감에 따른 연차별 편익	94
<표 5.5> 년도별 지역별 세계 배관망 건설 및 계획	95
<표 6.1> 기술 계통도	99
<표 6.2> 비교 척도	100

<표 6.3> 평가기준 간 쌍대비교 및 우선순위 평가	101
<표 6.4> 우선순위 도출 결과	101
<표 6.5> 도출 요소기술	103
<표 6.6> 과제 구성 표	104
<표 6.7> 세부과제 구성	117
<표 6.8> 성과목표 별 성공요인과 성과지표	121
<표 6.9> 성과지표에 대한 가중치	122
<표 6.10> 연차별 성과목표	123
<표 6.11> 기술 성과목표	124
<표 8.1> 국정기조와의 부합성	133
<표 8.2> 경제성 분석기준의 장.단점 비교	138
<표 8.3> 2지역 2산업 모델의 IRIO 구조의 예시	141
<표 8.4> 동토지역 극한작업용 자동화 시공 운용기술과제 연구비	143
<표 8.5> 건설 예정 동토 파이프라인 연장	144
<표 8.6> 과제별 인건비 절감 비율	144
<표 8.7> 과제별 인건비 절감 효과	145
<표 8.8> 정부 지원금 1억원당 성과('04~'08)	147
<표 8.9> 연구사업 종료 이후 경제적 편익 산정	147
<표 8.10> 건설부문 경제성 분석의 평가 항목과 내용	148
<표 8.11> 비용-편익분석을 위한 전제 조건	149
<표 8.12> 경제성 분석 결과	150
<표 8.13> 사업의 민감도 분석	151
<표 9.1> 성과물 별 실용화 방안	153

List of Tables

<Table 1.1> Symptoms of hypothermia	3
<Table 2.1> Nord Stream project	14
<Table 2.2> Blue Stream project	15
<Table 2.3> South Stream project	16
<Table 2.4> Outline of Nabucco project	17
<Table 2.5> Outline of Whitestream project	18
<Table 2.6> World natural gas production and international trade trends	21
<Table 2.7> Asia international gas pipeline construction plan	22
<Table 2.8> Analysis of the merits and demerits of the installation method	24
<Table 2.9> Available unattended and automated technologies by construction process	29
<Table 2.10> Paper search expression by technology	51
<Table 2.11> Status of major research institutions and researchers	57
<Table 2.12> Major citations cited	58
<Table 2.13> Status of major research institutions and researchers	62
<Table 2.14> Status of major research institutions and researchers	63
<Table 2.15> Status of major research institutions and researchers	66
<Table 2.16> Major citations cited	67
<Table 4.1> Technology needs survey format	87

<Table 4.2>	Technology demand research group	88
<Table 4.3>	Status of technology demand survey	89
<Table 5.1>	U.S. natural gas and crude oil piping installation costs	92
<Table 5.2>	Ratio of labor input of the transmission pipeline construction as compared to that of big channel construction by construction task	93
<Table 5.3>	Annual labor cost saving scenario due to the execution of task	94
<Table 5.4>	Annual benefit due to the labor cost saving according to the execution of task	94
<Table 5.5>	Annual regional pipeline network construction and planning	95
<Table 6.1>	Technical diagram	99
<Table 6.2>	Comparison scale	100
<Table 6.3>	Pairwise comparison between ratings and priority rating	101
<Table 6.4>	Results of derived priorities	101
<Table 6.5>	Derived component technology	103
<Table 6.6>	Task configuration table	104
<Table 6.7>	Configuration of detailed tasks	117
<Table 6.8>	Success factors and performance indicators per specific performance goal	121
<Table 6.9>	Weights for performance indicators	122
<Table 6.10>	Annual performance goals	123
<Table 6.11>	Technical performance goals	124

<Table 8.1>	Conformance with national keynote	133
<Table 8.2>	Comparative advantages and disadvantages based on the economic analysis	138
<Table 8.3>	Illustration of IRIO structure of Region 2 industrial model	141
<Table 8.4>	Budget of the project for automated construction and automation management of construction work in permafrost regions	143
<Table 8.5>	Extended pipelines to be constructed in permafrost region	144
<Table 8.6>	Percentage of labor costs per project	144
<Table 8.7>	Labor costs per project	145
<Table 8.8>	Accomplishments per 100 million won of government funding (‘04 - ‘08)	147
<Table 8.9>	Estimation of economic benefit studies after completion of the project	147
<Table 8.10>	Evaluation items and contents of economic analysis in construction sector	148
<Table 8.11>	Prerequisite for cost-benefit analysis	149
<Table 8.12>	Results of the economic analysis	150
<Table 8.13>	Sensitivity analysis of the business	151
<Table 9.1>	Practical measures by achievements	153

그림 목차

<그림 1.1> 위도에 따른 영구동토지역 분포현황	2
<그림 1.2> 북미지역의 파이프라인 건설현황	5
<그림 1.3> 북미지역의 원유 이송라인	5
<그림 2.1> 세계 파이프라인 건설 및 계획 현황	11
<그림 2.2> 노드스트림 가스 파이프라인 노선도	14
<그림 2.3> 블루스트림과 사우스스트림 가스 파이프라인 노선도	16
<그림 2.4> 나부코 가스 파이프라인 노선도	17
<그림 2.5> 화이트스트림 가스 파이프라인 노선도	18
<그림 2.6> 알래스카 횡단 송유관	19
<그림 2.7> 거리 및 용량별 에너지 수송방법	20
<그림 2.8> 세계 천연가스 생산량 및 국제교역량 추이	21
<그림 2.9> 이송관로 설치 방식	23
<그림 2.10> 매립식 자원 이송망 시공 절차 개요도	25
<그림 2.11> 암석 제거작업	26
<그림 2.12> 배관 배치 작업	26
<그림 2.13> 전처리 및 용접작업	27
<그림 2.14> 예열 및 피복작업	27
<그림 2.15> 터파기 작업	27
<그림 2.16> 안착작업	28
<그림 2.17> 충전 및 뒤 메우기 작업	28
<그림 2.18> 전 세계 특허동향	42
<그림 2.19> 각국별 특허동향	42
<그림 2.20> 국가별 기술 분야별 특허동향	44
<그림 2.21> 연도별 기술 분야별 특허동향	46
<그림 2.22> 다수국 출원인 (상위 20개 출원인)	47
<그림 2.23> 다 피인용 출원인 (상위 20개 출원인)	48
<그림 2.24> 논문 분석 프로세스	50
<그림 2.25> 분야별 논문 건수	53

<그림 2.26> 연도별 관련 분야별 논문 건수	53
<그림 2.27> 국가별 논문발표 현황	54
<그림 2.28> 주요 국가별 관련 분야 논문 현황	54
<그림 2.29> 연도별 특허 수와 논문 수	55
<그림 2.30> 연도별 기술 분야별 논문동향	55
<그림 2.31> 기술 분야별 논문동향	56
<그림 2.32> 년도별 논문발표 현황	56
<그림 2.33> 국제 경쟁력 순위	60
<그림 2.34> 기술분야별 논문 동향	61
<그림 2.35> 연도별 논문발표 현황	61
<그림 2.36> 국가 경쟁력 순위	64
<그림 2.37> 기술분야별 논문동향	65
<그림 2.38> 연도별 논문발표 현황	65
<그림 2.39> 국가 경쟁력 순위	67
<그림 2.40> 기술 분야별 논문 및 특허동향	68
<그림 2.41> 유가의 변동추이 및 에너지 수입추이 및	69
<그림 2.42> 지경부 석유가스분야 전략 로드맵	70
<그림 2.43> Alaska Natural Gas Transportation Project	74
<그림 2.44> 러시아 통합가스시스템 (UGSS)	75
<그림 2.45> 동시베리아 자원이송망 건설 계획(한국가스공사, 1997)	76
<그림 3.1> 미래사회 전망과 Needs	81
<그림 5.1> 가스 및 원유 이송망 건설비용 구성비	92
<그림 5.2> 과제 수행에 따른 연차별 인건비 절감 시나리오	94
<그림 5.3> 연구목표	96
<그림 5.4> 연구 목표 및 Vision	97
<그림 6.1> 계층 모형	100
<그림 8.1> 연구개발사업 산업과급효과의 두 가지 범주	139
<그림 9.1> 플랜트 엔지니어링 확보를 위한 Business model	154

List of Figures

<Fig. 1.1>	Distribution of the latitude permafrost regions	2
<Fig. 1.2>	Construction of the pipeline construction in North America	5
<Fig. 1.3>	North America's crude oil transport lines	5
<Fig. 2.1>	Status of world pipeline construction and planning	11
<Fig. 2.2>	Nord Stream gas pipeline route map	14
<Fig. 2.3>	Blue Stream and the South Stream gas pipeline route map	16
<Fig. 2.4>	Nabucco Gas Pipeline route map	17
<Fig. 2.5>	Whitestream gas pipeline route map	18
<Fig. 2.6>	Trans-Alaska oil pipeline	19
<Fig. 2.7>	Distance and capacity specific energy transport methods	20
<Fig. 2.8>	World natural gas production and international trade trends	21
<Fig. 2.9>	Transmission line installation method	23
<Fig. 2.10>	Construction process diagram of buried resources transmission pipelines network	25
<Fig. 2.11>	Rock removal operations	26
<Fig. 2.12>	Pipeline installation operations	26
<Fig. 2.13>	Preparation and welding work	27
<Fig. 2.14>	Preheating and coating operations	27

<Fig. 2.15> Digging work	27
<Fig. 2.16> Lowering work	28
<Fig. 2.17> Filling and backfilling operations	28
<Fig. 2.18> Worldwide patents trend	42
<Fig. 2.19> Patent trend by country	42
<Fig. 2.20> Patents trend by technology sector and by country	44
<Fig. 2.21> Patents trend by year and by technology sector	46
<Fig. 2.22> Applicants in many countries (top 20 applicants)	47
<Fig. 2.23> Most frequently cited applicants (top 20 applicants)	48
<Fig. 2.24> Paper process analysis	50
<Fig. 2.25> Number of papers by sector	53
<Fig. 2.26> Annual number of papers by related sector	53
<Fig. 2.27> Status of papers published by country	54
<Fig. 2.28> Status of papers of related fields by country	54
<Fig. 2.29> Annual number of patents and papers	55
<Fig. 2.30> Annual paper trend by technology sector	55
<Fig. 2.31> Paper trend by technology sector	56
<Fig. 2.32> Annual status of published papers	56
<Fig. 2.33> International competitiveness rankings	60
<Fig. 2.34> Paper trends by technology sector	61
<Fig. 2.35> Annual status of published papers	61
<Fig. 2.36> International competitiveness rankings	64

<Fig. 2.37> Paper trends by technology sector	65
<Fig. 2.38> Annual status of published papers	65
<Fig. 2.39> International competitiveness rankings	67
<Fig. 2.40> Trends of papers and patents by technology sector	68
<Fig. 2.41> Trend of oil and energy imports	69
<Fig. 2.42> MKE strategic roadmap of oil and gas sectors	70
<Fig. 2.43> Alaska Natural Gas Transportation Project	74
<Fig. 2.44> Unified Russian gas integration system (UGSS)	75
<Fig. 2.45> East Siberia resources transmission network construction plan (Korea Gas Corporation, 1997)	76
<Fig. 3.1> Outlook and needs of future society	81
<Fig. 5.1> Composition of construction cost of gas and oil transmission pipeline network	92
<Fig. 5.2> Annual labor cost cut due to the execution of task scenarios	94
<Fig. 5.3> Research objectives	96
<Fig. 5.4> Research goals and vision	97
<Fig. 6.1> Hierarchical model	100
<Fig. 8.1> Two categories of industrial impact brought by research development projects	139

<Fig. 9.1> Business model for securing plant engineering	154
--	-----

1. 기획의 개요

1.1 기획의 목적

- 본 기획연구는 “플랜트·인프라 시설물의 3차원 설계정보 모델링 및 공공발주 기관의 통합된 건설정보 공유 및 운영체계 구축”과 “플랜트 공정의 생산성과 신뢰성 확보를 위한 엔지니어링 데이터 기반의 건설시물레이터 및 생산가용도 설계기술”을 대상으로 연구개발을 위한 종합계획을 수립하는데에 그 목적이 있음.

1.2 추진 배경

- 설계환경이 2D에서 3D환경으로 급변하고 있으나 관련된 BIM연구는 건축분야를 중심으로 이뤄지고 있으며, 인프라 분야의 BIM은 상대적으로 인식도가 낮고 공공재적 성격으로 현장도입이 어려워 국가차원의 인프라 분야 BIM 기술 확보를 통한 전자정부 3.0 프레임워크 연계성 강화 및 대국민 서비스 확충 필요
- 플랜트·인프라 분야에 BIM 기술과 이에 기반을 둔 건설시물레이터 및 생산가용도 해석기술 도입을 통한 부가가치 제고 및 건설 소프트웨어 시장 활성화 등 신생태계 창출 유도 필요
- 플랜트·인프라 건설시 기후와 가혹한 현장여건으로 인한 생산성과 신뢰성 저하 해결방안에 대한 해외진출기업의 높은 요구에 부응하기 위한 전주기 엔지니어링 데이터 기반의 계획·설계·시공 자동화, 스마트 운영 등에 관한 기술혁신이 필요
- 신뢰성 및 생산가용도 설계가 중요한 경쟁 이슈로 부각됨에 따라 국내 공공플랜트 엔지니어링과 연계한 시너지 제고 필요
- 이에 플랜트·인프라 정보공유체계 및 건설시물레이터, 생산가용도 설계기술의 미래전망 및 이슈, 니즈 등 환경분석, 기술수요 도출, 비전 및 목표 설정,

기술개발전략 수립, 타당성 조사 등을 통하여 기술개발과제로서 타당성을 확보할 수 있도록 기획연구 수행 필요

1.3 기획의 범위

- 플랜트·인프라분야 BIM 설계정보의 Smart Modeling 기술 및 공유운영체계 개발을 위한 추진과제 도출, 목표설정, 성공요소 제시 등 종합 기획
 - 건설프로젝트 객체·자원의 BIM모델 구축 및 활용기술
 - 공공플랜트·인프라분야 BIM 정보공유 및 통합운영체계

- 플랜트 시설물 가상계획 및 설계 및 시공 및 운영을 위한 건설시뮬레이터 기술 개발을 위한 추진과제 도출, 목표설정, 성공요소 제시 등 종합 기획
 - ICT 접목을 통한 현장 data 이용 물리모델 개발 및 건설장비 응용
 - 건설계획, 플랜트 공정설계, 시공 및 운영 등 건설시뮬레이터
 - 원격조작 및 현장 건설기술 후속 연계방안

- 플랜트 생산가용도 설계기술 및 DB, 시뮬레이션 기술 개발을 위한 추진과제 도출, 목표설정, 성공요소 제시 등 종합 기획
 - 플랜트 구성 유닛 및 기자재 수명주기 DB 및 시설구축
 - 신뢰성 기반 생산가용도, 유지관리 통합 솔루션

- 플랜트·인프라 건설, 해외 자원·에너지 개발 등에 적용하기 위한 사업모델과 진출방안 기획

1.4 단계별 기획의 내용

○ 1단계 : 기술개발 동향 및 수요조사 실시

- 기술개발 동향 및 환경분석

- 국내외 정책·시장·기술 동향분석 : 주요국의 기술개발 정책 및 시장분석 포함

- 국내외 기술개발현황 및 국내 기술 인프라·기술 인력 현황(기업, 연구소, 대학 등) 분석

- 기술수요 및 기술예측 조사 실시

특허동향 분석을 통해 국내외 기관의 원천특허 보유여부, 기술경쟁력 등 분석

- 동향분석 결과를 바탕으로 기술개발추진방향 정립(SWOT 분석 등)

연구기획 목표 및 내용을 고려하여 통합 또는 분리 추진 여부를 검토

○ 2단계 : 기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정

- 기술개발 전략 수립

- 비전 및 기술발전 시나리오 제시

- 비전 달성을 위한 세부목표 및 중점분야 설정

- 중점 추진분야별 연구개발 후보과제 설정

- 연구개발 후보과제 우선순위 도출

- 기술적 진보성, 경제적 타월성을 보장할 수 있는 후보과제군 도출

- 후보과제별 기술개발 목표 및 최종성과물 설정, 후보과제간 연계 및 중복 검토 등 종합검토

- 과제추진 체계(연구단, 일반과제 등)설정

- 연구개발 후보과제별 과제카드 작성

- 연구개발목표, 기술개발 및 산업/시장 동향, 기존기술 활용방안, 기술개발 필요성, 주요연구내용, 정부지원 타당성, 기술확보전략, 과제 규모, 최종성과물 및 활용방안 등

○ 3단계 : 연구개발과제 기획

- 연구 목표 및 범위 설정

- 목표 및 연구범위 설정(세계최고, 국내최초 수준으로 달성 가능한 목표 제시)
- 세부과제(핵심 요소기술) 도출 및 연구내용 설정
- 세부과제 연차별·단계별 성과목표(정량적, 정성적)와 성과지표(필수 지표 포함)설정 및 성과맵 제시

- 연구목표 달성을 위한 추진방안 수립

- 기존 기술·인프라 등의 활용 및 연계 방안 수립
- 컨소시엄 형태 등 최적 연구추진체계 제안

- 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시

- 성과분석 및 검증방안 제시
- 제도·정책 활용, 현장적용, Test Bed 및 시범사업 등 구체적인 실용화 방안 제시

- 인력투입 계획 및 소요예산 산정

- 과제구성에 따른 연구일정 및 인력투입계획 수립
- 과제별 소요예산 산정

- 사전타당성 검토

- (정책적 타당성 검토) 국가 전략적 중요성, 상위계획과의 부합성, 연

구개발 추진상의 위험요인과 대응방안 등에 대한 검토

- (기술적 타당성 검토) 기존 연구개발과의 중복성, 기술개발 계획의 우수성, 기술 수준 및 개발 성공 가능성 등에 대한 검토
- (경제적 타당성 검토) 경제성 분석, 경제·사회적 파급효과, 과학 기술적 파급효과 등에 대한 검토

- 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정

- 연구목표와 내용, 추진전략 등을 바탕으로 본 과제를 공모하기 위한 RFP 작성
- 연차별 평가를 위한 성과목표·지표·마일스톤의 설정, 평가방법 및 기준 설정

2. 기획 대상의 정의

2.1 플랜트

- 플랜트 수출을 대외무역법 제32조(플랜트수출의 촉진 등)에서는 농업·임업·어업·광업·제조업, 전기·가스·수도사업, 운송·창고업 및 방송·통신업을 경영하기 위하여 설치하는 기재·장치 및 대통령령으로 정하는 설비 중 산업통상자원부장관이 정하는 일정 규모 이상의 산업설비의 수출로 규정
- 따라서 대외무역법에서 정의하는 플랜트는 농업·임업·어업·광업·제조업, 전기·가스·수도사업, 운송·창고업 및 방송·통신업을 경영하기 위하여 설치하는 기재·장치 및 대통령령으로 정하는 설비
- 대외무역법 시행령 제51조(설비)에서 대통령령으로 정하는 설비는
 - 발전설비
 - 담수 설비 및 용수처리설비
 - 해양설비 및 수상구조설비
 - 석유 처리설비 및 석유화학설비
 - 정유설비 및 송유설비
 - 저장탱크 및 저장기지설비
 - 냉동 및 냉장설비
 - 제철·제강설비 및 철강재구조설비
 - 공해방지설비
 - 공기조화설비
 - 신에너지 및 재생에너지 설비
 - 정치식(定置式) 운반하역설비 및 정치식 건설용설비

- 시험연구설비
- 그 밖에 산업 활동을 위하여 필요한 설비로 규정
- 대외무역법에서 규정한 플랜트는 이미 기반기술을 다 갖추고 해외시장에 진출한 모델로 본 연구대상에서 제외
- 건설산업기본법 시행규칙 제25조(주요공종별 공사실적의 기재)에서는 산업·환경설비공사업의 대상을 다음과 같이 규정
 - 산업생산시설
 - 발전소
 - 쓰레기소각장
 - 하수·폐수종말처리장
 - 에너지저장·공급시설
 - 그 밖의 산업·환경설비공사분야
- 건설산업기본법에서 규정하고 있는 산업환경설비는 이미 국내에 업역으로 자리매김하여 기술이 안정화되어 있으므로 본 연구 대상에서 제외
- 산업환경설비공사표준시방서에서는 산업환경설비의 대상을 다음과 같이 정의
 - 쓰레기 소각시설
 - 하수처리 시설
 - 열병합발전 시설
 - 지역난방 시설
 - 석유비축 및 송유관
 - 가스공급 시설

- 수문 및 갑문시설
 - 생활폐기물 자동집하시설
 - 중수처리 시설
- 산업환경설비공사표준시방서에 제시된 목적물은 현재 산업환경설비설계기준을 제정하고 있는 단계로 아직까지 설계 및 엔지니어링 기술이 안정화되지 못 하고 도약기에 해당하여 본 기획과제의 대상에 포함
- 한국교통과학기술진흥원에서는 플랜트 고도화 사업을 통해 다음의 플랜트를 대상으로 연구 수행
- 담수화플랜트
 - LNG 플랜트
 - Oil sand 플랜트
- 한국교통과학기술진흥원에서 플랜트고도화사업으로 추진하고 있는 대상 플랜트는 국내 기술이 태동기인 상태로 세계 일류 도약을 위해 추진하는 추적기술로 태동기에 해당하여 본 기획과제의 대상에 포함되나 담수화플랜트는 기 수출을 달성한 상태로 대상에서 제외
- 검토한 사항을 바탕으로 본 기획과제의 대상이 되는 플랜트를 다음과 같이 규정
- 쓰레기 소각시설
 - 하수처리 시설
 - 열병합발전 시설
 - 지역난방 시설
 - 석유비축 및 송유관
 - 가스공급 시설

- 수문 및 갑문시설
- 생활폐기물 자동집하시설
- 중수처리 시설
- LNG 플랜트
- Oil sand 플랜트

2.2 인프라 시설물

○ 플

10. RFP

○ 1세부과제

1 세부과제명	동토지역 파이프라인 연속시공을 위한 굴착 및 하부구조 건설기술 개발
1. 연구개발 목표	극한지(-40~+20℃)에서의 Pipeline 굴착 어태치먼트 및 하부구조 고속시공공법 개발
	○ 100MPa급 고강도 동결지반 기계화 굴착공법 개발(시공효율 30% 향상) ○ 극한지 온도조건(-40~+20℃)을 반영한 건설기계용 핵심 유압모듈 및 레귤레이터 장비 개발(160마력, 400bar급) ○ 지중온도조건(-20~+20℃)을 반영한 동결융해 예방방지 Pipeline 하부구조 지지시스템 및 고속 시공장비 개발(시공기간 20%단축)
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 전 세계 미 발견 석유·가스 탐사 자원량의 22%가 영구동토를 포함한 극한지에 매장(약 4,120억 boe)되어 있으며, 고유가 및 탐사·시추기술 발달과 맞물려 상업적 개발이 활발함. ○ 극한지를 대상으로 한 자원이송망은 수 천km에 달하는 장거리 이송을 위한 에너지 절약형 최적설계 및 시공, 극한환경 대응형 재료 및 접합기술, 현장 시공자동화를 통한 급속시공, 안정성 확보가 반드시 필요함. ○ 국내에서는 극한지 자원이송망 설계 및 시공 경험이 전무한 상황이며 관련기술 개발에 대한 투자가 아주 미미함. ○ 영구동토지역은 현장조건이 열악하여 기존의 탐사, 시추, 굴착 및 시공기술 등의 적용 불가능한 지역이 다수 이러한 현장조건에 적용가능한 새로운 기술개발로 세계시장을 선점할 필요성이 높음. ○ 영구동토는 고강도의 재료로 일반 굴삭기를 활용한 굴착이 불가능하므로 추가 장비가 반드시 필요하고 발파에 의한 공기단축 효과를 기대할 수 있지만 최근들어 환경에 대한 관심의 고조로 발파공법을 지양하고 있는 추세임. ○ 기계식 굴착방식으로 굴삭기에 암석파쇄용 브레이커를 사용하는 방법은 고강도 동토지반을 파쇄하기에는 어려움이 있어 실제로

남극 장보고 과학기지 건설에서 소규모 터파기에 브레이커를 사용하였으나 굴착에 예상보다 많은 시간이 허비되었음.

- 현재 국내 기술수준으로 연계한 동토시공용 가변식 레귤레이터에 대한 기술개발 실적은 전혀 없으며 대부분은 유럽 및 선진기업의 전유물로 인식되어 온 실정임. -40°C 이하의 극한 환경에서 구동되는 펄스를 이용한 비례감압밸브개발로 동토시공 연료절감 효율을 13%이상 향상시킬 필요가 있음.
- 특히 동토지역의 극한 온도에 의한 유압 오일의 동결로 인한 운전지연시간으로 인한 작업의 편의성을 고려한 솔레노이드의 보자력을 가진 제품이 전무한 실정임.
- 극한환경(-40°C 이하)에서 구동되는 유압모터 개발로 동토시공 효율을 10%이상 향상시킬 필요가 있음.
- 극한지역(동토, 심해)에서 사용되는 유압회로에 있어서, 굴착환경 및 기온변화에 따른 압력 변동으로 장비손상이 심각하게 발생되고 있으며, 이에 따른 공사기간 연장과 비용 상승이 문제가 되고 있음.
- 계절적 변화에 따른 지반의 판이한 거동으로 인한 파이프라인 피해가 큼 따라서 내진, 부등침하 및 동결융해에 우수한 지지구조물 개발이 절실함.
- 극한지조건 파이프라인 시공시 뒤통재는 동결융해에 대하여 취약하지 않도록 양질의 토사 사용을 권장하고 있음.
- 토사를 이용하여 뒤통재를 할 경우, 양질의 토사 확보에 의한 공사비 증가 및 다짐 시공에 따른 공사기간 증가 및 이를 위한 파굴착의 문제가 존재함. 또한 다짐 시공의 경우, 품질관리가 쉽지 않음.
- 파이프라인의 단열재료의 경우 외부 온도 변화에 의한 동결압 및 동상압에 대한 고려 없음. 즉, 동결 및 융해에 대한 영향을 최소화하기 위하여 매설 심도 깊어짐.
- 이에 따라 극한지온도조건을 반영한 고속시공용 뒤통재재료의 개발, 개발된 재료의 단열성능 확보 및 시공법 개발이 필요함.
- 선진국(미국, 러시아, 캐나다, 싱가포르 등)에서는 수평 지반 굴착 기술과 다양한 종류의 기계굴착 장비들을 확보하고 있고 장비를 모듈화 시켜 빠른 운송과 시공이 가능함.
- 그러나, 극한의 외기조건(-40°C 이하)과 동토지반을 대상으로 운

□ 기술동향

용장비 성능에 대한 검증은 전무함.

- 국내에서는 기계식 굴착방식에 대한 연구가 미미하여 장비 제작과 운용기술이 전무한 실정임.
- 일반 산업용 유압모터로는 국내 한국기계연구원, 전북대학교 등에서 연구를 수행한 실적이 있으며, 외국에서는 Eaton, Bosch-rexroth등 많은 기업에서 생산 및 판매가 이루어지고 있음. 그러나, 동토 등 극한지역용으로 국내 개발 실적은 없으며, 기계효율과 체적효율을 고려한 설계기술을 요구하고 있는 실정임.
- 정격압력 400bar 이하의 압력센서는 국내에서도 일정 부분 기술력을 확보하여 생산이 이루어지고 있지만, 400bar 이상의 고압용 압력센서는 건설, 플랜트 분야 및 소방계통과 같은 일반 산업현장에서 수요가 가장 많은 분야이나, 미국, 독일, 일본과 같은 선진국이 기술을 독점하고 있는 분야로서 대부분을 수입에 의존하고 있으며, 국내 센서 제조업체에서는 센서 칩과 같은 핵심부품을 수입하여 패키징하는 방식을 추진하고 있는 실정임.
- 국내 산업용 비례감압밸브 및 레귤레이터는 350bar-용 이하제품으로는 개발이 많이 되었으나, -40℃이하의 저온용 400bar 제품은 국내 개발이 실적이 전무한 상태이며, 최근 국내 D사에서 미세운전조작이 가능한 대형굴삭기용 유압 전자비례감압밸브를 독일 렉스로스사와 공동 개발 적용한 사례는 있음.
- 극한지역(-40℃이하)용으로 국내 개발 실적은 없으며, 높은 연비의 고효율성과 운전조작모드의 편의성을 고려한 설계기술을 요구하고 있는 실정임.
- 동토지역 시공관련 기술은 미국을 비롯한 선진국에서 주도하고 있음.
- 동토지역 자동화시공 및 시공관리, 시공장비 관리에 관한 기술은 현장 적용된 사례가 없음. 자원이송망 유지관리에 관한 연구는 미국, 중국을 비롯한 선진국에서 수행한 사례는 있으나 연구단계에 머무르고 있음.
- 국내에서는 현재 파이프라인 매설시 현장토 혹은 양질의 토사를 이용하여 되메우기를 수행 중임.
- 현장토를 이용한 되메움시 다짐시공을 위한 공간 확보를 위해 과굴착 문제 및 다짐 불량에 의한 침하 문제가 발생함.

○ 현장토와 시멘트를 섞은 유동성 충전재에 대한 연구가 수행되었음. 현재 실내 시험을 통한 적용성은 확보된 상황임. ○ 유동성 충전 기술(시공법)의 동토지역 활용성 검증 혹은 동토지역에 특화된 뒤채움 재료에 대한 기술 개발에 대한 노력은 전무한 상황임.
3. 연구개발 내용 ○ 동결지반 기계화 굴착 시스템 및 탈부착형 커팅헤드 개발 - 동토지반 강도평가 장비 및 분류 기법 개발 - 영구동토와 계절동토(경계부)에서의 역학특성 및 굴착거동 분석 - 스트링 드릴 최적 배치 설계 기법 개발 - 동결지반(-20℃) 대구경(40“급) 스트링 드릴 적용성 평가 - 고강도 동결지반 파쇄용 Pick Cutter 시제품 개발 - 38ton급 굴삭기에 탈부착이 가능한 커팅헤드 개발 ○ 동결지반 급속 굴착용 핵심 유압모듈 및 레귤레이터 장비 개발 - 160마력 이상급 액시얼피스톤모터 설계기술 개발 - -50℃~-60℃의 온도 변화에서도 효율변화가 없는 유압식모터 개발 - 1,500bar급 고정도(±0.3% F.S.이하) 압력센서 제품군 개발 - -40℃이하 75mA에서 운전 가능한 전자비례감압밸브 내장형 레귤레이터 설계기술 개발 - 400bar급 고효율(연비13%) 절감형 제품군 개발 ○ 동결융해 방지 파이프라인 하부구조 고속 시공공법 개발 - 동결 융해에 따른 지반 융기 대처 기초 기술 - 극한지 재해대응 안정성 확보 시공 기술 - 계절동토지반(-20~20℃) 부력보강 연속 지지구조물 기술 개발 - 동토지역 내진보강 연속 지지구조물 기술 개발 - 지지시스템 고속시공 프로세스 기술 개발 ○ 극한지온도조건(-40~+20℃)을 반영한 동토지역 단열성 뒤채움 재료 및 고속시공용 뒤채움 장비 개발 - 현장토 성분에 따른 단열성토재 최적 배합 기술개발 - 단열성 및 시공성 고려한 최적배합비 산정 - 저장도 급속시공 가능 단열성토재료 개발

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - 정부출연연구기관, 정부관련기관, 대학, 자원이송망 시공업체 등 관련 전문연구자가 공동 참여하는 산학연 연구단 형태로 국내 자체 개발 실시.
 - 각 단위과제별로 현장적용할 기술, 검증내용(달성목표), 검증방법, 검증시기, 현장적용 대상지(테스트베드)의 범위 등을 구체적으로 설정하고, 관계기관과 사전적·지속적 협조체계를 구축하는 등 개발기술의 현장적용을 위한 전략 수립.
 - 개발결과물의 특허출원 등을 통한 실수요처 기술이전 적극 추진 및 현장 활용성 도모.
 - 관련 기술력과 경험을 보유하고 있는 해외 전문 기업 및 기관과의 협력 체계 구축 및 기술도입·기술자문을 적극적으로 추진.
 - 연구 개발 초기 단계에서부터 중장기적으로 개발 기술의 사업화를 고려한 기술 개발 전략 수립.
 - 대형 냉동챔버를 활용한 동결지반 조성 및 Pick Cutter 성능평가를 통한 극한지 적용성 검토.
 - 대형 냉동챔버를 활용한 극한환경 재현 실험실 모형실험으로 단열성 뒤통수재료 성능 평가 및 신뢰성 확보.
 - 배합장비를 포함한 건설장비 제조회사들과의 협력을 통하여 극한 온도에서의 배합 장비 활용성 및 기존 제품들의 수정·변환에 관한 기술 자문을 적극적으로 추진.
- 추진체계
 - 개발기술의 실용화 및 사업화를 위해 산업체, 연구기관 및 학계 컨소시엄으로 구성하여 공동연구를 수행.
 - 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장 제공 등)이 명확하여야 하며, 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함.
 - 각계 전문가 자문단을 구성하여, 연구개발의 기술적·정책적·경제적 보완사항에 대한 자문.
 - 세부과제간 연구 연계성을 고려한 협조체계 구축.

- 해외 주요 기관 및 전문가와 협력 추진 및 국내와 관련기관 네트워크 활용 전문 수집 시스템 구축.

5. 최종성과물

□ 주요
최종성과물

<관련 연구의 연차별 성과물>

○ 1차년도

- 국외 굴착장비 조사 및 분석보고서
- 160마력급 유압 액시얼 피스톤 모터 설계 도면
- 400Bar급 전자비례감압밸브 및 레귤레이터 설계 도면
- 기존 성능 실험 결과 및 개발제품군 상세 설계 도면
- 극한지 동결 융해 저항 기초기술 분석보고서
- 동토지역 시공 방법 조사 및 분석보고서
- 기존 성토재료의 단열성능 평가서 및 기존 단열재의 시공성 평가
- 자동화 및 고속시공을 위한 뒤채움 공정분석보고서
- 학술발표 6건
- 논문게재: 2건
- 특허출원: 3건

○ 2차년도

- Pick Cutter 시제품 제작 및 성능평가 보고서
- Pick Cutter 최적배치 설계 기법(설계도서)
- 160마력급 유압 액시얼 피스톤 모터 시제품
- 1500bar용 압력센서 시제품
- 75mA급 비례감압밸브 시제품
- 자원이송망 핵심설비와 연계한 지지구조물 연속 시공 지침
- 부력보강 지지구조물 시공 기술 개발
- 단열부재 성능 평가 및 단열재료 선정
- 자동화 및 고속시공을 위한 뒤채움 장비 기본설계
- 학술발표 7건
- 논문게재: 6건(SCI급 1건)
- 특허출원: 5건

○ 3차년도

- 고효율 유압모터 시제품
- 160마력급 유압 액시얼 피스톤 모터 최종모델(제작)
- 1500bar급 압력센서 최종모델(제작)
- 75mA급 전자비례감압밸브 내장용 모듈 최종모델(제작)
- 지반 용기 저항 기초 시제품
- 내진보강 지지구조물 시공 기술 개발
- 단열재료 최적 배합비 산정/ 성능평가 보고서
- 단열성 뒤채움 재료 시제품
- 자동화 및 고속시공을 위한 뒤채움 장비 상세설계(설계도서)
- 학술발표 9건
- 논문게재: 6건 (SCI급 2건)
- 특허출원: 4건
- 특허등록: 3건

○ 4차년도

- 커팅헤드 시제품 및 성능평가 보고서
- 160마력급 유압 액시얼 피스톤 모터 현장 적용성 평가보고서
- 400Bar급 전자비례감압밸브 현장 성능 평가보고서
- 400bar급 전류-압력 신뢰성 평가보고서
- 기초의 구조 성능평가 보고서
- 지지구조물 연속 시공기법(공법)
- 대기온도 변화에 따른 단열성토재 시공시 지중온도 평가 프로그램
- 자동화 및 고속시공을 위한 뒤채움 장비(공정) 시제품 제작
- 학술발표: 9건
- 논문게재: 8건(SCI급 2건)
- 특허출원: 4건
- 특허등록: 5건

○ 5차년도

- 탈부착형 커팅헤드 운용 매뉴얼
- 액시얼 피스톤 모터 및 압력센서 동토지역 설치 및 운용 시험
- 전자비례감압밸브를 내장한 레귤레이터 모듈을 동토지역 설

치 및 운용 시험(안) - 고속 현장 파이프 연결구조와 연계한 지지시스템 시작품 및 시공지침 - 지지구조물 고속시공 프로세스 개발 및 시공 매뉴얼 - 요구성능에 따른 단열성토재료 및 배합비/ 극한지 온도조건 성능평가 보고서 - 자동화 및 고속시공을 위한 뒤채움 장비(공정) 검증 및 보완 - 학술발표: 15건 - 논문게재: 10건(SCI급 2건) - 특허출원: 5건 - 특허등록: 6건
6. 기대효과 및 파급효과 ○ 극지 환경에서 파이프라인 시공기간 및 시공비를 절감. ○ 기계화 굴착 장비는 대규모 지하공간 건설에 활용가능하며 경제적 파급효과는 약 900억원에 달할 것으로 추정(전세계 지하굴착 시장규모: 22조8,778억원/년(Melbye and Dimmock, 2001)). ○ 국가 정책의 기술적 지원 및 미개척 시장으로 진출을 위한 독자적 기반 마련. ○ 동토지역 건설사업 참여기회 확대를 통한 국가 신성장 동력 및 일자리 창출 효과. ○ 극한지역 응용 외 철로, 하천, 건물, 도로 하부로 파이프라인 부설 시 적용 및 사업화, 기술이전 가능. ○ 극한지 자원이송망 지지시스템 최적화로 자원이송 비용 30% 절감 및 핵심운영설비 해외 수출 가능. ○ 동토지역 Pipeline 건설사업에 시공기간 단축의 첨단 기술로 신규시장창출 ○ 단열성 재료를 적용함으로써 파이프라인 매설 심도 및 파이프라인 단열재의 피로하중 감소, 공사비 및 유지관리비 절감. ○ 파이프라인 매설뿐만 아니라 동토지역의 지하구조물 뒤채움, 교각기초, 토류벽 등의 뒤채움, 지하철, 철도의 하부 노반처리, 강관말뚝의 뒤채움 등 동토지역의 다른 구조물 건설시에도 적용 가능 - 동토 개발 국가경쟁력 제고.

○ 극저온용 사축/사판식 유압모터 설계 및 해석 기술 축적. ○ 초고압 스마트 압력센서를 국산화함으로써, 막대한 수입대체 효과와 더불어서 첨단 지식산업 및 수출 유망 산업 육성 측면에서 국가경쟁력 향상. ○ -40℃이하에서 400Bar급 비례감압밸브+레귤레이터 설계 및 해석 기술 축적. ○ 동토시공용 핵심부품 국산화로, 선진업의 기술과 우위 점유로 막대한 수입대체 효과와 더불어서 수출 유망 산업 육성 측면에서 국가경쟁력 향상.	
7. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2014년 12월 ~2019년 12월(5년) ○ 연구비 예산 : 약 100억원(정부출연금 : 88억원)
8. 기 타	
○ 개발기술의 성능을 극한환경 재현 실험실에서 검증하여 보완. ○ 연구내용, 연구기간 및 연구비는 과제제안요구서(RFP) 및 상세 기획연구 보고서를 참조하여 작성. ○ 연차별 지원예산을 제시된 총 정부출연금 범위내에서 편성. ○ 개발재료의 성능을 극한환경(영하 40℃) 재현 실험실에서 검증하여 보완, 성능평가 인증.	

○ 2세부과제

2 세부과제명	동토지역 Pipeline 가설 자동화 기술
1. 연구개발 목표	극한지(-40℃ 이하) Pipeline 현장 연결, Lowering, 진단 기술 개발
	○ 극지 환경(영하 40℃ 이하)하에서, 인력을 30% 절감하고 시공효율을 20% 향상 가능한, Pipe의 고정밀 정렬, 용접, 파이프 현장 무용접 체결, Lowering, 현장 접합 품질 검사, 안전진단의 현장 Pipe work 자동화 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 기존 에너지자원 고갈 및 고유가 지속으로 비전통 석유생산(Oil sand, Shale gas/oil), 신규 매장지 (극한지, 심해저)의 메가 프로젝트 증가하고 있음. 극한지 에너지 개발의 경제성 확보를 위해서는 수송인프라 건설비용의 최소화가 필요함. Onshore 파이프라인 총 건설비용 중 용접 및 비파괴검사, 코팅, Lowering 등의 파이프 가설비가 46% 정도를 차지하고 있음. 따라서 건설비용의 절감을 위해서는 파이프의 현장 연결, Lowering, 접합 품질 검사의 자동화 기술 개발이 매우 중요함. ○ 인력에 의존한 극한지 현장연결 시스템은 시공효율과 품질편차를 저하시키는 가장 큰 요인으로서, 시공자동화의 핵심 제어 대상으로 인식되고 있음. 이 중, 용접프로세스는 다양한 열원에 의한 현장 적용 자동화가 고려되고 있는 반면, 접합 전처리단계인 정렬 프로세스는 분산된 인프라로 인해 현장인력 의존성이 저감한계 상태임. 인력의존도 저감을 통한 시공효율 향상을 위해, 분산된 시공 인프라의 시스템화/집적화가 시급히 요구됨. ○ 극한지 파이프라인 건설시 인력절감 및 공기단축을 통한 공사비 절감이 중요한 요소임. 일반적으로 현장에서는 용접을 이용하여 파이프간 접합이 이루어지지만, 이 연구에서는 파이프 현장 무용접 체결 장치를 이용하여 파이프라인의 현장 접합을 자동화 시킬 수 있는 장비 및 시공 프로세스를 개발하고자 함. 이를 통하여, 접합소요시간을 단축시킴과 동시에, 인력 및 공사비 절감 달성 가능함. 이러한 핵심기술은 국내외 소재 및 건설현장 등에 파급 효과가 매우 클 것으로 예상됨 ○ 최근의 건설 IT의 추세가 측량 네비게이션, GPS 등을 활용하여 공기를 단축하고 필요 인력을 줄이고 정확도를 높이는 방향으로 개발 및 활용이 진행되고 있는데 Lowering 자동화 기술은 이러

한 흐름에 맞추어 기존의 건설 IT기기와 기술을 활용하고 통합하여 인력을 30% 감축하고 시공 생산성을 20% 향상시킬 수 있음.

□ 기술동향

- 인력에 의한 관리가 어렵고 영하 20℃ 이하인 동토지역 자원수송 시설의 자동시공 후 무인 시공 평가 및 운영 중 원격으로 구조물의 건전성 진단을 수행하기 위해서는 비접촉 센서기반 비파괴 검사 기술과 무인자동화 기술이 접목된 통합운영시스템 개발이 필요함.
- 미국에서는 2008년 TransAlaska에 파이프라인 건설면허를 수여한 이후로 Alaska Natural Gas Transportation Project를 진행하고 있으며 건설 예산을 280억 달러 이상으로 책정하고 2016년에 착공하여 2020년에 완공하기 위해 이와 관련된 중소형 프로젝트를 수행하고 있음.
- 현장 시공효율 향상을 위해, 용착효율향상 기술 등 다양한 용접 프로세스 전처리 현장 자동화가 이루어지고 있는 반면, 파이프 자동 정렬 등 인프라 집적화에 대해서는 세계적으로도 개발 초기 단계임.
- 해상 파이프라인의 경우, 용접대신 기계적 결합장치를 이용하여 시공하려는 연구가 오래전부터 수행되어옴. 파이프 현장 무용접 체결 장치를 사용할 경우, 해상 파이프라인 시공기간 단축, 고강도강재 용접성 우려 해소 및 공사비 절감 효과를 기대할 수 있음. 육상 파이프라인의 경우, Zap-Lock 커넥터 및 관련 시공 기술이 개발되어 적용사례가 있음. 하지만, 주로 소구경 파이프라인에만 적용되었으며 용접대비 파열 및 인장강도가 낮음.
- Lowering 기술은 파이프 라인 프로젝트에 반드시 필요한 기술로서 시공성 향상과 인력감축을 위한 연구가 미국을 중심으로 활발하게 진행되고 있는데 CRC evans의 롤리 크래들은 시공성 면에서 획기적인 것으로 평가받고 Chrisys사의 사이드 붐 파이프 레이어는 현재 대부분의 파이프 프로젝트에서 활용되고 있음.
- 기존 오프라인 형식으로 진행되어오던 비파괴 검사 방법이 검사 후 얻어진 결과 및 그 정보를 원격지에서 파악하고 분석하는 원격 온라인 비파괴 검사 방식으로 진화되는 움직임이 있음. 특히, ICT기술과 비파괴 검사기술의 융합이 시작되어 비파괴 검사 분야에서도 새로운 개념의 비접촉 비파괴 점검 무인자동화 솔루션이 등장하기 시작함.

3. 연구개발 내용

- 극한지 고속/고정도 파이프 현장접합 자동화 시스템 개발
 - 극한지 파이프 정렬 기술 개발
 - 극한지 파이프 고속/고효율 접합 자동화 시스템 개발
 - 정렬 및 접합 현장 운용 매뉴얼 개발
- 파이프 현장 무용접 체결 장비 기술 개발
 - 무용접 체결 시공 장비 개발
 - 무용접 체결 장비를 이용한 시공 프로세스 구축 및 매뉴얼 개발
- 파이프 Lowering 자동화 기술 개발
 - 멀티 Lowering 컨트롤용 커맨드 시스템 및 다 개체 중장비 운영 원격 조종 시스템 개발
 - Lowering 장비용 어태치먼트와 스킴파일 대체용 모바일 서포트 장비 및 이를 위한 정밀 포지셔닝 장치 개발
- 현장접합 품질검사/안전진단을 위한 비접촉 NDT 자동화 기술 개발
 - 마그네틱 센서 탑재형 배관 접합부 비접촉 진단 스캐너 개발
 - 배관 이동용 비접촉 레이저 영상화 기반 접합 품질검사 스캐너 개발
 - 진단결과 영상화 및 정량화를 통한 건전성 평가 알고리즘 개발
 - 극한환경 영향 분석 및 보상 기법 개발

4. 연구개발 추진방법

- ☐ 추진전략
 - 파이프 시공 업체, 설계 엔지니어링 업체, 파이프 조관 업체, 장치 제작업체, 출연연구기관, 정부관련기관, 대학 등과 관련 전문연구자가 공동 참여하는 산학연 연구단 형태로 국내 자체 개발 실시
 - 연구 개발 초기 단계에서부터 중장기적으로 개발 기술의 사업화를 고려한 기술 개발 전략 수립
- ☐ 추진체계
 - 산학연 연계 조직 구성
 - 파이프 시공 업체, 설계 엔지니어링 업체, 파이프 조관 업체,

장치 제작업체, 출연연구기관, 정부관련기관, 대학 등과 유기적인 협력 체계 구축 ○ 세부과제간 연구 연계성을 고려한 협조체계 구축 ○ 국내외 관련기관 네트워크 활용 전문 수집 시스템 구축 ○ 전문위원회 및 자문위원 등의 인적 인프라 활용 ○ 관련부처 및 업계간 유기적 협조체계 구축을 통한 의견수렴 및 교류	
5. 최종성과물	극한지(-40℃이하) Pipeline 현장 연결, Lowering, 진단 기술
☐ 주요 최종성과물	<관련 연구의 연차별 성과물> ○ 1차년도 - 고정밀 파이프 인프라 패키지 기술 컨셉 - 고속/고효율 현장 접합 프로세스 컨셉 - 무용접 체결 프로세스 및 장비 컨셉 - 커맨드 시스템 및 attachment 장비 고안 - 동토지역 배관 접합부 비접촉 비파괴 진단 컨셉 - 학술발표: 1건 - 특허출원: 8건 ○ 2차년도 - 고속/고효율 현장 시공 패키지/자동화 시스템 설계안 - 무용접 체결 장비 시제품 - 중장비 컨트롤 커맨드 시스템 시제품 - 마그네틱 센서 탑재형 배관 접합부 비접촉 진단 스캐너 시제품 - 학술발표: 3건 - 논문게제: 4건 - 특허출원: 6건 - 장비 시제품 3종 - 장비 시제품 1종 ○ 3차년도 - 고속/고효율 현장 시공 자동화 시스템 시제품 - 무용접 체결 장비 시제품 성능평가 보고서

- attachment 장비 시제품
- 배관 이동용 비접촉 레이저 영상화 기반 집합 품질검사 스캐너 시제품
- 학술발표: 4건
- 논문게제: 6건
- 특허출원: 4건
- 장비 시제품 1종

○ 4차년도

- 현장 시공 자동화 시제품 성능평가 보고서
- 무용접 체결 장비 시공프로세스 구축 및 매뉴얼
- 실제 굴삭기 장착 및 실험 매뉴얼
- 무인 비접촉 3차원 배관 검사 기법 매뉴얼
- 학술발표: 4건
- 논문게제: 10건
- 특허등록: 2건
- 프로그램등록: 3건
- 장비 시제품 3종

○ 5차년도

- 극한지 고효율 현장 용접시공 자동화 시스템 운용 매뉴얼
- 무용접 체결 장비 상용품 및 현장 적용성 평가 보고서
- 현장적용 운용 매뉴얼
- 현장 배관 비접촉 비파괴 진단 및 건전성 평가 보고서
- 학술발표: 2건
- 논문게제: 10건
- 특허등록: 4건
- 프로그램등록: 1건

6. 기대효과 및 파급효과

- 극한지용 자원이송망-기반구조물 설계기술 개발을 통해 일차적으로는 해외 자원이송망 프로젝트에 참여할 수 있는 기술적 기반 마련
- 고정밀/고효율 시공장비 개발을 통한 파이프라인 공기단축, 공사비 절감 등 경제성 측면에서 경쟁력 확보 및 파이프라인 운용 설비 국산화로 수입대체 효과 기대

○ 시공 인프라 패키지화 및 고속/고효율 용접자동화 기술 구현을 통한 극한환경 시공기술 경쟁력 확보 및 조선/에너지플랜트 산업 활용을 통한 타 산업 파급효과 기대 ○ 파이프 현장 무용접 체결 장비 기술 개발을 통하여 극한지 파이프라인의 건설기간을 50% 이상 단축, 공사비 30% 이상 절감을 달성하고, 이를 통하여 해외 파이프라인 제품 판매 및 건설시장 확대를 기대 ○ 공기단축 및 성력을 통해 공사비의 25% 절감이 되고 로워링은 파이프 매설에서 반드시 필요한 기술로서 해외 관련 프로젝트에 세계 최고/최첨단 기술로서 참가하여 큰 수익을 올릴 수 있음. ○ 동토지역 특성에 맞는 진단 및 검사방식, 신뢰성 개선을 통한 무인 비접촉 비파괴 검사 시스템 개발로 중장기적인 시장개척 모델과 국제경쟁력 확보 및 수출증대 효과 기대	
7. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2014년 7월~2019년 6월(5년) ○ 연구비 예산 : 85.7억원(정부출연금 : 60억원)
8. 기 타	
○ 연구내용, 연구기간 및 연구비는 과제제안요구서(RFP) 및 상세 기획연구 보고서를 참조하여 작성 ○ 연차별 지원예산을 제시된 총 정부출연금 범위내에서 편성	

○ 3세부과제

3 세부과제명	동토지역 파이프라인 가상건설 통합 운용 기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 동토지역 시공환경을 고려한 파이프라인 가상건설 및 현장 통합 운용 관리 기술 개발 - 동토지역 자원이송망 시공 및 현장 운용 한계를 극복하기 위한 건설 시나리오별 최적화 계획 및 가상시공·원격운용에 관한 기술 개발 - 동토 파이프라인 현장 통합운용 기술 개발을 통한 건설장비 자동화 운용 50%, 현지노무비 30%, 건설비용 10% 절감 - 건설프로젝트 통합관리기술, 동토 파이프라인 가상시공 및 훈련 시스템 개발을 통한 건설현장 가동률 90%, 시공생산성 개선 30% 개선 - 전주기 건설프로젝트 통합정보관리기술, ICT 기반 Big Data 처리기술 개발로 시공 운용 단계 관리 효율성 20% 향상
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
☐ 연구개발의 필요성 (일반사항) ○ 전 세계 미 발견 석유·가스 탐사 자원의 22%가 영구동토를 포함한 극한지에 매장(약 4,120억 boe)되어 있으며, 고유가 및 탐사·시추기술 발달과 맞물려 상업적 개발이 활발함. ○ 동토지역을 대상으로 한 자원이송망은 수천 미터에 달하며, 시장 규모가 커서 관련 기술 개발을 통한 미래 가치 창출이 기대되어 동토 자원 개발과 관련한 핵심기술 확보가 시급함. ○ 극한지 에너지자원 개발 및 건설 시장에 진입하기 위해서는 국내 환경과 상이한 극한지 대상 건설기술 개발이 필수적임에도 불구하고 관련 기술개발 투자가 극히 미비한 실정임(현재 국내 기업의 극한지 자원 이송망 건설 경험이 전무한 상태임). (스마트 건설관리) ○ 동토지역은 극한의 환경조건으로 유효 공사기간이 매우 짧고, 광대역 현장 여건으로 장비의 수리/교체, 소모품의 신속하고 원활한 조달이 불가능하기 때문에 효과적인 건설관리 시스템의 부재는 공사를 중단시키는 매우 중요한 리스크 요인 중 하나임.	

- 동토지역은 극한 환경 조건으로 인해 공사 가능 기간이 상당히 짧아서 건설 현장의 급속한 시공 관리를 위해서는 현장에서 발생하는 변화에 대해 능동적으로 수용하고 운영할 수 있는 신속한 의사결정 지원 통합관리시스템이 필요함.
- 극한지역에서의 최적 건설관리 기법이 프로젝트의 성공을 위한 중요한 요소로 대두되고 있으나, 국내 기업의 관련 경험이 미흡하여 시공계획, 관리프로세스 및 관련 기준의 정립이 절실함.

(자동화 시공 통합운용)

- 동토지역의 작업 한계를 극복하고 현장 시공성 확보를 위해서는 건설장비의 자동화 및 반자동화 통신, 원격통제, 통합 운용 기술의 확보가 필요함.
- 자동화 시공 시스템 구축을 위해서는 지형 등 작업공간정보, 작업자, 장비의 위치 및 자세 제어를 위한 데이터의 통합 모니터링, 저장, 가공, 운용 및 유/무선 송수신 기술 등 자동화시공 정보를 이용한 가상 시공 및 통합운용 모듈 개발이 필요함.
- 혹한 지역의 장거리 걸쳐 산재되어 있는 건설현장에서의 인력, 설비, 장비 등의 효율적인 운용 관리는 단기간에 급속으로 이루어져야하는 동토지역의 환경적 특수성 때문에 매우 중요함
- 동토지역의 극한환경 특성상 현장 시공 여건(온도, 시간 등)이 열악하여 공기나 비용, 사고 증가의 요인이 매우 크기 때문에 이에 대한 사전 검토 및 통합 운용기술의 개발이 필수적임.

(가상 시뮬레이터)

- 동토지역 시공환경에서 극한작업을 원활하게 진행하기 위하여 자동화 모델, ICT, 센서기술, VR 등의 첨단 기술을 융합한 자동화 시스템의 개발이 필수적임.
- 자동화 시공 장비의 개발에 따른 기계·전기적 장치의 원활한 운용에 필수적인 요소를 규명하고 가상운용 모델을 개발하여 요소별 기능성, 시스템적 작동성 등 개발 장비의 성능을 검증하는 시공 장비 가상운용 모델 기술의 개발이 필요함.
- 개발 장비의 원격조종을 위한 가상 시공/훈련 시뮬레이터 개발을 위한 모션 플랫폼 구성 요소 설계 및 제작, 개발 장비의 제어 시

플레이션 프로그램 등 모션 플랫폼 기반의 가상 시공/훈련 시뮬레이터 구현기술 확보가 필수적임.

- 자동화시공 구현을 작업환경 이해를 위한 지리, 지형, 기후 등 작업환경에 대한 정보를 글로벌 센싱(GPS, 인공위성 등) 및 로컬 센싱(laser scanner, 각종 로컬 시공계측센서 등)을 이용하여 시공환경을 모델링(지형 3D mapping 등)하는 동토환경 모델링 기술의 개발이 필수적임

(데이터 관리)

- 동토지역 현장 내에 대체 장비와 소모품 재고가 있다고 할지라도 광대역 건설현장에서 타 공구의 시공 진행 상태와 장비 및 소모품의 수량 및 위치 정보 등을 신속히 파악하기 어려워 원활한 조달을 기대하기 어려워 건설현장의 시공 상태와 연계하여 자재 및 장비를 통합 관리할 수 있는 Field BIM 기술 개발이 필요함.
- 동토지역 건설현장에서 발생하는 데이터는 모바일 데이터, 센싱 데이터, 기존 DB 데이터와 같이 유선과 무선, 발생 주기, 데이터의 연속성 등에서 매우 다양성이 큰 데이터들의 집합체를 이루고 있어 기존의 일반적 DB 기술로 처리할 수 있는 범위를 벗어나 Big Data 처리기술의 도입이 필요함.

□ 기술동향

(일반사항)

- 동토지역 파이프라인 등 시공관련 기술은 미국을 비롯한 주요 선진국에서 주도하고 있음.
- 동토지역 자동화시공 및 시공관리, 장비관리에 관한 기술은 현장 적용된 사례가 없음.
- 자원 이송망 유지관리에 관한 연구는 미국, 중국을 비롯한 선진국에서 수행한 사례는 있으나 연구단계에 머무르고 있음.

(스마트 건설관리)

- 과거 사업계획/관리를 위하여 엑셀, 일정표 등을 이용하여 작업계획을 수립하였으나, 최근에는 공정의 대형화, 다변화, 복잡화 등에 따라 TILOS(독일) 등에서는 그래픽 기반 전단계 스케줄링(다중 레이어 구현) 기능이 포함된 다양한 전문도구를 적용하고 있음.

- 다만 현재까지 제한된 조건에서 공사의 중단 없이 지속적인 시공이 가능하도록 리소스의 재배치 등을 최적화 할 수 있는 기술이 적용되지 않았고, 광대역에 걸쳐 진행되는 파이프라인 건설현장의 설비, 장비, 인력 관리의 필수 요소인 모바일 기능이 아직까지는 원활히 지원되지 못하고 있음.
- 동토와 같이 극한 기후 조건에 의해 수시로 변화하는 시공 환경과 신속 원활한 리소스 조달에 어려움을 겪고, 급속 및 자동 시공을 위해 현장 제작 보다 사전 제조(Prefabrication)나 모듈화 시공을 통하여 건설 생산성을 크게 향상 시킬 수 있어 CPLM 기술의 도입이 시급함
- 대규모 사업에 있어서 사전 타당성, 부지조사, 시공계획, 설계, 조달, 시공, 운영, 유지관리 등 전주기 솔루션의 중요성이 증가함에 따라 ICT 융합기술 증가 추세에 있음.

(자동화 시공 통합운용)

- GIS, GPS, digital elevation model(LiDAR 등), global and local sensing based monitoring, MMI(Man-Machine Interface) 등 다양한 IT 인프라 기술을 이용한 건설 기법이 다양한 산업분야에서 적용되고 있으나 동토지역의 시공성 개선, 확보를 위한 통합운용 기술의 개발이 미비한 상태임.
- 동토, 해저, 격오지 등 자원개발 증가에 따라 현장 접근성, 작업시간, 작업환경 등 제한요건을 해결하기 위한 기술로 원격, 가상, 자동화 기술이 접목되고 있음.

(가상 시뮬레이터)

- 최근 위치 및 지리정보 기반의 시공계획/관리 시뮬레이터, virtual reality, haptics 기술 구현 등 다양한 통합 IT 솔루션의 개발이 추진되고 있음.
- 플랜트 건설공사에 있어서 시공 난이도나 위험성을 줄이기 위하여 시뮬레이터를 이용한 사전 시공성 검토, 자동화 건설 시범 적용/평가, 운전원 훈련시스템을 활용한 숙련도 확보 등이 추진되고 있음.

(데이터 관리)

- 2000년대 후반 스마트폰 혁명과 BIM(Building Information Modeling)이 급격히 발전하면서 단순 Viewer의 개념을 벗어나 건설 현장의 각종 이슈, 장비 및 자재, 일정관리에 BIM 정보 모델 기반의 첨단현장관리기법으로 Field BIM 개념이 확산되고 있음
- 현재까지의 Field BIM 기술은 일반 건설현장 적용하기 위한 범용 기술 위주로 발전하고 있으며, 현장에서 발생하는 실적 위주의 관리로 동토라는 지역적 특수성을 반영하기 어려움.
- 최근에서야 ERP(Enterprise Resource Planning), PMIS(Project Management System), MRP(Material Resource Planning)와 같은 각종 시스템에 누적된 데이터를 가공 재생산하여 새로운 전략을 성공적으로 수립하기 위한 수단으로 활용하기 위한 관심을 받고 있음
- 타 산업군에 비해 아직까지 건설 분야에서는 Big Data의 활용사례가 저조하며, 기초연구 위주의 기술 개발이 이루어지고 있어 동토지역 건설현장 시공을 위한 현장관리, 인력, 자재, 장비 등의 통합운용관리 기술에 응용된 사례는 없음

3. 연구개발 내용

- 동토지역 파이프라인 스마트 계획기술 개발
 - 자동화시공 프로세스 최적화 모델링
 - 가상현실 기반 task planning 기술 개발
 - 동토지역 자동화 시공 성능, 품질 및 리스크 관리 기술
 - multi media 기술을 활용한 자동화 시공 절차서 개발
- 동토지역 파이프라인 건설현장 통합운용 기술 개발
 - 자동화 시공 정보관리 시스템 개발
 - 자동화 시공 계획-관리 통합 시스템 개발
 - 건설계획 및 현장운용 시스템 개발
 - 건설공사 전주기 데이터 모델 및 현장 연동기술 개발
- 동토지역 파이프라인 가상시공 및 훈련시스템 개발
 - 시공환경 시뮬레이션 모델 개발
 - 가상 시공 시뮬레이터 개발
 - 시공 비 가상 운영/훈련 시뮬레이터 개발
 - 가상 시공 및 통합운용 시뮬레이터 개발

○ 동토지역 파이프라인 건설현장 Big Data 처리 및 통합정보 관리 기술 개발 - 동토지역 건설현장 관리 및 운용을 위한 Big Data 처리 기술 개발 - 동토지역 건설현장 및 장비 통합 운용관리 정보처리 기술 개발 - 동토지역 파이프라인 전주기 건설프로젝트 통합관리 기술 개발	
4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략	○ 정부출연연구기관, 대학, 자동화 소프트웨어 개발 업체 등 관련 전문연구자가 공동 참여하는 산학연 연구단 형태로 국내 자체 개발 실시. ○ 연구성과물의 파일럿테스트 적용을 통한 기술 검증 실시 및 이를 통한 기술의 상용화 가능성 향상 가능. ○ 연구 개발 초기 단계에서부터 중장기적으로 개발 기술의 사업화를 고려한 기술 개발 전략 수립.
□ 추진체계	○ 개발기술의 실용화 및 사업화를 위해 산업체, 연구기관 및 학계 컨소시엄으로 구성하여 공동연구를 수행. ○ 국내외 관련 전문가들로 자문단을 구성하여 지속적이고 정기적인 의견수렴. ○ 과제 초기단계부터 세부과제간 연구 연계성을 고려한 협조체계 구축. ○ 전문위원회 및 자문위원 등의 인적 인프라 활용
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	<관련 연구의 연차별 성과물> ○ 1차년도 - 극한지 작업환경 분석 및 데이터베이스 개발 - 동토 시공환경 시뮬레이션 모델 - 자동화시공 기준 및 시공정보 체계화 - Big Data 정보분류체계 - 디지털 모델과 위치 정보 데이터 연계 모델 - 학술발표: 5건 - 논문게재: 2건

- 프로그램 등록: 1건
- 특허출원: 2건

○ 2차년도

- 극한지 자동화 시공을 위한 신공법 개발
- 자동화 건설장비 가상시공 시뮬레이터 개발
- 자동화 시공 환경 3D 모델링
- 자동화 시공 공정관리 모듈
- 구조물/설비/장비 등의 정보 모델 DB 관리 기술
- 현장 관리 및 운용을 위한 Big Data 처리 기술
- 학술발표: 5건
- 논문게재: 5건
- 특허출원: 3건
- 프로그램등록: 1건

○ 3차년도

- 자동화 시공을 위한 현장통제 통합 운용 시스템 개발
- 파이프라인 가상시공 운영/훈련 시뮬레이터 개발
- 자동화시공 프로세스 최적화 및 표준시방 정립
- 동토지역 파이프라인 전주기 프로젝트 통합관리 시스템 개발
- BIM/ICT 기술 융합 시공 Big Data 관리 시스템 개발
- 학술발표: 4건
- 논문게재: 4건
- 특허출원: 4건
- 특허등록: 2건
- 프로그램등록: 2건

○ 4차년도

- 시공장비 가상환경 통합 운용 시스템 시제품
- 시제품 현장적용 및 성능평가 보고서
- 가상시공 운영/훈련 시스템 현장적용 및 성능평가 보고서
- multi media 기술을 활용한 자동화 시공 절차서
- VR 기반 전주기 통합관리 시스템 현장 적용 및 성능평가 보고서

- 클라우드 기반 Field BIM 시스템
- Big Data 관리시스템 현장적용 및 성능평가 보고서
- 학술발표: 6건
- 논문게재: 8건(SCI급 2건)
- 특허출원: 3건
- 특허등록: 4건
- 프로그램등록: 2건
- 시제품 제작: 2건
- 현장적용: 4건

○ 5차년도

- 동토지역 파이프라인 건설현장 통합운용 시스템 시험적용결과 피드백 및 완성
- 가상시공 운영/훈련시스템 시험적용결과 피드백 및 완성
- VR 기반 전주기 통합관리 시스템 시험적용결과 피드백 및 완성
- 전주기 건설 프로젝트 통합정보관리 시스템 시험적용결과 피드백 및 완성
- 학술발표: 7건
- 논문게재: 7건(SCI급 4건)
- 특허출원: 3건
- 특허등록: 4건

6. 기대효과 및 파급효과

- 극지 환경에서 파이프라인 시공기간 및 시공비를 절감 가능.
- 동토지역에 적합하고 구현 가능한 신공법(토공/토목구조물/파이프라인 설치 등)의 개발을 통해 기술력 확보가 가능.
- 국가 정책의 기술적 지원 및 미개척 시장으로의 진출을 위한 독자적 기반 마련.
- 동토지역 건설사업 참여기회 확대를 통한 국가 신성장 동력 및 일자리 창출 효과.
- 자동화시공 정보의 통합관리를 통하여 향후 유사 프로젝트의 최적 설계 및 엔지니어링이 가능.
- 첨단 ICT기술 접목을 통한 건설 프로젝트 수행의 효율성 제고

기대. ○ 동토지역 Pipeline 건설사업에 시공기간 단축으로 첨단 기술을 바탕으로 한 신규시장 창출 가능. ○ 신공법에 대한 동토지역 시공기준 및 표준 시방의 제정은 국제 표준으로 발전시킬 가능성 높음. ○ 동토지역 특성과 ICT 기술을 결합하여 자동화 시공모델링, 가상시공 등에 관한 기술을 개발하여 공사의 신뢰성과 위험성 개선. ○ 동토지역 건설공사 현장의 생산성을 높이고, 위험(작업 신뢰성, 사고, 환경 등)을 저감하여 기술 경쟁력을 제고. ○ 동토지역 자원개발 등 공사수행시 공사기간 및 비용 등에 관한 국제경쟁력 확보 및 수출 증대 효과. ○ 각종 해외건설사업, 재난지역, 해양플랜트 분야 등 광대역 원격 관리가 요구되는 현장에도 확대 적용 가능. ○ 동토지역 파이프라인 건설현장에 첨단 IT융합 기술을 적용하여 국내외 관련시장을 주도할 수 있음. ○ ICT 기반 동토지역 건설현장 및 장비 통합정보관리기술 개발로 건설엔지니어링 기술 고도화 및 해외건설시장에서 글로벌 기술경쟁력 확보.	
7. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2014년 12월 ~ 2019년 12월(5년) ○ 연구비 예산 : 약 112.3억원(정부출연금 : 84.3억원, 기업부담금 28억원)
8. 기 타	
○ 연구내용, 연구기간 및 연구비는 과제제안요구서(RFP) 및 상세 기획연구 보고서를 참조하여 작성. ○ 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음. ○ 기타 연구내용, 주요성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 기획연구 최종보고서 참조.	

참 고 문 헌