Ministry of Land, Infrastructure and Transport

R&D Report

기획연구

장거리 부유식 해중고속철도시스템 기술 개발 기획 최종보고서

2013. 10. 29

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 한국해양과학기술원
한국건설기술연구원
위탁연구기관 / (주)날리지웍스

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 “장거리 부유식 해중 고속철도 시스템 기술 개발 기획“ 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2013. 10. 29.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원
주관연구책임자 : 서승일
참여 연구원 : 사공명, 장용준, 이진호,
안성권, 이광섭

공동연구기관명 : 한국해양과학기술원
공동연구책임자 : 박우선
참여 연구원 : 한상훈, 이진학, 한택희,
고진환, 오상호, 원덕희

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원
공동연구책임자 : 곽종원
연구원 : 이주형, 최은석, 이정우

위탁연구기관명 : ㈜날리지웍스
위탁연구책임자 : 류형근
연구원 : 이재희, 김황만, 박창현,
손창수, 방영민, 박선희

< 보 고 서 요 약 서 >

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2013. 4. 30
~ 2013. 10. 29</td><td>단 계 구 분</td><td>(1) / (1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연 구 사 업 명</td><td colspan="4">건설교통연구기획사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">장거리 부유식 해중고속철도시스템 기술개발 기획 연구</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">서 승 일</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 24 명
내부 : 24 명
외부 : 명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 :
100,000천원
계 :
100,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 24 명
내부 : 24명
외부 : 명</td><td>총연구비</td><td>정부 :
100,000천원
계 :
100,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국철도기술연구원
신교통연구본부</td><td>공동연구기관</td><td colspan="2">한국해양과학기술원
한국건설기술연구원</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 : 날리지웍스</td><td colspan="3">연구책임자 : 류형근</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">○ 장거리 수송을 위한 부유식 해중 고속철도시스템의 경제적 타당성 검토 및 건설, 운영에 필요한 핵심 기술 개발 기획을 다음과 같이 수행하였음
- 기술개발 동향 및 환경 분석
- 기술개발 비전 및 목표 수립
- 연구목표 달성을 위한 추진전략 및 추진체계 수립
- 연구 수행을 위한 세부 과제 도출
- 기술개발을 위한 로드맵 제시
- 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시
- 인력투입 계획 및 소요예산 산정
- 연구개발 사전타당성(정책적, 기술적, 경제적 타당성) 조사 수행
- 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정
○ 기획 연구를 통해 다음과 같은 세부과제를 도추하였음
- 해중고속철도 시스템엔지니어링 기술 개발
- 해중고속철도 해석 및 설계 기술 개발
- 해중고속철도 시공 기술 개발
- 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">방재안전, 시스템엔지니어링, 장거리 부유식 터널, 축소 모형, 해중고속철도,</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Prevention of Disaster and Safety, Systems Engineering, Long Distance Floating Tunnel, Submerged Floating High Speed Railway</td></tr>
</table>

< 요 약 문 >

1. 기획 연구의 목표

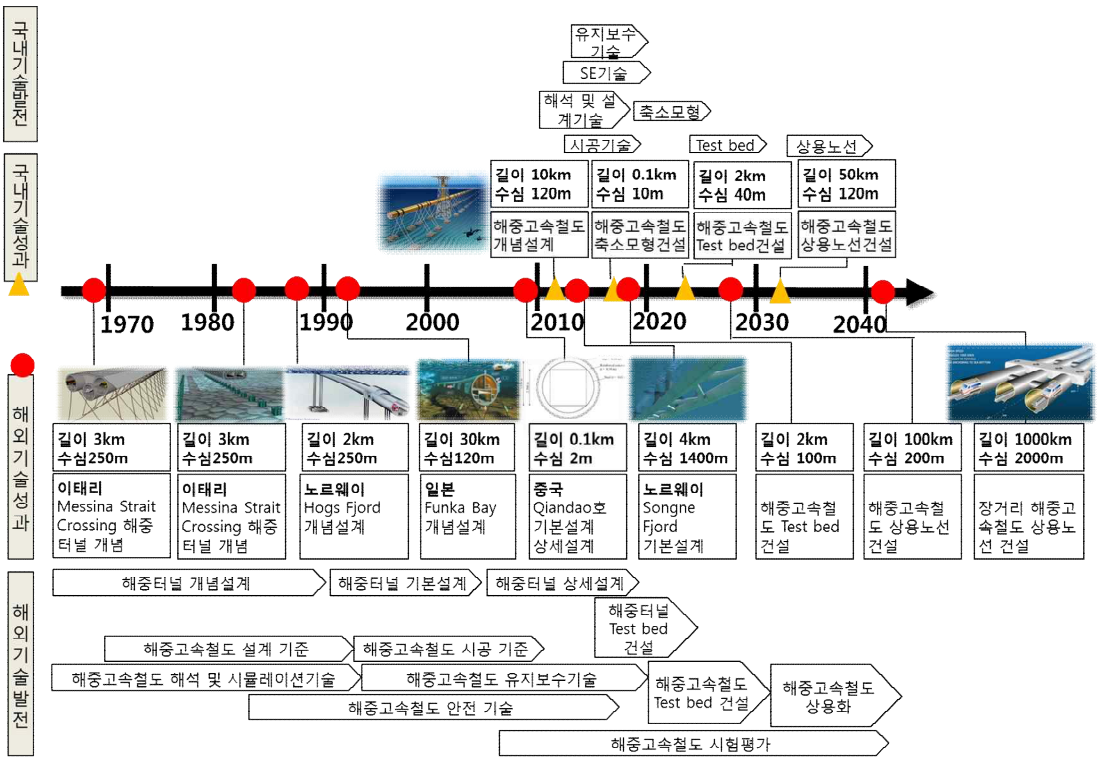
○ 장거리 수송을 위한 부유식 해중 고속철도시스템의 경제적 타당성 검토 및 건설, 운영에 필요한 핵심 기술 개발 기획

2. 기획 연구의 필요성

○ 국내에서 호남-제주 구간 고속철도 운행에 대한 소요가 지속적으로 제기되고 있고, 한중, 한일 교역 규모가 나날이 증가하는 상황에서 육상 교통수단을 이용하여 대륙을 연결하고자 하는 수요가 꾸준히 제기되고 있음
○ 고속철도의 운행을 위한 해저터널의 건설은 오랜 기간과 막대한 비용을 요구하고 있어 각국 정부 투자의 적극적인 투자를 주저하게 하고 있음
○ 해저터널은 장거리가 될수록 버럭처리 등의 문제로 비용이 가파르게 증가하는 어려움이 있고 공사중에 누수등 사고 위험이 높은 문제가 있으며, 수심이 깊어질수록 시공의 한계가 있음
○ 해중고속철도는 육상에서 모듈형으로 제작하여 해상에서 조립한 후에 정해진 수심에 설치할 수 있으므로 공사기간과 비용이 대폭 감소될 수 있는 장점이 있음
○ 해수면 파도의 영향은 깊이에 따라 지수적으로 감소되므로 해중에서는 구조체가 안정적으로 위치할 수 있는 장점이 있음
○ 고속철도는 항공기와는 달리 화석 연료를 사용하지 않는 친환경 교통수단이며, 해양을 통과하는 장거리 수송시스템이 되기 위해서는 해저터널이 아닌 경제적인 신 개념의 선로가 필요함
○ 심해의 원유 또는 가스를 운송하기 위한 해양 파이프라인은 건설 및 활용 사례가 풍부하여 관련 기술을 해중 고속철도에 적용할 수 있음
○ 부유식 해중터널은 해양 환경 하에서 동요의 가능성이 있으므로 고속철도의 운행을 위해서는 각종 안전성 확보 기술이 필요함
○ 세계 최고인 우리나라의 조선해양기술과 세계적 수준인 고속철도기술을 접목하여 세계 선도적으로 부유식 해중고속철도 기술을 개발함으로써 세계 일류 철도 기술을 확보하여 세계시장을 선점할 필요가 있음
○ 부유식 해중 고속철도를 건설하기 위해서는 타당성 검증과 함께 필요한 핵심 기술 개발 계획 수립 필요

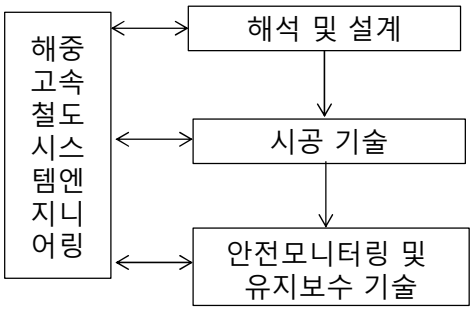
3. 기획 연구의 내용 및 범위

○ 기술개발 동향 및 환경 분석
○ 기술개발 비전 및 목표 수립
○ 연구목표 달성을 위한 추진전략 및 추진체계 수립
○ 연구 수행을 위한 세부 과제 도출
○ 기술개발을 위한 로드맵 제시
○ 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시
○ 인력투입 계획 및 소요예산 산정
○ 연구개발 사전타당성(정책적, 기술적, 경제적 타당성) 조사 수행
○ 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정



4. 세부 과제의 도출

○ 장거리 부유식 해중고속철도시스템의 개발 및 운영을 위해 개념 단계에서부터 시공 및 시운전 단계까지 총괄적으로 전체 시스템을 조합하고 관리·평가하는 시스템엔지니어링 기술과, 해석 및 설계 기술, 시공 기술, 방재 안전 및 유지보수 기술이 필요하며 각 기술은 다음과 같이 정의할 수 있음



○ 해중고속철도시스템 엔지니어링 기술

- 해중고속철도의 개발을 위한 총괄 계획을 수립하고, 일정을 조정하는 시스템엔지니어링 관리 기술
- 해중고속철도시스템에 요구되는 조건을 분석하여 하위시스템에 할당하고, 다양한 변수에 따른 성능 목표를 절충하여 시스템을 설계 조합하며, 설계기준과 사양을 결정하고, 인터페이스 성능을 분석하여 검증함
- 해중고속철도시스템의 성능 및 검증 기준을 정하고 시험 및 계측을 통해 시스템을 평가하고 생애주기의 비용을 검토함
- 해중고속철도시스템과 하위시스템의 RAM(Reliability, Availability, Maintainability) 요구조건과 목표치를 설정하고, RAM 성능을 해석하여 평가하고, RAM 관리계획을 수립하고 성장 관리함
- 해중고속철도시스템의 Hazard를 분석하고 Safety를 평가하여 Safety를 확보할 수 있는 계획을 수립하고 방안을 제시함
- 해중고속철도시스템의 환경조건과 성능을 실제 해역에서 검증할 수 있는 축소 모형을 설계하고 건설하여 시험 평가를 수행함

○ 해중고속철도 해석 및 설계 기술

- 파랑, 해류, 지진, 쓰나미 등의 자연 현상과 충돌, 폭발, 화재 등 사고에 의해 해중고속철도에 가해지는 각종 외력을 평가하고, 외력에 의한 거동을 해석 또는 모형시험을 통해 시뮬레이션할 수 있는 기술을 개발하며, 거동을 제어할 수 있는 기술을 개발함
- 해중터널 구조체, 연결부, 계류장치, 기초 및 지반, 궤도, 해상전력공급, 신호, 정차역 등 해중고속철도시스템의 설계에 필요한 핵심기술을 개발함

○ 해중고속철도 시공 기술

- 해중터널 구조체와 계류장치 및 테더링, 터널 내의 철도인프라 시공을 위한 핵심 기술을 개발함
- 효율적이고 시공 품질을 확보할 수 있는 시공관리 기술 개발

○ 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술

- 해중고속철도의 운영 중 발생하는 충돌 등의 사고를 방지할 수 있는 시스템과 재해를 사전 검지할 수 있는 모니터링 기술, 비상시 대처 및 피난 기술, 재해 발생 시 누수 등을 차단하고 복구할 수 있는 기술 등의 개발

- 해중고속철도의 건전성을 상시적으로 평가하고 진단할 수 있는 기술 개발
- 해중터널 구조체, 계류장치, 철도인프라, 기초 등을 효율적으로 유지보수하고 부품을 교체할 수 있는 기술 개발

< 목 차 >

1장. 기술의 정의 및 필요성 ····· 1
1절. 기술의 정의 ····· 1
1. 장거리 부유식 해중고속철도시스템 기술의 정의 ····· 1
2. 장거리 부유식 해중고속철도시스템 기술의 분류 ····· 1
2절. 기술의 필요성 ····· 3
1. 정책적 필요성 ····· 3
2. 기술적 필요성 ····· 3
3. 경제적 필요성 ····· 4
4. 해중고속철도의 필요성 ····· 8
3절. 기획 추진체계의 구성 ····· 9
1. 기획 추진 체계 ····· 9
2. 기획 추진체계의 구성 ····· 10

2장. 국내외 동향 및 환경분석 ····· 11
1절. 국내외 정책동향 ····· 11
1. 국내 고속철도 정책 동향 및 환경 분석 ····· 11
2. 국외 고속철도 정책 동향 및 환경 분석 ····· 12
3. 국내 해저고속철도 정책 동향 및 환경 분석 ····· 13
4. 국외 해저고속철도 정책 동향 및 환경 분석 ····· 16
5. 국내 타당성분석 동향 ····· 19
6. 국외 타당성분석 동향 ····· 23
2절. 국내외 시장현황 및 전망 ····· 28
1. 국내외 고속철도 경제 및 시장 분석 ····· 28
2. 국내외 해저터널 경제 및 시장 분석 ····· 32
3절. 기술동향분석 ····· 50
1. 국가별 해중철도 기술동향 ····· 50
2. 세부 기술별 동향 ····· 81
3. 3P 분석 ····· 207
4절. 연구개발 인프라 분석 ····· 235
1. 해중고속철도 관련 연구기관 기술 현황 ····· 235
2. 해중고속철도 관련 연구인프라 현황 ····· 236
3. 해중고속철도 관련 해외기관 현황 ····· 244

4. 해중고속철도 관련 전문가 현황 및 활용 분야 ····· 245
5. 해중고속철도 관련 해외전문가 현황 ····· 246

3장. 기술 수요 및 예측 ····· 248
1절. 기술수요조사 및 결과 ····· 248
1. 기술수요조사의 개요 ····· 248
2. 기술수요조사 결과 분석 ····· 249
2절. 기술예측조사 ····· 259
1. 기술예측조사 개요 ····· 259
2. 기술예측조사 명 작성 ····· 262
3. 기술예측조사 결과 ····· 264

4장. 연구개발 비전 및 목표 수립 ····· 302
1절. 환경 분석 ····· 302
1. 외부 환경 분석 ····· 302
2. 내부 환경 분석 ····· 303
2절. SWOT 분석 ····· 304
3절. 비전 및 목표 ····· 305
4절. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표 ····· 306
1. 핵심기술요소(CTE) 식별 ····· 306
2. 핵심기술요소 개발 목표 ····· 309
3. 연차별 기술로드맵 ····· 310
4. 핵심기술요소 평가 방안 ····· 311
5절. 기술개발에 따른 미래상 ····· 311
1. 해중고속철도시스템 기술의 과거·현재·미래 ····· 311
2. 해중고속철도시스템 분야 미래상 ····· 314
3. 해중고속철도 해석 및 설계 분야 미래상 ····· 315
4. 해중고속철도 시공 분야 미래상 ····· 316
5. 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 분야 미래상 ····· 317

5장. 사전 타당성 검토 ····· 318
1절. 사전 타당성 분석 개요 ····· 318
1. 사전 타당성 분석의 기준 ····· 318
2절. 기술적 타당성 분석 ····· 319

1. 기술개발 계획의 적절성 ····· 319
2. 기술수준 및 성공 가능성 ····· 330
3. 기존사업과의 중복성 ····· 335
4. 기술적 타당성 전문가 평가 ····· 338
3절. 경제적 타당성 분석 ····· 339
1. 경제성 분석 ····· 339
2. 과학기술 파급효과 ····· 343
3. 사회·경제적 파급효과 ····· 344
4절. 정책적 타당성 분석 ····· 347
1. 국가전략적 중요성 ····· 347
2. 정책적 일관성을 기준으로 검토한 상위계획과의 부합성 ····· 352

6장. 과제 도출 및 목표 수립 ····· 357
1절. 세부과제의 도출 ····· 357
1. 새로운 철도시스템 개발을 위한 시스템엔지니어링 과정 ····· 357
2. 해중고속철도시스템 기술 개발을 위한 세부과제 ····· 358
2절. 세부과제 우선 순위 ····· 359
1. 세부과제의 기술 수준 조사 ····· 359
2. 해중고속철도시스템엔지니어링 기술개발 주요 내용 ····· 361
3. 해중고속철도 해석 및 설계 기술개발 주요 내용 ····· 365
4. 해중고속철도 시공 기술개발 주요 내용 ····· 372
5. 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술개발 주요 내용 ····· 376
3절. 세부과제 우선순위 도출 ····· 380
1. 세세부과제 내용에 대한 우선 순위 설문 조사 ····· 380

7장. 세부 실행 계획 ····· 383
1절. 세부과제 기술개발 로드맵 ····· 383
1. 해중고속철도 시스템엔지니어링 기술 개발 ····· 383
2. 해중고속철도 해석 및 설계 기술 개발 ····· 392
3. 해중고속철도 시공 기술 개발 ····· 397
4. 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술 개발 ····· 402

8장. 인력투입 계획 및 소요예산 검토 ····· 408
1절. 연구일정에 따른 인력계획 ····· 408

1. 연차별 투입 연구인력 ····· 408
2. 상세 투입 연구인력 ····· 408
2절. 소요예산 산정 ····· 410
1. 예산항목별 소요예산 ····· 410

9장. 과제 제안요구서 작성 ····· 413
1절. 과제 제안요구서(RFP) ····· 413
1. 연구단 제안요구서(RFP) ····· 413
2. 1세부과제 제안요구서(RFP) ····· 417
3. 2세부과제 제안요구서(RFP) ····· 420
4. 3세부과제 제안요구서(RFP) ····· 424
5. 4세부과제 제안요구서(RFP) ····· 428

< 표 목 차 >

표 1.1 제주도 방문객 교통수단 현황 (2010년 기준) 단위 : 명/% ····· 5
표 1.2 제주도 방문 각 수단별 통행량 단위 : 천명 ····· 5
표 1.3 한중간 여객 통행량 단위 : 명 ····· 5
표 1.4 한중간 교역액 ····· 6
표 1.5 한일 간 여객 수송실적 현황(단위: 명) ····· 7

표 2.1 건설 및 운영 중인 해저터널 현황 ····· 19
표 2.2 예비타당성 조사와 타당성 평가 비교 ····· 21
표 2.3 도로투자사업에 따른 편익분석 항목 ····· 22
표 2.4 철도부문 편익 항목 ····· 23
표 2.5 일본의 교통사업 평가항목 ····· 24
표 2.6 영국 WebTAG의 정책방향 및 세부 평가항목 ····· 25
표 2.7 독일의 교통사업평가항목 ····· 27
표 2.8 미국 대중교통투자의 경제적 효과 구분 ····· 28
표 2.9 철도의 수송실적 추이 ····· 29
표 2.10 국가별 철도산업 수출 규모 ····· 30
표 2.11 철도건설기술 경쟁력 ····· 31
표 2.12 해중터널 적용 가능 해협 ····· 36
표 2.13 해중터널 적용 가능 내륙 호수 ····· 36
표 2.14 제주도 방문 각 수단별 통행량 (단위 : 천명) ····· 38
표 2.15 한중간 여객 통행량 단위 : 명 ····· 42
표 2.16 한중간 교역액 ····· 42
표 2.17 한일 간 여객 수송실적 현황(단위: 명) ····· 45
표 2.18 한일 간 화물실적 현황 (단위: 톤) ····· 45
표 2.19 한중 해저터널 공사비 산정 ····· 49
표 2.20 유로터널과 한일 해저터널 공사비 비교 ····· 50
표 2.21 건설 조건 ····· 70
표 2.22 정적해석에 적용된 수직력 ····· 75
표 2.23 Classification into subsystems and subassemblies of the Korea High-Speed Train system. ····· 112
표 2.24 대표적인 해석 모델 (2차원) ····· 130
표 2.25 대표적인 해석 모델 (3차원) ····· 131

표 2.26 해중터널의 충돌에 대한 리스크 분석 결과 ····· 147
표 2.27 Frequency of occurrence of hazardous events ····· 187
표 2.28 Hazard Severlity Level ····· 187
표 2.29 Qualitative risk categories ····· 187
표 2.30 Typical Example of Risk Evaluation and Acceptance ····· 188
표 2.31 위험도 관리의 주요 내용 ····· 188
표 2.32 중작업 ROV ····· 202
표 2.33 심해용 ROV ····· 203
표 2.34 기술분류 기준 ····· 207
표 2.35 특허분석 기준 ····· 208
표 2.36 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수 ····· 208
표 2.37 주요 핵심특허 현황 ····· 217
표 2.38 주요 핵심특허 현황 (터널화재방지분야, US6557374B2) ····· 220
표 2.39 주요 핵심특허 현황 (해중터널시스템분야, US5899635A) ····· 221
표 2.40 논문 분석 기준 ····· 223
표 2.41 기술별 검색 조합식 및 대상논문건수 ····· 223
표 2.42 주요 피인용 논문 현황 ····· 226
표 2.43 3년 內 발표논문 중 피인용수 높은 논문(Hot Paper) 현황 ····· 227

표 3.1 기술수요조사 내용 및 응답 결과 ····· 249
표 3.2 중점분야별/연구수행기관별 기술수요조사 결과 ····· 249
표 3.3 중점분야별 기술분류체계 기술수요조사 제안과제명 매칭 ····· 251
표 3.4 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구개발내용 ····· 255
표 3.5 기술획득방식 조사항목 ····· 260
표 3.6 기술적 실현을 위한 정부시행방안 조사항목 ····· 261
표 3.7 기술수준 조사항목 ····· 261
표 3.8 미래사회 중요도 조사항목 ····· 262
표 3.9 중점분야별 예측기술명 ····· 262
표 3.10 기술적/사회경제적 실현시기 분포결과 ····· 264
표 3.11 시스템 엔지니어링 분야 기술적/사회경제적 실현시기 ····· 266
표 3.12 해석 및 설계 분야 기술적/사회경제적 실현시기 ····· 267
표 3.13 시공 분야 기술적/사회경제적 실현시기 ····· 269
표 3.14 방재안전 및 유지보수 분야 기술적/사회경제적 실현시기 ····· 271
표 3.15 기술획득 방식 및 정부개입의 필요성 ····· 272

표 3.16 시스템 엔지니어링 분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성 ····· 273
표 3.17 해석 및 설계 분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성 ····· 273
표 3.18 시공 분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성 ····· 275
표 3.19 방재안전 및 유지보수 분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성 ····· 276
표 3.20 정부시행방안 결과 ····· 277
표 3.21 시스템 엔지니어링 분야 정부시행방안 결과 ····· 278
표 3.22 해석 및 설계 분야 정부시행방안 결과 ····· 278
표 3.23 시공 분야 정부시행방안 결과 ····· 280
표 3.24 방재안전 및 유지보수 분야 정부시행방안 결과 ····· 281
표 3.25 시스템 엔지니어링 분야 최고기술보유국 ····· 283
표 3.26 해석 및 설계 분야 최고기술보유국 ····· 285
표 3.27 시공 분야 최고기술보유국 ····· 287
표 3.28 방재안전 및 유지보수 분야 최고기술보유국 ····· 288
표 3.29 중점분야별 미래사회의 중요도 ····· 290
표 3.30 시스템 엔지니어링 분야의 미래사회에서의 중요도 ····· 291
표 3.31 해석 및 설계 분야의 미래사회에서의 중요도 ····· 291
표 3.32 시공 분야의 미래사회에서의 중요도 ····· 293
표 3.33 방재안전 및 유지보수분야의 미래사회에서의 중요도 ····· 294

표 5.1 국가연구개발사업 타당성 분석 항목 및 내용 ····· 319
표 5.2 사업의 구성 및 세부 내용 ····· 321
표 5.3 제1세부과제 성과 및 성과지표 ····· 325
표 5.4 제2세부과제 성과 및 성과지표 ····· 326
표 5.5 제3세부과제 성과 및 성과지표 ····· 327
표 5.6 제4세부과제 성과 및 성과지표 ····· 329
표 5.7 중점분야별 미래사회의 중요도 ····· 332
표 5.8 기술개발 기대수준 전문가 설문 조사 ····· 333
표 5.9 해저터널 기술개발 세부과제 ····· 336
표 5.10 해저터널과 해중고속철도의 차이 ····· 337
표 5.11 기술적 타당성 분석 평가 항목 ····· 338
표 5.12 기술적 타당성 분석 전문가 평가 결과 ····· 339
표 5.13 R&D 사업 편익 추정방법 분류 ····· 340
표 5.14 해저고속철도 건설비 ····· 340
표 5.15 해중고속철도 건설 단가 ····· 341

표 5.16 호남-제주 해중고속철도 건설비 ····· 341
표 5.17 고속철도 건설비 비교 ····· 342
표 5.18 생산유발효과(철도시설부문) (억원) ····· 346
표 5.19 임금유발효과(철도시설부문) (억원) ····· 346
표 5.20 임금유발효과(철도시설부문) (단위:인) ····· 347
표 5.21 지역경제 파급효과 ····· 347
표 5.22 프로젝트별 고속철도 건설비 비교 ····· 349
표 5.23 해중터널 적용가능 해협 ····· 349
표 5.24 해중터널 적용가능 호수 ····· 350
표 5.25 국내 철도기술수준(단위: %) ····· 351

표 6.1 기술개발 기대수준 전문가 설문 조사 ····· 360
표 6.2 시스템 엔지니어링 분야 요소 기술 수준 ····· 361
표 6.3 해석 및 설계 분야 요소기술 수준 ····· 366
표 6.4 시공 분야 요소기술 수준 ····· 372
표 6.5 방재안전 및 유지보수 분야 요소기술 수준 ····· 376

표 7.1 제1세부과제 성과 및 성과지표 ····· 387
표 7.2 제1세부과제 연차별 성과물 ····· 388
표 7.3 실증시험 후보지 조건 ····· 389
표 7.4 제2세부과제 성과 및 성과지표 ····· 394
표 7.5 제2세부과제 연차별 성과물 ····· 395
표 7.6 제3세부과제 성과 및 성과지표 ····· 399
표 7.7 제3세부과제 연차별 성과물 ····· 401
표 7.8 제4세부과제 성과 및 성과지표 ····· 405
표 7.9 제4세부과제 연차별 성과물 ····· 406

< 그 림 목 차 >

그림 1.1 전문가 위원회의 구성도 ····· 10

그림 2.1 국내 고속철도의 역할 증대 ····· 12
그림 2.2 세계 고속철도 노선 연장 추이 및 전망 ····· 12
그림 2.3 호남-제주 해저고속철도 구상 ····· 14
그림 2.4 동북아 고속철도망 연결 기본구상 ····· 15
그림 2.5 한일 해저터널 노선대안 ····· 16
그림 2.6 투자평가제도 Flow Chart ····· 20
그림 2.7 투자평가 수행체계 ····· 20
그림 2.8 예비타당성조사 수행과정 ····· 22
그림 2.9 세계 철도시장 규모(건설교통기술 글로벌 동향, 2011) ····· 32
그림 2.10 세계 철도시장 전망(건설교통기술 글로벌 동향, 2011) ····· 32
그림 2.11 대형 해상연결 프로젝트 후보지 ····· 33
그림 2.12 Gibraltar 해엽의 횡단계획 ····· 33
그림 2.13 Bering 해엽의 횡단계획 ····· 34
그림 2.14 유럽의 수중교량 건설 후보지 ····· 34
그림 2.15 일본의 수중교량 가능 후보지 ····· 35
그림 2.16 북미와 뉴질랜드의 수중교량 가능 후보지 ····· 35
그림 2.17 제주 관광객 및 관광수입 추이 ····· 37
그림 2.18 목포-제주 해상연결 구상안 ····· 38
그림 2.19 호남-제주 노선 ····· 39
그림 2.20 호남-제주 노선1 상세 ····· 39
그림 2.21 호남-제주 노선1 수심 ····· 39
그림 2.22 호남-제주 노선2 상세 ····· 40
그림 2.23 호남-제주 노선2 수심 ····· 40
그림 2.24 호남-제주 노선3 상세 ····· 40
그림 2.25 호남-제주 노선3 수심 ····· 41
그림 2.26 한국의 대외교역 및 대중국 교역추이(2000년=100) ····· 41
그림 2.27 한중해저터널 노선 ····· 43
그림 2.28 한중노선 상세 ····· 43
그림 2.29 한중노선 수심 ····· 44
그림 2.30 한일 노선1 상세 ····· 47

그림 2.31 한일 노선1 수심 ····· 47
그림 2.32 한일 노선2 상세 ····· 47
그림 2.33 한일 노선3 수심 ····· 48
그림 2.34 한일 노선4 수심 ····· 48
그림 2.35 노르웨이 해안고속도로 ····· 51
그림 2.36 부유식 폰툰 ····· 54
그림 2.37 폰툰에 고정시킨 해중터널 (Ill: Reinertsen/Olav Olsen) ····· 54
그림 2.38 1st proposed SFT with pontoons ····· 55
그림 2.39 테더링 해중터널 원리 ····· 56
그림 2.40 노르웨이 건설사 들이 제안한 4가지의 Hogs 피오르드횡단 SFT ····· 57
그림 2.41 Stor 피요르드와 횡단방안 ····· 58
그림 2.42 Messina해엽, Messina 해엽 횡단 현수교, Alan Grant에 의해서 제안된 SFT ····· 59
그림 2.43 Ponte di Archimede사에 의해서 제안된 Messina 해엽 횡단용 Archimedes bridge 개념도와 2차로 제안된 핀연결 앵커링 형식 ····· 59
그림 2.44 ATI-SSST사에 의해서 제안된 Messina 해엽 횡단용 SFT ····· 60
그림 2.45 Messina해엽 횡단을 위해 ENI콘소시엄이 제안한 보강형단면과 전체 프로파일 ····· 60
그림 2.46 ENI에 의해서 제안된 지진을 위한 해안과 연결부 설계 ····· 61
그림 2.47 Messina 해엽 횡단안으로 SirProgetti사에 의해서 제안된 SFT ····· 61
그림 2.48 해중터널의 적합성 ····· 62
그림 2.49 해중터널의 주요설계인자 ····· 62
그림 2.50 Slack/Snap 현상 ····· 62
그림 2.51 Funka Bay 위치 ····· 63
그림 2.52 Funka Bay 해중터널의 단면 ····· 63
그림 2.53 Daikokujima 해중터널 단면도 ····· 63
그림 2.54 Daikokujima 해중터널 개념도 ····· 63
그림 2.55 Oinaoshi 해중터널 단면도 및 개념도 ····· 64
그림 2.56 Jintang 섬과 부속도서 연결을 위한 SFT ····· 65
그림 2.57 Jintang 섬과 부속도서 연결을 위한 SFT ····· 66
그림 2.58 Huang Pu 강의 보도용 수중터널 종단 설계안 ····· 67
그림 2.59 Huang Pu강의 AB 단면형상(콘크리트, 강, 알루미늄 합성) ····· 68
그림 2.60 Quiandao 전경과 Resort 위치 ····· 69

그림 2.61 중국내 SFT 테스트베드 후보지 ····· 70
그림 2.62 테스트 베드의 하저형상과 지반조건 ····· 71
그림 2.63 Quiandao SFT의 테더링의 개념과 기초 ····· 71
그림 2.64 Quiandao SFT의 보강형 단면 구성 ····· 72
그림 2.65 FSW(Friction Stir Welding, 마찰교반용접)를 이용한 연결 ····· 73
그림 2.66 Quiandao SFT의 강재-콘크리트 전단연결재의 설치 ····· 73
그림 2.67 테스트베드의 종방향 보강형 세그먼트와 테더링 배치도 ····· 74
그림 2.68 케이블 배치도 ····· 74
그림 2.69 정적해석을 위한 SFT 수치모델 ····· 75
그림 2.70 정/동적 해석에 의한 보강형의 변위 ····· 76
그림 2.71 정/동적 해석에 의한 보강형의 휨모멘트 ····· 76
그림 2.72 정/동적 해석에 의한 케이블의 인장력 ····· 77
그림 2.73 보강형과 케이블 연결을 위한 고정장치의 상세설계 ····· 78
그림 2.74 인도네시아 Seribu군도 부근 Pangang섬 일대 SFT 계획 ····· 79
그림 2.75 Pangang-Pramuka 연결 SFT의 제안 단면들 ····· 80
그림 2.76 Pangang-Pramuka 연결 SFT의 침매터널, 수중터널의 단면과 종단구성 ····· 81
그림 2.77 Proposed submerged floating tunnel with pontoon ····· 97
그림 2.78 Principles of submerged floating tunnel with tethers ····· 97
그림 2.79 Submerged Floating Tunnel의 주요 형식 ····· 106
그림 2.80 파이프라인 본체 설계 흐름 ····· 109
그림 2.81 Cost trend curves of crossings ····· 110
그림 2.82 고속철도 신뢰성 관리 과정 ····· 111
그림 2.83 Reliability block diagram of the electric power production and distribution system. ····· 113
그림 2.84 RAMS life cycle ····· 114
그림 2.85 수중 부유식 터널 구성품 고장 확률을 표시하기 위한 Fault Tree ····· 117
그림 2.86 수평 및 연직 파력 ····· 120
그림 2.87 불규칙파 생성 ····· 120
그림 2.88 Morison 방정식에 의한 파력 ····· 120
그림 2.89 산정방법에 따른 파력 비교 ····· 121
그림 2.90 훈카만 해중터널 설치도 ····· 121
그림 2.91 해석 모형 ····· 121

그림 2.92 파랑에 의한 수평 최대변위 ····· 122
그림 2.93 지진에 의한 최대 가속도 ····· 122
그림 2.94 해석 해중터널 ····· 123
그림 2.95 진동 모드 ····· 124
그림 2.96 해석 결과 ····· 124
그림 2.97 LS-DYNA 충돌 모델링 ····· 125
그림 2.98 해중철도 구조물에 작용하는 주요하중 ····· 126
그림 2.99 지진에 의한 SFT 중앙부 응답 ····· 127
그림 2.100 Seaquake에 의한 터널 가속도 응답 및 계류삭 장력 ····· 128
그림 2.101 해중 고속철도와 잠수함의 충돌 ····· 139
그림 2.102 충돌 수치해석 모델 ····· 140
그림 2.103 충돌 간략화 모델 ····· 140
그림 2.104 텐션레그 형상(A,B,C 타입) ····· 140
그림 2.105 듀얼 SFT의 Tethering 방법, 듀얼 A,B,C 타입 ····· 141
그림 2.106 SFT's developed in the Hø gsfjord-project ····· 142
그림 2.107 부유식 트윈 시스템과 횡방향 텐던 고정 시스템 ····· 143
그림 2.108 위험도 순위 ····· 143
그림 2.109 해중 철도 SFT by 한국철도기술연구원 ····· 144
그림 2.110 한국해양과학기술원의 SFT 단면 ····· 144
그림 2.111 한국해양과학기술원의 SFT tethering 방법에 따른 특성 평가 ····· 145
그림 2.112 해중터널의 설계 및 환경 리스크 ····· 146
그림 2.113 선박 운항 횟수 모델링 ····· 146
그림 2.114 선박 인적요인 사고확률 모델 ····· 146
그림 2.115 해중터널 폰툰의 각 부위별 충돌확률 ····· 147
그림 2.116 단면 형상 ····· 148
그림 2.117 단면배근도 ····· 148
그림 2.118 SFT 단면 형상(좌), 알루미늄 보강재의 형상(우) ····· 149
그림 2.119 싱글과 트윈 단면 ····· 149
그림 2.120 Messina Strait crossing을 위한 SFT ····· 150
그림 2.121 Strait of Akashi를 횡단하기 위한 SFT ····· 150
그림 2.122 (a)A. Grant; (b)Archimedes Inc.; (c)Norway Hø gsfjord; (d)North Japan exchange axis; (e)Jintang Channel program; (f)Lake Washington(2001) ····· 151

그림 2.123 (a)Simple cross-section proposed for Hø gsfjord; (b)Cross-section with separate escape tunnel ····· 151
그림 2.124 SFT의 외부에 탈출가능한 공간 제시 ····· 152
그림 2.125 대만해협을 위한 SFT 개념 ····· 152
그림 2.126 부유식 SFT (좌) 듀얼 SFT (우) 단면 상세 ····· 153
그림 2.127 부유식 SFT의 구성도 by Bernt Jakobsen et al(2013) ····· 154
그림 2.128 1st proposed SFT with pontoons by Bernt Jakobsen et al ····· 154
그림 2.129 2nd proposed SFT with pontoons by Bernt Jakobsen et al ····· 155
그림 2.130 사각 박스형 듀얼 SFT by Odd M. Eidsheim et al(2013) ····· 155
그림 2.131 Sognefjord SFT by Anette Fjeld et al(2013) ····· 156
그림 2.132 cross section type of Sognefjord SFT by Anette Fjeld et al ····· 156
그림 2.133 연속이음매 구조의 예 ····· 157
그림 2.134 내부 모듈 접합부 상세 ····· 157
그림 2.135 (a) Rigid joint design, (b) flexible joint design ····· 158
그림 2.136 HUTTON TLP (CONOCO) ····· 158
그림 2.137 JOLLIET TLP (CONOCO) ····· 158
그림 2.138 GVA15,000TLP ····· 159
그림 2.139 BERGA SALM(ESSON) ····· 159
그림 2.140 (a)앵커 장치 형상, (b)앵커링 접합부 상세 형상, (c)외부를 볼 수 있는 장치의 구성 ····· 159
그림 2.141 (a) Tether system (b) Top connecter (c) Bottom connector ····· 160
그림 2.142 텐션레그와 본체의 연결 방법 ····· 161
그림 2.143 중력베이스 앵커리지 ····· 161
그림 2.144 Qiandao 지반조사 결과 ····· 162
그림 2.145 Qiandao의 인장파일 개념도 ····· 162
그림 2.146 송네피요르의 전체 앵커링 시스템 ····· 162
그림 2.147 송네피요르 폰툰 기초 ····· 162
그림 2.148 Funka bay 해중터널 환기탑 ····· 163
그림 2.149 철도차량의 전도방지 구조 ····· 164
그림 2.150 탈선시 주행장치 ····· 164
그림 2.151 강풍에 의한 교량의 열차전복 방지장치 ····· 165
그림 2.152 부산-거제 침매터널 함체구성 및 함체단면 ····· 166
그림 2.153 침매터널의 조인트 ····· 166
그림 2.154 함체의 시공 ····· 167

그림 2.155 함체의 접합 ····· 168
그림 2.156 침매터널 함체의 제작 방식 ····· 170
그림 2.157 콘크리트 함체의 제작 방식 비율 ····· 170
그림 2.158 함체의 시공 공법 ····· 171
그림 2.159 침매터널 함체의 침설공법 비율 ····· 171
그림 2.160 침매터널 함체 침설공법의 년도별 변화 ····· 172
그림 2.161 침매터널 함체 접합기술 ····· 172
그림 2.162 침매터널 함체 접합공법의 비율 ····· 173
그림 2.163 년도별 침매터널 함체 접합공법의 변화 ····· 173
그림 2.164 파일 항타 ····· 175
그림 2.165 석션 앵커 시공 ····· 176
그림 2.166 석션 앵커 ····· 176
그림 2.167 석션 앵커의 원리 ····· 176
그림 2.168 기존방식 급전계통 구성도 ····· 177
그림 2.169 해상변전소 ····· 177
그림 2.170 컨버터변전소를 활용한 급전시스템 ····· 179
그림 2.171 컨버터 전철변전소 및 급전시스템 구조 ····· 179
그림 2.172 급전시스템의 구조 ····· 180
그림 2.173 FDS modeling of subway station (Fire Location) ····· 185
그림 2.174 대심도 승강장 화재시 제연 모드 ····· 185
그림 2.175 지하철 화재 사고시 승객피난 시뮬레이션 ····· 186
그림 2.176 위험도 관리의 흐름 ····· 189
그림 2.177 위험도 분석 절차 ····· 190
그림 2.178 쮜리히 지하역사와 스위스 도시간철도(IC) 차량 ····· 193
그림 2.179 터널과 역사의 구조적 배연설계 ····· 193
그림 2.180 선로 천장에 설치된 비상배연설비 ····· 194
그림 2.181 그림 지상으로 연결된 배연관 (광고가 그려진 3개의 기둥) ····· 194
그림 2.182 세이칸(青函) 터널의 종단면도 ····· 195
그림 2.183 일본 세이칸 터널 단면 및 종단도 ····· 195
그림 2.184 긴급 구난역(정점 시설) ····· 196
그림 2.185 긴급 구난역 내의 설비 ····· 196
그림 2.186 세이칸 터널 모형(요시오까 긴급 구난역 모형) ····· 196
그림 2.187 본선에서의 연결 유도로(서비스 터널) ····· 197
그림 2.188 배연을 위한 송풍기실 위치도 ····· 197

그림 2.189 일본 세이칸 터널 비상 환기 대책 ····· 197
그림 2.190 피난역에서 차량하부 및 터널 측부에 설치된 스프링클러 ····· 198
그림 2.191 궤도 측벽 바닥쪽 스프링클러 ····· 198
그림 2.192 전기방식 시스템의 종류 ····· 205
그림 2.193 콘크리트 내염 능력 향상 ····· 206
그림 2.194 출원년도 및 국가별 출원추이 ····· 210
그림 2.195 세부기술별 특허출원동향 ····· 210
그림 2.196 주요 출원인 동향 ····· 211
그림 2.197 연도별 주요 출원인 동향 ····· 212
그림 2.198 국가별 기술분포(방사형) ····· 213
그림 2.199 기술별/국가별 기술분포(버블형) ····· 213
그림 2.200 국가별 출원건수 및 시장확보지수 ····· 214
그림 2.201 국가별 인용도지수 ····· 214
그림 2.202 국가별 영향력지수 및 기술력지수 ····· 215
그림 2.203 특허 등고선 맵 ····· 216
그림 2.204 세부기술별 특허 등고선 맵 ····· 216
그림 2.205 기술분류별 기슬흐름도 (터널화재방지분야) ····· 218
그림 2.206 기술분류별 기슬흐름도 (해중터널시스템분야) ····· 218
그림 2.207 핵심특허(US6974928B2) 평가결과 ····· 222
그림 2.208 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널 ····· 224
그림 2.209 논문 발표 주요 국가 ····· 225
그림 2.210 논문 발표 주요 저자 ····· 225
그림 2.211 논문 발표 주요 연구기관 ····· 225
그림 2.212 핵심논문 발표현황 ····· 227
그림 2.213 거가대교 해저 침매터널 (3.7km) ····· 228
그림 2.214 영국-프랑스 유로터널 ····· 229
그림 2.215 일본 세이칸 해저터널 ····· 229
그림 2.216 부유식 해저터널 구상도 (캐나다 밴쿠버-빅토리아섬) ····· 230
그림 2.217 몰디브 플로팅 아일랜드 (3.7km) ····· 231
그림 2.218 플로팅 크루즈 터미널 및 플로팅 모스크 건설 개념도 ····· 231
그림 2.219 특허기술 연계 기술발전 추이 ····· 232
그림 2.220 논문 발표 연계 기술발전 추이 ····· 233

그림 3.1 기술수요조사 프로세스 ····· 248

그림 3.2 기관별 기술수요조사 제안과제 결과 ····· 250
그림 3.3 중점분야별 기술수요조사 제안과제 결과 ····· 250
그림 3.4 기술예측조사 프로세스 ····· 259
그림 3.5 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포 ····· 265
그림 3.6 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포 ····· 265
그림 3.7 시스템 엔지니어링 분야 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포 ····· 266
그림 3.8 시스템 엔지니어링 분야 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포 ····· 266
그림 3.9 해석 및 설계 분야 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포 ····· 267
그림 3.10 해석 및 설계 분야 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포 ····· 267
그림 3.11 시공분야 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포 ····· 269
그림 3.12 시공분야 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포 ····· 269
그림 3.13 방재안전 및 유지보수 분야 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포 ····· 270
그림 3.14 방재안전 및 유지보수 분야 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포 ····· 271
그림 3.15 최고기술보유국 현황 ····· 282
그림 3.16 중점분야별 기술수준 ····· 283
그림 3.17 시스템 엔지니어링 분야 기술수준 ····· 283
그림 3.18 해석 및 설계 분야 기술수준 ····· 284
그림 3.19 시공 분야 기술수준 ····· 287
그림 3.20 방재안전 및 유지보수 분야 기술수준 ····· 288
그림 3.21 기술수준-중요도 포트폴리오 ····· 295
그림 3.22 중점분야별 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과 ····· 296
그림 3.23 시스템 엔지니어링 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과 ····· 297
그림 3.24 해석 및 설계 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과 ····· 298
그림 3.25 시공 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과 ····· 299
그림 3.26 방재안전 및 유지보수 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과 ····· 300

그림 5.1 국가연구개발사업 예비타당성 항목 및 절차 ····· 318
그림 5.2 사업의 비전 및 목표 ····· 320

그림 5.3 사업추진체계 ····· 324
그림 5.4 최고기술보유국 현황 ····· 330
그림 5.5 중점분야별 기술수준 ····· 331
그림 5.6 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포 ····· 332
그림 5.7 동북아 고속철도망 연결 기본구상 ····· 348
그림 5.8 해중터널분야 최고기술국(100%) 대비 국내기술수준(‘13) ····· 351
그림 5.9 해중고속철도 기술예측조사 결과 ····· 352
그림 5.10 국가/부처 상위유관계획과 부합성 ····· 354
그림 5.11 국가/부처 중장기 R&D 계획과의 부합성 ····· 355
그림 5.12「건설교통기술 R&D 중장기계획(‘12)」중 ‘해양 횡단 기술’ 전략프로젝트 로드맵 ····· 356

그림 6.1 시스템엔지니어링 수명주기 ····· 357
그림 6.2 시스템엔지니어링 과정 ····· 358
그림 6.3 설계 단계의 시스템엔지니어링 프로세스 ····· 358
그림 6.4 중점분야별 기술수준 ····· 360
그림 6.5 시스템 엔지니어링 분야 기술수준 ····· 361
그림 6.6 기술수준-중요도 포트폴리오 ····· 363
그림 6.7 해석 및 설계 분야 기술수준 ····· 367
그림 6.8 시공 분야 기술수준 ····· 373
그림 6.9 방재안전 및 유지보수 분야 기술수준 ····· 377

그림 7.1 모듈 연결부 ····· 384
그림 7.2 연결부 방수구조 ····· 384
그림 7.3 구조체와 궤도 인터페이스 ····· 385
그림 7.4 탈선 방지 궤도 ····· 385
그림 7.5 실증시험용 축소모형 후보지 ····· 389
그림 7.6 축소 모형 조감도 ····· 390
그림 7.7 축소모형 측면도 ····· 390
그림 7.8 중력식 기초 ····· 390
그림 7.9 파일식 기초 ····· 390
그림 7.10 축소모형 단면 ····· 390
그림 7.11 축소모형 진출입구 ····· 390
그림 7.12 수중 운항체 충돌 ····· 403

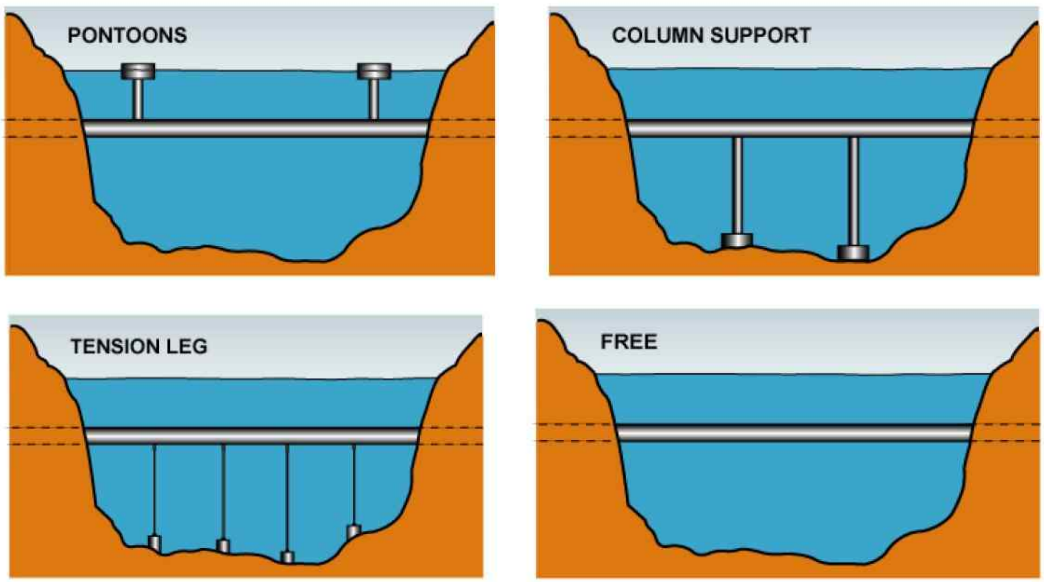
그림 7.13 주요 항로하 구조체 보호케이블 ····· 403
그림 7.14 수중작업로봇 ····· 404
그림 7.15 유지보수를 위한 수중용접 ····· 404

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의

1. 장거리 부유식 해중고속철도시스템 기술의 정의

○ 부력으로 지지되는 물속을 통과하는 폐쇄된 터널내에 고속열차가 운행하는 교통시스템
○ 지지 방식에 따라 Pontoon형, column Support형, Tension Leg형, Free형으로 분류
- 부력과 중력의 차이를 지지장치의 지지력으로 균형을 이룸
- 해수면의 파도나 바람의 영향이 해저로 갈수록 급격히 감소하는 현상을 이용하여 안정적인 위치 확보가 가능
- 육상 제작후 해상에서 연결 가능



2. 장거리 부유식 해중고속철도시스템 기술의 분류

○ 장거리 부유식 해중고속철도시스템의 개발 및 운영을 위해 개념 단계에서부터 시공 및 시운전 단계까지 총괄적으로 전체 시스템을 조합하고 관리·평가하는 시스템엔지니어링 기술과, 해석 및 설계 기술, 시공 기술, 방재 안전 및 유지보수 기술이 필요하며 각 기술은 다음과 같이 정의할 수 있음

가. 해중고속철도시스템 엔지니어링 기술

○ 해중고속철도의 개발을 위한 총괄 계획을 수립하고, 일정을 조정하는 시스템엔지니어링 관리 기술
○ 해중고속철도시스템에 요구되는 조건을 분석하여 하위시스템에 할당하고, 다양한 변수에 따른 성능 목표를 절충하여 시스템을 설계 조합하며, 설계기준과 사양을 결정하고, 인터페이스 성능을 분석하여 검증함
○ 해중고속철도시스템의 성능 및 검증 기준을 정하고 시험 및 계측을 통해 시스템을 평가하고 생애주기의 비용을 검토함
○ 해중고속철도시스템과 하위시스템의 RAM(Reliability, Availability, Maintainability) 요구조건과 목표치를 설정하고, RAM 성능을 해석하여 평가하고, RAM 관리계획을 수립하고 성장 관리함
○ 해중고속철도시스템의 Hazard를 분석하고 Safety를 평가하여 Safety를 확보할 수 있는 계획을 수립하고 방안을 제시함
○ 해중고속철도시스템의 환경조건과 성능을 실제 해역에서 검증할 수 있는 축소 모형을 설계하고 건설하여 시험 평가를 수행함

나. 해중고속철도 해석 및 설계 기술

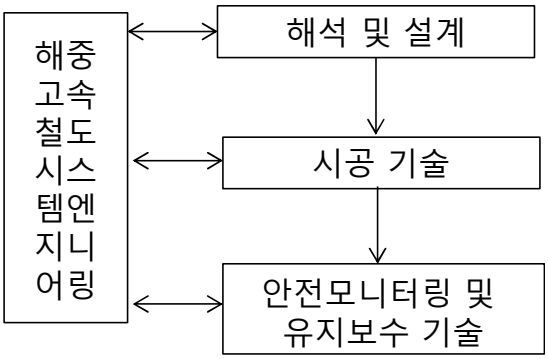
○ 파랑, 해류, 지진, 쓰나미 등의 자연 현상과 충돌, 폭발, 화재 등 사고에 의해 해중고속철도에 가해지는 각종 외력을 평가하고, 외력에 의한 거동을 해석 또는 모형시험을 통해 시뮬레이션할 수 있는 기술을 개발하며, 거동을 제어할 수 있는 기술을 개발함
○ 해중터널 구조체, 연결부, 계류장치, 기초 및 지반, 궤도, 해상전력공급, 신호, 정차역 등 해중고속철도시스템의 설계에 필요한 핵심기술을 개발함

다. 해중고속철도 시공 기술

○ 해중터널 구조체와 계류장치 및 테더링, 터널 내의 철도인프라 시공을 위한 핵심 기술을 개발함
○ 효율적이고 시공 품질을 확보할 수 있는 시공관리 기술 개발

라. 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술

○ 해중고속철도의 운영 중 발생하는 충돌 등의 사고를 방지할 수 있는 시스템과 재해를 사전 검지할 수 있는 모니터링 기술, 비상시 대처 및 피난 기술, 재해 발생 시 누수 등을 차단하고 복구할 수 있는 기술 등의 개발
○ 해중고속철도의 건전성을 상시적으로 평가하고 진단할 수 있는 기술 개발
○ 해중터널 구조체, 계류장치, 철도인프라, 기초 등을 효율적으로 유지보수하고 부품을 교체할 수 있는 기술 개발



2절. 기술의 필요성

1. 정책적 필요성

- 호남-제주 구간의 해저고속철도에 대한 지역 주민들의 요구가 지속적으로 제기되고 있고, 한·일, 한·중 해저고속철도에 대한 필요성이 일본과 중국에서 끊임없이 제기되고 있어 정책적인 판단이 필요하나, 경제성 부족으로 건설 착수가 곤란한 상황임
- 해저고속철도의 경제성을 획기적으로 높일 수 있는 해중고속철도 기술은 정부 사회간접자본 투자 정책의 실효성과 효율성을 높일 수 있는 국가적 현안 해결용 기술이라 할 수 있음
- 해중고속철도는 세계적으로 실현된 사례가 없는 신개념의 교통시스템으로서 건설 시 파급효과가 크지만 개발 성공에 대한 위험부담이 크고, 실용화까지는 상당한 시일이 소요되므로 민간에서 개발을 담당하고 정부가 정책적으로 추진해야 하는 사업임
- 해양기술과 철도기술이 융복합된 해중고속철도 기술은 새로운 시장을 창출하고 선점할 수 있는 창조경제를 구현할 수 있는 아이템으로서 현 정부의 국정지표와 일치하는 R&D 사업이 될 수 있음
- 장거리 대륙연결용 해중고속철도 기술은 화석연료를 사용하는 항공기를 온실가스 저감이 없는 전기에너지를 사용하는 철도로 대체 할 수 있게 해주므로, 환경 보전 차원에서 정책적으로 개발을 추진해야 함
- 해양수산부 뿐만 아니라 산업통상자원부에서는 해양플랜트 기술을 100대 전략기술로 선정하여 개발을 적극적으로 지원하고 있는 바, 해중고속철도 기술은 대형 해양구조물 기술, 계류시스템 기술, 해저 기초기술, 해상 시공 기술 등 해양플랜트와 공유할 수 있는 기술이 대부분이므로 국가 정책의 시너지 효과를 얻을 수 있는 기술임

2. 기술적 필요성

○ 기존의 해양플랜트 기술과 해양 토목기술을 해중터널에 상당 부분 적용할 수 있으나, 전 세계적으로 건설된 사례가 없어 기존 기술의 적용에 대한 검증이 필요하고 테스트 베드 구축 등을 통해 경험을 축적할 필요가 있음
○ 해중고속철도는 기존 해양플랜트와는 달리 장거리 대중 교통수단인 바, 승객들의 안전을 최우선 순위에 두어야 하나, 안전성에 대한 기준과 확보 대책이 마련되어 있지 않으므로 연구개발을 통해 기준과 대책을 제시하고, 안전성을 향상시켜야 함
○ 토목, 조선, 해양, 기계 등의 다학제 간에 걸친 기술공유와 협업 그리고 산업계, 학계 및 연구소에 의한 공동 연구가 이루어져야 함
○ 해중고속철도를 이용한 장경간 해상교통로 확보를 위한 해중터널 건설이 실현되기 위해서는 경제성과 안전성의 확보가 우선되어야 하며 이를 위해서는 시공기술이 뒷받침 되어야 가능함
○ 해중고속철도 시스템은 세계적으로 최초로 개발되는 건설공법으로서 기존의 기술을 복합적으로 활용하고 새로운 재료와 공법을 도입한 기술향상을 통해서 실현이 가능함
○ 해상 또는 해중 구조물 건설에 기존의 기술을 적용하는 것이 불가능한 것은 아니나, 건설비용이 과다하여 현실적이지 못하므로 경제적이면서 안전한 해중구조물의 시공기술 개발이 사업의 실현을 위해서 필수적임
○ 해저터널은 장거리가 될수록 버럭처리 등의 문제로 비용이 가파르게 증가하는 어려움이 있고 공사중에 누수등 사고 위험이 높은 문제가 있으며, 수심이 깊어질수록 시공의 한계가 있음
○ 해중고속철도는 육상에서 모듈형으로 제작하여 해상에서 조립한 후에 정해진 수심에 설치할 수 있으므로 공사기간과 비용이 대폭 감소될 수 있는 장점이 있음
○ 세계적으로 실현 사례가 없고, 축적된 경험이 부족한 기술이므로 그 동안 해양플랜트나 장경간 교량 등에서 축적된 기술을 바탕으로 이론적인 해석과 시뮬레이션, 축소 모형에 의한 검증 과정을 통해 성능과 안전성을 검증하고 평가하여야 함
○ 부유식 해중터널은 해양 환경 하에서 파도, 지진, 폭발, 충돌 등 다양한 비상상황에 따라 과도한 동요의 가능성이 있으므로 고속철도의 운행을 위해서는 각종 안전성 확보 기술이 필요함
○ 해저터널 굴착의 경우 장거리가 될수록 버럭 처리를 위해 기간과 비용이 막대하게 증가하므로 터널 굴척을 피할 수 있는 새로운 공법이 필요함

3. 경제적 필요성

○ 제주도를 찾는 방문객이 지속적으로 증가하여 연간 1,000만명을 상회하고 있음

표 1.1 제주도 방문객 교통수단 현황 (2010년 기준) 단위 : 명/%

구 분		운항(편수)			탑승인원(명)			
		도착	출발	합 계	도착	출발	합 계	비율
공 항	김포↔제주	29,302	29,297	58,599	4,646,810	4,612,362	9,259,172	90.6
여객선	목포↔제주	-	-	-	-	-	635,100	6.2
	완도↔제주	-	-	-	-	-	323,007	3.2
합 계							10,217,279	100

○ 호남-제주 구간의 고속철도로 연결 수요가 증가되고 있으며, 고속철도로 연결되는 경우 승객 점유율은 지속적으로 증가할 것으로 예상됨

표 1.2 제주도 방문 각 수단별 통행량 단위 : 천명

구 분		미시행			시행시			
		비행기	여객선	합 계	비행기	여객선	KTX	합계
통행량	2016	11,525	1,316	12,841	4,013	458	8,369	12,841
	2026	16,227	2,135	18,363	6,274	825	11,262	18,363
	2036	22,847	3,465	26,313	11,164	1,693	13,455	26,313

○ 한중 구간의 물동량이 지속적으로 증가하고 있으므로, 효율적 운송 대책이 필요함

표 1.3 한중간 여객 통행량 단위 : 명

구 분	항 공 [1]		항 만 [2]	
	한국 → 중국	중국 → 한국	한국 → 중국	중국 → 한국
2002	2,494,810	2,517,368	410,861	589,139
2003	2,215,186	2,192,436	448,340	551,660
2004	3,115,739	3,105,628	453,959	546,041
2005	3,858,573	3,826,865	410,205	617,088
2006	4,227,754	4,252,096	543,736	633,074
2007	5,200,379	5,257,206	517,932	586,719
2008	4,505,661	4,539,773	539,691	557,101
2009	3,998,766	3,983,102	558,044	583,149
2010	5,149,365	5,171,652	731,700	754,038
2011	5,531,385	5,574,904	738,724	761,276

자료 : 1) 한국공항공사, 2) 국토해양부

○ 한중간 교역 활성화를 통한 경제 성장을 위해 기후적인 조건에도 크게 좌우되지 않고 빠르고 안전하게 운행할 수 있는 교통 인프라가 필요함

표 1.4 한중간 교역액

구 분	한중간 교역액(백만달러)		한중간 교역량(천톤)	
	한국 → 중국	중국 → 한국	한국 → 중국	중국 → 한국
2002	23,754	16,575	22,891	52,892
2003	35,110	21,909	28,583	60,477
2004	49,763	29,585	31,346	52,822
2005	61,915	38,648	31,414	56,898
2006	69,459	48,557	36,375	56,180
2007	81,985	63,027	33,404	63,190
2008	91,389	76,930	34,442	57,481
2009	86,703	54,246	37,844	36,688
2010	116,838	71,574	36,926	39,680

자료 : 국토해양부 통계자료자료

○ 한일 구간의 물동량이 지속적으로 증가하고 있으므로, 항공과 해운 뿐만 아니라 정시성과 안전성, 친환경성, 경제성이 뛰어난 육상 교통수단인 고속철도를 이용하여 물동량을 수송할 필요가 있음

표 1.5 한일 간 여객 수송실적 현황(단위: 명)

구분	항공			해운	총 합계
	항공입국	항공출국	항공 계	해운 계	
1991			5,085,819		5,085,819
1992			5,106,194		5,106,194
1993			5,356,483		5,356,483
1994			5,640,871		5,640,871
1995			5,643,300		5,643,300
1996	2,805,281	2,818,196	5,623,477	271,743	5,895,220
1997	2,382,321	2,428,953	4,811,274	304,778	5,116,052
1998	3,033,636	3,096,986	6,130,622	288,889	6,419,511
1999	3,402,458	3,465,370	6,867,828	417,417	7,285,245
2000	3,719,482	3,730,436	7,449,918	531,286	7,981,204
2001	3,664,187	3,715,832	7,380,019	571,595	7,951,614
2002	3,821,621	3,875,519	7,697,140	732,801	8,411,941
2003	3,423,631	3,449,369	6,873,000	811,165	7,684,165
2004	4,100,293	4,110,111	8,210,404	1,005,424	9,215,828
2005	4,282,395	4,309,739	8,592,134	1,028,333	9,620,467
2006	4,545,091	4,591,827	9,136,918	1,151,560	10,288,478
2007	4,769,759	4,810,986	9,580,745	1,391,600	10,972,345
2008	4,714,474	4,755,793	9,470,267	1,429,779	10,900,046

자료 : - 항공: 항공정보포탈시스템, 항공통계, http://www.airportal.co.kr
- 해운: 부산항만공사, 부산국제여객터미널 수송실적, http://www.busanpa.com
- 항공계, 해운계 음영처리 통계는 안병민 외(2003)에서 참고

○ 해저고속철도를 이용한 장거리 대륙 연결을 위해서는 막대한 건설비가 소요되므로 경제성 확보를 위해서 획기적으로 건설비를 줄일 수 있는 부유식 장거리 해중고속철도시스템이 필요함

○ 해중고속철도는 육상에서 모듈식으로 제작한 후에 해상에서 조립하여 완성할 수 있으므로 시공 비용이 감소될 수 있으며, 수심이 깊은 해저 구간에서 해저터널 굴착을 위한 막대한 시공비가 획기적으로 줄어들 수 있어 경제성 확보가 가능하므로 연구개발을 통해 실현화가 필요함

4. 해중고속철도의 필요성

가. 해저터널과 해중터널의 비교

○ 해저터널과 해중터널을 비교하면 다음의 표와 같음

항목	해저터널		해중터널	
	도로	철도	도로	철도
길이	10km 이내	10km 이상	10km 이내	10km 이상
건설비	3,000억원/km	3,100억원/km 이상 (한일 4,100억원/km 한중 3,600억원/km 영불 3,200억원/km 세이칸 3,300억원/km)	790억원/km	890억원/km
주요 설비	-터널내 상부 환기 팬 -누수 배수시설 -대피 통로	-대피 통로 -누수 배수시설	-터널내 상부 환기 팬 -대피 통로	-대피 통로
시공	-터널 굴착시 버럭 처리로 인한 시공 기간 소요 -누수에 의한 붕괴 위험 상존	-장거리 터널 굴착시 버럭 처리로 인한 시공 기간 과다 소요 -누수에 의한 붕괴 위험 상존	-육상 모듈 제작후 해상 조립에 의한 시공 기간 단축	-육상 모듈 제작후 해상 조립에 의한 시공 기간 단축
내부 환경	-매연 발생에 의한 혼탁	-전기에너지 사용에 의한 청정 상태	-매연 발생에 의한 혼탁	-전기에너지 사용에 의한 청정 상태
주행 안전성	-운전자 오류에 의한 충돌 및 화재 사고 가능	-안정적	-운전자 오류에 의한 충돌 및 화재 사고 가능 -좌우 동요에 의한 차량 전복 및 충돌 가능	-가드레일에 의한 탈선 방지 가능

나. 해저터널과 해중터널의 비교

○ 해저터널은 해중터널에 비하여 굴착과 라이닝에 소요되는 비용이 장거리로 갈수록 급속하게 증가하는 경향이 있으며(3,000억원/km 이상), 육상 조립후 해상 시공이 가능한 해중터널(890억원/km)에 비해 건설비용이 3배 이상 소요됨

○ 해저터널의 경우 터널 굴착에 따른 버럭처리와 누수에 의한 붕괴 위험 대비를 위해 장시간의 시공기간이 소요되는데 비하여 해중터널은 육상에서 모듈을 제작한 후에 해상에서 조립하여 구조체를 완성하므로 시공 기간이 대폭 단축되는 장점이 있음

○ 장거리 터널을 자동차로 운전하는 경우 운전자의 피로 및 심리적 불안감으로 사고 발생 위험이 급속히 증가되므로 10km 이상의 터널은 철도로 활용하는 것이 전세계적으로 공통된 사례임
○ 도로의 경우 자동차 매연 등의 유해물질로 공기 오염과 이에 따른 대규모 환기 시설이 불가피하나 전기에너지를 사용하는 철도는 유해물질 배출이 거의 없고 환기 시설도 대용량이 필요치 않아 경제적임
○ 해중터널의 경우 부유식일 때 파도나 해류, 지진, 충돌 등으로 횡동요가 발생할 수 있는데, 철도의 경우 가드레일을 통해 탈선 등 사고를 막을 수 있으나 자동차의 경우 충돌 등의 사고가 발생할 수 있음
○ 장거리 부유식 터널의 경우 철도가 가장 안전하고 경제적인 수단임

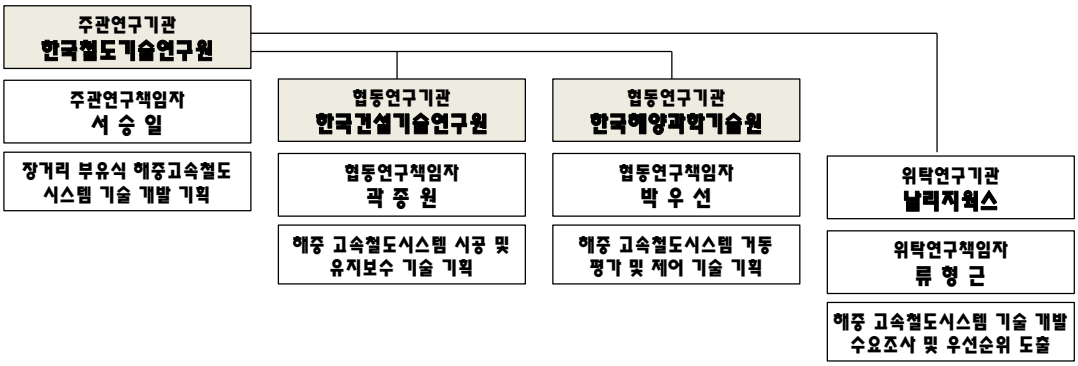
다. 참고 자료

○ 해저터널 특집, 월간 교통, 133권, 한국교통연구원, 2009.
○ 해중철도 국제세미나 - 대륙연결의 꿈을 실현하는 철도기술의 혁명, 한국철도기술연구원, 2012.
○ First International Symposium on Archimedes Bridge (ISAB-2010), Procedia Engineering, Vol. 4, 2010
○ Submerged Floating Tunnels, Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 12, No. 2, 1997

3절. 기획 추진체계의 구성

1. 기획 추진 체계

○ 장거리 부유식 해중고속철도시스템 기술 개발을 위해 한국철도기술연구원을 주관으로 건설 관련 연구기관인 한국건설기술연구원과 해양 관련 연구기관인 한국해양과학기술원이 참여하여 기획 연구를 수행하였음
○ 기술 수요 조사 및 예측, 우선 순위 도출을 위해 위탁연구기관으로 날리지웍스이 참여하였음



2. 기획 추진체계의 구성

○ 주관기관과 협동연구기관 및 위탁연구의 주요 연구 내용은 다음과 같음

연구기관	중점 연구목표
주관연구기관 (한국철도기술연구원)	-기획연구 수행 총괄 계획 수립 및 실행 -국내외 해중고속철도 시장, 정책, 기술 동향 분석 -해중 고속철도 기술 개발의 기술적, 경제적, 정책적 타당성 검증 -기술 개발 전략 제시 및 로드맵 작성 -기술개발 핵심 과제 도출 및 RFP 작성 -Test-bed 건설을 위한 타당성 검토 -기획 자문위원회 구성 및 운영
공동연구기관 (한국건설기술연구원)	-시공 및 유지보수 기술 개발 현황,분석 -시공 및 유지보수 관련 핵심 기술 및 요소 기술 정의 -기술 확보 전략 제시 -세부과제 기술개발 로드맵 제시 -시공 및 유지보수 기술 개발 결과 실용화 방안 제시
공동연구기관 (한국해양과학기술원)	-성능 해석 및 시뮬레이션 기술 개발 현황,분석 -성능 해석 및 시뮬레이션 핵심 기술 및 요소 기술 정의 -기술 확보 전략 제시 -세부과제 기술개발 로드맵 제시 -해석 및 시뮬레이션 기술 개발 결과 실용화 방안 제시
위탁연구기관 (날리지웍스)	-기술 수요 조사 및 예측 -후보과제 우선순위 도출 AHP 수행 -기술개발 기획 단계별 자문

○ 기획 연구 내용의 기술적 검토와 자문을 위해 각 분야별 전문가를 중심으로 전문가 자문위원회를 다음 그림과 같이 구성하였으며, 2차례의 자문회의와 1차의 공청회를 개최하였음

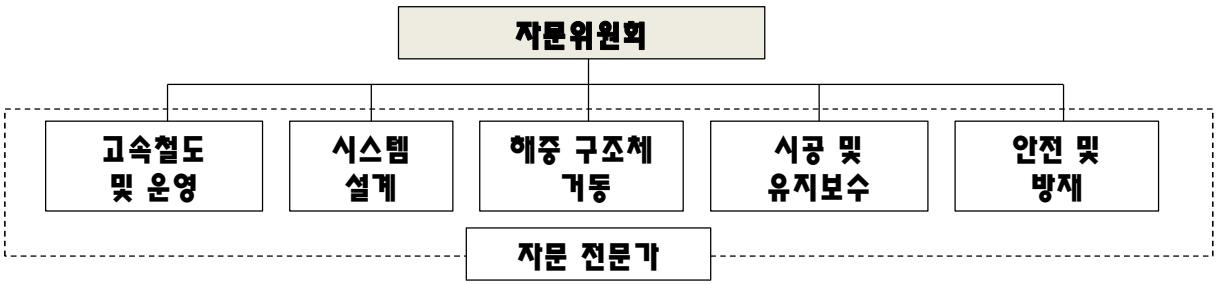


그림 1.1 전문가 위원회의 구성도

2장. 국내외 동향 및 환경분석

1절. 국내외 정책동향

1. 국내 고속철도 정책 동향 및 환경 분석

○ 정부는 저탄소 녹색 시장을 주도할 신성장 동력으로 철도산업을 선정하고 대규모 투자 계획을 발표함에 따라 고속철도시장의 성장이 기대된다. 정부의 녹색교통 추진전략('09.11)에서는 기후변화 에너지 위기 등 미래환경 변화에 대비하기 위하여 전체 SOC 투자 가운데 철도비율을 25%('09)에서 50%('20)까지 확대할 계획이며 철도 수송분담율을 8%('09)에서 20%('20)까지 확대할 것을 목표로 제시했다.

○ 2010년 9월 1일 대통령에게 보고된 "미래녹색교통 구현을 위한 KTX 고속철도망 구축 전략"에는 향후 KTX 고속철도망을 통해 국토를 통합·다핵·개방형 구조로 재편함으로써 속도 경쟁력을 갖추고 국토의 균형 발전을 꾀한다는 목표로 다음의 5개의 추진과제를 선정했다.

- 첫째, 전국 주요거점을 KTX망으로 1시간 30분대로 연결
- 둘째, 거점도시권내 30분대 광역·급행 교통망 정비
- 셋째, KTX 역세권을 고려하여 5+2의 광역 경제권의 특성화 발전 도모
- 넷째, 항만과 공항의 철도연계를 강화하여 국토 전반을 대외 개방형 공간구조로 전환
- 다섯째, 철도산업을 고부가가치 성장동력으로 육성하기 위해 세계최고속도의 철도기술 확보

○ 국가기간교통망계획 제2차 수정계획(2001~2020)에서는 21세기 글로벌 교통물류 강국도약을 위한 세계 일류수준의 도로·철도·공항·항만 등 교통기반시설 확충, 상호연계되고 효율적인 국가종합교통체계 구축을 위한 육상·해상·항공교통의 통합 네트워크 구축, 국가경쟁력 강화를 위해 교통혼잡비용·물류비용·교통사고비용 등 교통물류활동으로 인한 사회·경제적 비용의 감축 넷째 미래사회 대비 지속가능한 녹색성장 구현을 목표로 한다.

○ 교통분야에서 KTX 중심의 철도 고속화와 철도의 수송 분담률이 도로 대비 크게 증가하는 구조 변화 예상된다 (그림 2.1).

○ 국가철도망 구축계획(2011~2020)에서는 전국 주요거점을 일상 통근시단대인 1시간 30분대로 연결하여, 하나의 도시권으로 통합시키며 장래에는 광역경제권의 중심 도시에 통행량이 집중할 것으로 예상하여 국가 철도망은 중심도시 직결 형태의 네트워크를 구축할 계획이다.

○ 철도의 고속화를 위한 적정 시설기준을 선정을 위해 설계속도별 수요와 사업비의 관계를 분석하여 노선별 최적의 속도를 선정하고 기존 건설·운영 중인 노선은 설계속도 180~230km/h급, 신규 건설노선은 설계속도 250km/h 내외로 고속화하는 것을 목표로 함

○ 전국 주요거점을 고속 KTX망으로 연결하는 것으로 세부계획은 국토 최단 연결 X자형과

해안권 연결 □자형을 결합한 국가철도망 구축과 경부·호남 등 추진 중인 고속철도 사업 적기 완공할 계획임

○ 국내 철도는 KTX 개통후 장거리 여객수송 측면에서 경쟁력이 있다.

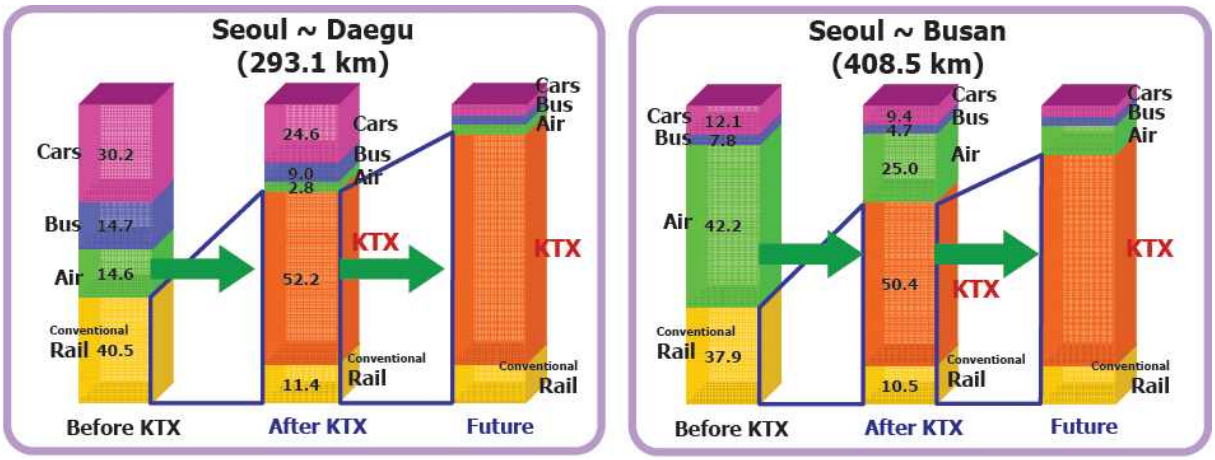


그림 2.1 국내 고속철도의 역할 증대

2. 국외 고속철도 정책 동향 및 환경 분석

○ 고속철도 시장은 최근 환경에 대한 관심이 커지면서 저탄소 녹색성장을 위한 교통해법으로 부각되면서 시장 수요가 급격히 증가할 것으로 예상됨. 특히, 고속철도는 지속성장 가능한 녹색 교통의 대표 수송수단으로 주목받고, 미래 교통시장을 이끌 주역으로 급부상하고 있다 (그림 2.2).

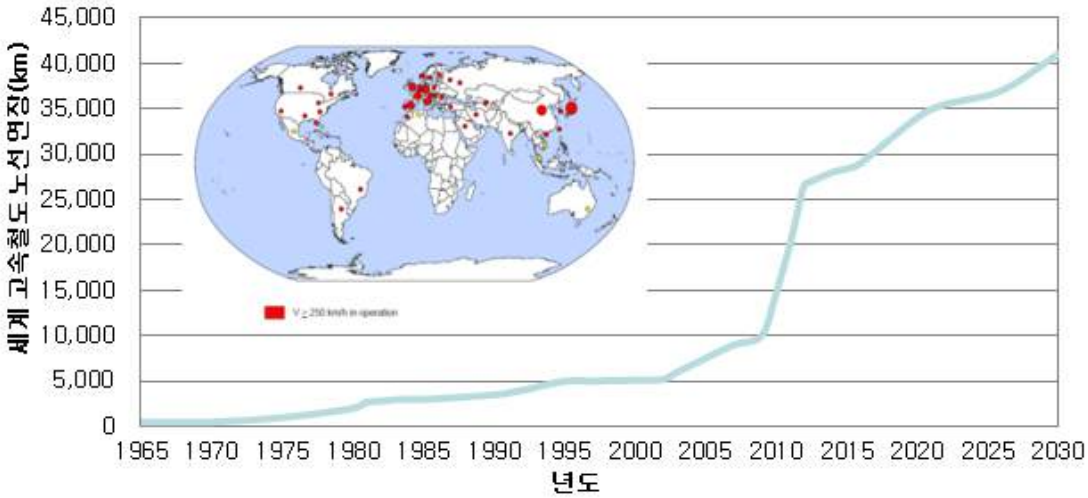


그림 2.2 세계 고속철도 노선 연장 추이 및 전망

○ 국가별 동향

- 일본은 국토종단 노선 포함해 2,459km의 고속철도망 보유 중이며, 하노이와 호치민을 연결하는 1,630km 구간(326억 달러)을 2020년 개통을 목표로 일본 업체가 착공할 전망이다.
- 프랑스는 프랑스국영철도(SNCF)는 2008-2014년까지 300개 전후의 고속철도 열차 구매를 진행 중이며, 2020년까지 TGV파리~남동부 열차 현대화 계획 중이다.
- 독일국영철도(DB)는 2036년까지 300개의 신형 ICE고속철도를 구매할 계획이다.
- 스페인은 1992년 바르셀로나 올림픽과 세비야 엑스포 '92에 따른 국내 수송 장애 문제점 해결방안으로 고속철도를 건설했으며, 마드리드~세비야 교통축의 코르도바~슈디드 릴 간 산악지대의 복선화 및 표준 궤간화를 검토 중임. 또한, 안달루시아 지역개발 촉진책의 목적으로 마드리드~세비야간 고속철도 건설계획 확정하였다.
- 중국은 전국 7.7만km의 철도망 보유(최고속도 350km로 세계 1위 수준)하고 있으며 2010~2014년 사이에 사종사횡의 골격인 쾌속여객운송망이 기본적으로 형성되어, 대규모 고속철도의 건설·운영이 미래 중국경제의 지역·산업구조에 중요한 영향을 미칠 것이며 해당지역은 관련된 상장기업에 투자기회를 가져다 줄 전망이다.
- 미국은 598억 달러의 비용이 소요될 것으로 추정되는 캘리포니아 고속철도(1,280km, 450억 달러), 플로리다 고속철도(502km, 118억 달러) 건설 및 도시간 철도건설 투자 등 철도 인프라투자를 통해 경기 활성화 추진 계획이며, 고속철도 초기비용으로 2009년 80억 달러 배정하고 향후 5년간 매년 10억 달러 투입 계획. 31개 주에서 31개 노선, 13개 지역의 고속철도망 건설사업 추진 예정이다.
- 아프리카/중동지역은 2010년 GCC 사무국이 걸프 6개국을 연결하는 총연장 2,177km의 GCC 고속철도 프로젝트를 2010년 12월 발주, 2016년에 완공을 목표로 추진(건설교통기술 글로벌 동향, 2011), GCC 6개국이 추진중인 철도 프로젝트 규모는 1,135억 달러임. 중동과 아프리카(MENA) 지역의 연평균 철도시장 규모는 2005~2015년 20% 증가세이다.
- 브라질은 리우데자네이루~상파울루~캄피나스를 연결하는 총연장 511km, 190억 달러의 발주 계획이다. 브라질 정부는 기술이전 등을 고려해 향후, 상파울루, 미나스 제라이스, 파라나 주 등 인접지역을 연결하는 고속철도 추가 발주 계획이다.

3. 국내 해저고속철도 정책 동향 및 환경 분석

가. 거가대교

○ 2010년에 개통된 거제도와 부산을 연결하는 거가대교는 총연장 8.2km 중 3.7km 구간을 해저 침매터널로 시공했다.

나. 호남~제주 해저고속철도 개요 및 현황 (그림 2.3)

○ 호남~제주 해저고속철도의 필요성은 크게 5가지로 요약될 수 있다.

- 전남과 제주를 연계하여 21세기 국가성장축을 구축하며 국토의 균형적 발전 도모
- 호남(해양, 문화, 관광, 녹색산업)과 제주(관광, 휴양산업)지역의 유사한 산업육성계획을 연계
- 경부축에 비해 상대적으로 낙후된 호남-제주지역을 발전시킬 수 있음
- 국내외 다양한 해저터널사업이 추진되고 있으며 한국건설업계의 사업영역을 확장시킬 수 있는 기반을 제공하고 경기활성화와 일자리 창출에 기여
- 호남-제주지역 연계 교통여건 미흡 해결

○ 추진과정을 살펴보면, 2007년 전남도지사(박준영)가 취임 1주년 기자회견시 완도˜제주 해저터널 개설추진 발표 이후, 2007.9.5일 전남˜제주간 해저터널 건설 대정부 건의문을 전남도지사 및 제주도지사가 공동건의(제주도청) 하였다.

○ 2008.12.17일 “녹색성장과 철도 세미나”에서 해저고속철도 건설 구상안 발표(교통연구원, 대한상공회의소)

○ 2009. 4.15 “국가균형발전포럼”에서 호남˜제주 해저고속철도 건설정책토론회 개최(이용섭 의원)

○ 2009.12.19일 ’10년도 국회 예산심의에서 호남˜제주 해저고속철도 타당성 연구용역비 반영(10억원)되어 현재 타당성 조사용역 중임

○ 연장 167km(목포-해남 지상구간 66km, 해남-보길도 해상구간 28km, 보길도-추자도-제주도 해저구간 73km)

○ 사업기간: 11년(타당성, 기본, 실시설계 3년, 순 공사기간 8년)

○ 사업비: 약14조6천억원(추정)

○ 소요시간(설계속도 350km/h): 서울-제주간 2시간 26분

○ 이용수요: 1,500만명/년(B/C=0.84, 2026년 기준)



그림 2.3 호남-제주 해저고속철도 구상

다. 한중일 해저터널 계획 (그림 2.4)

○ 한국, 중국, 일본 등 동북아 3국 국가간 교역량 급증, 지리적 접근성, 효율적 물류시스템 구축 필요성 등으로 통합운송망 구축에 대한 관심이 고조되고 있다.
○ 해저터널은 기존의 육상, 해상 및 항공교통 수단의 한계성을 극복하기 위한 수단으로 제시되어, 장기적으로 한중 및 한일 해저터널이 연결되면 동북아 지역은 고속철도망으로 연결이 가능해진다.

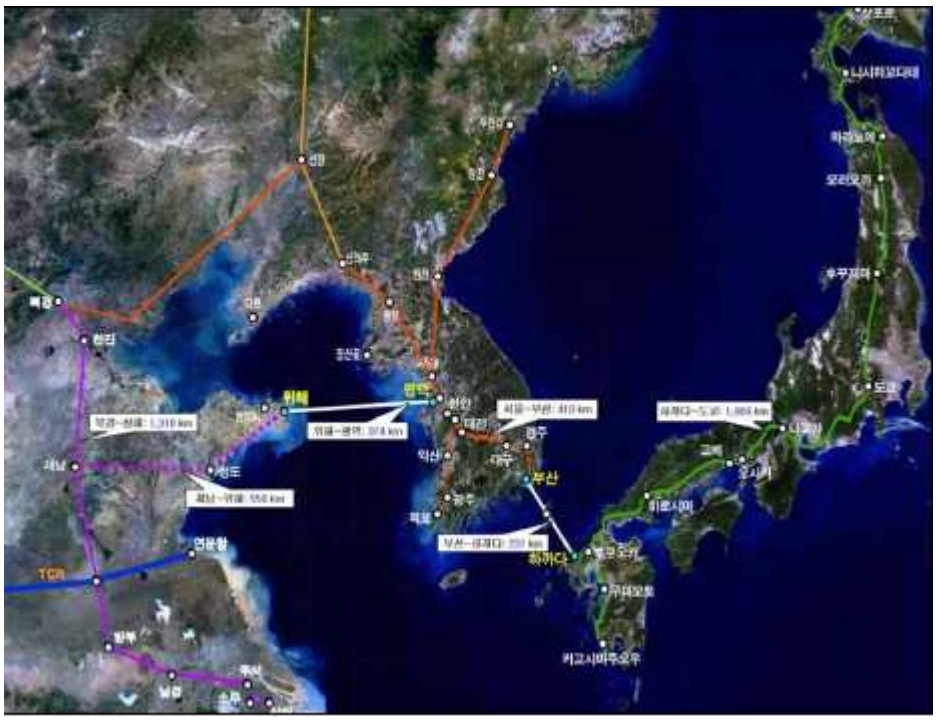


그림 2.4 동북아 고속철도망 연결 기본구상

라. 한중해저터널

○ 한중간 무역등 경제, 문화 등에서 교역이 지속적으로 증가하고 있으며 교역량을 효율적으로 관리하기 위한 물류시스템 구축의 필요성면에서 한중해저터널이 제시되었다.
○ 한국과 최단거리에 위치한 중국 산둥성의 웨이하이와 연결되는 해저터널의 우리나라 출발지점은 인천, 화성, 평택·당진 외에도 북한의 황해도 용연 등 4개 대안이 검토되었다.
○ 중국 웨이하이와 인천 연결할 경우 노선연장이 341km로 가장 짧으며 국제공항과 고속철도를 연계할 수 있는 장점이 있으나, 고속철도의 운행속도가 서울시 구간 및 인천공항 철도구간에서 줄어드는 문제가 발생할 수 있다.
○ 경기도 화성과 웨이하이를 연결하는 노선의 경우 연장이 373km로 길지만 인구와 경제

비중을 고려할 때 한국 전체의 접근성 측면에서 양호하다.

○ 평택·당진과 웨이하이를 연결하는 노선은 연장이 386km로, 서해안 개발과 함께 추진된다면 발전성 측면에서는 바람직하나 서울에서의 우회거리가 늘어나는 문제가 있다.

마. 한일해저터널 (그림 2.5)

○ 한일터널연구는 1981년부터 실질적인 논의가 시작되어 1983년 설립된 일한터널연구회가 제안한 '일한터널 기본구상'을 중심으로 발전해왔다.

○ 일한터널연구회에서는 3개의 대안을, 부산발전연구원(2008)에서 2개의 대안을 제시하였다.

○ 부산발전연구원의 D1안은 일본 후쿠오카에서 쓰시마를 경유하여 부산 가덕도에서 부산신항 배후철도와 직접 연결되도록 하는 노선으로 총연장은 210㎞, 최대수심은 192m, 최대굴착 심도는 65m, 건설비용은 113조원 정도 소요되는 것으로 분석되었다.

○ D2안은 후쿠오카에서 쓰시마를 경유하여 부산역과 직접 연결되도록 하는 노선으로 총연장은 215㎞, 최대수심은 192m, 최대굴착심도는 72m, 건설비용은 123조원 정도 소요되는 것으로 분석되었다.



그림 2.5 한일 해저터널 노선대안

4. 국외 해저고속철도 정책 동향 및 환경 분석

○ 해외의 해저터널 역사는 노르웨이를 비롯한 북유럽에서 발달하였으며, 대규모 장대 해저터널은 1988년에 개통된 일본의 세이칸 터널에서 시작되었다 (표 2.1).

가. 영불 해저터널

- 영불 해저터널 건설계획은 200년 전부터 구상되었으며, 유럽통합의 차원에서 범유럽 교통 네트워크 형성을 위해 추진되어 영국의 Folkestone과 프랑스의 Calais를 연결하는 터널로 1994년 개통되었다. 영불 해저터널은 유럽통합의 상징으로 인식되어 왔고 유럽국가들간의 응집력을 높이는 주요 프로젝트로 평가받고 있다. 전통적인 영국과 프랑스 양국간의 대립적 경쟁관계를 협조적 경쟁관계로 전환시키는 주요한 계기가 되었다.
- 총연장 50.45km(해저 38km), 25~75m 깊이, 평균깊이는 45m임
- 해저터널은 자동차, 버스, 트럭 등을 운반하는 차량수송 전용열차인 르 셔틀(Le Shuttle)과 여객 및 화물용 고속열차인 유로스타(Eurostar)가 운행중이다.
- 유로스타의 해저터널구간 운행속도는 150km/h이며, 이용객은 2003년 630만명에서 2007년 830만명으로 연평균 8%이상의 증가율을 나타냈다.

나. 일본 세이칸 해저터널

- 일본의 아오모리현과 북해도를 연결하는 터널로써 1964년 착공하여 1988년 개통되었다. 1930년대에 세계 최초로 간몬 해저터널을 완성한 이후, 세이칸 해저터널(연장 23.3km), 동경만 해저터널(연장 15.1km, 해저터널 9.5km, 고량 5.6km) 등의 건설을 통하여 해저지반 조사, 설계, 시공 및 유지관리 등에 관한 핵심기술을 축적했다.
- 총연장 53.9km(해저구간 23.3km)
- 사업주체는 일본철도건설공단으로 국가가 건설하였으며 운영은 일본국철(JR)이 담당한다.

다. 덴마크-스웨덴 외레순 다리

- 덴마크 코펜하겐과 스웨덴 말뫼 간의 외레순 해협을 연결하는 다리로, 1900년대 전반부터 구상이 시작되었으나 재원 및 정치적 의지 부족으로 추진되지 못하다 1991년 덴마크와 스웨덴 정부가 외레순 해협의 연결에 합의한 후 1999년 터널 및 교량 완공 후, 2000년에 공식 개통되었다.
- 연장 3,510m의 2개의 도로용 터널과 2개의 철도용 터널로 구성되어 있고 교량 및 인공섬과 연결하여 총연장 15.4km이다.
- 운영주체는 덴마크와 스웨덴이 공동으로 소유한다.
- 건설비는 2000년 기준으로 약 4조8천억원이 소요(그 중 65%는 외레순 다리 공사비이며, 나머지는 육상시설 공사비)

라. 노르웨이

○ 국제적으로 터널 건설의 선진국이라 할 수 있는 노르웨이는 1981년 Vardo에 최초의 해저터널이 건설된 이래로 지난 20여년간 약 30여 개 해저터널을 건설하였는데, 이는 전 세계 해저터널의 절반이상을 차지하는 수치이다.
○ 현재 운용중인 해저터널이 34개소로 총연장은 약 130km이다.
○ 현재 연장이 24.2km인 Rogfast 터널과 13.5km인 Ryfast 터널 프로젝트도 진행중이다
○ 또한, 총연장이 100여km에 달하는 해·하저 도로터널을 시공 중이거나 계획 중에 있다.

마. 국가간 연결 사업의 시사점

○ 기 운영중인 해저터널과 계획중인 사업을 대상으로 분석한 결과, 국가간 사업일 경우 국제정치적 상황, 경제적 문제 등으로 인해 사업의 의사결정 과정이 복잡하고 어려운 점이 있다.
○ 따라서 국가간 연결 사업일 경우, 상대국가 및 관련 국가들간의 상회 신뢰를 전제로 추진되어야 하고, 사업에 필요한 소요재원 확보문제, 경제성 분제 등을 충분히 고려해야 한다.

바. 국내간 연결 사업의 시사점

○ 국내 지역간 연결사업인 경우 대규모 건설사업으로 인해 재원확보가 가장 중요한 점으로 인식된다.
○ 또한 유사경험이 없는 경우에는 건설기술의 확보가 중요한 문제이며, 지역간 공감대 형성이 중요하다

표 2.1 건설 및 운영 중인 해저터널 현황

터널명	국가	총길이 (km)	해저 통과길이 (km)	공사 기간	공사비	굴착 방식	수송 방식
세이칸터널	일본	53	23	1964~ 1988	$70억	NATM	철도 전용
동경만터널	일본	15.1	9.5	1985~ 1997	15조원	TBM-shield	도로 전용
링컨터널	미국	2.5	2.3~ 2.4	1930~ 1957	$7천 5백만	NATM	도로 전용
유로터널	영국, 프랑스	50.45	38	1987~ 1994	$150억	TBM-shield	철도 전용
이스턴하버터널	홍콩	2.2	1.9	1986~ 1989	HKD 22억	침매 공법	철도/ 도로
웨스턴하버터널	홍콩	2	1.36	1993~ 1997	HKD 57억	침매 공법	도로 전용
홀랜드터널	미국	2.6	2.5	1920~ 1927	$4천 8백만	NATM	도로 전용
부산~거제간 연결도로	한국	8.2	3.6	건설중	2조원	침매 공법	도로 전용
보스포러스 터널	터키	13.7	1.4	건설중	$20~ 25억	침매 공법	철도/ 도로
외레순드 터널	덴마크, 스웨덴	16.38	4.05	1993~ 2000	310억 크로네	침매 공법	철도/ 도로

5. 국내 타당성분석 동향

○ 국내의 교통투자평가체계는 1966년 타당성 조사가 최초 시행되었고 1999년 예비타당성 조사와 타당성 평가가 도입되었다 (그림 2.6).

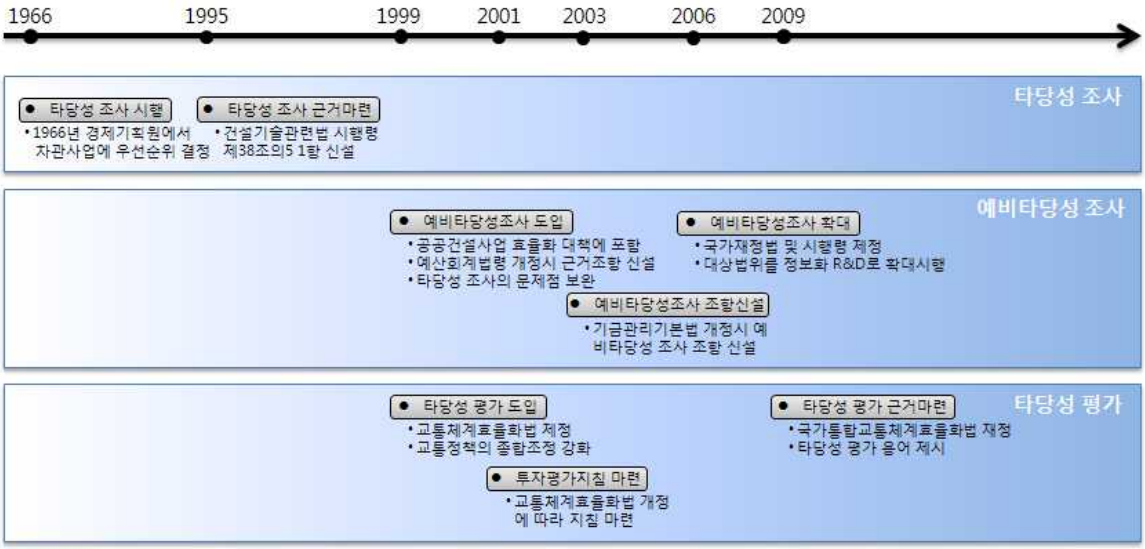


그림 2.6 투자평가제도 Flow Chart

○ 현재의 투자평가 수행체계는 그림 2.7과 같다.

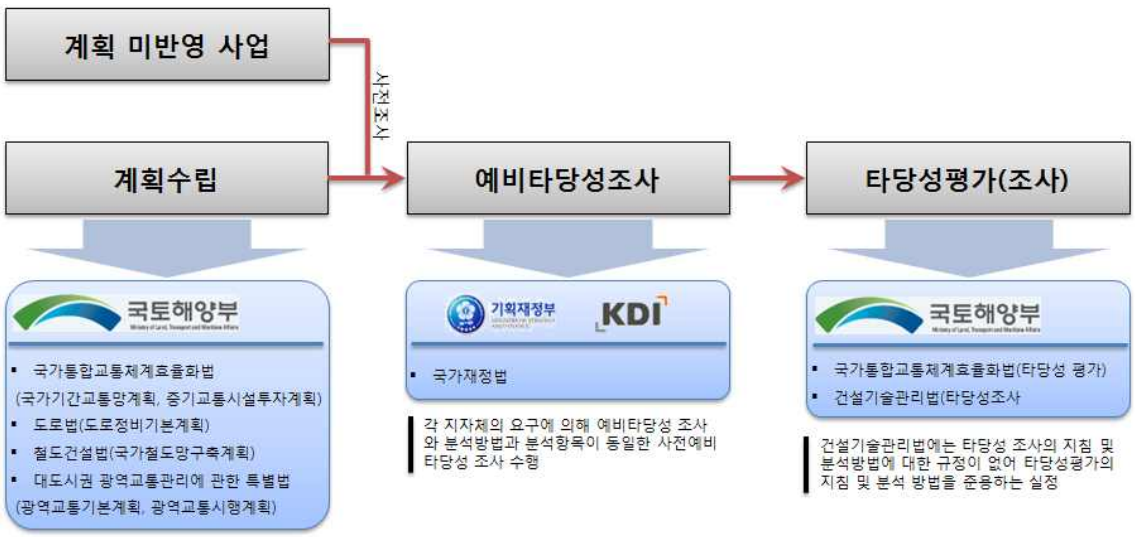


그림 2.7 투자평가 수행체계

○ 타당성조사는 1966년 경제기획원에서 차관사업에 우선순위를 결정하는 타당성 조사가 최초로 시행되었으며 1995년 건설기술관리법 시행령 제38조의 5 ①항의 신설로 타당성 조사의 근거가 마련되었다.

○ 예비타당성 조사는 1999년 공공건설사업 효율화 대책, 예산회계법령 개정시 근거조항 신설, 타당성 조사의 문제점 보완을 위하여 예비타당성 조사가 도입되었고, 2003년 기금관리기본법 개정 및 예비타당성 조항이 신설되었으며 2006년에 국가재정법 및 시행령제정으로 예비타당성 조사가 확대되었다. 예비타당성 조사는 총사업비 500억원 이상이고,

국가재정지원이 300억원 이상인 대규모 신규 사업의 타당성을 사전에 평가하는 제도로 『국가재정법』 제38조와 동법시행령 제13조에 근거하여 도입되었다. 2008년까지 수행된 예비타당성 조사 사업 실적을 살펴보면 총 372건의 예비타당성 조사가 완료되었으며, 부문별로는 도로가 165건, 철도가 74건으로 많은 비중을 차지한다.

○ 타당성평가는 1999년 교통체계 효율화법 제정과 교통정책의 종합조정 강화로 타당성 평가가 도입되어 2001년 교통체계효율화법 개정에 따라 투자평차 지침이 마련되었고 2009년 국가통합교통체계효율화법 제정으로 타당성 평가 근거가 마련되었다. 국가체계효율화법 제18조 및 동법시행령 제17조에 따르면 타당성평가에 계획타당성평가와 본 타당성평가가 존재한다. 계획 타당성 평가는 국가기간 교통망계획, 중기교통시설 투자계획 등 중장기 국가계획에 포함되는 사업들을 대상으로 평가를 실시한다. 본 타당성 평가는 개별 교통시설 사업을 본격적으로 착수하기 전에 총사업비 300억 원 이상의 개별사업을 대상으로 타당성 여부를 분석한다.

○ 표 2.2는 예비타당성조사와 타당성평가를 비교한 내용이다.

표 2.2 예비타당성 조사와 타당성 평가 비교

구 분	예비타당성조사 (Preliminary Feasibility Study)	타당성조사 (Feasibility Study)
조사개념	◦타당성조사 이전에 예산반영여부 및 투자우선순위결정을 위한 개략적 조사	◦예비타당성 조사를 통과한 후 본격적인 사업착수를 위한 경제적, 기술적 타당성 및 대안분석 조사
조사주체 및 관계법령	◦기획예산처(관계부처 협의) ◦예산회계법 및 기금관리기기본법 시행령	◦건교부 등 사업주무부처 ◦건설기술관리법 시행령 및 교통체계효율화법에 의한 투자평가지침
관련계획검토	◦국민경제적 필요성, 국토개발계획과의 부합성 등 거시적 측면 검토	◦분야별 종합계획과 연계하여 위치, 노선, 도시계획과의 적정성 등 미시적 측면 검토
수요예측	◦정성적 방법(qualitative method)에 의한 개략적인 조사	◦정량적 방법(quantitative method)에 의한 수요예측 모델 및 설문조사 등 구체적 방법 활용
조사방법	◦한국개발연구원(KDI) 공공투자관리센터와 협약, 출연금('03년 35억원)으로 개별용역	◦사업기관이 용역기관을 선정(개별용역)

○ 예비타당성 조사에서는 비용편익분석을 바탕으로 한 경제성분석과 지역경제 파급효과분석, 지역낙후도 평가, 재원조달 가능성 평가 등을 통한 정책적 분석을 수행한 후, 마지막으로 다기준 분석을 통해 경제성 분석 및 정책적 분석결과를 종합하여 사업의 타당성을 종합적으로 평가한다 (그림 2.8).

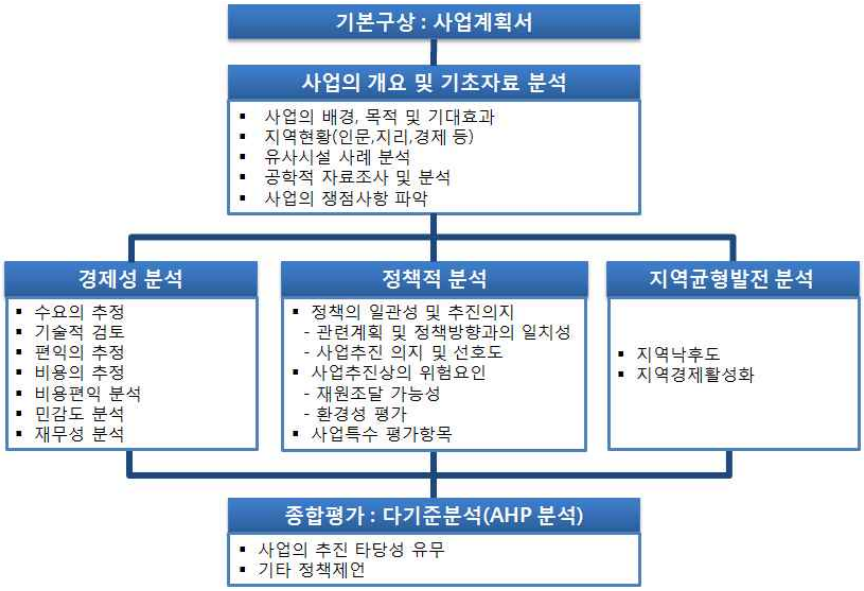


그림 2.8 예비타당성조사 수행과정

○ 국내에서 교통시설에 대한 투자타당성을 판단하기 위해 주로 경제성 지표(B/C, NPV, IRR 등)가 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 지표를 계산하기 위해서는 편익과 비용을 분석하여야 한다. 교통시설 투자사업으로 인해 발생하는 편익은 교통 측면의 편익인 직접편익과 교통개선으로 인한 사회적 편익인 간접편익으로 구분할 수 있다 (표 2.3). 일반적으로 철도투자로 인한 편익은 대부분 도로의 혼잡감소로 인해 발생하는 직접편익이 대부분을 차지하고 있으며, 철도 고유의 편익인 정시성 향상편익은 제대로 반영되지 않고 있는 실정이다 (표 2.4).

표 2.3 도로투자사업에 따른 편익분석 항목

구 분	편익분석 항목	비고
직접편익	· 통행시간 감소 · 차량운행비 감소 · 교통사고비용 감소 · 대기오염 발생량 감소 · 온실가스 발생량 감소 · 차량소음 발생량 감소	편익분석 반영
간접편익	· 지역개발 효과 · 시장권의 확대 · 지역 산업구조의 개편 등	편익분석 미반영

표 2.4 철도부문 편익 항목

구 분		투자평가지침 반영		투자평가지침 미반영
직접 편익	철도 이용자 편익	철도이용자 통행시간 절감	기존 철도 이용자	형평성향상 편익
			도로-철도 전환 이용자	
		철도화물 통행시간 절감		열차개량 편익
		-		통행시간 신뢰성 향상
		-		선택 가치 편익
		-		교통쾌적성
	타수단 이용자 편익	차량운행비 절감		건널목 개선에 따른 사고/지체 감소
		교통사고감소		항공/해운의 전환수요에 의한 편익
		도로-철도간의 전환수요에 의한 도로통행시간 절감		-
간접편익 (비사용자 편익)		환경비용(대기오염/온실가스/소음)감소		지역개발효과
		주차공간 설치비 절감		시장권의 확대
		-		지역산업 구조개편 등
		-		공사중 교통혼잡 부(-)편익
		-		고속도로 유지관리비 절감
		-		폐기물처리비용 절감

6. 국외 타당성분석 동향

가. 일본

○ 일본의 경우 교통사업 평가는 비용편익분석을 근간으로 수행되며, 필요시 확장비용편익분석, 수정비용편익분석을 실시한다 (표 2.5). 기본적으로 경제성 분석(B/C, NPV, IRR 등)에 기반하여 사업의 타당성을 분석하고 있으며 특히 타당성 분석을 위해 적용되는 편익 항목으로 기본적으로 편익에 포함되어야 할 항목과 편익에 포함하는 것이 바람직한 항목으로 구분하고 있으며, 이를 이용자, 공급자, 그리고 환경개선 편익 등 3가지 유형으로 구분하여 분석에 반영하고 있다.

표 2.5 일본의 교통사업 평가항목

편익 분석방법	구분	항목	계량화 여부		비고
			도로	철도	
비용편익 분석	이용자편익	통행시간 절감 편익	○	○	
		운행비용 절감 편익	○	○	
		여객 쾌적성 편익	-	○	
		철도역 개량사업에 따른 편익	-	○	◦철도사업에서만 평가
	공급자편익	영업이익	○	○	
	환경개선편익	교통사고 감소 편익	○	○	
		대기오염 감소 편익	○	○	
		소음 감소 편익	○	○	
		온실가스 감소 편익	○	○	
확장비용 편익분석	이용자의 효과·영향	쾌적성 향상	○	-	◦주행쾌적성 ◦보행 안전성·쾌적성 향상
		혼잡율 완화	-	-	◦철도 차량 내 혼잡율의 변화
	사회전체의 효과·영향	주민생활효과	○	-	◦도로 : CVM기법을 사용 ◦철도 : 객관적 기술을 통한 정성적 평가
		지역경제	○	-	
		지역사회	○	-	
		환경	○	-	
		안전	○	-	
수정비용 편익분석	-	확장비용편익분석에 지역수정계수를 곱하여 산정	-	-	◦철도사업에서는 미고려

○ 또한, 철도사업과 같은 공공사업은 단순히 비용 · 편익분석에 의존하는 것보다는 다양한 관점에서 평가해야 함을 시사하고 있는데, 이는 철도사업으로부터 파급되는 다양성을 평가하기 위한 것으로 보인다. 이에 따라 일본에서는 크게 1)사업효율성, 2)사회 · 지역경제의 파급효과, 3)사업시행환경 등을 파악한 후 종합적으로 평점화하여 평가하고 있다. 특히, 철도사업의 특성과 중앙정부 및 지방정부 등의 사업 실시주체 등의 환경 등을 고려하여 대항목, 중항목, 소항목에 대한 평가기준에 대한 가중치를 제시하고 있는데, 이는 분석대상 수단의 특성을 감안하여 유연성 있는 평가체계를 채택하고 있다고 볼 수 있다.

나. 영국

○ 영국의 교통부(DfT, Department for Transport)는 교통수요분석시 TAG(Transport

Analysis Guidance)를 따르도록 하고 있으며, 현재는 이를 웹기반 버전으로 전환시킨 WebTAG를 적용하고 있다 (표 2.6). TAG에는 각종 투자사업을 평가하기 위한 기준들이 제시되어 있는데, 이를 NATA(New Approach To Appraisal)라 하며, 2003년 1월17일 발간된 Green Book(Appraisal and Evaluation in Central Government)에서 이후 모든 중앙부처는 이 지침을 따르도록 하고 있다. 최근, NATA는 영국정부가 중점적으로 추진하는 4가지 교통정책방향(환경성, 안전성, 경제성, 재정성)에 맞게 사업을 평가할 수 있도록 규정[1]하고 있으며, TAG는 통행수요분석시 다수의 교통수단을 함께 고려하는 다수단기준 지침(Guidance on the Methodology for Multi-Modal Studies, GOMMMS)을 따를 것을 권고하고 있다.

표 2.6 영국 WebTAG의 정책방향 및 세부 평가항목

구 분	경제성	환경성	사회성	재정성
평가항목	·통근 통행의 시간 절감 ·통근 통행의 신뢰성 향상 ·경제적 재생산성 ·기타 영향	·소음 ·대기질 ·온실가스 ·토지이용 ·경관 ·문화유산 ·생태계 영향 ·수질	·여가 등 기타 통행의 통행시간 절감 ·여가 등 기타 통행의 신뢰성 향상 ·신체 활동성 ·통행의 질적 향상 ·안전성 ·보안성 ·접근성 ·사회적 연결성 ·기타	·교통재정의 투입가능성 ·간접적 세금 수입

○ 이러한 큰 틀 하에서 교통SOC사업을 평가하기 위한 평가항목은 우리나라와 비슷하나 차내 혼잡을 계량화시킨 혼잡완화편익(crowding relief benefit)항목이 포함되는 반면, 환경편익은 경제성분석에 포함되지 않고 총괄평가표(Appraisal Summary Table, 이하 AST)에 포함시켜 분석하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 경제성 분석에서는 통행시간절감편익(travel time saving), 혼잡완화편익(crowding relief benefit), 교통사고편익(safety benefit), 그리고 차량운행비용절감편익(vehicle operating cost saving) 등의 편익만을 반영하고 있다. 영국의 교통사업에 대한 투자의사결정은 경제성, 기술성에 치중하던 종래의 평가방법을 4가지 교통정책방향을 종합적으로 평가하는 방향으로 변화되었다. 이러한 항목을 토대로 TAG에는 각종 투자사업을 평가하기 위한 기준이 제시되어 있는데, 위 4가지 중점요소(목적)에 대해 최종적으로 총괄평가표(AST)를 작성하여 사업평가 프로세스를 보다 투명하게 하고, 어느 노선, 어느 사업을 채택할 것인가 하는 의사결정을 보다 체계적으로 할 수 있도록 객관적 기준을 제공하고 있다.

다. 독일

1) 기존에는 환경성, 안전성, 경제성, 접근성, 통합성 등 5가지 정책방향을 제시

- 독일의 경우 국내 예비타당성지침과 유사한 형태의 통합경제평가지침(Macroeconomic evaluation methodology FTIP 2003)이 있으며, 현재 최신버전으로 개정작업 중에 있다. 특히, 다른 나라와는 달리, 경제성 분석을 위한 교통수요분석 시 상위 교통 및 사회경제적 목표와 관련된 정부정책방향을 고려하여 가상 시나리오를 통해 구체화되며, BVWP 2003에서는 3가지 가상 시나리오를 설정하여 분석할 것을 제시하고 있는데, 2003년 버전에서는 3가지 시나리오 중 통합시나리오(Integration Scenario)를 토대로 하고 있다.
- 자유방임 시나리오(Laissez-faire Scenario): 1997, 1998년 수준을 유지하는 교통시설투자를 지속하는 시나리오
- 능력초과 시나리오(Überforderungsszenario Scenario): 도로와 항공부문 운송비용의 부담이 커져 도로에서 철도로의 수단전환을 통한 체질개선을 위해 승용차에 통행세를 부과하는 시나리오
- 통합 시나리오(Integration Scenario): 상이한 정책영역의 계획(환경계획, 경제계획, 교통계획, 도시계획 등)의 목표 간 상충가능성을 최소화하기 위해 통합적인 계획(지속가능계획)을 수립하고 사회적 합의를 이끌어내는 시나리오
- 특히, 철도사업의 타당성을 평가하기 위한 편익항목은 우리나라와 비슷하게 반영하나 교통시설유지비용변화, 공간적 이점, 항만/공항에 대한 개선된 링크에 대한 항목을 추가적으로 고려하고 있는 것으로 나타났다 (표 2.7).

표 2.7 독일의 교통사업평가항목

구분	항목	소항목
편익	교통 비용 감소 (NB, Reduction of transportation)	차량고정비용 감소 (NB1, Decreased vehicle operation costs)
		차량운행비용 감소 (NB2, Decreased vehicle operation costs)
		교통수단전환에 따른 비용감소 (NB3, Changes in transport costs due to modal shifts)
	교통시설유지관리비용 감소 (NW, Transport infrastructure preservation)	교통시설 개 보수비용 감소 (NW1, Transport infrastructure renewal)
		교통시설 유지관리비용 감소 (NW2, Transport infrastructure maintenance)
	교통안전개선 (NS, Increased traffic safety)	-
	접근성개선 (NE, Improved accessibility of destinations)	-
	공간적 편익 (NR, Spatial advantage)	건설 중 고용창출 효과 (NR1, Employment impacts from building transport infrastructure)
		운영 중 고용창출 효과 (NR2, Employment impacts from operating transport infrastructure)
		국제교류증진 효과 (NR3, Contributions to promoting international relationships)
	유발교통효과 (NI, Impacts from induced traffic)	-
	항만, 공항연계개선 (NH, Improved links to and from seaportsand airports)	-
	교통 외 기능 충족 (NF, Fulfilment of non-transport functions)	-
비용	투자비용 (K, Invest costs)	-
환경위험도평가 (ERA, Environmental Risk Assessment)		환경위험도평가(ERA), 서식지영향평가(HDA, Habitats Directive Assessment)
공간영향평가 (SIA, Spatial Impact Assessment)		공간배치 및 개발, 혼잡완화 및 경로전환

라. 미국

○ 미국의 경우 하나의 사업이 추진되기 위해서는 크게 4가지 단계를 거쳐야 하는데, 첫째, 국가 및 주(state)차원의 교통정책설정 단계, 둘째, 중·장기 기간에 대해 목표 및 구상에 대한 내용을 포함하는 계획(Planning) 단계, 셋째, 비교적 중·단기 기간에 대해 구체적인

전략 및 노선에 대한 우선순위 등을 선정하고 예산확보 여부를 결정하는 프로그래밍(Programming)단계, 그리고 마지막으로 개별사업에 대해 노선대안설정 및 세부설계를 수행하는 사업추진(Project Development)단계 등으로 구분하고 있다.

○ 미국의 경우 세부적인 평가항목을 제시하고 있지는 않지만, 법령개정을 통해 교통사업을 추진함에 있어 고려해야하는 평가방향을 제시하고 있다 (표 1.8). 최근 도입된 SAFETEA-LU에서 교통계획수립 시 고려해야할 항목은 다음과 같이 8가지로 구분된다.

- Economic Vitality of the metropolitan area
- Safety of the transportation system
- Security of the transportation system
- Accessibility and Mobility
- Environment, Energy Conservation, and Quality of life
- Connectivity of the transportation system
- System Management and Operation
- Preservation of the existing transportation system

표 2.8 미국 대중교통투자의 경제적 효과 구분

Generative Impacts	Redistributive Impacts	Financial Transport Impacts
◦이용자 편익(통행시간 절감 등) ◦교통시스템 건설 운영 및 관리와 상관없는 고용 및 수입증가 ◦도시화/규모증대로 인한 편익(생산성 향상 등) ◦외부편익(대기질 향상 등) ◦접근성 편익(고용에 대한 접근 등) ◦주차감소로 인한 비용절감	◦토지개발(역주변 집단 개발) ◦토지개발로 인한 고용 및 수입증가 ◦Corridor 내 경제활동 증가	◦시스템 건설, 운영 또는 관리로 인한 고용 및 수입증가 ◦Joint development income to local agencies ◦Property tax impacts

2절. 국내외 시장현황 및 전망

1. 국내외 고속철도 경제 및 시장 분석

가. 정부의 교통시설투자계획 및 현황

○ ’05~’09년 중기교통시설 투자계획의 총투자규모는 117.8조원이며, 연차별 교통시설 투자규모는 ’05년 21.0조원, ’06년 22.5조원, ’07년 25.4조원, ’08년 25.4조원, ’09년 23.5조원으로 연평균 23.6조원이 중기교통시설투자규모로 제시되었다.

○ ’05~’09년간 중기교통시설 총 투자실적은 144.6조원으로 집계되었으며, 도로 부문의

비중이 58.7%로 가장 높으며, 철도 부문 18.3%로 26.4조원이며, 도시철도가 6.7%로 9.8조원이다.

- 중앙정부의 교통SOC 투자현황은 ’10년 기준 도로 56%, 철도 30%, 공항 0.5%, 항만 13%, 수준이다. (도시철도, 기타 제외)
- 우리나라의 철도시장규모는 매년 약 5.5조원 수준이다. (간선철도 약 4.4조, 지하철 약 1.1조원, 2010년 기준)

나. 국내철도 수송실적 추이

- 철도의 여객수송실적은 매년 증가하는 추세이며 화물수송의 경우 ’08년까지 증가세를 유지하다가 ’09년의 경우 글로벌 경제위기 등으로 인하여 전년대비 약 16% 감소한 것으로 나타났다 (표 2.9).

표 2.9 철도의 수송실적 추이

구 분	2005	2006	2007	2008	2009
여객수송 (백만인)	3,561	3,662	3,711	3,799	3,849
화물수송 (백만톤)	42	43	45	47	39

주: 여객수송은 KTX, 일반철도, 전철, 도시철도 포함
자료: 국토해양부,『철도업무편람』, 2010

- ’04년 고속철도 개통 등으로 철도여객의 수송분담률이 증가한 반면, 도로 및 항공 수송 분담률은 감했다. 또한, 도로, 철도의 국내화물 수송분담률은 증가하였으나, 항공, 해운의 경우 감소했다.
- 철도의 수송실적은 화물 수송은 ’09년 전체 수송량은 ’01년 대비 14% 감소하였으나, 철도 컨테이너 수송실적은 9.5% 증가했다.
- 지역간 철도 여객 수송실적은 ’80년 이래 통일호-비둘기호의 역할 축소로 감소하다가 KTX 개통 이후 반등했다.
- 국내교통 수요 전망을 살펴보면 ’08년 대비 ’15년까지 국내 지역간 여객수요는 1.07배(백만인/년 기준), 지역간 화물수요는 1.20배(천톤/년 기준) 증가 예상된다.
- 국내 지역간 여객수요는 ’08년 약 5,160백만 인/년에서 ’15년 약 5,529백만 인/년으로 연평균 0.99%의 증가율로 증가가 예상된다.
- 국내 지역간 화물수요는 ’08년 1,705백만톤/년에서 ’15년 1,916백만톤/년으로 연평균 1.68%의 증가율로 증가가 예상된다.

다. 국내 철도기술 수준 및 수출 규모

○ 건설교통기술평가원(2009)에 따르면 우리나라의 철도기술 수준이 선진국 대비 74% 수준으로 조사되었다 (표 2.10).
○ 궤도토목의 기술 수준이 가장 높게 나타났으며, 철도시스템 안전방재, 신호 및 통신 등의 기술 수준이 상대적으로 낮게 평가 됨.
○ 철도차량 기술(76.76%) 부분이 평균보다 높게 나타남.

표 2.10 국가별 철도산업 수출 규모

대분류 기술	평가점수		선진국 100% 환산	
	한국	최고기술 보유국	한국	최고기술 보유국
철도시스템 엔지니어링	47.52	62.63	75.87	100
철도시스템 운영관리	56.16	77.70	72.28	100
궤도토목 기술	56.35	70.04	80.45	100
전철 기술	47.17	61.29	76.96	100
철도신호 및 통신	54.93	77.92	70.50	100
철도시스템 안전방재	33.58	51.87	64.74	100
철도역사 시설물 및 역무자동화 기술	62.46	81.34	76.79	100
철도차량 기술	26.86	34.99	76.76	100
평균	48.13	64.72	74.29	100

※ 자료: 건설교통기술평가원, 2009

○ 우리나라의 철도 건설기술 수준은 세계최고 기술수준(일본, 영국, 독일 등) 대비 경쟁력이 60~80%로 나타났다 (표 2.11).

표 2.11 철도건설기술 경쟁력

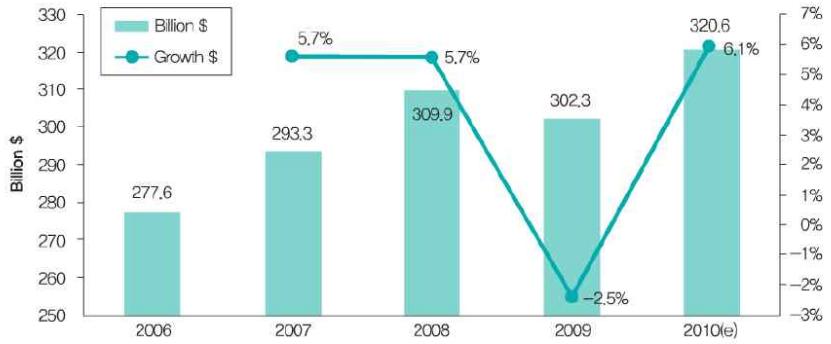
구분		국내 기술 수준	세계 최고 기술국가
궤도	궤도선형 분야	세계최도 대비 60%	스웨덴VTI 및 영국 BSI
	궤도시스템 분야	세계최도 대비 60%	일본 RTRI, 독일뮌헨대학, 네델란드 Delft 공대
	궤도구조 및 구성품 분야	세계최도 대비 75%	영국 Pandrol, 독일 Vossloh, 일본 RTRI
철도교량	철도교량 해석 및 설계 기술	세계최도 대비 80%	유럽, 일본
	철도교량 구성품 기술	세계최도 대비 80%	독일, 일본
	철도교량 시공 기술	세계최도 대비 80%	일본
	철도교량 성능평가 및 성능향상 기술	세계최도 대비 70%	일본, 미국
철도터널	철도터널 해석 및 설계 기술	세계최도 대비 70%	미국, 캐나다
	철도터널 시공 기술	세계최도 대비 80%	일본, 영국
	철도터널/선로변 공력평가 및 설계 기술	세계최도 대비 80%	영국, 독일
	초고속철도 진공터널 기술	세계최도 대비 80%	스위스, 미국
철도노반	지반구조물 설계 및 해석 기술	세계최도 대비 70%	미국, 독일, 일본, 네델란드
	지반구조물 시공기술	세계최도 대비 80%	일본
	지반구조물 신재료 및 구성품 기술	세계최도 대비 70%	일본, 독일, 미국
	지반구조물 성능평가 및 향상 기술	세계최도 대비 80%	일본, 미국

자료 : 한국철도기술연구원, Railway Technology 2020, 2010.

라. 국외 고속철도 시장 규모 및 전망

○ 세계 철도 시장규모는 2010년 3,206억달러 규모에서 매년 5.3%씩 성장하여 2015년에는 4,147억달러에 이를 것으로 전망되었다 (그림 2.9, 2.10).

○ 고속철 시장 규모는 2010~2024년간 약 20,000km의 연장 증설 전망에 기반, 1km당 0.26억달러의 사업비 가정, 총 5,200억달러, 연평균 350억달러의 시장이 전망되었다.



구 분	2006	2007	2008	2009	2010(e)	CAGR(%)/('06~'10)
철 도	277.6	293.3	309.9	302.3	320.6	3.7

자료 : Datamonitor, "Global Railroads", 2010. 11

그림 2.9 세계 철도시장 규모(건설교통기술 글로벌 동향, 2011)



구 분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	CAGR('10~'15)
세계시장	320.6	336.0	353.7	372.4	392.1	414.7	5.3

자료 : Datamonitor, "Global Railroads", 2010. 11

그림 2.10 세계 철도시장 전망(건설교통기술 글로벌 동향, 2011)

2. 국내외 해저터널 경제 및 시장 분석

가. 해저터널 시장전망

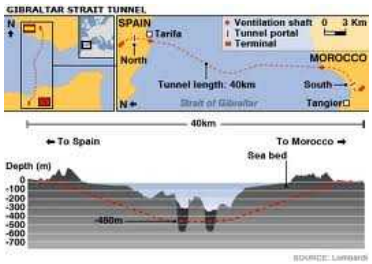
○ 국가간, 대륙간 또는 국내 지역간에도 대단위 물류수송이 빈번한 경제흐름으로 인하여 거리가 많이 떨어져 있는 지역간을 연결할 수요가 날로 증가하고 있다. 세계적으로 많은 주목을 받고 있는 대형 해상연결 프로젝트로는 다음 그림과 같이 아시아와 북미를 연결하는 베링해엽 횡단연결, 유럽의 이베리아 반도와 아프리카를 연결하는 지브롤터해엽 횡단연결, 그리고 이태리의 메시나해엽 횡단연결 등이 있다 (그림 2.11). 이곳들은 모두 해상교량, 지중터널, 그리고 수중교량 형식에 대해서 검토되었거나 현재 진행되는

곳이다 (그림 2.12, 2.13).



그림 2.11 대형 해상연결 프로젝트 후보지





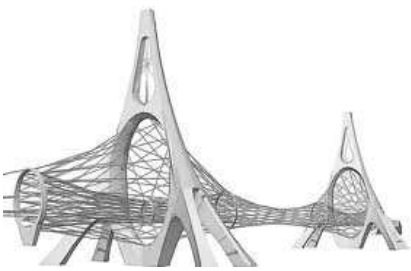




그림 2.12 Gibraltar 해협의 횡단계획



그림 2.13 Bering 해엽의 횡단계획

○ 이러한 대형 대륙간 연결 프로젝트 이외에도 유럽, 일본, 뉴질랜드 그리고 북미주의 의 섬들의 연결과 호수의 횡단프로젝트에서 SFT를 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단되며 예상할 수 있는 후보지는 그림 2.14, 2.15, 2.16과 같다.

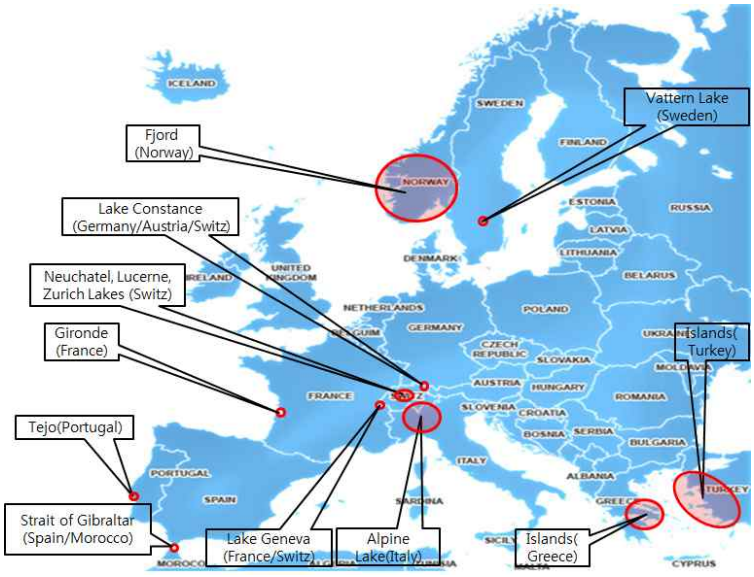


그림 2.14 유럽의 수중교량 건설 후보지



① Houyo strait(Kyushu-Shikoku)
② Kitan Strait(Honshu-Awaji Island)
③ Isewan Bay
④ Tokyo Bay
⑤ Funka Bay

그림 2.15 일본의 수중교량 가능 후보지

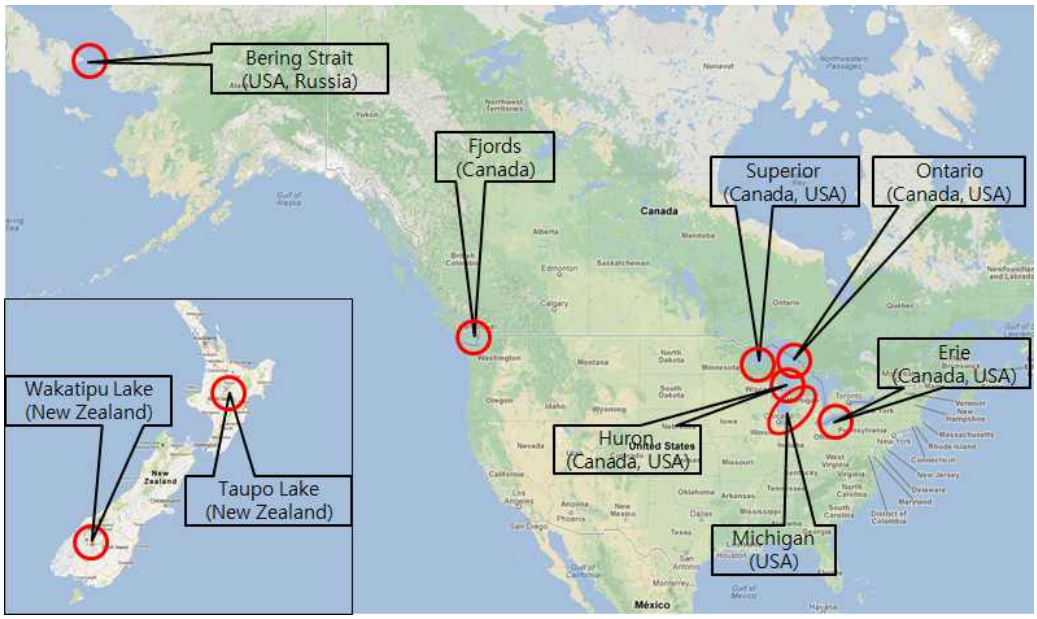


그림 2.16 북미와 뉴질랜드의 수중교량 가능 후보지

○ ITA(International Tunnel Association)에서 예상한 해중터널 적용 가능 해협은 다음 표 2.12와 같고, 내륙 호수에서 적용 가능 지역은 표 2.13와 같다.

표 2.12 해중터널 적용 가능 해협

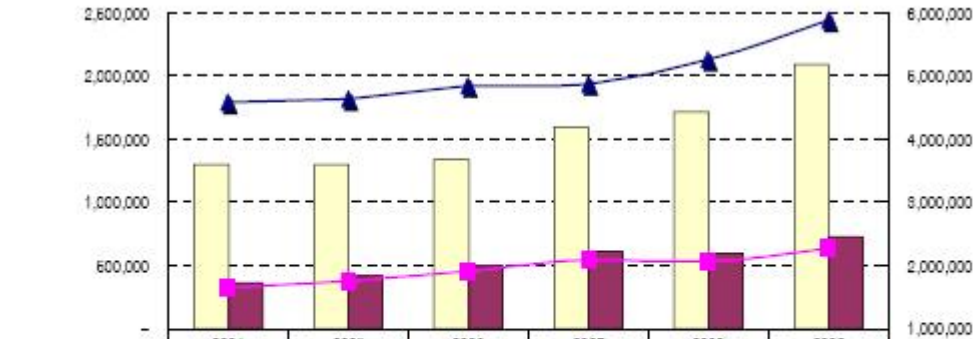
Country	Possible Locations for Coastal SFTs
Norway	Many fjords
Italy	Strait of Messina
Greece	Mainland to islands
Turkey	In-between continents; between mainland and islands
Spain/Morocco	Strait of Gibraltar
France	Gironde
U. S. A.	Fjords on west coast
Alaska	Bering Strait
Canada	Fjords on west coast
South China Sea	Between islands
Coast of Southeast Asia	Mainland to Islands
Japan	Mainland to Islands; between Islands

표 2.13 해중터널 적용 가능 내륙 호수

Country	Location of Lake
EUROPE:	
Italy	Como/Lecco
Italy	Maggiore
Italy	Lugano
Italy	Is대
Italy	Garda
Switzerland	Neuchatel
Switzerland	Vierwaldstettersee Lake Lucerne
Switzerland	Zurichsee
France, Switzerland	Geneve/Leman
Germany, Austria, Switzerland	Bodensee/ Constance
Sweden	Vattern
Portugal	Rio Tejo
THE AMERICAS:	
Canada, U. S. A.	Superior
Canada, U. S. A.	Huron
Canada, U. S. A.	Erie
Canada, U. S. A.	Ontario
U. S. A.	Michigan
Nicaragua	Managua
Peru, Bolivia	Titicaca
ASIA:	
Israel, Jordan	Dead Sea
Japan	Biwa Ko
Ukraine	Azov
OCEANIA:	
New Zealand	Taupo
New Zealand	Wakatipu

나. 호남~제주 구간

○ 호남경제권은 해양, 문화, 관광 및 녹색산업 육성, 제주경제권은 고품격 관광 레저산업 육성 예정이다.
○ 제주 방문객은 2007년 기준 항공기 이용자가 830만명으로 해운 이용자(85만명)의 10배이나, 항공편은 운항조건, 수송능력, 요금에 취약하다.
○ 예를 들어, 기상여건으로 인행 항공편은 2004~2008년 동안, 평균 707회 결항, 222회 지연결항으로 항공기 이용자 손실 412억원 발생했다.
○ 관광산업 현황을 분석하면, 제주 방문 내외국인 관광객이 지속적으로 증가하고 있다(그림 2.17).



	2004	2005	2006	2007	2008	2009
관광수입 내국인	1,307,900	1,308,000	1,345,900	1,608,800	1,724,100	2,101,600
관광수입 외국인	370,700	417,100	500,800	611,000	593,200	726,400
관광객수 내국인	4,603,000	4,641,000	4,852,000	4,887,000	5,281,000	5,891,000
관광객수 외국인	329,000	378,000	460,000	641,000	540,000	682,000

그림 2.17 제주 관광객 및 관광수입 추이

○ 해중 고속철도 건설 사업후 호남~제주 구간 철도 이용객 수요 예측을 실시한 결과는 표 2.14와 같다. 호남~제주 고속철도 건설사업 미시행시 장래 수요 예측을 위하여 “한국공항공사 공항통계”와 “국토해양부 보도자료”에 제시된 연평균 증가율을 적용하였으며, 고속철도 건설사업 시행시 항공 및 여객선 수요 예측을 위하여 미시행시 산정된 통행량에 구속철도 수요를 제외한 통행량을 앞서 제시한 각 수단별 이용비율을 적용하였다.

표 2.14 제주도 방문 각 수단별 통행량 (단위 : 천명)

구 분		미시행			시행시			
		비행기	여객선	합 계	비행기	여객선	KTX	합계
통행량	2016	11,525	1,316	12,841	4,013	458	8,369	12,841
	2026	16,227	2,135	18,363	6,274	825	11,262	18,363
	2036	22,847	3,465	26,313	11,164	1,693	13,455	26,313

○ 호남~제주 해저고속철도 프로젝트 중에서 목포-제주 연결은 해남에서 보길도와 추자도를 거쳐서 제주에 이르는 총 100여 km의 노선이 유력한데 (그림 2.18) 해남에서 보길도까지는 해상교량으로 건설하고 그 이후에는 추자도를 거쳐서 제주도까지 약 70여 km를 해저 지중터널로 계획하였다. 지중터널의 중간에는 환기를 위한 수직구가 설치된다. 이 노선 상에서 최대 수심은 제주도와 추자도 사이에 약 150m, 추자도와 보길도 사이에는 약 80m이므로 지중터널과 침매터널과 함께 수중교량을 심해구간에 건설한다면 매우 경제적인 횡단공법이 가능할 것으로 판단된다.

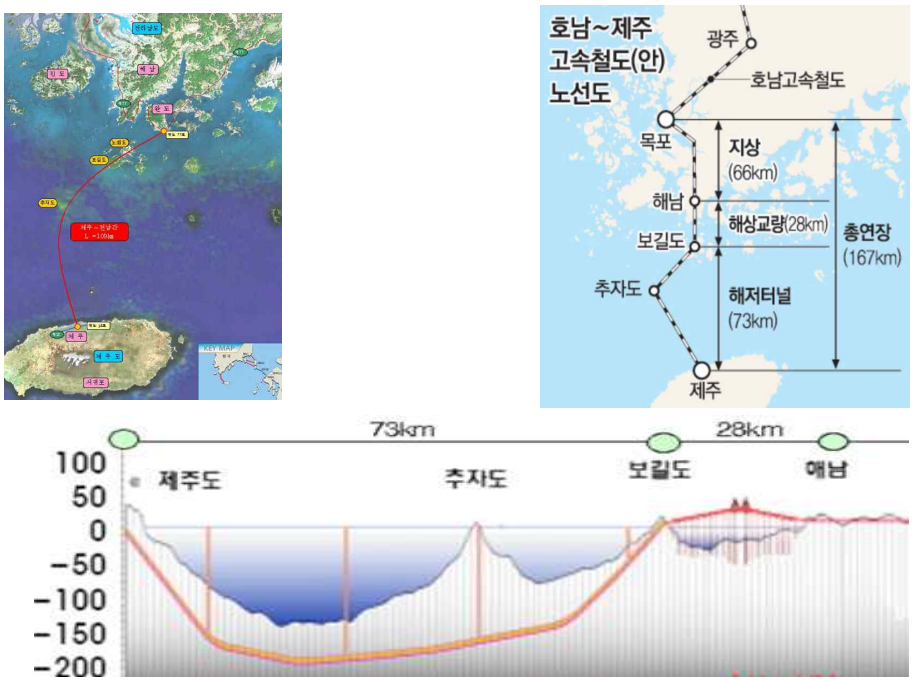


그림 2.18 목포-제주 해상연결 구상안

○ 호남~제주 고속철도 노선(그림 2.19)은 해남~보길도 7.7km 구간①과 보길도~추자도 24.1km 구간 ②, 추자도~제주도 49.9km 구간 ③으로 나눌 수 있으며 각 구간별 수심을 표시하면 그림 2.20 ~ 2.25와 같다.



그림 2.19 호남-제주 노선

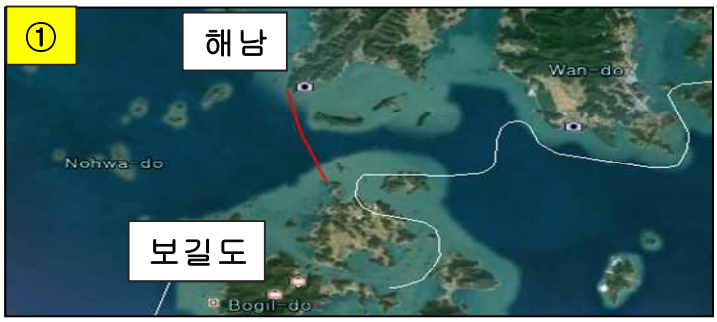


그림 2.20 호남-제주 노선1 상세

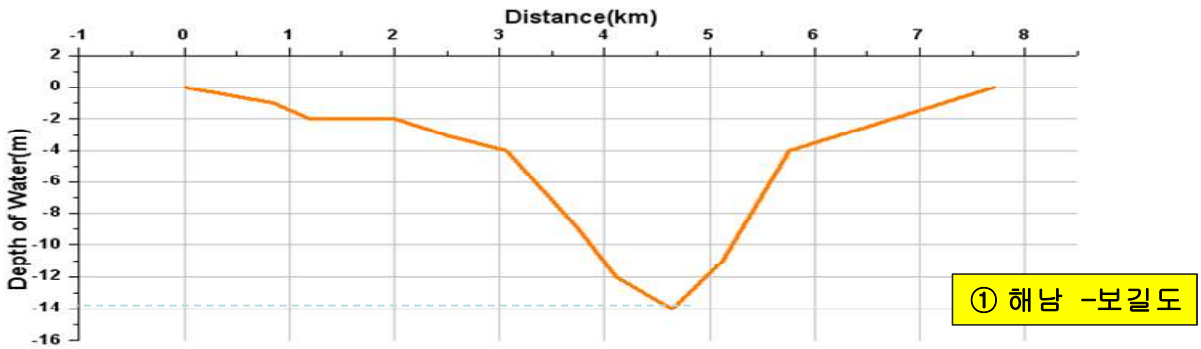


그림 2.21 호남-제주 노선1 수심



그림 2.22 호남-제주 노선2 상세



그림 2.23 호남-제주 노선2 수심



그림 2.24 호남-제주 노선3 상세



그림 2.25 호남-제주 노선3 수심

○ 호남~제주 해저고속철도 노선의 특징 및 경제성은 다음과 같다. 호남~제주 구간중 추자도~제주도 구간 ③은 수심이 대체로 깊고 최고 140m에 달하며, 해남-보길도 7.7km 구간은 해상 교량을 건설하는 것으로 계획되었다. 호남~제주 구간 고속철도의 운행을 위해 해저터널로 건설하는 건설비는 14조6천억으로 추산되었으며 이 경우 경제성은 부족한 것으로 평가되고 있다.

다. 한·중 해저터널 구간

○ 1992년 한중 수교이후 한중간 경제적 교류협력이 급격하게 증가하여, 1992~2006년 기간 동안 한국의 대외교역은 연평균 10.4%의 증가세를 나타낸 반면 한국의 대중국 교역은 연평균 23.2%의 증가세를 나타냈다 (그림 2.26).

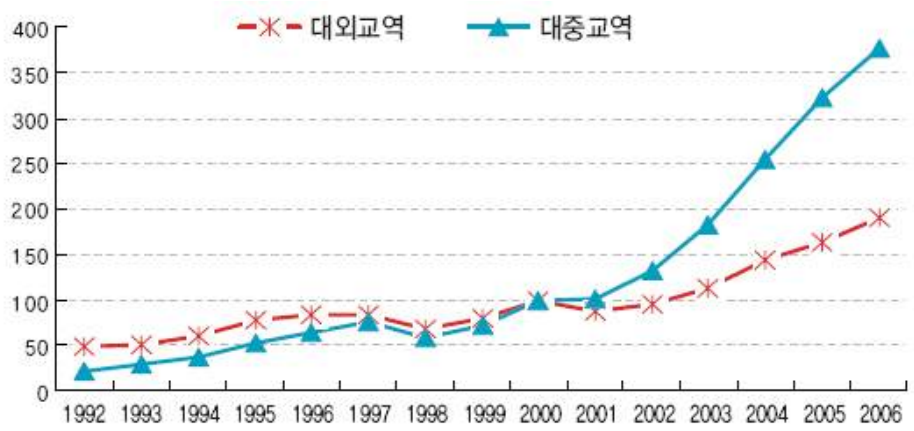


그림 2.26 한국의 대외교역 및 대중국 교역추이(2000년=100)

○ 한·중 해저터널 구간의 여객 통행량은 표 2.15와 같다.

표 2.15 한중간 여객 통행량 단위 : 명

구 분	항 공[1]		항 만[2]	
	한국 → 중국	중국 → 한국	한국 → 중국	중국 → 한국
2002	2,494,810	2,517,368	410,861	589,139
2003	2,215,186	2,192,436	448,340	551,660
2004	3,115,739	3,105,628	453,959	546,041
2005	3,858,573	3,826,865	410,205	617,088
2006	4,227,754	4,252,096	543,736	633,074
2007	5,200,379	5,257,206	517,932	586,719
2008	4,505,661	4,539,773	539,691	557,101
2009	3,998,766	3,983,102	558,044	583,149
2010	5,149,365	5,171,652	731,700	754,038
2011	5,531,385	5,574,904	738,724	761,276

자료 : 1) 한국공항공사, 2) 국토해양부

○ 한·중간 화물 수요현황 및 교역액 추이는 표 2.16과 같다.

표 2.16 한중간 교역액

구 분	한중간 교역액(백만달러)		한중간 교역량(천톤)	
	한국 → 중국	중국 → 한국	한국 → 중국	중국 → 한국
2002	23,754	16,575	22,891	52,892
2003	35,110	21,909	28,583	60,477
2004	49,763	29,585	31,346	52,822
2005	61,915	38,648	31,414	56,898
2006	69,459	48,557	36,375	56,180
2007	81,985	63,027	33,404	63,190
2008	91,389	76,930	34,442	57,481
2009	86,703	54,246	37,844	36,688
2010	116,838	71,574	36,926	39,680

자료 : 국토해양부 통계자료

○ 한중해저터널은 경기개발연구원을 중심으로 타당성연구를 진행하였으며, 총 4개의 노선

이 제안되었고 (그림 2.27) 1안은 웨이하이(威海)와 인천을 연결하는 341km, 2안은 화성을 연결하는 373km, 3안은 평택을 연결하는 386km, 4안은 옹진을 연결하는 221km이고 양측의 저심도 구간에는 해상교량을 건설하고 침매터널과 지중터널을 혼용하는 방식으로 중앙부를 관통하고 환기, 대피, 관광을 위해서 25km~50km마다 인공구조물 및 터널 양단에 인공섬을 건설하는 것으로 계획되었다. 이 구간은 중국연안쪽에서 최대 수심이 약 80m에 이르는 수중협곡이 존재하고 나머지는 평균수심이 약 40m정도로 대수심부에 해중철도를 적용하고 60m이하의 저수심부에 침매터널과 지중터널을 복합적으로 적용하면 매우 경제적인 해상횡단이 가능할 것으로 판단된다.



그림 2.27 한중해저터널 노선

○ 한·중(인천~웨이하이) 구간 노선 상세: 영종도와 엔타이를 연결하는 구간 (그림 2.28)의 해저 수심도를 위성 자료를 통해 얻은 결과를 기초로 표시해 보면 그림 2.29와 같으며, 서해는 최대 수심이 80m를 넘지 않는 대륙붕 구간이다.

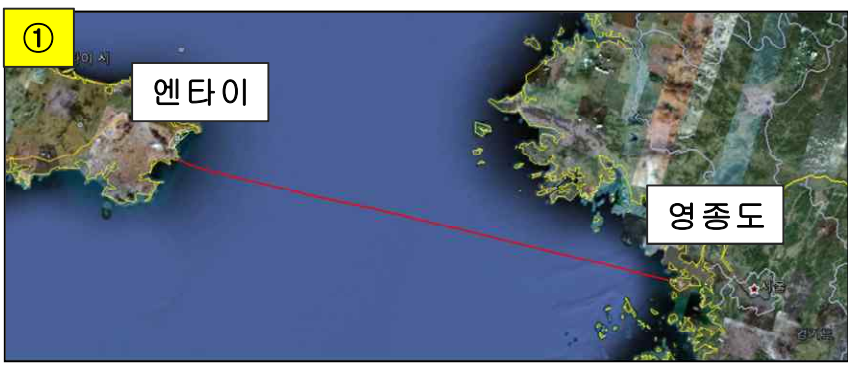


그림 2.28 한중노선 상세



그림 2.29 한중노선 수심

○ 한·중(인천~웨이하이) 해저고속철도구간의 경제성은 다음과 같다. 인천과 웨이하이를 연결하는 한·중 해저터널 노선(341km)에 대한 타당성 검증과 경제성 분석 결과, 건설비는 123조원이고 편익 대 비용의 비는 0.6으로서 경제성이 낮은 것으로 분석되었음

라. 한·일 해저터널 구간

○ 한·일간 수송 실적은 표 2.17, 2.18과 같다.

표 2.17 한일 간 여객 수송실적 현황(단위: 명)

구분	항공			해운	총 합계
	항공입국	항공출국	항공 계	해운 계	
1991			5,085,819		5,085,819
1992			5,106,194		5,106,194
1993			5,356,483		5,356,483
1994			5,640,871		5,640,871
1995			5,643,300		5,643,300
1996	2,805,281	2,818,196	5,623,477	271,743	5,895,220
1997	2,382,321	2,428,953	4,811,274	304,778	5,116,052
1998	3,033,636	3,096,986	6,130,622	288,889	6,419,511
1999	3,402,458	3,465,370	6,867,828	417,417	7,285,245
2000	3,719,482	3,730,436	7,449,918	531,286	7,981,204
2001	3,664,187	3,715,832	7,380,019	571,595	7,951,614
2002	3,821,621	3,875,519	7,697,140	732,801	8,411,941
2003	3,423,631	3,449,369	6,873,000	811,165	7,684,165
2004	4,100,293	4,110,111	8,210,404	1,005,424	9,215,828
2005	4,282,395	4,309,739	8,592,134	1,028,333	9,620,467
2006	4,545,091	4,591,827	9,136,918	1,151,560	10,288,478
2007	4,769,759	4,810,986	9,580,745	1,391,600	10,972,345
2008	4,714,474	4,755,793	9,470,267	1,429,779	10,900,046

자료 : 항공: 항공정보포탈시스템, 항공통계, http://www.airportal.co.kr
해운: 부산항만공사, 부산국제여객터미널 수송실적, http://www.busanpa.com

표 2.18 한일 간 화물실적 현황 (단위: 톤)

구분	항공			해운			총 합계
	항공수입	항공수출	항공계	해운수입	해운수출	해운 계	
1991			233,000				
1992			233,000	4,420,649	4,386,864	8,807,513	9,040,513
1993			246,000	4,291,118	4,340,930	8,632,048	8,878,048
1994			267,000	6,810,554	5,577,339	12,387,893	12,654,893
1995			305,000	14,616,771	13,566,342	28,183,113	28,488,113
1996	152,604	164,349	316,953	17,521,267	19,041,198	36,562,465	36,879,418
1997	169,582	176,337	345,920	16,075,387	20,556,036	36,631,423	36,977,343
1998	144,444	190,484	334,927	12,559,717	20,635,692	33,195,409	33,530,336
1999	169,491	211,175	380,666	16,983,927	25,879,216	42,863,143	43,243,809
2000	206,308	221,976	428,284	17,905,359	28,216,382	46,121,741	46,550,025
2001	157,258	230,482	405,740	21,774,783	32,348,125	54,122,908	54,528,648
2002	188,138	222,427	410,565	26,756,076	29,977,498	56,733,574	57,144,139
2003	193,169	215,036	408,205	28,345,609	29,617,836	57,963,445	58,371,650
2004	205,427	233,058	438,485	31,859,790	33,053,758	64,913,548	65,352,033
2005	223,854	223,895	447,749	32,918,398	31,704,509	64,622,907	65,070,656
2006	245,881	210,495	456,340	36,316,694	32,881,121	69,197,815	69,654,155
2007	251,031	204,570	455,601	39,300,355	30,741,845	70,042,200	70,497,801
2008	217,368	201,764	419,132	37,842,051	33,294,100	71,136,151	71,555,283

자료: 항공: 항공정보포탈시스템, 항공통계, http://www.airportal.co.kr
해운: 해운화물수송 통계(국토해양부, 해운항만물류정보시스템, http://spidc.go.kr)

○ 한·일 구간 노선 상세는 부산에서 대마도를 거쳐 사가현을 연결하는 한·일 노선(223km)의 경우 (그림 2.30) 수심도를 표시하면 다음 그림 2.31과 같으며 100m 이상되는 구간이 상당 부분이다.



그림 2.30 한일 노선1 상세



그림 2.31 한일 노선1 수심



그림 2.32 한일 노선2 상세

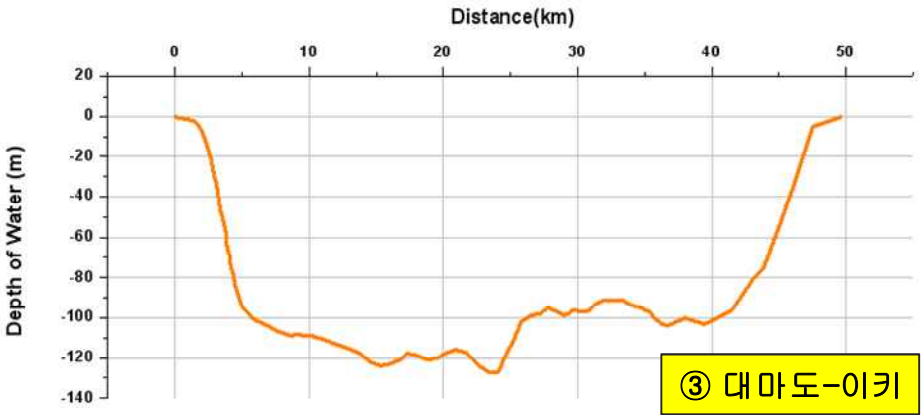


그림 2.33 한일 노선3 수심



그림 2.34 한일 노선4 수심

마. 해저터널의 공사비

○ 한중 해저터널 국제세미나(2009년)에 따르면, 한중 해저터널 1안인 인천-웨이하이 노선은 123조 4,470억원, 2안인 화성-웨이하이 노선은 117조 8,094억원, 3안인 평택·당진-웨이하이 노선은 127조 9,817억원, 4안인 옹진-웨이하이 노선은 72조 5,770억원의 공사비가 소요될 것으로 예상된다 (표 2.19).

표 2.19 한중 해저터널 공사비 산정

(단위 : 억원)

구 분	단 가(억원)	인천~웨이하이	화성~웨이하이	평택·당진 ~웨이하이	옹진~웨이하이
shield TBM	3.50(억원/m)	771,050	771,050	771,050	646,500
침 매	2.60(억원/m)	290,420	217,620	316,628	57,200
NATM	2.00(억원/m)	8,000	11,800	10,840	
교량	0.40(억원/m)		11,424	11,424	
토공	0.15(억원/m)		1,200	4,875	2,070
환기구	5,000(억원/개)	25,000	25,000	25,000	20,000
정거장	140,000(억원/개)	140,000	140,000	140,000	
총 계		1,234,470	1,178,094	1,279,817	725,770

- ○ 영불해저터널 총공사비는 2004년 기준 9,456백만파운드가 소요되었고 터널공사비 45%, 터미널 및 기타 고정 시설비 38%, 차량 및 기타 시설 비용 17%임. 이는 1985년 작성된 사업 제안서 예정 비용 4,740백만 파운드의 2배에 달하는 규모이다.
- ○ 세이칸 해저터널은 건설비 10,736억엔, 철도운영비 3,690억엔이 소요되었다.
- ○ 해저터널의 건설비는 사업별로 다양하게 예측되고 있으나, 지브롤터 해저터널, 베링해협 해저터널 등을 고려해 볼 때, 시공이 용이할 경우 km당 2,000억원~3,500억원 수준으로 예상된다(한중 해저터널 국제세미나, 2009년).
- ○ 유로터널의 단위 km당 공사비 3억불 및 유사터널의 원단위를 기초로 할 때 한일 해저터널의 공사비는 약 92조원으로 예상된다 (표 2.20).
- ○ 덴마크-스웨덴 외레순 다리의 건설비는 2000년 기준으로 약 4조8천억원이 소요되었다 (그 중 65%는 외레순 다리 공사비이며, 나머지는 육상시설 공사비).
- ○ 지브롤터 해저터널은 2045년 중공예정으로 공사비는 약 130억달러(약 11조원)으로 예상된다.
- ○ 중국-타이완 해저터널은 연장 130km에 건설 기간 16년으로, 1조 4,000억원의 예산이 소요될 것으로 예상된다.

표 2.20 유로터널과 한일 해저터널 공사비 비교

구분	수송수단	터널형식	연장 (km)	단위 공사비	공사비
유로 터널	고속철도+일반철도 (카트레인)	· 단선철도 터널 2본 - 1본 직경 7.6m · 서비스 터널 1본 - 직경 4.8m	50.45	3억불 (3,300억원)	150억불 (16.5조)
한일 해저 터널	고속철도+일반철도	· 고속철도+일반철도 터널 1본 - 터널직경 9.5m · 서비스터널 1본	230		580억불 (7조엔)
		유로터널과 동일	230	3억불 (3,600억원)	690억불 (82.8조)
	고속철도+자동차(도로)	· 고속철도+도로터널 1본 - 1본 터널직경 14.0m · 서비스터널 1본	230	440억엔 (4,400억원)	10.12조엔 (101.2조)
		· 고속철도+도로터널 2본 - 1본 터널직경 14.0m · 서비스터널 1본	230	870억엔 (8,700억원)	20.01조엔 (200.1조)

주: 환율적용 : 1$(약1,200원), 100엔(약1,000원)
※ 유로터널의 단위 km당 공사비는 광안대로의 1천억원에 비해 3.3배 수준 임

3절. 기술동향분석

1. 국가별 해중철도 기술동향

가. 노르웨이

(1) 노르웨이 해안고속도로 E39의 배경

○ 노르웨이 해안고속도로 E39는 유럽 일주 고속화 도로 망의 일부로 건설된 것이다. 이 도로는 노르웨이 서부 해안을 따라서 건설되는 것으로 남쪽에 있는 크리스티안샌드(Kristiansand)에서 중부에 있는 트론하임(trondheim)을 연결하는 것으로 총 연장은 약 1,100km에 달한다. 2013년 말까지 이 도로를 따라서 7개의 페리 선착장이 남아 있게 되는데 대부분이 폭이 넓고 수심이 깊은 피오르드 지역이라서 여기에 도로를 건설하기 위해서는 막대한 비용과 지금까지 노르웨이에 건설된 어떠한 것보다 더 긴 경간 구조물이 필요하게 된다.



그림 2.35 노르웨이 해안고속도로

○ 노르웨이 교통통신부에서는 해안고속도로 E39에 대한 타당성조사를 실시하여 기술적 문제와 실현 가능성을 확인하고 페리선을 이용하지 않고 더욱 효율적으로 이 지역을 개발하는 데에 따른 산업 측면에서의 혜택과 일반적인 이점을 검토한 바 있다. 이 도로가 완성되면 크리스티안샌드(Kristiansand)에서 트론트하임(trondheim)까지 해안선을 따라 이동하는 시간이 8-9시간 단축되며 전체적으로는 약 11-12시간이 단축되게 된다. 현재 크리스티안샌드에서 트론트하임까지 20시간이 소요되는 것이 이 도로로 인하여 개선될 전망이다. 타당성조사는 다음과 네 가지 요인을 분석하였다. 즉, 사회적 측면, 피오르드 횡단, 에너지 및 공사 진행 방법과 계약 형식 등이다. 타당성조사는 최신 공법에 주로 중점을 두었다. 이 프로젝트는 국내외에서 큰 관심을 끌고 있으며 공사의 특성 상 많은 분야에서 국내외의 전문가들을 필요로 하고 있다. 이 사업의 주관 시행처는 노르웨이 공공도로청(NPRA, Norwegian Public Road Administration)으로서 여러 기관에 해당 업무를 분할해 두고 있다. 2012년 12월에 진행 현황을 보고서를 발표한 바 있고 최종보고서는 2013년에 발간될 예정으로 있다. 정부의 국가교통계획 2014-2023에 따르면, 동 프로젝트는 2014년데 착공하여 20년 내에 완공하는 것으로 되어있다.

(2) 사회적 측면

○ 노르웨이의 전통적 수출은 E39가 통과하는 6개 지역에 있는 산업체가 주도적으로 역할을 담당하고 있다. 이 도로 망을 개선하면 서부 노르웨이 지역의 남과 북을 연결하는 운송 시간이 최단 시간으로 단축된다. 따라서 이 도로는 서부 노르웨이 지역 발전에 크게 기여할 것이며 많은 인구와 산업체에 대한 시너지 효과를 기대할 수 있게 된다. 노르웨이에서는 정량적 영향에 대한 기본적인 사회, 경제적 방법론이 잘 발달되어 있어서, 운송 비용 절감, 교통 사고 및 소음 공해 등에 관한 분석을 위한 기초 자료를 활용할 수 있다. 최근 재무부에서는 할인율과 투자 감가상각 기간과 같은 매개변수를 4%, 40년으로 변경한 바 있다. 새로운 계산 방법에 따라서 주기가 긴 대형 교량과 같은 구조물에 대해서는 잔존 가치를 40년 이상 허용하고 있다. 이러한 방침 변경으로 인하여 주요 인프라에 대한 투자가 이전 보다 더 경제성을 가질 수 있게 되었다. 모델 분석한 결과를 보면, 페리선 이용과 E39 상의 좁은 도로 이용을 원하지 않는 많은 차량들이 남북으로 이 도로를 이용하여 적은 비용으로 더 긴 거리를 이용할 수 있을 것으로 보인다. 80-90km/hour, 통행료가 없는 조건으로 모델 시뮬레이션 한 것을 보면, 모든 페리선이 육상 교통으로 대체되어 250%-500%의 교통량 증가가 예상되며 현재의 대체 도로와 동서 산악 지대를 통과하는 교통량이 E39 도로로 편입되는 것으로 나타나고 있다. 인적 수송 비용은 2020년에 연간 약 10억불이 절감되며 교통사고 감소와 화물 운송비 절감 분을 감안하면 이 수치는 더 늘어나게 된다. 그러나, 현재의 방법으로는 입증할 수 없는 다른 많은 영향이 있는데 여기에는 일반 생산성의 장기적 변화, 산업과 무역의 생산성, 주거와 고용 시장 확대로 인한 수출 가치에 있어서의 국가 및 지역 경제에 관한 장기적 영향, 고효율 저비용 화물 운송비 등이 포함된다. 현재 매년 약 15,000 명이 이 지역으로 도로를 이용하고 있는데 이는 노르웨이 해안 도시인 하우게순트의 모든 직장인들이 E39 도로 위에서 운전하는 일 외에는 하는 일이 없는 것과 마찬가지인 결과가 되는 셈이다. 계산한 것을 보면, 투자가 계획대로 이루어지고 도로가 개선되면 이러한 수치는 연간 약 6,000명으로 감소하게 되며 동일한 물량의 화물을 운송하는데 운송 차량을 현재보다 40%까지 축소시킬 수 있게 된다. 다른 중요한 영향으로는 인프라에 대한 광범위한 투자 효과를 들 수 있다. 교통이나 경제 성장에 반영되지 않는 파급효과를 감안하는 것 역시 중요한 측면인데, 여기에는 노르웨이 서부 해안 지대의 엄청난 인적자원 효과 및 이 지역 산업이 얻을 수 있는 “지식 허브“로서의 기능이 포함된다. E39 도로 영향권 내의 거의 모든 기업들은 보다 개선된 인프라 설비가 있어야 기업이 존속되고 성장을 계속할 수 있을 것으로 여기고 있다. 그 이유는 기업의 존속과 성장은 인적자원에 좌우되기 때문이다. 베르겐에 소재한 경제와 기업 운영에 관한 연구소(SNF)에서 조사한 바에 따르면, 베르겐과 스타방거 두 지역에서 일하는 300,000명을 단순히 지역적으로 연결만 해 주는 것으로 장기적으로 연간 일반 생산성이 거의 20억 불이 증가하는 것으로 나타나 있다. 다른 조사에서는 이것 보다는 상당히 낮은 수치를 보이고 있지만 이것은 장기적인 소득 수준이 전체적인 노동시장이나 출퇴근하는 노동시장에만 적용할 수 있는 가에 대하여 서로 추정하는 바가 다르기 때문이다. 관련된 노동시장에 대한 상이한 견해를 감안하여, 오슬로에 있는 BI 노르웨

이 비즈니스 스쿨에서 연구한 것을 보면, 북부에 있는 몰데와 알레순트 지역의 노동시장의 생산성이 위와 비슷한 수준으로 증가한 것으로 알 수 있다. 이러한 조사 결과를 이 도로가 지나는 다른 지역에서도 현재 적용하고 있다. 노르웨이에서 이전에 검토하지 않은 다른 가능한 영향으로서는 건강상의 이유로 실직하는 수준은 노동시장의 규모에 크게 영향을 받는다는 것이다. 이러한 논리는 크리스티안샌드에 있는 액더 연구소에서 입증하였는데, 오슬로에서는 이러한 수준이 가장 낮은 것으로 되어있다. 남부 해안 지역과 북부 해안지대에서는 건강상의 이유로 실직하는 수준이 상당히 높게 나와 있다. 액더 연구소에서는 현재 페리선을 이용한 출퇴근이 없어지게 될 때 E39 도로 주변 지역에서의 건강 상 실직이 어떤 영향을 받을 것인가 하는 것과 지역 사회에 미치는 경제적 가능성에 관하여 연구하고 있다. 국가 및 지역 경제에 미치는 영향과 전통적인 수출에 대한 가치에 대한 추가 연구가 시작될 예정으로 있다.

(3) 피오르드 횡단

○ 현재 7개의 페리 선착장을 대체할 수 있는 횡단에 대한 기술적 요소를 검토하고 있으며 일반적인 결론은 어느 곳에서도 이를 설치할 수 있다는 것이다. 재래식 장경간 교량 기술을 좀더 발전시키면 현수교의 경간을 더 길게 할 수 있고 북해에서 오일, 가스 설비를 시공한 경험을 좀 더 발전시키면 부유식 구조물도 가능할 것이다.

(4) Sogne 피오르드 횡단

○ Sogne Fjord는 폭이 3.7km로서 극한 설계 교량에 대한 신개념을 적용할 시범지역으로 운영하고 있다. 수심이 1300m이며 암반 위 퇴적물이 2-300m에 달하는 Sogne Fjord는 횡단하기에 가장 어려운 지역으로 간주하고 있다. Sogne Fjord 수심이 이처럼 극히 깊지만 도로에 연한 다른 피오르드 또한 500-600m 정도의 수심을 가지고 있다. Sogne Fjord의 해중터널로서 두 개의 곡선 원통형 관을 부유식 폰툰에 고정하는 방식이 제안되었다. 터널의 연장은 4,083m로서 본선과 연결하기 위하여 피오르드 양쪽에서 재래식 터널로 연결된다. 해중터널에 관한 연구는 다음 컨설팅 회사에서 진행하고 있다: Reinertsen/Olav Olsen, Snohetta 아키텍트, Ramboll, Faltinsen, Johansson, Arup and Berger ABAM.

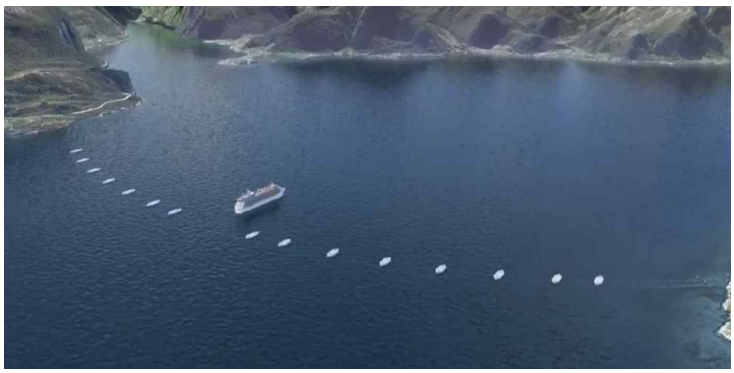


그림 2.36 부유식 폰툰

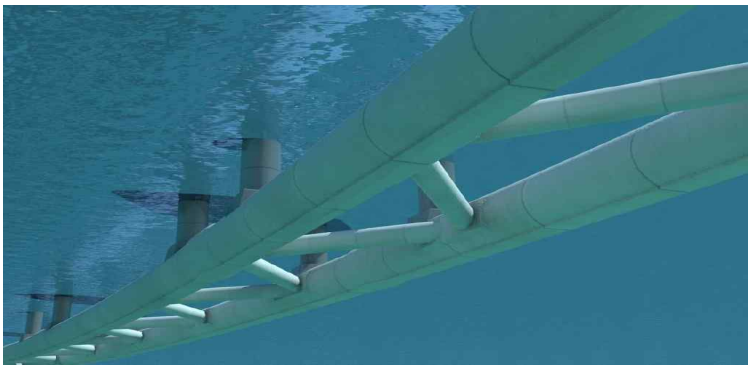
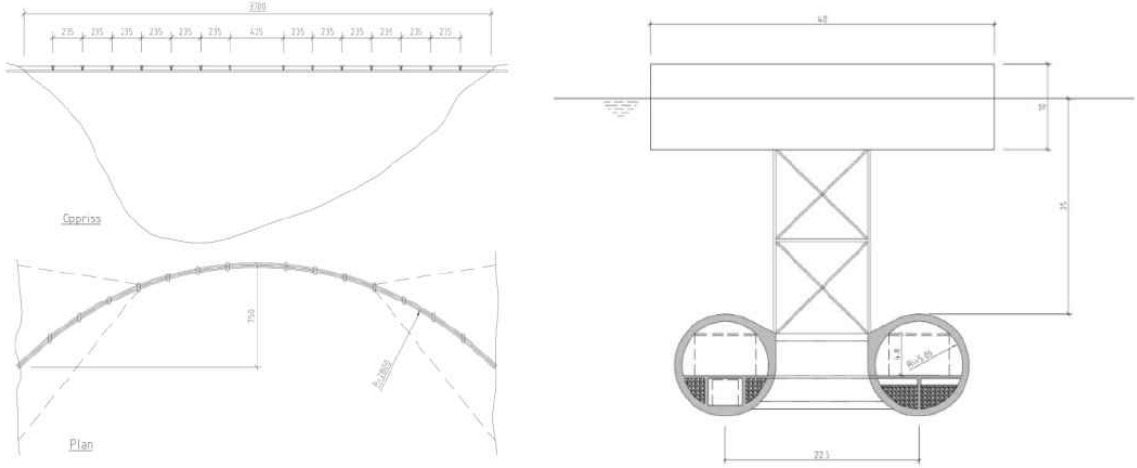


그림 2.37 폰툰에 고정시킨 해중터널 (Ill: Reinertsen/Olav Olsen)

○ 해중터널은 400m, 20m, 70m의 통과높이와 폭, 깊이를 충족시키며, 이 설계 범위를 벗어나서 선박이 충돌하는 경우, 선박의 승객이나 승무원뿐만 아니라 도로 이용자들이 치명적인 사고의 위험 없이 충돌 에너지를 흡수하도록 설계된다.

○ Sogne Fjord 횡단을 위해 Cowi AS, Aas-Jackson AS, Johs Holt AS, NGI 및 Skanska AS로 구성된 그룹은 횡단 공법으로 다양한 대안들을 구상하고 개발하였다. 그림 2.38은 부교에 기초한 개념을 보여주고 있다. 2개의 평행관을 사용하는 공법에서 이들 관은 235m 간격으로 연결되어 두 관 간격이 250m 미만 거리에서 NPRA에서 요구하는 대피 통로를 제공한다. 관을 수평 아치 형태로 형성하면, 이러한 연결을 형성하는 두 개의 관은 수평면에서 강성을 갖는 “비렌딜” 형태의 곡선 빔을 형성한다.



a. Plan and side view　　b. Cross-section

그림 2.38 1st proposed SFT with pontoons

○ 이러한 아치는 수평 방향의 조류, 바람 및 파력에 저항하는데 필요한 강성과 힘을 갖게 된다. 균일한 외부 압력을 전제 시 좌굴과 관련한 아치의 최적 경간장의 비율은 약 0.3이다. 아치 길이를 단축하기 위하여 현재의 경우 0.2를 선정하였다. 이를 통하여 한계 하중을 약 3% 정도만 줄일 수 있었다. 두 관 사이의 중심 거리는 22.5m로 제안되었으며 상호 연결 거리가 30m 일 경우 아치가 충분한 강성을 가지고 있음을 확인하였다. 필요 시 강성을 증가시키기 위하여 큰 유연성을 갖도록 하였다. 관 간의 거리는 관의 길이 방향을 따라 증가하거나 국부적으로 교대 방향으로 증가하고 상호연결 거리를 단축시킨다. 관의 외경은 11.9m 이며 벽은 0.9m 이다

○ 수직 면에서 필요한 강성은 부교의 수면에 의해 제공된다. 부교는 관 사이의 연결 위치와 동일한 곳에 위치한다. 피오르드 중간에 부교 하나를 남겨두어 선박의 통행 공간을 제공하며 이 공간의 최소 폭은 400m 이어야 한다. 부교는 길이가 40m 폭이 25m 그리고 물에 잠기는 깊이는 9m 이다. 이들은 양 끝이 활 모양으로 피오르드의 주 방향을 향하게 된다. 관 및 부교 모두 철강이나 콘크리트로 제작할 수 있다. 근래의 제안을 보면 관 및 상호연결 모두 콘크리트로 제작하고 부교 및 연결부분은 철강으로 제작되는 것으로 계획되었다.

○ Sogne Fjord 횡단을 위한 또 다른 방안으로 테더링 해중터널이 제안되었다. 관은 순양 부력을 가지고 있으며 항상 긴장 상태에 있는 테더에 의해 해저에 정착된다. 충분한 수평 강성을 주기 위하여 테더는 그림 2.39에서 보는 바와 같이 경사진 상태로 된다. 3700m 에 달하는 거리 때문에 허용 수평 변위는 상대적으로 크다. 따라서 횡방향으로의 강성 수평 정착은 파도 및 조류에 대한 동적 반응을 제한하기 위하여 필요하다. 부교 공법에서의 동일한 횡단면을 이러한 공법에 사용할 수 있다. 초기 연구를 바탕으로 테더의 간격은 약 250m 이다. 테더링은 강재 혹은 폴리에스테르 계류용 줄로 되어 있으며 강재 계류용 줄은 체인 혹은 강관을 혼합한 강재 로프로 만든다.

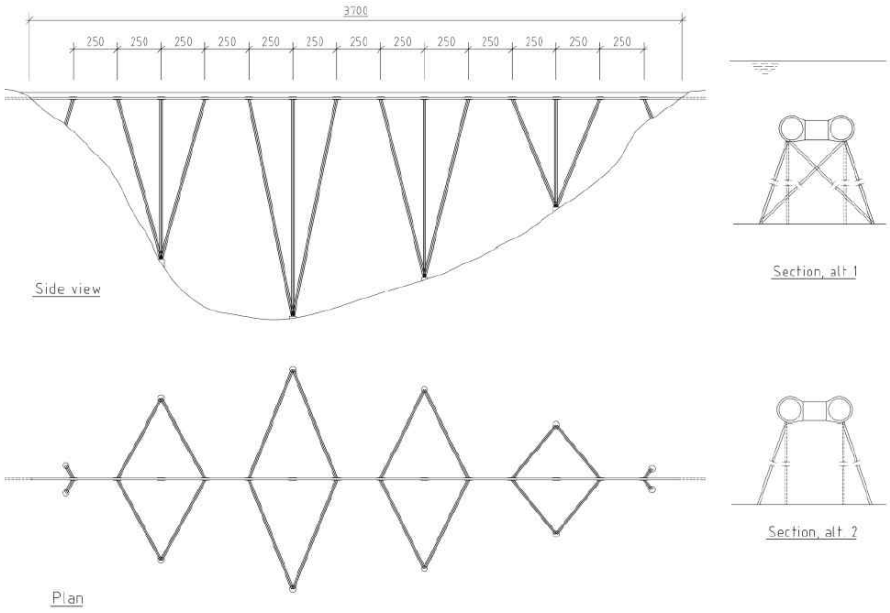


그림 2.39 테더링 해중터널 원리

○ 또한 고정 케이블의 강성은 고정 케이블의 인장력과 함께 현저하게 변화한다. 정착 케이블의 초기 긴장은 강성의 변화로 인한 Mathieu- 불안전성이라고 알려진 잠재적 불안정성을 피할 수 있을 만큼 충분히 커야 한다. 각 정착 지점에서의 정착 케이블의 수는 이중 하나가 고장 혹은 교체로 인해 작동을 못하는 경우에 대비하여 충분하여야 한다. Sogne 피오르드의 경우에서, 정착 시스템의 기초는 심각한 문제가 있는 것으로 판단되었다. 해저 상태에 대한 정보는 없었다. 가장 가파른 바닥은 노암으로 가장 깊은 곳은 최적 점토층으로 구성 된 것으로 추정하였다. 사이에는 암반 경사로 되어 있고 노암 지역에는 표층에서 암반으로 터널을 통하여 기초가 가능하고 정착 체인은 암반 터널 외벽에 콘크리트로 고정할 수 있을 것으로 추측하였다. 경사가 완만한 점토층에서는 해양 구조물 정착을 위하여 유사한 깊이에서 사용되고 있는 흡수 앵커(suction anchor)가 기 검증된 공법으로 판단되었다. 암반 지역에서는 신뢰성 있는 기초를 만들 수 있는 확실한 공법이 아직 없다. 따라서 개념은 매우 융통성이 있어 정착 지점은 암반 지역 밖에 위치 할 수 도 있다.

○ 위에서 언급한 이유 그리고 기초가 모두 복잡하고 비용이 많이 드는 이유 때문에 하나의 기초에 여러 개의 앵커를 합치는 공법이 제안되었으며 이를 통하여 기초 지점의 수를 최소화 할 수 있다.

(5) Hogs 피오르드 해중터널

○ 1987년에 노르웨이의 NPRA(Norwegian Public Road Administration)에서는 폭이 약 2km

수심이 150~250m인 Hogs 피오르드를 횡단하는 해중터널 예비설계 공모가 있었는데 4개의 건설업체가 참여하여 4가지의 안을 제시하였으며 각각 설계안은 테더링방법에 차이를 갖고 있었다. 이때 제안된 해중터널은 전세계 어느 곳에서도 인프라 시설 목적으로 시공된 적은 없었으므로 정치적인 이유로 중단되었다.

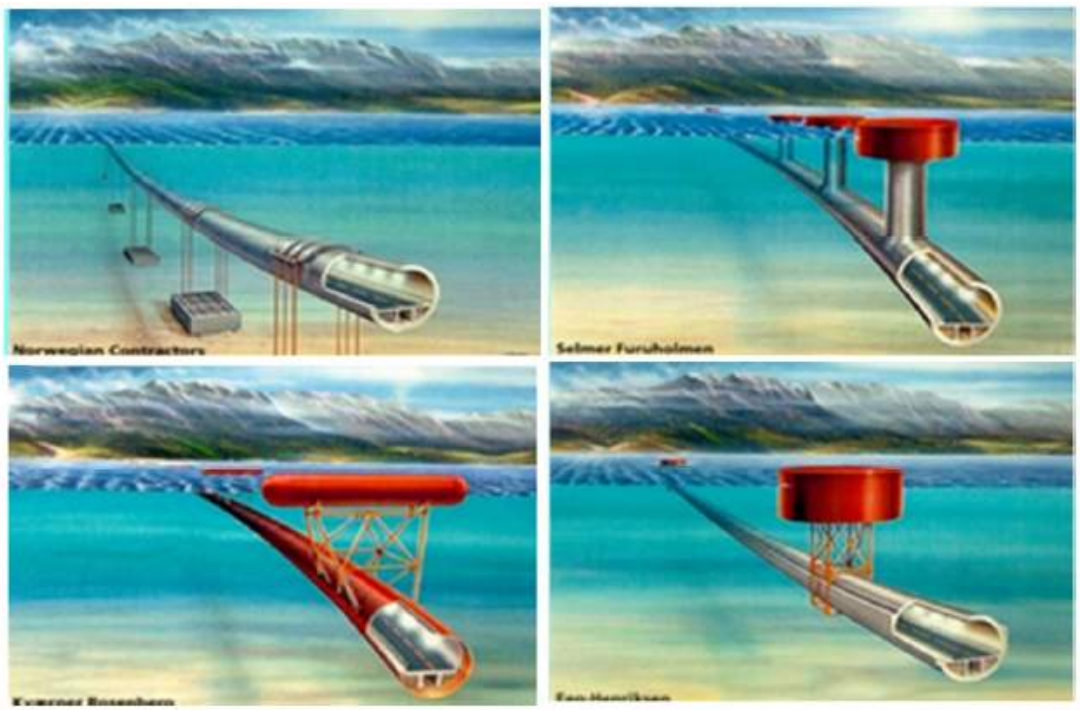


그림 2.40 노르웨이 건설사 들이 제안한 4가지의 Hogs 피오르드횡단 SFT

○ Hogs 피오르드에 제안된 폰툰형과 고정식 해중터널 중에서 연구의 결론은 해저에 고정된 앵커가 유리하다는 것이다. 피오르드는 많은 대형 유람선과 다양한 화물선 그리고 고속 여객선들의 주요 항로이므로 피오르드 내의 부표는 고속 대형선박에 의해 영향을 받게 된다. 한편 이러한 상황은 폰툰을 피하는 공법을 필요로 하게 된다. 관의 형태에 대해서는 양면 횡단면 타입이 국제적으로 더 선호되는데 이는 통행 수요에 내부 공간을 맞추고 또한 부력 균형을 잡기 위하여 필요 사하중을 고려한 결과이다. 노르웨이에서는 통행 수요가 낮기 때문에 한 방향으로 1차선 만을 수용하기 위한 단순 원형관의 사용이 선호되었으나, 지금은 한 방향으로 2개 차선을 수용할 수 있는 교량이 필요하게 되었다. 따라서 과도한 부력을 피하기 위하여 2개의 원형관 및 1개의 직사각형 관을 적용하는 안이 제안되었다. Hogs 피오르드 연구를 통해 다음과 같은 주요 연구 분야가 제안되었다.

- 환경하중의 현장 계측
- 구조의 동적 하중과 거동을 계산할 수 있는 프로그램 개발
- 다양한 개념의 동적 거동을 시험할 수 있는 수리 모형
- 동적 거동을 모니터링할 수 있는 특별한 계측장비의 개발

- 테더용 재료 연구
- 시방서의 준비

○ 1998년에 북해의 유전개발 전문가들이 참여하여 설립된 NSFT(Norwegian Submerged Floating Tunnel)사는 1990년에 Stor 피요르드의 400m수심을 횡단하기 위해 2.5km의 SFT를 예비 설계하였다. 이 터널의 보강형은 콘크리트로 이루어진 원형으로 테더링부에서 확대된 단면을 갖고 있으며 중공 경사 튜브로 이루어진 W형의 테더링 시스템으로 제안되었다.



그림 2.41 Stor 피요르드와 횡단방안

나. 이탈리아

○ 노르웨이에서 많은 연구자들에 의해서 개념적인 수준에 머물러 있던 수중터널 건설기술은 1969년에 이탈리아의 시실리섬을 연결하기 위한 메시나 해협 횡단방안으로 Alan Grant경에 의해서 제안되서 현실화를 위한 첫 시도가 이루어졌다. 결국 현수교 방식을 적용한 케이블 장대교량으로 결정이 되었지만 개념수준에서 처음으로 실구조물 설계라는 중요한 의미를 갖게 되었다. Grant 경에 의해서 제안된 수중터널은 3개의 원형 콘크리트 튜브를 강재에 의해서 감싼 형태로서 강재와 튜브들 사이에는 부력조절을 위한 재료로 채워졌고 중앙의 튜브는 철도, 양측은 도로로 구성되어 있으며 총 3.7km연장에 최대 수심 300m로 설계되었다. 보강형을 고정하기 위한 테더링은 4개의 경사 강재케이블로 100~150m 간격을 두고 해저면에 락볼트 또는 중력식 고정기초에 고정되도록 설계되었다.

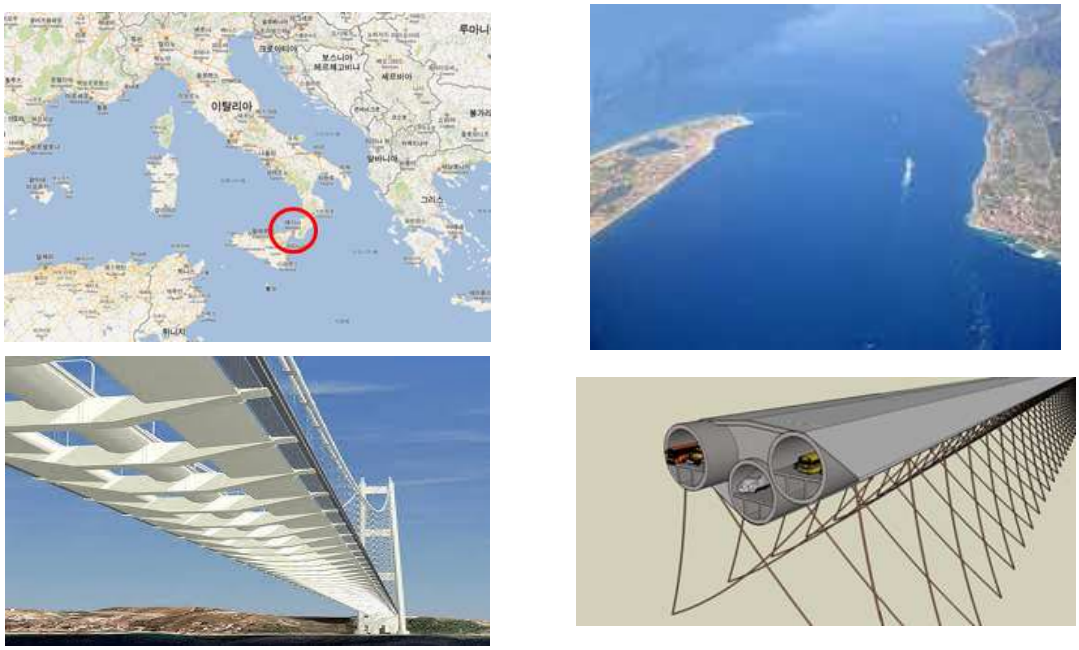


그림 2.42 Messina해엽, Messina 해엽 횡단 현수교, Alan Grant에 의해서 제안된 SFT

○ 이러한 Grant경의 초기 설계는 1984년에 이태리의 Ponte di Archimede사에 의해서 Archimedes bridge라는 이름으로 발전, 계승되었는데, 보강형은 Grant경과는 다르게 다각형단면을 갖는 프리스트레스트 콘크리트로 설계되었으며 테더링은 기존과 유사하게 4개의 경사 케이블을 수심조건에 따라 15° 부터 30° 의 경사각을 갖고 120m 간격으로 설치되도록 설계되었다. 이 형식의 SFT는 RINA(Italian Register for Navigation)에 의해서 보증된 형식으로 Faggioano등에 의한 후속연구에 의해해서 보완되었다.

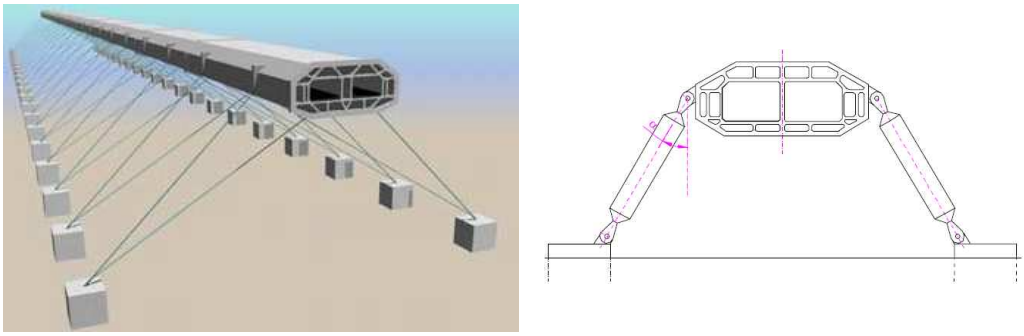


그림 2.43 Ponte di Archimede사에 의해서 제안된 Messina 해엽 횡단용 Archimedes bridge 개념도와 2차로 제안된 핀연결 앵커링 형식

○ 1989년에는 메시나 해협의 횡단 방안으로 ATI-SSST에서 각가 500m가 떨어진 3개의 독립적인 원형튜브 보강형을 갖는 도로-철도 병용 SFT를 제안하였다. 이 형식에서는 크게 2가지의 차별성이 있는데 보강형이 각각 독립적이면서 샌드위치형식 복합체이고 테

더링이 보강형을 감싸고 있는 안장형식의 고정장치에 연결되는 현수교의 행어와 주케이블의 연결방식과 유사한 형식을 갖고 약 45° 의 경사를 갖도록 설계되었다.

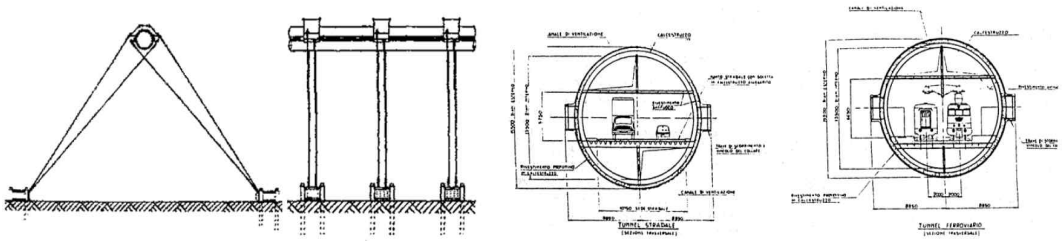


그림 2.44 ATI-SSST사에 의해서 제안된 Messina 해엽 횡단용 SFT

○ 1993년에는 ENI 콘소시엄의 Nicolussi와 Casola가 약 700에서 1000m정도 이격되어 설치되는 독립적인 구조를 갖는 SFT를 제안하였다. 이 형식은 내경이 14m, 외경이 17m인 단면을 갖는 강-콘크리트 복합체로 구성되는 보강형을 갖고 있으며 테더링은 72m간격으로 약 45° 의 경사를 갖는 튜브형 경사 케이블이 보강형에 외부에 테더링연결 장치에 의해서 고정되도록 설계되었다. 특히 ENI는 육지부와 수중터널의 연결부에 있어서 지진을 위해서 특별한 설계를 제안하였는데, 수중터널부와 육지부가 바로 인접하는 부분(B연결부)과 육지부 초반과 지중터널이 만나는 부분(A연결부)으로 구분하여 2개의 연결부를 두었으며 A연결부에서는 6개의 모든 자유도를 풀어주고 B연결부에서는 모든 회전과 축방향 자유도를 풀어주도록 하였다. ENI콘소시엄의 제안에서는 테더링을 위한 케이블을 직경이 1.85m~2.0m이고 두께가 62mm~68mm를 갖는 튜브형으로 설계함으로써 테더링 설치시 시공을 고려한 부력을 갖도록 하였다.

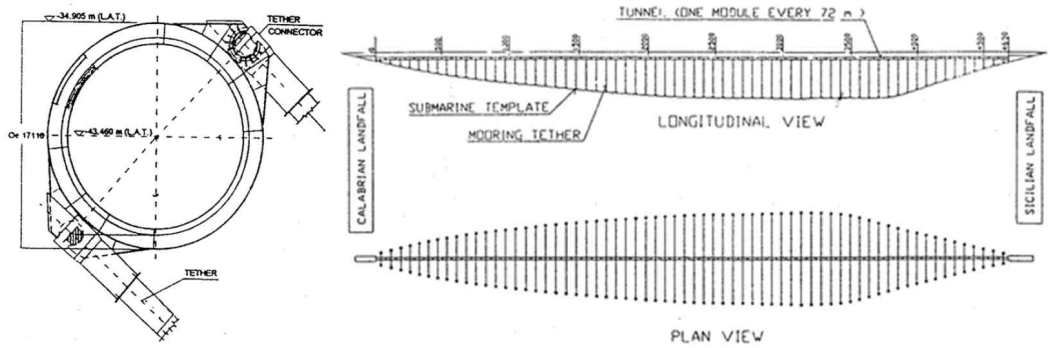


그림 2.45 Messina해엽 횡단을 위해 ENI콘소시엄이 제안한 보강형단면과 전체 프로파일

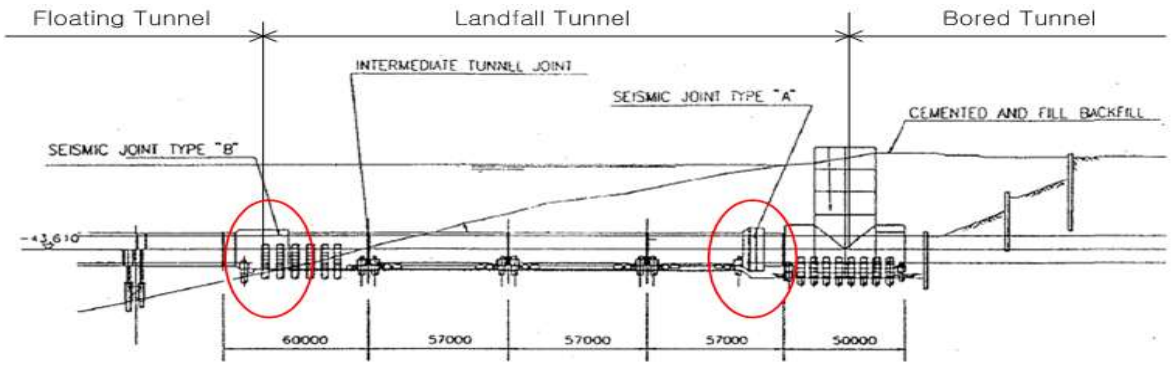


그림 2.46 ENI에 의해서 제안된 지진을 위한 해안과 연결부 설계

○ 1996년에는 Sir Progetti사에 의해서 타원형의 외부 단면 형상에 의한 적절한 유체역학적 거동과 부분침수 시 사용자의 대피를 위한 안전성이 확보되는 특별한 형상의 SFT가 제안되었으며, 내부 폭발에 대해서도 복합구조 보강형 내부의 파형 돌기에 의한 폭발 에너지 소산 능력이 우수한 보강형 구조가 4.0km의 연장을 갖도록 설계되었다. 테더링은 그림 2.47과 같이 독특한 3차원 형상으로 내부의 보강형 외부와 해저면이 50m마다 수직 케이블에 의해서 고정되는 구조를 갖도록 설계되었다.

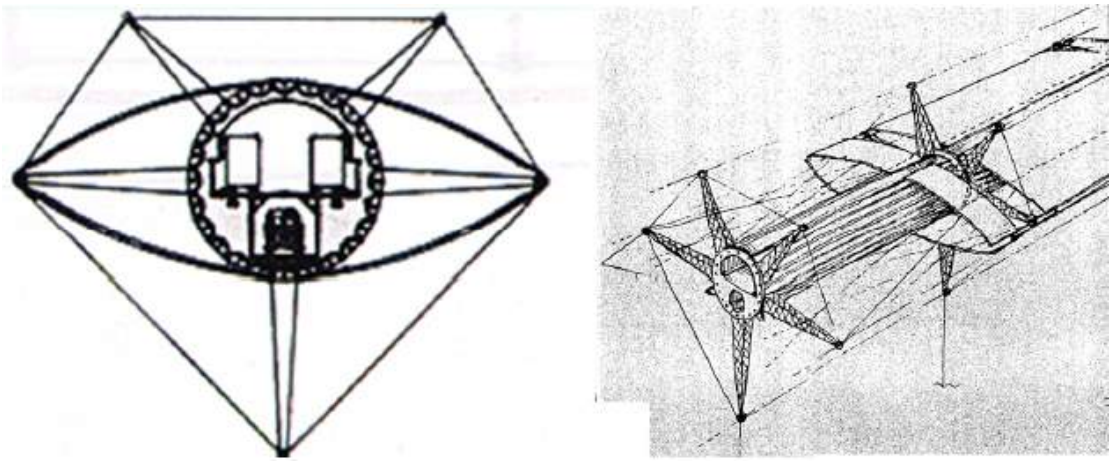


그림 2.47 Messina 해협 횡단안으로 SirProgetti사에 의해서 제안된 SFT

다. 일본

○ 1990년대 홋가이도 대학 중심으로 사단법인 '수중터널연구조사회' 발족하여 활발한 연구활동을 하였다. 조사회는 2004년 비영리 기관인 'Floatec'으로 이양되었고, 2009년도에 'Floatec'도 예산부족으로 해산하게되었다.

○ 해중터널을 교량, 침매터널, 해저터널과 비교하여 수로의 폭이 넓고 수심이 깊은 지형에 적합한 구조물로 제시하였다.

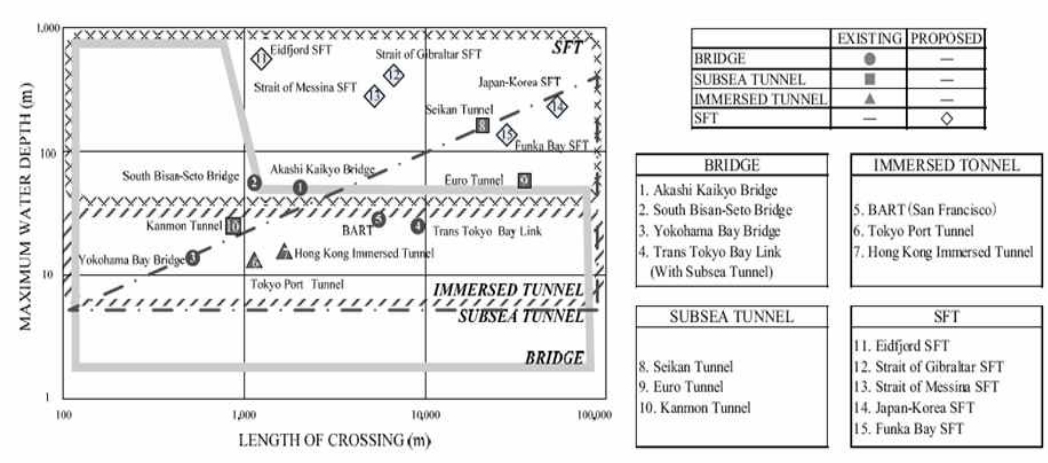


그림 2.48 해중터널의 적합성

○ 해중터널의 주요 설계인자로 조류, 지진, 수압 등에 의한 작용하중과 단면력분포, 외력주기와 고유주기의 일치문제, Slack 현상을 방지하기 위한 계류선 서례, 변위제어를 위한 텐션레그 배치 등을 제시하였다.



그림 2.49 해중터널의 주요설계인자

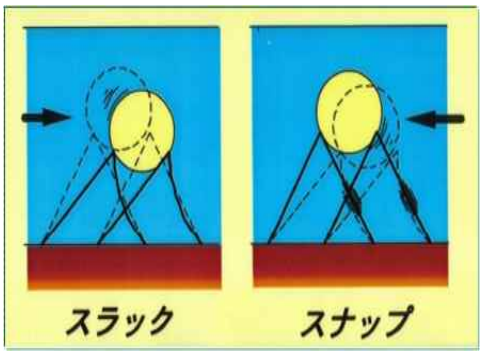


그림 2.50 Slack/Snap 현상

○ 조사회에서 처음으로 실시한 타당성 조사가 홋가이도의 Funka Bay(폭:30km, 수심:120m)를 가로지르는 해중터널에 대한 기본설계이다. 타당성 검토에 사용된 파 조건은 유의파고 9.3 m, 최대파고 18.6 m, 주기 13.0초 였다. 파랑에 의한 변위를 제어하기 위해 초기 인장력을 크게 하였다(큰 BWR (부력/무게) 도입). 터널은 지름이 23 m로 설계되어 자동차와 철도가 상하부에서 같이 통과할 수 있도록 하였다.



그림 2.51 Funka Bay 위치

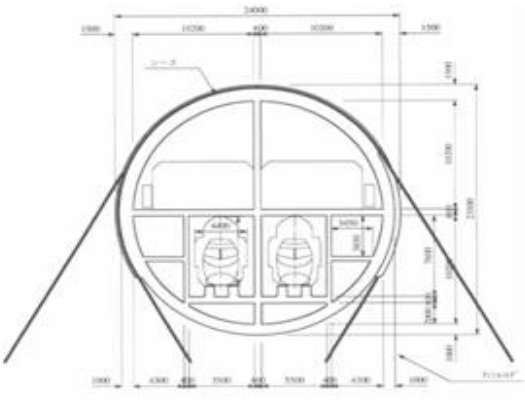


그림 2.52 Funka Bay 해중터널의 단면

○ 해중터널에 대한 파랑과 흐름의 영향을 검증하기 위한 테스트베드로 다이코쿠지마에 구조물 건설을 제안하였다. 구조물은 방파제의 뒤쪽에 설치하게 되어 파고는 높지 않다. 또한, 특별한 시설이 없는 산책전용로 설계가 이루어 졌다.

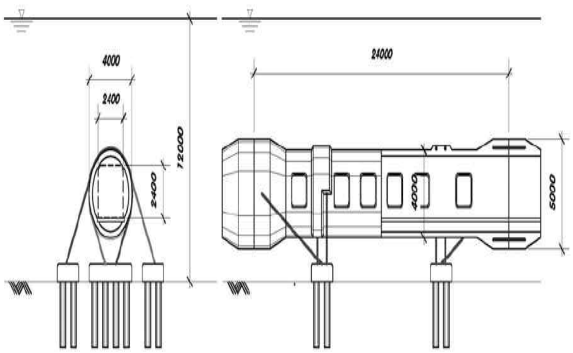


그림 2.53 Daikokujima 해중터널 단면도



그림 2.54 Daikokujima 해중터널 개념도

○ Oinaoshi 해중터널은 해안과 인공섬을 연결하는 도로로 계획되었다. 길이는 300 m이고 수심 15 m의 위치에 설치를 검토하였다. 2선의 도로와 도보로로 구성되어 있어 단면은 5 m x 10 m 직사각형 형태이며 방파제 바로 뒤쪽에 설치되어 파랑의 영향은 적을 것으로 판단하였다. 강관이 상승력을 지지함에 따라 큰 BWR이 필요없어 설계값은 1.07이었다. 경쟁 구조물로 평판 거더 교량이 검토되었는데, 해중터널이 이 구조물보다 30%정도 공사비가 비싸 일본 최초의 해중터널은 건설되지 못 하였다.

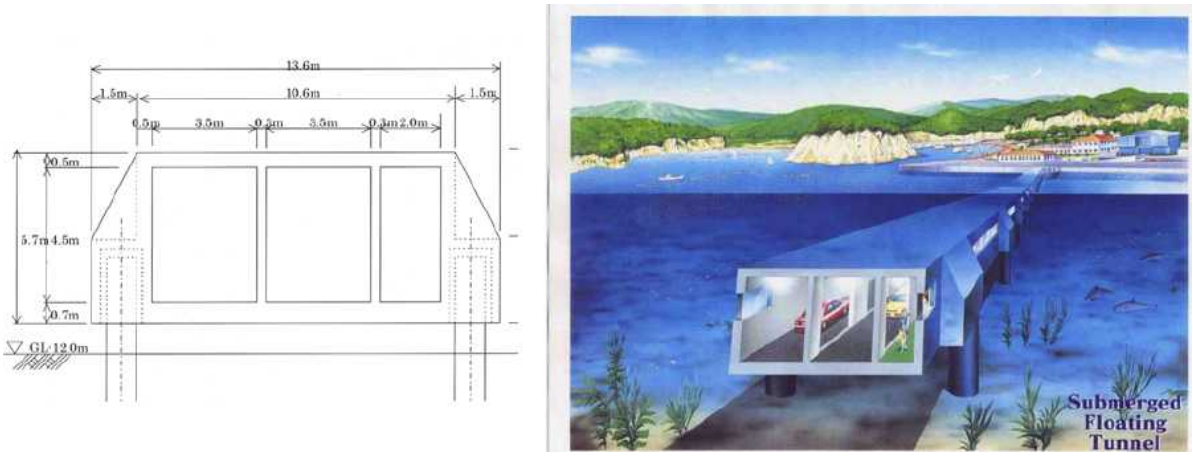


그림 2.55 Oinaoshi 해중터널 단면도 및 개념도

라. 중국

○ 2001년에 이태리 외교부 및 Naples대학의 Federico II와 중국정부는 "Development of a scientific analysis, with technology transfer of submerged stable crossing in Jintang Strait in the People's Republic of China" 라는 이름으로 공동 프로젝트를 진행하였다. 주요 협력 참여자로는 A. Fiorentio를 사업 책임자로 한 이태리 외교부와 Naples대학 Federico II뿐 아니라 저장성과학기술위원회(Zhejiang Provincial Science Technology Commission), 이태리의 Ponte di Archimede사, Bocconi대학, Milan기술대학(Technical University of Milan)가 기여하였다. 이러한 프로젝트의 일환으로 저장성의 Jintang섬과 3.2km 떨어진 부속도서를 Archimedes Bridge를 이용한 SFT건설에 대한 적용성 검토와 예비설계를 계획하였다. Jintang섬 횡단을 위해서 진출입부 각각 1.1km는 3% 종단경사를 갖는 터널을 배치하고 선박의 운항이 가능하도록 중앙부에는 SFT를 1km건설하도록 설계하였다. 보강형은 폭 27.9m, 높이 12.1m 길이가 100m인 프리캐스트 PSC모듈 32개를 공장제작하여 현장에서 조립설치하도록 계획되었으며, 각 단면은 2차선의 도로터널을 중심에 배치하고 유지관리를 위한 장비들의 설치와 사고시 침수에 대비하기 위한 공간을 양측에 두고 있다. 보강형을 고정시키기 위해서 튜브형 강관을 50m 간격으로 경사배치하였다.

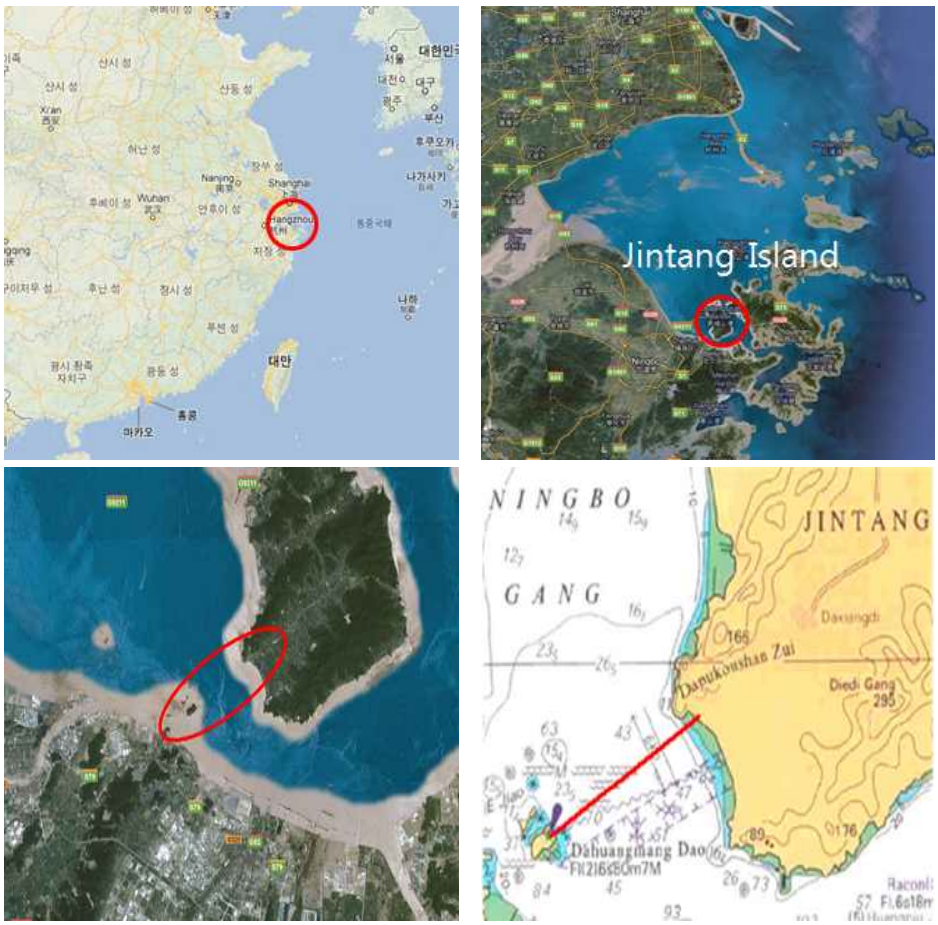


그림 2.56 Jintang 섬과 부속도서 연결을 위한 SFT

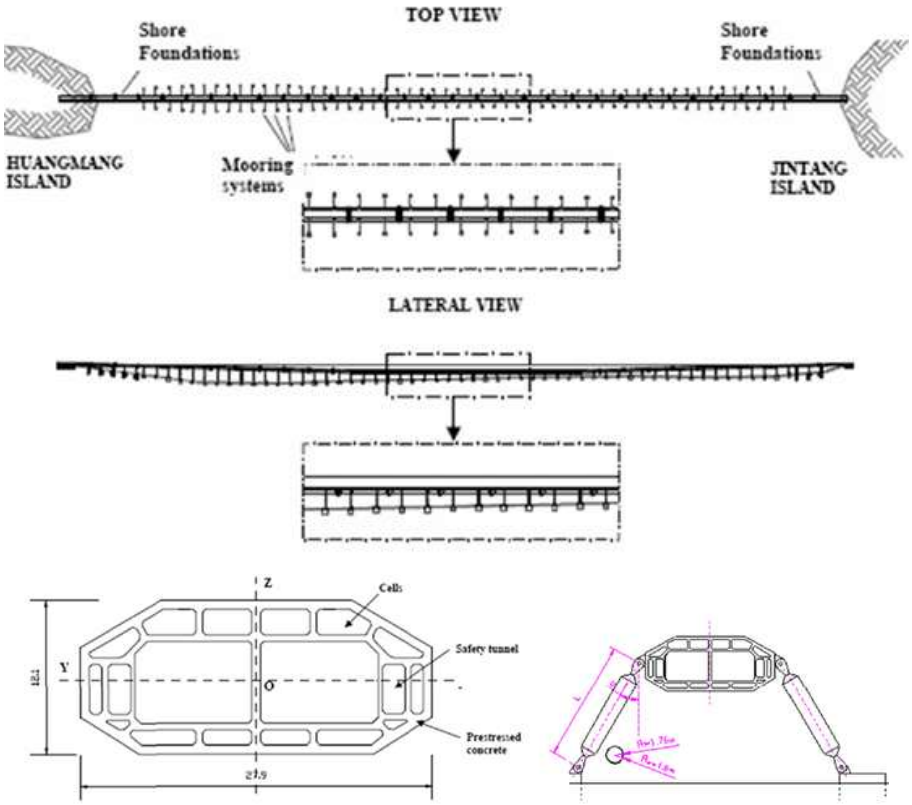


그림 2.57 Jintang 섬과 부속도서 연결을 위한 SFT

- 구조물의 설계를 위해서 보요소를 이용하여 SFT 보강형과 앵커를 3차원 단순모델을 작성하고 경계부를 강절과 힌지로 적절하게 고려하여 해석에 이를 적용하였다. 잔류부력, 조류와 파랑에 의한 수리동역학적 거동 그리고 지진력에 대해서 검토하였는데 잔류부력은 정적인 하중으로 고려하고 수리동역학적 응답은 정적, 동적 모두를 고려하였으며 지진해석은 다중모드 스펙트럼 해석법을 적용하였다.
- 2004년에 중국과학원의 역학연구소(Chinese Academy of Sciences – Institute of Mechanics)를 중심으로 이태리와 SIJLAB(Sino-Italian Joint Laboratory of Archimedes Bridge) 프로젝트를 새롭게 시작함으로써 SFT건설에서 새로운 전환기가 마련되었다. SIJLAB 프로젝트의 목적은 중국 저장성에 위치한 Qiandao 리조트에 세계 최초의 Archimedes Bridge를 건설하는 것이다. SIJLAB의 주요활동은 SFT의 거동에 대해서 보다 정확한 파악을 위한 연구와 실제 크기의 SFT 프로토타입을 설계하여 설치하는 것이다.
- 2010년에 열리는 엑스포의 관람객들에게 편의를 제공하기 위해서 2008년에는 상해의 Huang Pu 강을 수중터널를 적용한 하천횡단 공법이 검토되었다. 하천에 운항하는 선박의 통행을 위해서 필요한 수심은 최대 8m로 조사되어서 평균 수심 12를 갖는 수중터널을 400m길이로 설치되는 보도용 수중터널이 검토되었다. Huang Pu강의 수중터널은 그림 2.58과 같이 수중터널부의 종단 경사를 달리하여 2가지 형식으로 제안되었는데 강의 중앙부에는 지중터널을 설치하고 양안 측에는 수중터널으로 연결하는 방식이다.

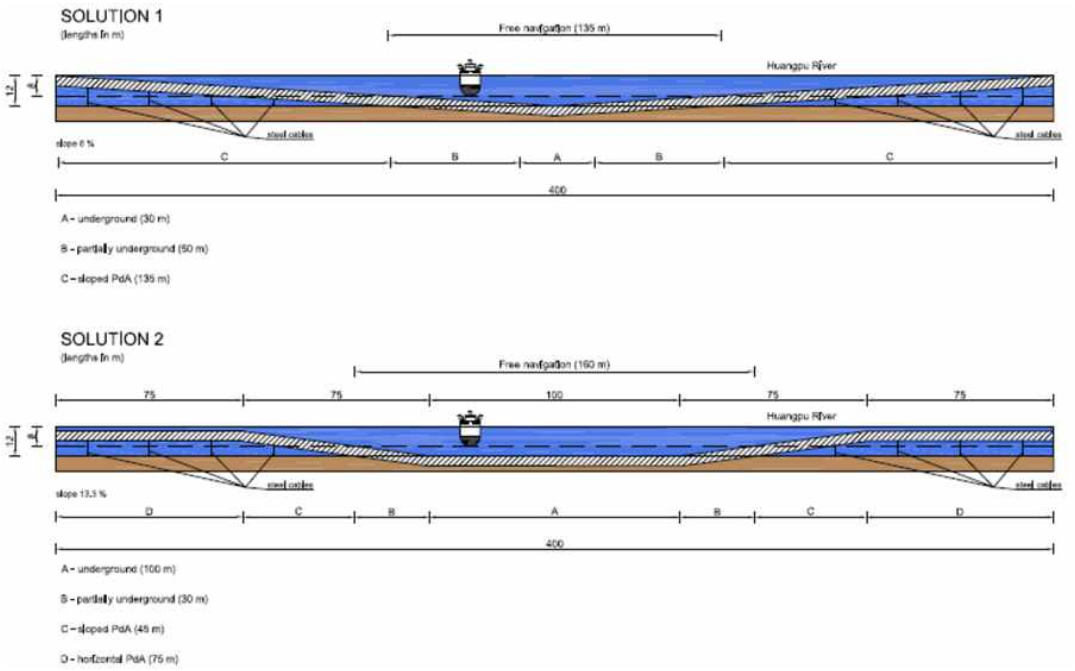


그림 2.58 Huang Pu 강의 보도용 수중터널 종단 설계안

○ 1번 방안으로 제시된 경사형 수중터널은 6%의 종단경사를 갖고 270m 경간에 걸쳐서 설치되고 30m의 길이를 갖는 중앙부 지중터널이 100m의 길이의 부분지중터널에 의해서 연결되도록 설계되어 135m폭의 하천 항로폭이 확보되었다. 2번 방안은 길이가 100m인 중앙부 수평터널과 150m경간을 갖는 양측의 수중터널을 60m의 일부지중부와 전체적으로 13.3%의 경사를 갖는 90m의 경사부 터널이 연결하는 형식으로 중앙부에서 160m폭의 항로를 확보하도록 설계되었다. 계획된 수중터널의 보강형 모듈은 25m의 길이로 그림 2.59와 같이 2개의 통행을 위한 튜브를 강합성으로 병렬로 배치하고 내부에 부력조절을 위해서 콘크리트를 일부 채워 외부에 알루미늄강으로 이를 감싸는 모양은 Grant가 제시했던 형태와 비슷하게 설계되었다. 보강형은 W형상의 강재 케이블을 이용하여 하저부에 고정되도록 설계하였다.

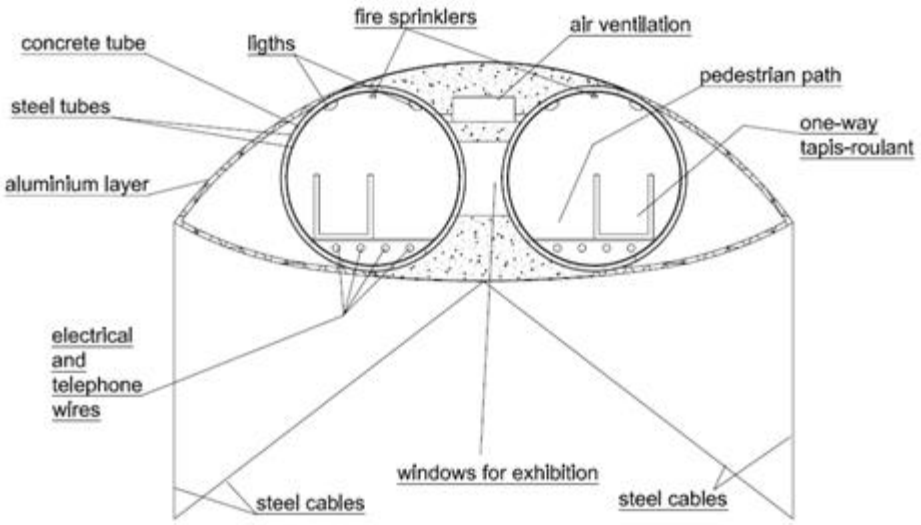


그림 2.59 Huang Pu강의 수중터널 단면형상(콘크리트, 강, 알루미늄 합성)

○ 이탈리아와 중국은 2004년에 SIJLAB를 구성하고 기술개발 및 개발된 기술의 검증을 위한 테스트베드 사업을 2007년부터 중국 저장성 천도호내의 Quiandao Resort에 실현하고자 프로젝트를 진행시키고 있다. 천도호 프로젝트에서는 다음과 같은 설계조건이 설정되었다.

- 테스트베드용 SFT는 실제 수중터널을 대변할 수 있도록 충분한 크기를 갖어야 하나 구조물의 외력에 의한 거동이 실제와 동일한 수준을 갖도록 너무 크지 않아야 함
- 테스트베드용 SFT는 연구목적이외에 완공후에는 천도호의 관광용으로 전용될 수 있는 충분한 용량을 갖어야 함
- 수중터널 연장에 대한 단면크기의 비가 충분히 작아서 실험결과가 일반성을 갖으면서 다른 SFT 경우에 확대 적용될 수 있어야 함
- 사용재료는 대상 구조물의 거동을 최적화할 수 있으면서 단점을 보완할수 있도록 복합거동을 하여 구조물의 강도, 강성도, 연성도, 방수성이 충분히 확보되도록 선택되어야 함
- 설계시 제작과 시공성이 충분히 고려되어야 함

○ Quiandao(千島湖)는 저장성 춘안구(Chunan County in Zhejiang Province, 浙江省 淳安具)에 위치한 약 1087개의 섬을 갖고 있는 인공호수로서 관광명소이다.

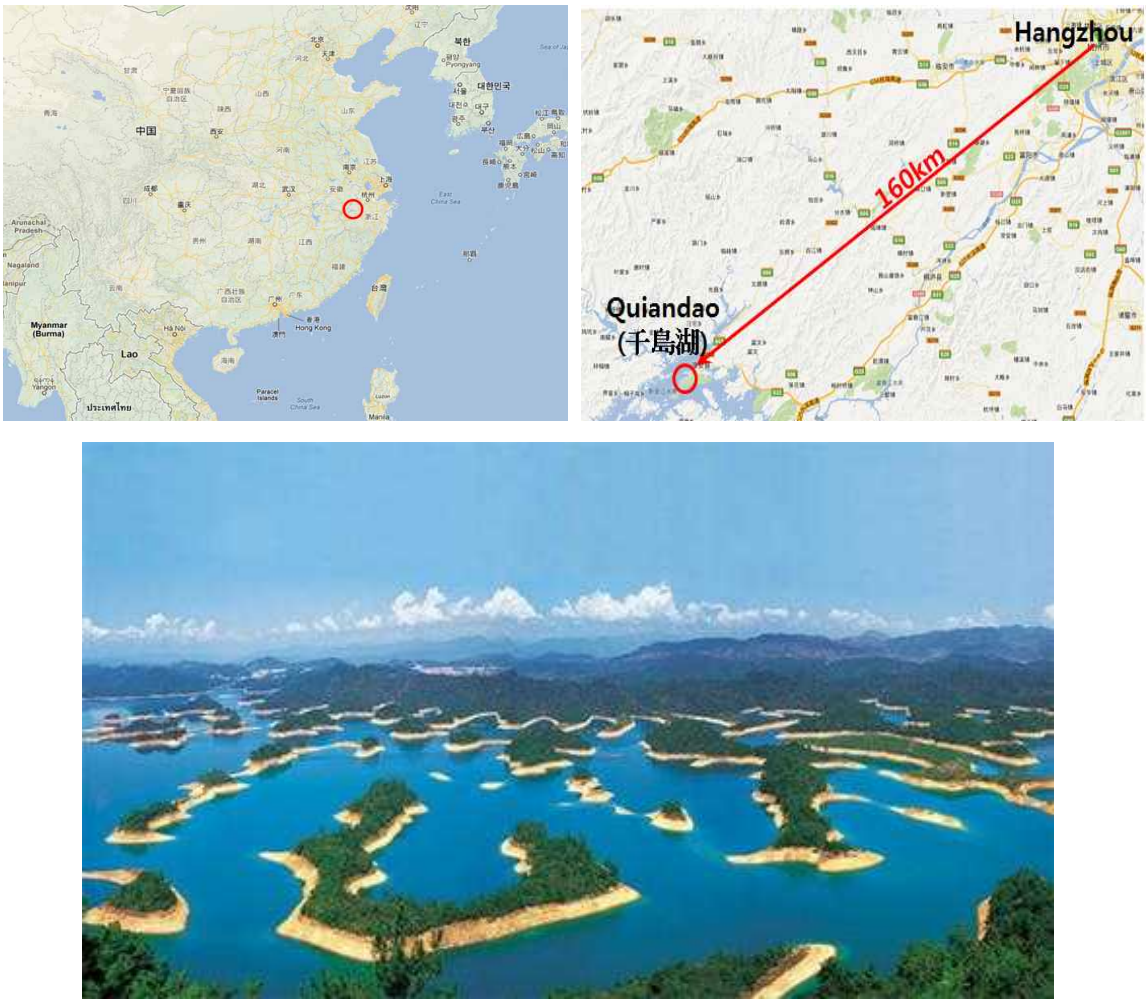


그림 2.60 Quiandao 전경과 Resort 위치

○ 테스트베드가 건설될 곳은 인공호수내에 위치한 최대수심이 35m에 이르는 만과 같은 지역으로서 동측과 서측에 언덕이 위치하고 남측에는 공용도로가 자리잡고 있어서 접근성, 시공성, 수심조건 그리고 완공후 운용성 등이 SFT의 건설에 적합한 것으로 판단되어 후보지로 선정되었다.



그림 2.61 중국내 SFT 테스트베드 후보지

○ 테스트 베드에서의 건설조건은 다음과 같다.

표 2.21 건설 조건

수위변동폭	95~103m (해수면기준)
최대파고(Hw)	1.0m
파주기(Tw)	1.3, 1.8, 2.3 sec
최대유속	0.1m/sec
연평균 수면온도	21.4°C
수면온도 연변화	20°C
최대지반가속도	0.1g
최소항로확보수심	2.0m(터널 상면부터 수면)

○ 테스트베드용 프로토타입은 총 연장이 100m로서 20m길이의 보강형 5개를 현장에서 제작하고 설치하도록 계획되었다.

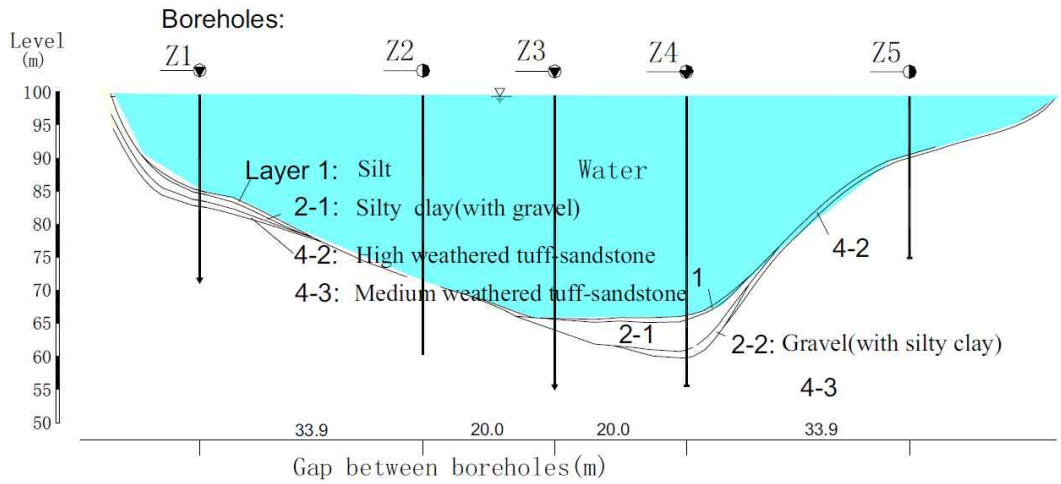


그림 2.62 테스트 베드의 하저형상과 지반조건

○ 일반적인 해양구조물의 고정을 위해서 수심에 따라 TLP(tension Leg Plateform), Jackup Plateform, Spar Plateform, FPSO(Floating Production Storage Offloading)등의 공법이 적용되며 이들의 해저정착을 위한 기초로는 Suction Pile, Plate Anchor, Spudcan, 중력식 기초, Tension Pile 등이 지반과 수심 조건을 고려하여 적용될 수 있다. 호수바닥으로 사암층으로 주로 구성되고 급경사면을 갖고 있는 SFT의 하저조건을 고려하여 보강형을 고정하기 위해서 텐션레그방식의 테더링과 Tension pile 기초가 적용되었다.

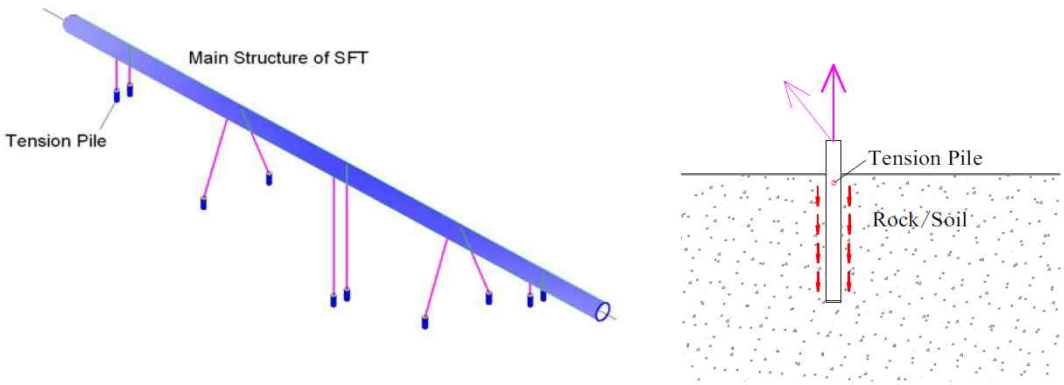


그림 2.63 Quiandao SFT의 테더링의 개념과 기초

○ 보강형은 강-콘크리트-알루미늄을 합성하여 각각의 재료 특성을 살려 최적화 되고 BWR(Buoyancy to weight ratio, 부력-자중비)을 약 1.2로 설정하여 내부로부터 각각 20mm와 300mm의 강판과 콘크리트관 그리고 최외측에 두께 100mm, 폭이 450mm의 트러스형상 단면을 갖는 세그먼트 30개로 구성되는 알루미늄 사출모듈로 설계되었다. 알루미늄 모듈의 세그먼트들간의 연결방법은 콘크리트와 접하는 내측부분은 암수맞춤(Groove and tongue joint)으로 기계적 이음을 하고 물과 접하는 외측부분은 FSW(Friction Stir Welding, 마찰교번용접)을 이용하여 단면을 완성한다. 강-콘크리트 합성을 위해서 18mm직경을 갖는 120mm 전단연결재(360MPa 강도)를 단면당 24개씩 종방향으로 400mm간격을 두고 설치하였다.

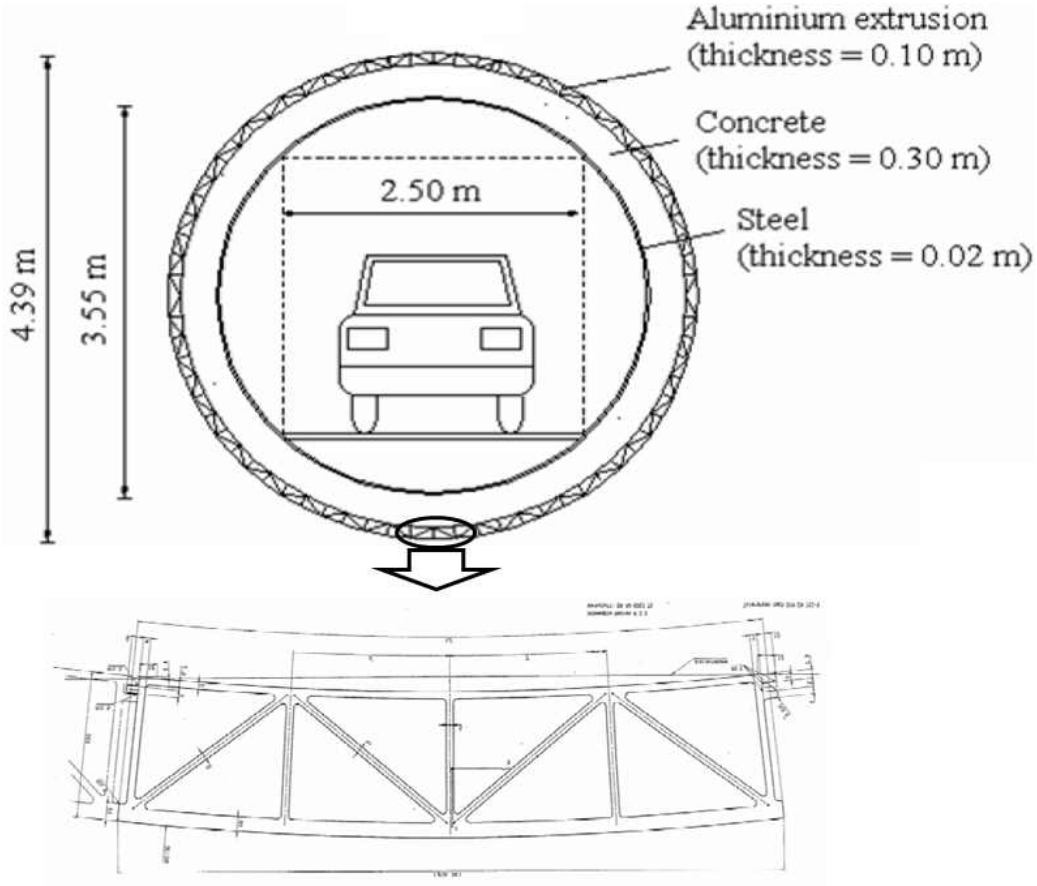


그림 2.64 Quiandao SFT의 보강형 단면 구성

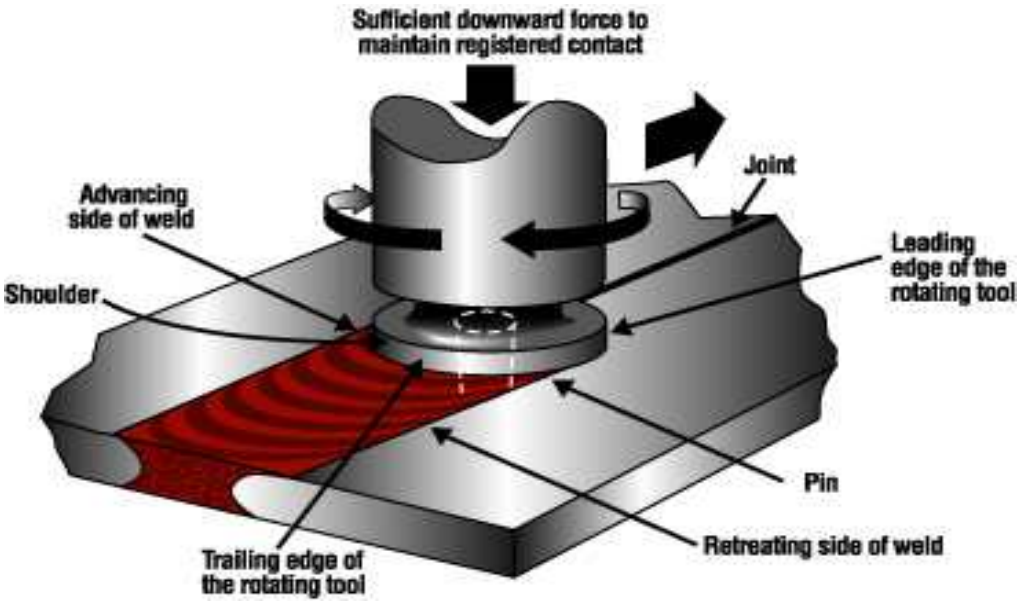


그림 2.65 FSW(Friction Stir Welding, 마찰교반용접)를 이용한 연결

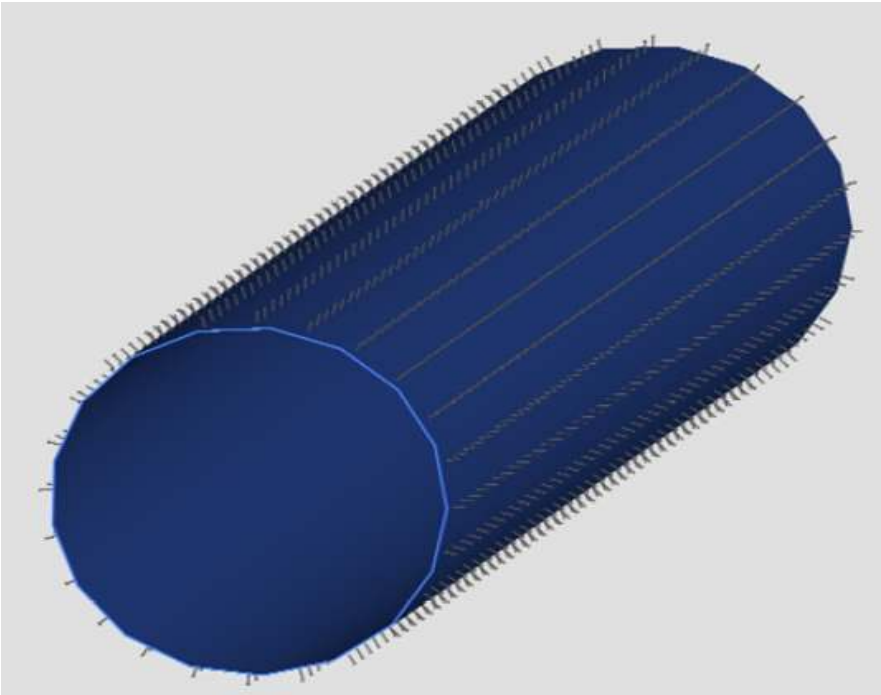


그림 2.66 Quiandao SFT의 강재-콘크리트 전단연결재의 설치

- 보강형의 양끝단은 온도신축과 지진거동 수용을 위해서 3차원 단순지지 프레임처럼 일단에서 종방향 변위와 양단의 모든 회전을 풀어주는 경계조건을 갖도록 하였다.
- 보강형의 고정을 위한 테더링시스템은 강재케이블을 설치하고 호수바닥에 구형힌지를 통해서 연결하도록 하였으며 초기에는 5가지 형태에 대해서 적합성 연구를 등가정적인 해석법에 의해서 수행하고 호수바닥의 수심을 고려하여 3개의 케이블 그룹을 중앙부에

배치하는 종방향 배치형상으로 설계하였다. 최종적으로 중앙에 W형상의 경사케이블을 두고 양측으로 한 개씩의 수직형 케이블을 배치하는 그림 2.68의 3번 형상으로 결정하였다.

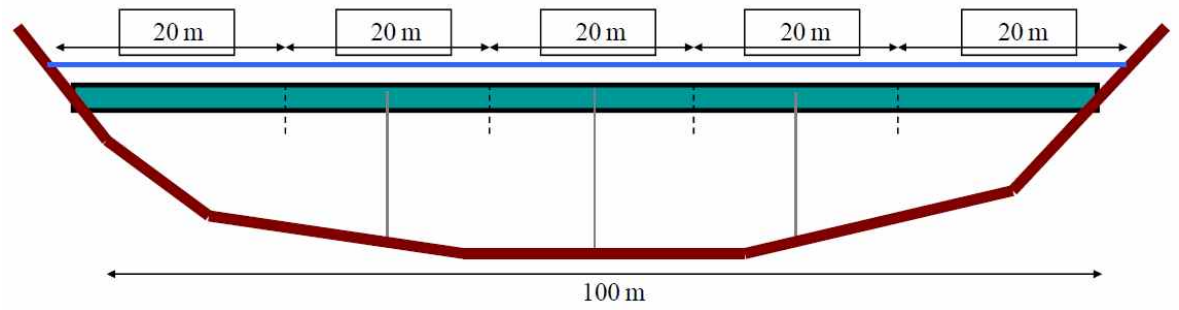


그림 2.67 테스트베드의 종방향 보강형 세그먼트와 테더링 배치도

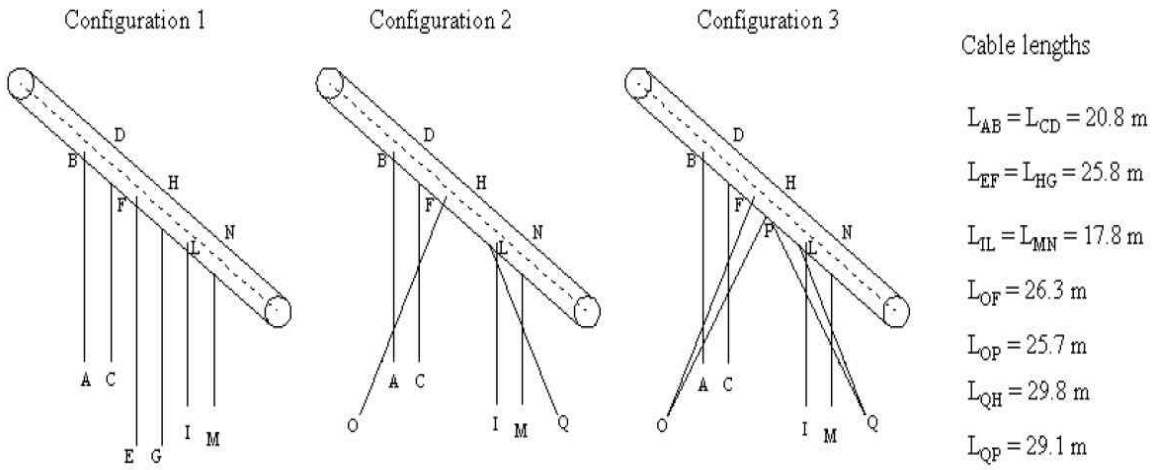


그림 2.68 케이블 배치도

○ 보강형의 거동해석은 수리동역학적 거동이 고려될 수 있도록 범용 유한요소프로그램인 ABAQUS-AQUA package를 이용하였고, 보강형은 강재와 알루미늄을 등가의 콘크리트로 이상화 시켜서 3차원 보요소를 사용하여 모델링하였는데 단면적 A=5.1m^2, 단면이차모멘트 I=12.33m^4을 사용하고 관성모멘트는 강과 콘크리트만을 고려하였다. 케이블은 공칭직경이 60mm로서 단면적 A=0.00249m^2, 관성모멘트 MI=6x10-7m^4를 적용한 보요소로 모델링 하였다. 그림 2.69는 대상 수중터널의 유한요소 모델을 도시하고 있으며 해석시 케이블의 비선형 효과와 대변형을 고려하기 위해서 기하비선형성을 고려하였다.

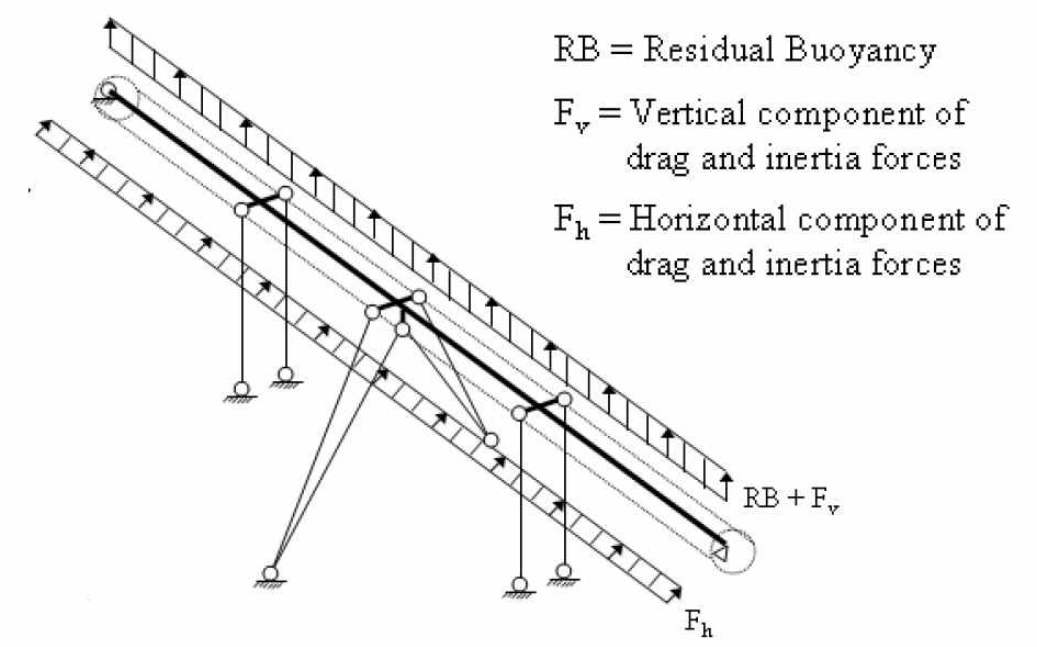


그림 2.69 정적해석을 위한 SFT 수치모델

○ 정적해석에는 자중(G)과 부력(B)의 차에 의한 여유부력 RB(Residual Buoyance), 그리고 군중하중(C) 등의 수직력은 다음과 같으며 Morison 방정식에 의해서 파랑 및 조류에 의한 수리동역학적 작용력 F가 적용되었다.

표 2.22 정적해석에 적용된 수직력

작용력종류	자중(G)	부력(B)	여유부력(RB)	군중하중(C)
사용하중(kN/m)	125.0	160.0	35.0	10.0

$$F(t) = F_D(t) + F_I(t) = \frac{1}{2}\rho_w C_D D \bullet |u(t)|u(t) \; + \; \frac{1}{4}\rho_w C_I \bullet \pi D^2 \bullet a(t) \qquad (1)$$

여기서, 원형단면을 갖는 해양구조물에 일반적으로 적용되는 관성력계수 C_I = 2.0, 항력계수 C_D=1.0를 사용하였으며, 동적인 해석에서는 유체-구조물 상대속도벡터 및 가속도벡터인 u(t)와 a(t)를 Morison방정식에 적용하였다. 속도벡터는 조류와 파랑에 의한 값인 반면 가속도벡터는 파랑 만에 의한 값이다. 정상류(steady current)정지수면과 평행한 속도벡터를 갖는데 깊이에 따라 감소하다가 하저면에서 0이 이르도록 모델링하였다. 파랑운동은 물속 임의의 점에서 임의의 시간에 속도와 가속도를 Airy wave theory에 의해서 산정된다. 실제 현장 조건에 의해서 파고와 파장 그리고 표면유속은 각각 1.0m, 8.25m, 0.1m/sec로 가정하였고 하저면은 30.0m 깊이로 일정하다고 설정하였다. 모든 조건과 가정을 고려하여 조류와 파랑에 의한 정적인 관점에서 항력과 관성력에

의한 수평방향하중 Fh와 수직방향 하중 Fv 는 각각 4.875kN/m와 4.860kN/m를 적용하였다. 그림 2.70~72에 제시된 바와 같이 3가지의 케이블의 배치모양에 따라 정/동적해석을 수행하여 보강형의 변위, 휨모멘트와 케이블의 인장력을 검토한 결과 1번 형상은 보강형의 처짐과 휨모멘트에서 가장 불리했고 2번 형상은 케이블 인장력에서 응답이 컸으며 3번 형상이 가장 우수한 결과를 보여주었다. 예상했던 바지만 정적인 응답이 동적인 경우보다 작은 응답을 보여 보다 비안전측의 결과를 나타내었다.

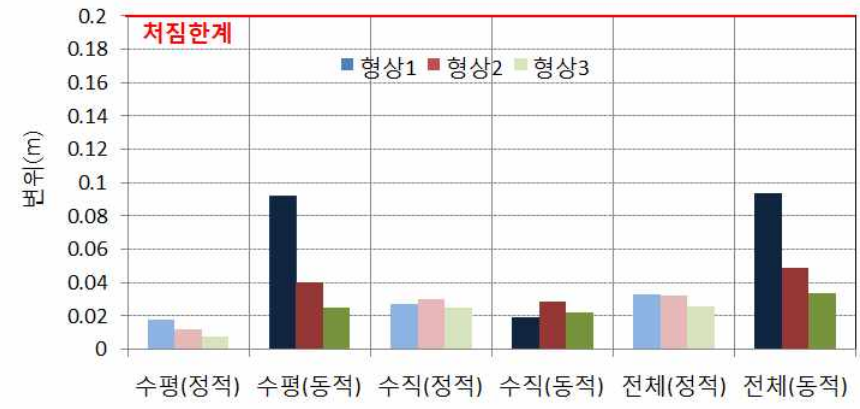


그림 2.70 정/동적 해석에 의한 보강형의 변위

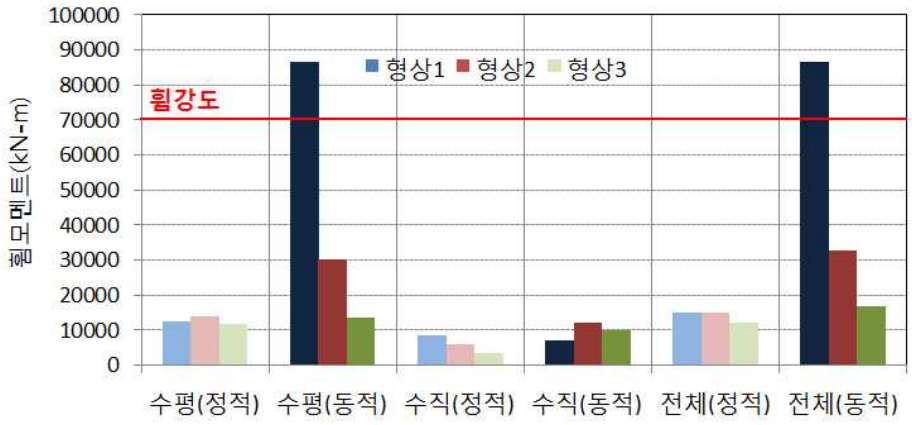


그림 2.71 정/동적 해석에 의한 보강형의 휨모멘트



그림 2.72 정/동적 해석에 의한 케이블의 인장력

케이블의 연결은 하저부와는 핀연결과 같은 거동을 하는 구형 힌지를 사용하였고 보강형과 연결은 그림 2.73과 같은 핀연결법을 적용하여 볼트는 강재튜브 내부까지 관통시켜 연결하고 내부에 콘크리트 모르타르로 충진된 피라미드 모양의 지지부는 알루미늄부와 콘크리트부를 관통하여 강재튜브에 용접으로 연결되도록 설계하였다.

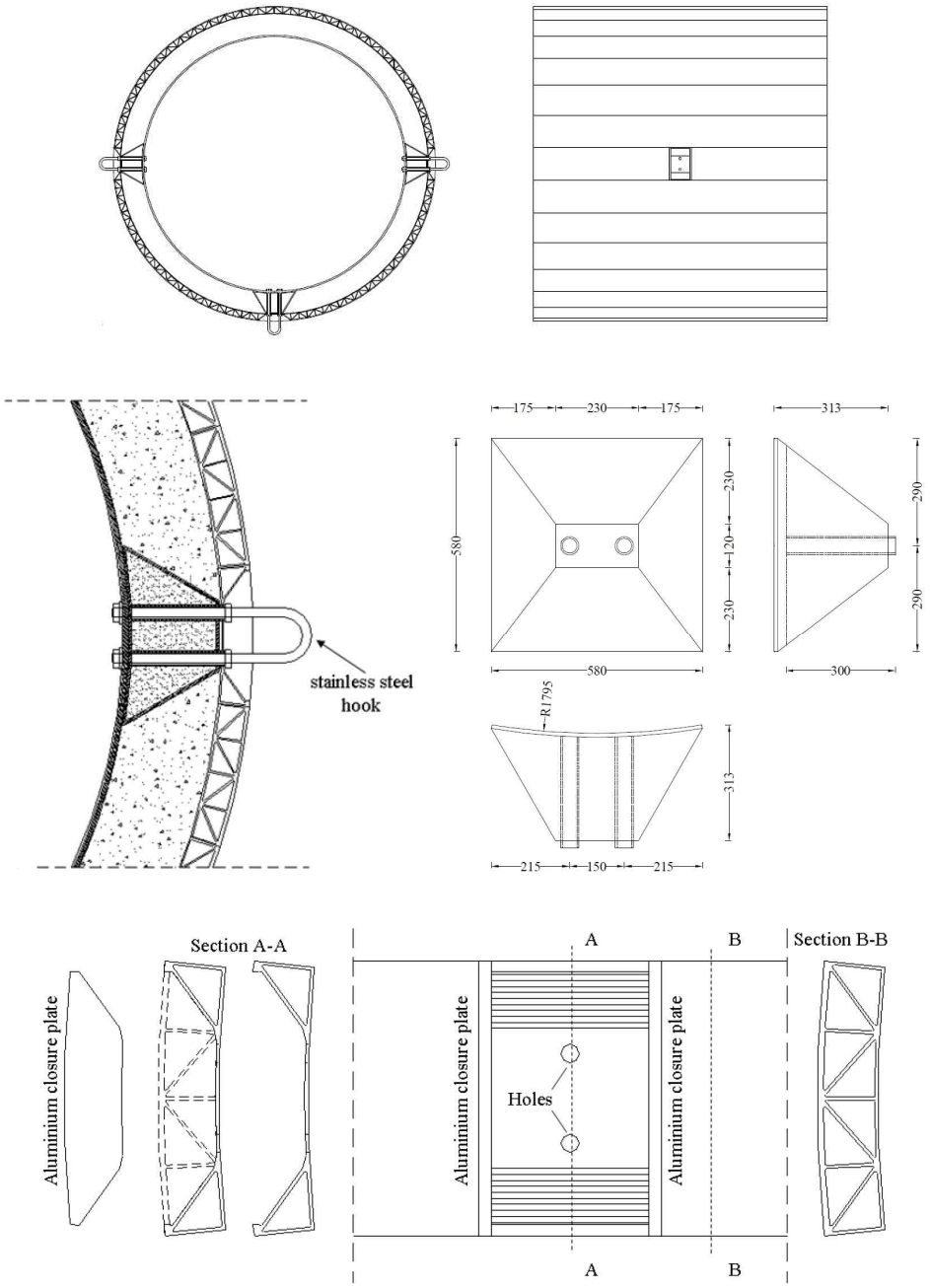


그림 2.73 보강형과 케이블 연결을 위한 고정장치의 상세설계

마. 인도네시아

○ 2007년에 이태리의 Lecco에서 SIJLAB 관계자와 인도네시아의 교통-산업 기술 진흥평가 센터장(Director for the Center of Assessment and Application of Technology for Transportation and Industries)인 Ir. Iskendar를 중심으로한 인도네시아 전문가들간의 SFT를 이용한 해상횡단공법 관련 회의가 개최되었다. 인도네시아는 13,000개 이상의 섬

들로 이루어진 군도국가이므로 기존의 페리를 이용한 교통, 물류 운송보다 친환경적이고 경제적일 수 있는 수중터널을 이용한 횡단공법의 적용에 있어서 최적의 국가이다. 비록 해상교량으로 결정되었지만 발리와 태국을 2018년까지 연결하는 해상횡단에서도 이러한 공법이 검토되었다. 2008년에는 인도네시아 천섬으로 알려져있는 Kepulauan Seribu 군도의 Pangang섬과 Karya섬을 연결하는 노선이 고려되었으나 수심이 10m이하로 매우 낮아서 1.2km떨어져있고 최대수심이 29m인 Pangang섬과 Paramuka섬을 연결하는 노선이 검토되었다.



그림 2.74 인도네시아 Seribu군도 부근 Pangang섬 일대 SFT 계획

○ 제안된 SFT는 그림 2.75와 같이 강과 RC구조 합성 또는 강-콘크리트-알루미늄 복합체로 보도용과 도로혼용으로 설계되었는데 수심의 제한으로 단면의 폭이 넓고 높이가 낮도록 제안되었다가 최종적으로는 중국의 Huang Pu강과 비슷한 단면형상을 갖는 강-철근콘크리트 복합체가 강재프레임으로 보강된 형태를 적용하였다.

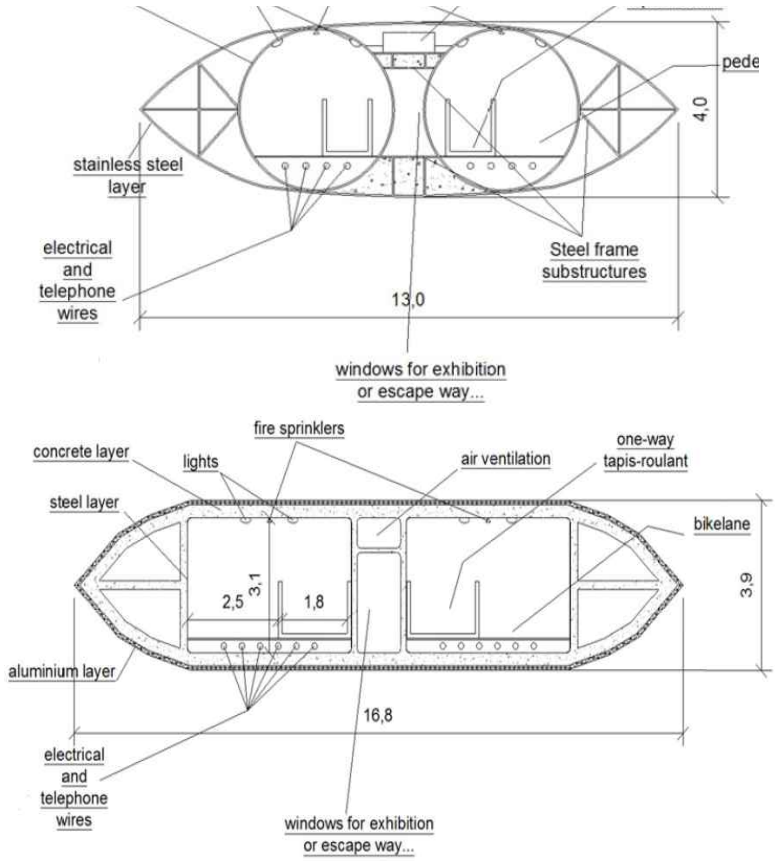


그림 2.75 Pangang-Pramuka 연결 SFT의 제안 단면들

○ 전체 1.2km 중에서 중앙부 500m를 SFT로 하고 양측은 침매터널과 유사한 방식의 수중 터널 형태인 그림 2.76과 같이 SFT부의 단면과 같은 보강형 하부에 콘크리트 기초바닥판을 설치하여 보강형 양 측단을 케이블을 이용하여 고정하는 방식으로 제안하였다.

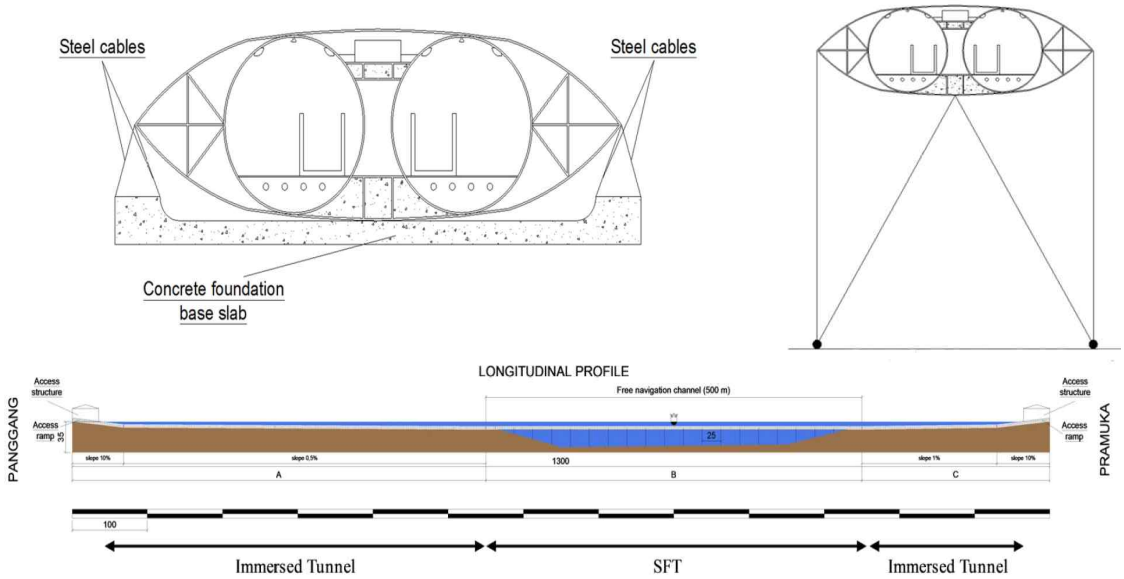


그림 2.76 Pangang-Pramuka 연결 SFT의 침매터널, 수중터널의 단면과 종단구성

2. 세부 기술별 동향

가. 기술체계 분류

○ 해중고속철도 건설을 위하여 요구되는 기술 분류는 다음과 같다. 기술은 대, 중, 소분류로 구분하였으며, 대분류 상에는 시스템 엔지니어링 기술, 해석 및 설계기술, 시공기술, 방재안전 및 유지보수 기술, Test-bed 구축이 있다. 대분류 아래 중분류 및 소분류는 다음 표와 같다.

대분류	중분류	소분류
1. 시스템 엔지니어링 기술	1-1. 해중고속철도 시스템 관리	1-1-1. 해중고속철도 시스템엔지니어링 계획
		1-1-2. 해중고속철도시스템 통합 및 기술 관리
	1-2. 해중고속철도 시스템 분석	1-2-1. 해중고속철도시스템 요구조건 분석 및 기준 개발
		1-2-2. 해중고속철도 시스템 기능 분석
		1-2-3. 해중고속철도 시스템 인터페이스 성능 연구
	1-3. 해중고속철도 시스템 설계	1-3-1. 해중고속철도 시스템 절충연구
		1-3-2. 해중고속철도 시스템 설계
	1-4. 해중고속철도 시스템 평가	1-4-1. 해중고속철도시스템 성능 및 검증 기준
		1-4-2. 해중고속철도시스템 시험 및 평가, 운영 기술

		1-4-3. 해중고속철도 Life Cycle Cost 평가
	1-5. 해중고속철도 축소 모형 실증 시험	1-5-1. 해중고속철도 축소 모형 설계 및 건설
		1-5-2. 해중고속철도 축소 모형 성능 검증 및 확인
	1-6. 해중고속철도 시스템 RAM 기술	1-6-1. 해중고속철도시스템 RAM 성능 해석
		1-6-2. RAM 관리 및 평가
	1-7. 해중고속철도 시스템 안전성 관리 기술	1-7-1. 안전성 분석
		1-7-2. 안전성 평가 및 확보
2. 해석 및 설계 기술	2-1. 해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술	2-1-1. 거동 파랑, 해류, 해저지진, 쓰나미 등의 외력 평가/정량화/조합 기술외력에 의한 해중 구조체 거동 평가 기술
		2-1-2. 파랑 및 해류에 의한 거동 평가 기술
		2-1-3. 지진에 의한 거동 평가 기술
		2-1-4. 충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술
		2-1-5. 화재에 대한 구조체 내화성능 평가 기술
		2-1-6. 차량-인프라 상호 거동 평가 기술
	2-2. 해중고속철도 거동 제어 기술	2-2-1. 구조체 횡방향 변위 저감 기술
		2-2-2. 구조체 지진하중 저감 기술
		2-2-3. 열차 주행중 구조체의 진동/소음 저감 기술
	2-3. 해중고속철도 설계 기술	2-3-1. 환경영향 평가 및 저감 설계 기술
		2-3-2. 터널 튜브 구조체 설계 기술
		2-3-3. 계류시스템 설계 기술
		2-3-4. 구조체 모듈 접합부 및 계류 접합부 설계 기술
		2-3-5. 기초 및 지반 설계 기술
		2-3-6. 환기탑 및 정차역 설계 기술
		2-3-7. 해중고속철도 궤도 시스템 설계 기술
		2-3-8. 해중 전력시스템 설계 기술
		2-3-9. 해중고속철도 신호시스템 설계 기술
		2-3-10. 신소재 적용 구조요소의 설계 및 해석 기술
3. 시공 기술	3-1. 해중터널 함체 시공 기술	3-1-1. 함체의 모듈화 시공 기술
		3-1-2. 함체의 연속 시공 기술

		3-1-3. 모듈 및 타구조물 연결을 위한 시공 기술
		3-1-4. 시공중 구조물의 안정성 확보 기술
		3-1-5. 신소재를 이용한 구조체의 제작 및 시공 기술
		3-1-6. 함체의 수중 시공기술
	3-2. 해중터널 고정 및 앵커링 기술	3-2-1. 중력식 앵커 시스템의 시공 기술
		3-2-2. 지중 고정식 앵커 시스템의 시공 기술
		3-2-3. 테더링을 위한 케이블의 시공 기술
		3-2-4. 신소재를 이용한 앵커림 시스템의 제작 및 시공 기술
	3-3. 해중고속철도 지원시설 시공 기술	3-3-1. 전력 공급용 해상변전소의 시공 기술
		3-3-2. 해상 피난시설의 시공 기술(환기탑 포함)
	3-4. 해중고속철도 시공관리 기술	3-4-1. 정보화기반 시공관리기술
		3-4-2. 시공 위험관리기술
		3-4-3. 해저 터널 시공품질확보 기술
4. 방재안전 및 유지보수 기술	4-1. 해중고속철도 방재안전 기술	4-1-1. 충돌 방지시스템 기술
		4-1-2. 안전 모니터링
		4-1-3. 심해 부유식 구조체의 비상시 대처 기술
		4-1-4. 재난시 응급피난 메뉴얼 및 시스템 기술
		4-1-5. 해수에 의한 누수 급속 차단 및 대피 기술
		4-1-6. 화재시 터널 제연 시스템 설계 기술
	4-2. 해중고속철도 건전성 평가 및 진단 기술	4-2-1. 건전성 및 내구성 평가
		4-2-2. 사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템
	4-3. 해중고속철도 유지보수 및 교체 기술	4-3-1. 구조체 유지보수 기술
		4-3-2. 철도 인프라 유지보수 기술
		4-3-3. 계류장치 및 기초 유지보수 기술
		4-3-4. 원격 제어 로봇 활용 기술
5. Test bed 구축	5-1. 시제품제작	5-1-1. Test bed 입지 선정 및 타당성 검토
		5-1-2. Test bed 설계
		5-1-3. Test bed 시공
	5-2. 시운전	5-2-1. Test bed 시운전 및 성능 평가

○ 이 보고서에서는 i) 시스템엔지니어링, ii) 설계 및 해석, iii) 시공, iv) 방재안전 및 유지보수 기술 중심으로 국내외 기술동향 조사를 수행하였다.

나. 해중 고속철도 시스템 엔지니어링 기술

(1) 요구조건 분석

(가) 국내 기술 동향

○ 철도시스템 요구조건

- 해중고속철도의 건설 및 운영을 위해서는 시스템이 기본적으로 철도와 관련한 법과 규정에서 요구하는 조건을 충족해야 한다. 철도의 건설 및 운영과 상위법은 철도건설법(법률 제10331호)과 철도안전법을 들 수 있다. 철도건설법은 철도망의 신속한 확충과 역세권개발사업의 활성화를 위하여 철도망구축 계획의 수립, 철도건설, 역세권개발에 관한 사항을 규정함으로써 철도교통망의 효율적인 확충과 공공복리의 발전에 이바지함을 목적으로 제정되었다. 실제 해중고속철도시스템의 건설을 위한 세부요구조건은 철도건설규칙(국토해양부령 제163호)에 제시되어 있다.
- 철도건설규칙은 선로와 관련하여 기준이 되는 궤간, 곡선반경, 캔트, 완화곡선, 선로의 기울기, 종곡선, 슬랙, 건축한계, 궤도중심 간격, 시공기면의 폭, 철도횡단 시설 등을 규정하고 있다. 정거장 및 기지와 관련하여서는 정거장의 위치, 정거장 및 신호소의 설비, 정거장 안의 선로 배선, 승강장과 편이 및 안전설비, 전차대, 차막이 및 구름방지설비 등의 요구조건에 대해 규정하고 있다. 전철 전력과 관련하여서는 수전전압, 수전선로, 전철변전소 위치, 전철변전소 용량 및 형식, 급전계통의 구성, 전철변전소의 제어, 전차선로의 공칭전압 및 가선방식, 전차선로 설비 표준화, 전차선의 높이, 전차선의 편위, 접지시설, 절연 이격거리, 가공급전선 높이, 가공 전차선로 설비이 강도, 전기적 구분 장치, 가공 송배전 전선과 교차, 건널목 및 과선교이 안전시설, 터널 조명과 관련한 요구조건을 규정하고 있다. 신호통신과 관련하여서는 신호기장치, 선로전환기장치, 궤도회로, 연동장치, 열차제어시스템, 열차 자동 정지장치, 폐색장치, 열차진중제어장치, 건널목 보안장치, 신호기기 보호, 신호설비의 전원방식, 통신설비, 전송설비, 열차 무선설비, 역무 자동화 설비, 통신설비의 보호 등과 관련한 요구조건을 규정하고 있다.
- 철도안전법(법률 제11690호)은 철도안전을 확보하기 위하여 필요한 사항을 규정하고 철도안전 관리체계를 확립함으로써 공공복리의 증진에 이바지함을 목적으로 제정되었다. 특히 철도종사자, 철도시설 및 철도차량의 안전관리에 대한 규정을 담고 있다. 세부기술과 관련한 하위의 철도시설 안전기준에 관한 규칙(국토해양부령 제356호)은 철도시설의 안전성 분석, 선로 건축한계 내의 안전, 탈선방지 시설, 선로

의 방호시설, 안전설비, 대피시설, 진입로 등의 요구조건을 규정하고 있다. 노반과 관련하여서는 안전기준, 비탈면, 침식방지, 배수, 옹벽, 접속구간, 지반, 수목관리 등의 요구조건을 정하고 있다. 철도교량과 관련하여서는 안전 일반기준, 교량 안전시설, 방호시설, 대피시설 등의 요구조건을 규정하고 있고, 터널과 관련하여서는 안전 일반기준, 안전대책 시설, 분기기의 배치, 본선터널 출입구, 비상통신장비, 안전스위치, 표지판, 제연설비, 배연설비, 대피통로 접속부의 안전기준, 대피통로, 안전손잡이, 비상조명등, 송수관 설비 등의 요구조건을 규정하고 있다 역시설과 관련하여 안전 일반기준, 승강장, 승강장 안전시설, 대합실, 역 광장, 피난로 및 피난설비, 내화구조 및 불연재료, 소방시설, 침수 방지설비 침 배수설비, 여객 이동 통로, 에스컬레이터 및 수평보행기, 승강기 등의 요구조건을 규정하고 있다. 철도건널목과 관련하여 안전 일반기준, 건널목의 신설과 폐지, 건널목의 분류, 안전설비 등의 요구조건을 규정하고 있고, 전철전력설비와 관련하여 안전 일반기준, 인체 피해 예방, 화재 예방, 전철전력설비 안전, 사고 피해 저감 등의 요구조건을 규정하고 있다. 철도신호설비 및 철도통신 설비와 관련하여 일반 안전기준, 철도신호설비의 구조, 철도안전설비와의 연계, 철도통신설비의 안전 일반기준, 철도통신설비의 구조, 신호설비 및 통신설비의 설치, 철도사고 관련 위험원 관리 등의 요구조건을 규정하고 있다. 철도시설이 유지·관리와 관련하여 유지·관리 계획, 유지·관리의 시행 및 기록 관리 등의 요구조건을 규정하고 있다.

- 국토해양부 간선철도과, 철도건설법, 법률 제10331호, 2010,12.1, 법제처
- 국토해양부, 철도건설규칙, 국토해양부령 제163호, 2009. 9. 11.
- 국토해양부 철도기술안전과, 철도안전법, 법률 제11690호, 2013,3.23 법제처
- 국토해양부, 철도시설 안전기준에 관한 규칙, 국토해양부령 제356호, 2009. 9. 11.

○ 해양구조물의 요구조건

- 해중고속철도는 해중에서 고정된 터널을 활용하는 교통시스템이므로 고정식 해양구조물의 일종으로 볼 수 있다. 고정식 해양구조물의 건설과 운영을 위해서는 국제적으로 공인되고 국제법상으로도 유효한 선급협회의 요구조건을 따라야 한다.

- 국내 유일의 선급협회인 한국선급은 고정식 해양구조물 규칙(2013)을 규정하고 있다. 이 규칙에 의면 해양구조물이 일생동안에 접하게 되는 환경조건은 그 구조물이 운송되고 설치되는 지역에 대한 적절한 자료를 사용하여야 하며 이러한 자료 사용에 대한 신뢰성이 있는 근거의 제출을 요구하고 있다. 해양구조물의 설계에 필요한 환경요소는 파도, 바람, 해류, 조류 및 폭풍해일, 대기 및 해수온도, 착빙 및 적설, 해양생물, 지진활동, 유빙 등을 들 수 있고, 해저 토질 조건도 필요한 요소이다.

- 선급규칙에 따른 설계를 수행할 시에 사용되는 환경조건을 정리하면 다음과 같다.

제 2 절 환경조건

201.일반

1. 일반

해양구조물이 일생동안에 접하게 되는 환경조건은 그 구조물이 운송되고 설치되는 지역에 대한 적절한 자료를 사용하여야 하며 이러한 자료 사용에 대한 신뢰성이 있는 근거를 제출하여야 한다.

202.환경요소

1. 환경요소

(1)일반적으로 해양구조물의 설계에는 다음의 환경요소에 대한 조사가 필요하다.

(가) 파도

(나) 바람

(다) 해류

(라) 조류 및 폭풍해일

(마) 대기 및 해수온도

(바) 착빙 및 적설

(사) 해양생물

(아) 지진활동도

(자) 유빙

상기 자료 이외에 특정설치장소에서의 해일파, 해저사태, 셰이시, 물과 공기의 이상혼합, 습도, 염도, 유빙, 빙산, 얼음조각 등의 현상에 대한 조사 자료를 요구할 수 있다. 해저와 토질 조건에 대하여 요구되는 조사 자료는 7절에 따른다.

203.환경에 대한 설계기준

1. 일반사항

설계에 사용되는 환경조건의 조합 및 적용정도는 고려하고자 하는 구조물에 적합하여야 하고 여러 환경 현상의 동시 발생확률과 일치하여야 한다. 설치장소에 대한 신뢰성 있는 위치-특성 자료가 없는 경우, 환 경현상은 구조물의 모든 방향에서 작용하는 것으로 가정하여야 한다. 구조물에 가장 불리한 영향을 발생 시키는 방향 또는 방향의 조합을 설계 에 고려하여야 한다.

2. 설계조건

(1) 설계조건은 구조물의 일생동안 발생될 가장 가혹한 설계조건이 되는 변수들의 조합으로서 보통 다음과 같은 것으로 구성된다.

(가) 바람, 해류, 수심한계, 착빙 및 적설의 영향 등이 포함된 재현주기에 상응하는 최대파고

(나) 공기와 해수의 극한온도

(다) 조류와 폭풍해일에 의한 최대수위

(2) 설치장소의 위치 특성조건에 따라 상기(가)에 포함된 요소들의 여러 가지 조합변화를 고려하여야 한다.

(3) 상기 (1)호의 (가)부터 (다)의 요소들에 대한 재현주기는 완화를 위한 판정기준이 없는 경우, 재현주기는 100년 이하로 하여서는 아니 된다. 다만, 무인 플랫폼구조물, 사람이 쉽게 탈출할 수 있도록 설계된 구조물 및 20년 이하의 설계수명을 진 구조물의 경우 상기 (1)호의 (가)부터 (다)에 대한 재현주기를50년 이상 100년 이하로 할 수 있다-"

(4) 지진활동 지역에 있는 설치위치(204의8항 참조)에서는 구조물의 설계수명에 적절한 재현주기의 지진 에 대한 진도의 크기가 결정되어야 하'며, 이러한 지진은 설계지진으로 이용하고, 그 영향을 설계 시에 고려하여야 하며, 보통은 다론 환경요소와 조합할 필요는 없다.

(5) 해일파, 해저사태, 셰이시 또는 기타 이상현상지역 안의 곳에 위치하는 구조물에 대하여도 그러한 현상 의 영향은 가장 유용하고 신뢰성 있는 추정에 의거하여야 하며 가능한 한 예상되는 영향을 설계 시에 고려하여야 한다.

3. 운용상의 환경조건

각 구조물의 주요기능 또는 운용상의 안전수행에 제한올 주는 환경요소에 관한 특정변수가 결정되어야한다. 이러한 운용에는 구조물의 운송, 오프로딩 및 설치, 굴착 또는 생산작업 플랫폼의 철수 등율 포함할 수 있으며 이러한 조건들은 실제 운용상의 환경조건으로 이용되어야 한다.

204. 특수 환경조건

1. 파랑

(1) 일반

통계적인 파랑자료로부터 얻은 설계변수에는 일반적으로 여러 파고의 발생회수, 그들의 파랑주기 및 방향이 포함되어야 한다. 어떤 폭정지역에 대하여는 이미 알려진 자료 및 설계기준을 사용하여도 좋다. 자료로 사용한 해석적 파랑 스펙트럼에는 그 형태와 폭이 반영되어야 하고 설치장소에 대한 일반적인요건에 적합하여야 한다.

⑵ 장기예측

설계파랑조건의 결정에 사용된 모든 장기간 및 극한값의 예측은 충분히 기술되어야 하며 공인된 기법 에 근거한 것이어야 한다. 설계파랑조건은 확률적인 해석방법 등에 의하여 결정하며, 그 해석 방법은 특정주제에 적합하여야 한다.

(3) 자료

(가) 해석에 필요한 파랑자료에는 설치위치의 조건과 구조물의 형태가 반영된 것이어야 한다. 필요에 따라 파랑자료는 다음 사항을 결정하기 위하여 사용된다.

(a)파랑여유에 대한 갑판높이 및 설비

(b)해저면의 최대전단력과 최대전복 모멘트

(c)구조물의 동적응답

(d)국부구조의 최대응력, 동적진폭, 충격 및 피로

(나) 파랑충격에 대한 기준은 구조물의 설치장소에 적합하여야 하며, 공인된 기법에 따라야 한다. 또한, 전체 구조물에 가장 바람직하지 못한 영향을 유발하는 파도는 각각의 구조부재에 가장 가혹한 영향 을 주는 파도와는 구별하여도 좋다. 일반적으로 피로 및 동적 해석이 요구될 때에는 가장 가혹한 파도조건에 추가하여, 그다지 높지는 않으나 보다 빈번한 파도에 대하여도 조사하여야 한다.

2.바람

(1) 일반

일반적으로 바람에 관한 통계자료에는 여러 풍속의 발생회수, 지속기간 및 방향이 포함되어야 한다. 필요한 경우, 알려진 자료와 가까운 육지 및 해상관측소의 자료는 사용할 수 있다. 설치위치에서의 계측은 개개의 계측기간과 계측장치의 해수면상의 높이를 기록하여야 한다. 돌풍은 1분 이내, 지속성 바람 은 1분 이상 지속된 바람을 말한다.

(2) 장기 및 극한값의 예측

지속성 바람과 돌풍에 대한 장기 및 극한값의 예측은 공인된 기법에 따르며 또한 이를 명시하여야 한 다. 가능하면 풍속의 장기분포에 사용된 통계자료는 하중결정에 사용된 동일한 풍속의 평균주기와 같 온 것에 근거하여야 한다. 수평으로 부는 바람의 수직높이에 따론 높이 변화는 공인된 통계학적 또는 수학적 모형을 근거로 결정하여야 한다.

(3) 수평바람의 수직특성

설계에 사용하기 위한 수평바람의 수직높이에 따른 풍속을 규정된 식에 따라 구한다.

(4) 시간 평균주기의 자료

설계 시 필요한 시간-평균주기에 대한 풍속의 적합한 자료가 없을 경우에는 제시된표에 따른다.

표 2.1.1 시간 - 평균주기 t에 대한 풍속

t	1 시간	10 분	1 분	15 초	5 초	3 초
계수	1.00	1.04	1.16	1.26	1.32	1.35

3. 해류

(1) 일반

해류에 관한 자료에는 일반적으로 해류속도, 방향, 깊이에 따른 변화 등의 자료가 포함되어야 한다. 필요한 자료의 범위는 다른 하중을 일으키는 현상, 근접한 또는 유사한 지역에서의 과거 경험과 설치할 구조물 및 기초의 모양에 관하여 그 위치에서의 예측된 가혹한 해류조건과 일치하여야 한다. 설치위치외 자료는 전에 조사되지 않은 지역 또는 가혹한 조건이 예상되는 지역에서의 자료를 필요로 한다. 설치위치에서의 조수의 작용, 발생된 바람, 밀도, 순환작용과 강물의 유입, 해류의 형태 등을 고려하여야한다.

(2) 속도특성

해류속도의 특성은 위치-특성자료 또는 공인된 관계에 따라야 한다. 저부층류에 의한 비정상적인 특성과 강물유입에 의한 중간층류의 영향을 고려하여야 한다.

4.조류

⑴ 일반

필요한 경우 해양구조물의 설계 시에 조류의 영향을 고려하여야 하며, 조류는 태음조석(lunar tides), 천문조석(astronomical tides), 폭풍해일로 분류한다. 여기서, 바람에 의한 조류와 압력차에 의하여 발생 하는 조류의 조합을 폭풍해일이라 한다.

(2) 수심의 결정은 수표면 에서 가까운 적합한 기준점에서 해저면사이의 수직거리로 표현되는 평균 깊이와 천문조석 및 폭풍해일을 발생시키는 변동인자로 결정한다.

(3) 천문조석은 최고천문조석 (highest astronomical tide : HAT), 최저 천문조석 (lowest astronomical tide : LAT) 및 정수수위(still water level : SWL)로 분류하며, 정수수위는 최고천문조석시의 수위에 폭풍해일을 더하여 산정한다.

(4) 폭풍해일은 유용한 통계 또는 수학적 폭풍해일 모형시험에 대하여 추정된다.

(5) 설계환경파정

설계 시 설계환경파정의 높이는 정수수위(SWL)에 겹쳐서 더하여야 한다. 매일의 조석의 높이 변화는 보트의 접안시설, 부선 방현대와 스플래쉬 구역에서의 구조물의 방식조치범위를 결정하는데 이용되고 해석시의 여러 항목을 위하여 가정한 수심은 명확히 기술되어야 한다.

5. 온도

공기, 해수, 해저온도의 극한값은 재현주기와 관련 최고 및 최저값의 관계로 표시하여야 한다. 구조물에 관련된 온도자료는 열응력 결정과 기계 및 의장설계에 관한 구조재료의 선택, 주위온도 범위 및 조건을 평가하기 위하여 사용되어야 한다.

6. 착빙과 적설

(1) 착빙과 적설이 예상되는 지역 또는 유빙 위험의 발생가능 지역에 설치되는 구조물에 대하여는 착빙과 적설의 양을 추정하여야 한다.

(2) 착빙과 적설에 대한 자료는 실제현장의 계측, 실험자료 또는 유사지역의 자료로부터 얻을 수 있다.

7. 해양생물

(1) 해양구조물의 설계 시 해양생물에 대하여 고려하여야 하며 해양생물의 성장속도와 양의 추정은 과거의 경험과 유효한 현장자료에 따라야 한다.

(2) 수면하의 구조부재의 부가중량 및 증가된 관성질량뿐만 아니라 해초 등의 부착으로 발생하는 부재의 표면 거칠기 및 직경의 증가에 기인한 유체 동하중의 증가에 대한 고려를 해야 한다.

(3) 방식도장은 해초 등의 부착형태 및 그 영향을 고려하여야 한다.

8. 지진활동도와 지진에 관련한 현상

(1) 구조물에 대한 영향

지진활동대로 알려진 지역에 위치한 구조물에 대한 지진의 영향을 고려하여야 한다. 어떤 지역에 대한 예상지진 활동도는 가능한 범위까지, 다음 사항을 적절히 포함하여 지역적인 자료와 위치-특성자료를 근거로 하여 정하여야 한다.

(가) 발생지진의 진도와 재현기간

(나) 활동성 단층의 근접

(다) 단층의 형태

(라) 설치위치와 단층사이의 해저운동의 감쇠

(마) 해저표면의 토질상태

(바) 설치위치 또는 유사한 지역에서의 과거 발생지진의 기록

(2) 해저운동

지진자료는 정량적인 강도기준 및 구조물의 일생동안 지진을 야기시키는 것으로 예측되는 해저운동을 나타내는 설계에 대한 지진기준을 정하기 위하여 사용하여야 한다. 또한, 설치위치와 관련하여 가능한 한 다음의 지진에 관한 현상도 고려하여야 한다.

(가) 해저토질의 상태

(나) 해저상태

(다) 해일파

(라) 음향의 과압에 의한 충격파

9. 유빙
(1) 구조물에 대한 유빙의 영향은 가능한 한 결빙(겨울), 해빙(봄) 및 부빙군(여름)에 대하여 고려하여야 한다.
(2) 구조물에 부빙이 충돌할 가능성이 있는 지역에서는 구조물의 중심 및 편심충돌에 대한 것도 고려하여야 한다. 또한, 조류, 바람 및 코리올리(coriolis) 효과에 의하여 떠다니는 큰 질량의 유빙(빙산 등) 및 폭풍 등에 의하여 가속되어진 작은 질량의 유빙에 의한 충격도 고려하여야 한다.
(3) 얼음과 구조불 사이의 상호작용에 의하여 야기되는 얼음과 구조물-토질관계 모두의 반응을 고려하여야 한다.
(4) 얼음에 의한 사고(인장, 압축, 전단 등)는 표면의 모양 및 거칠기, 부가 얼옴의 유무 이외에 얼음특성, 온도, 염도, 변형률 및 접촉면적 등에 의하여 좌우되며, 구조물을 지나가며 깨어지거나 또는 부서지는 얼음에 의해 발생하는 힘에 대하여도 고려하여야 한다.

(나) 해외 기술 동향

○ 해양구조물의 요구조건

- 노르웨이 선급협회 DNV는 해양구조물에 대해 다양한 사양서와 기준서를 제시하였다. DNV에서 요구하는 사양과 기준은 다음의 표와 같다.

Service Specifications	
DNV-DSS-314	Verification of Hydrocarbon Refining and Petrochemical Facilities
DNV-DSS-315	Verification of Onshore LNG and Gas Facilities
DNV-DSS-904	Type Certification of Wind Turbines

Offshore Service Specifications	
DNV-OSS-101	Rules for Classifications of Offshore Drilling and Support Units
DNV-OSS-102	Rules for Classification of Floating Production, Storage and Loading Units
DNV-OSS-103	Rules for Classification of LNG/LPG Floating Production and Storage Units or Installations
DNV-OSS-121	Classification Based on Performance Criteria Determined from Risk Assessment Methodology
DNV-OSS-201	Verification for Compliance with Norwegian Shelf Regulations
DNV-OSS-202	Verification for Compliance with UK Shelf Regulations
DNV-OSS-300	Risk Based Verification
DNV-OSS-301	Certification and Verification of Pipelines
DNV-OSS-302	Offshore Riser Systems
DNV-OSS-304	Risk Based Verification of Offshore Structures
DNV-OSS-305	Rules for Certification and Verification of Diving Systems
DNV-OSS-306	Verification of Subsea Facilities
DNV-OSS-307	Verification of Process Facilities

DNV-OSS-308	Verification of Lifting Appliances for the Oil and Gas Industry
DNV-OSS-312	Certification of Tidal and Wave Energy Converters
DNV-OSS-313	Pipe Mill and Coating Yard - Qualification
DNV-OSS-401	Technology Qualification Management

Standards	
DNV-DS-J102	Design and Manufacture of Wind Turbine Blades, Offshore and Onshore Wind Turbines

Offshore Standards	
DNV-OS-A101	Safety Principles and Arrangements
DNV-OS-B101	Metallic Materials
DNV-OS-C101	Design of Offshore Steel Structures, General (LRFD Method)
DNV-OS-C102	Structural Design of Offshore Ships
DNV-OS-C103	Structural Design of Column Stabilised Units (LRFD Method)
DNV-OS-C104	Structural Design of Self-Elevating Units (LRFD Method)
DNV-OS-C105	Structural Design of TLPs (LRFD Method)
DNV-OS-C106	Structural Design of Deep Draught Floating Units/Spars (LRFD and WSD Method)
DNV-OS-C201	Structural Design of Offshore Units (WSD Method)
DNV-OS-C301	Stability and Watertight Integrity
DNV-OS-C401	Fabrication and Testing of Offshore Structures
DNV-OS-C501	Composite Components
DNV-OS-C502	Offshore Concrete Structures
DNV-OS-C503	Concrete LNG Terminal Structures and Containment Systems
DNV-OS-D101	Marine and Machinery System and Equipment
DNV-OS-D201	Electrical Installations
DNV-OS-D202	Automation, Safety, and Telecommunication Systems
DNV-OS-D203	Integrated Software-dependent System(ISDS)
DNV-OS-D301	Fire Protection
DNV-OS-E101	Drilling Plant
DNV-OS-E201	Oil and Gas Processing Systems
DNV-OS-E301	Position Mooring
DNV-OS-E302	Offshore Mooring Chain
DNV-OS-E303	Offshore Mooring Fibre Ropes
DNV-OS-E304	Offshore Mooring Steel Wire Ropes
DNV-OS-E401	Helicopter Decks
DNV-OS-E402	Offshore Standard for Diving Systems
DNV-OS-E403	Offshore Loading Buoys
DNV-OS-E406	Design of Free Fall Lifeboats
DNV-OS-F101	Submarine Pipeline Systems
DNV-OS-F201	Dynamic Risers
DNV-OS-H101	Marine Operations, General
DNV-OS-H102	Marine Operations, Design and Fabrication
DNV-OS-H203	Transit and Positioning of Offshore Units
DNV-OS-J101	Design of Offshore Wind Turbine Structures
DNV-OS-J201	Offshore Substations for Wind Farms
DNV-OS-J301	Standard for Classification of Wind Turbine Installation Units

Recommended Practices	
DNV-RP-A201	Plan Approval Documentation Types - Definitions
DNV-RP-A203	Qualification of New Technology
DNV-RP-A204	Quality Survey Plan (QSP) for Offshore Class New-building Surveys
DNV-RP-B101	Corrosion Protection of Floating Production and Storage Units
DNV-RP-B401	Cathodic Protection Design
DNV-RP-C101	Allowable Thickness Diminution for Hull Structure of Offshore Ships
DNV-RP-C102	Structural Design of Offshore Ships
DNV-RP-C103	Column-Stabilised Units
DNV-RP-C104	Self-elevating Units
DNV-RP-C201	Buckling Strength of Plated Structures
DNV-RP-C202	Buckling Strength of Shells
DNV-RP-C203	Fatigue Design of Offshore Steel Structures
DNV-RP-C204	Design against Accidental Loads
DNV-RP-C205	Environmental Conditions and Environmental Loads
DNV-RP-C206	Fatigue Methodology of Offshore Ships
DNV-RP-C207	Statistical Representation of Soil Data
DNV-RP-D101	Structural Analysis of Piping Systems
DNV-RP-D102	Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) of Redundant Systems
DNV-RP-D201	Integrated Software Dependent Systems
DNV-RP-E101	Recertification of Well Control Equipment for the Norwegian Continental Shelf
DNV-RP-E102	Recertification of Blowout Preventers and Well Control Equipment for the US outer Continental Shelf
DNV-RP-E301	Design and Installation of Fluke Anchors in Clay
DNV-RP-E302	Design And Installation of Plate Anchors in Clay
DNV-RP-E303	Geotechnical Design and Installation of Suction Anchors in Clay
DNV-RP-E304	Damage Assessment of Fibre Ropes for Offshore Mooring
DNV-RP-E307	Dynamic Positioning Systems - Operation Guidance
DNV-RP-E401	Survey of Diving Systems
DNV-RP-E402	Naval Rescue Submersibles
DNV-RP-E403	Hyperbaric Evacuation Systems
DNV-RP-F101	Corroded Pipelines
DNV-RP-F102	Pipeline Field Joint Coating and Field Repair of Linepipe Coating
DNV-RP-F103	Cathodic Protection of submarine Pipelines by Gavanic Anodes
DNV-RP-F105	Free Spanning Pipelines
DNV-RP-F106	Factory Applied External Pipeline Coatings for Corrosion Control
DNV-RP-F107	Risk Assessment of Pipeline Protection
DNV-RP-F108	Fracture Control for Pipeline Installation Methods Introducing Cyclic Plastic Strain

DNV-RP-F109	On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines
DNV-RP-F110	Global Buckling of Submarine Pipelines Structural Design due to High Temperature/High Pressure
DNV-RP-F111	Interference Between Trawl Gear and Pipelines
DNV-RP-F112	Design of Duplex Stainless Steel Subsea Equipment Exposed to cathodic Protection
DNV-RP-F113	Pipeline Subsea Repair
DNV-RP-F116	Integrity Management of Submarine Pipeline Systems
DNV-RP-F118	Pipe Girth Weld AUT System Qualification and Project Specific Procedure Validation
DNV-RP-F201	Design of Titanium Risers
DNV-RP-F202	Composite Risers
DNV-RP-F203	Riser Interference
DNV-RP-F204	Riser Fatigue
DNV-RP-F205	Global Performance Analysis of Deepwater Floating Structures
DNV-RP-F206	Riser Integrity Management
DNV-RP-F301	Subsea Separator Structural Design
DNV-RP-F302	Selection and use of Subsea Leak Detection Systems
DNV-RP-F401	Electrical Power Cables in Subsea Applications
DNV-RP-G101	Risk Based Inspection of Offshore Topsides Static Mechanical Equipment
DNV-RP-G103	Non-Intrusive Inspection
DNV-RP-H101	Risk Management in Marine and Subsea Operations
DNV-RP-H102	Marine Operations during Removal of Offshore Installations
DNV-RP-H103	Modelling and Analysis of Marine Operations
DNV-RP-H104	Ballast, Stability, and Watertight Integrity - Planning and Operating Guidance
DNV-RP-J101	User of Remote Sensing for Wind Energy Assessments
DNV-RP-J201	Qualification Procedures for CO2 Capture Technology
DNV-RP-J202	Design and Operation of CO2 Pipelines
DNV-RP-O401	Safety and Reliability of Subsea Systems
DNV-RP-O501	Erosive Wear in Piping Systems

(2) 시스템 분석 및 조합

(가) 국내 기술 동향

○ 해중고속철도 설계 기준

- 해중고속철도는 아직 실현 사례가 없고 기준이 아직 정립되어 있지 않으나, 해중터널 내에 고속열차 운행하는 철도시스템이므로 기존의 철도교량과 터널의 설계기준을 적용하는 것이 적절하다. 철도 교량의 설계 기준은 국토해양부에서 제정한 철도설계기준을 적용할 수 있다.

가. 설계 원칙

철도교량은 안전하고도 경제적이며 목적에 맞는 것이어야 한다. 따라서 실험결과 및 과거의 경험을 바탕으로 하여, 구조물이 받는 정적 및 동적하중, 온도변화, 궤도-교량간 상호작용, 지진의 영향, 기상작용, 지반의 지지력 등에 대응할 수 있도록 하고 구조물의 중요도, 시공검사 및 유지관리, 환경조건, 미관 등을 고려해서 교량의 형식, 사용하는 재료 및 강도, 구조세목 등을 정하여 교량을 설계해야 한다.

철도교량의 설계에 있어서는 일반적으로 교량 및 부재의 강도, 안정, 정적 및 동적변형, 내구성 등에 대하여 검토해야 한다. 필요한 경우에는 부재의 좌굴, 콘크리트의 균열에 대해서도 검도해야 한다.

지진의 영향을 고려하는 경우에는 특히 다음 사항에 대하여 검토해야 한다.

(1) 지진의 영향으로 과대한 변형, 비틀림, 응력집중 등이 생기지 않는 구조로 한다.
(2) 재현주기 100년 지진에서도 열차가 주행기능을 수행할 수 있는 궤도 안정성이 확보되도록 구조물에 대한 검토를 해야 한다. 이때 구조물은 탄성설계를 기본으로 해야 한다.
(3) 설계지진 발생 후의 피해정도를 최소화하고 구조물을 구성하는 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 구조물의 전체적인 붕괴는 방지할 수 있도록 구조물에 대한 검토를 해야 한다.
(4) 교량 전체의 붕괴를 방지하기 위해 구조상 소성힌지가 생기는 부분에는 급격한 파괴가 생기지 않도록 연성을 갖게 해야 한다.
(5) 일반적인 내진계산은 교량의 직교 2방향에 대하여 각각 독립적으로 지진의 영향을 고려해서 계산하고 있으나 실제의 지진 진동은 수평2방향과 연직방향의 3개 성분이 합성된 것이므로 구조물에 수평 비틀림이 생기지 않도록 구조물의 강성의 중심이 가급적 일치되는 구조형식으로 해야 한다.

기초 및 교대, 교각의 단면이 상당히 큰 경우 수화열해석에 의한 검토를 수행해야 하며, 온도해석 및 응력해석, 이들 결과를 사용한 균열발생의 평가방법은 콘크리트표준시방서(2009, 한국콘크리트학회) 제18장 매스 콘크리트에 따른다.

나. 설계 계산

교량 안전성설계는 정적해석에 의하여 수행해야 하며, 지진이나 총격 등의 영향을 계산하는 경우와 주행안전성 검토는 실제 열차하중을 사용한 동적해석에 의한 검토를 해야 한다.

강교의 설계는 허용응력설계법으로 하는 것을 원칙으로 하되 강합성교의 콘크리트 바닥판 등의 설계에는 강도설계법을 적용하는 것을 원칙으로 한다. 콘크리트교량의 설계는 강도설계법으로 하는 것을 원칙으로 하되 하부구조의 안정성 검토, 기초구조 검토, 프리스트레스가 도입되는 부제의 사용성 검토 등에 대해서는 허용응력으로 적정성 검토할 수 있다. 구조물의 안정검토에서는 일반적으로 받침면, 기초저면 등에서의 전도, 그리고 지반 및 말뚝 등의 수평 및 연직지지 등에 다한 안전도가 확보되도록 한다. 구조물의 변형은 일반적으로 열차의 주행안전성, 승객의 승차감, 궤도-교량간 종방향 상호작용을 고려한 허용변위량 이내라야 한다.

철도교의 설계 내용기간(耐用期間)은 요구되는 공용기간과 환경조건에 대한 교량의 안전성과 내구성능을 고려해서 정한다. 특히, 별도로 규정하지 않는 경우 철도교의 설계 내용기간은 100년으로 한다.

다. 교량의 설계 요구사항

철도교는 열차의 운행 안전성, 승차감, 그리고 향후 유지관리를 위하여 관련되는 엄격한 기준을 만족해야 한다. 철도교는 작용하중이 매우 크고, 많은 불리한 하중조건을 만족해야 할 뿐만 아니라 차량 운행과 관계된 특별한 인터페이스를 만족해야 하므로 다음에 기술하는 바와 같은 조건들에 대해 특별히 엄격하고 조의 깊은 설계와 시공, 유지관리 통제관리 등이 수행되어져야 한다.

(1) 정적하중 조건(고정하중, 차량하중, 일반 환경적 하중)
(2) 동적하중 조건(동적 구조응답, 공진현상 검토)
(3) 운행하중 조건(제동하중, 시동하중, 차량횡하중 등)
(4) 반복적인 차량 차축하중에 대한 피로 조건
(5) 승차감 확보 조건
(6) 궤도-교량간 상호작용 효과(변형 한계조건, 온도 신축길이 제한)
(7) 상부구조와 하부구조사이의 인터페이스 조건
(8) 교량진단과 유지관리 과정에서도 열차의 운행중지를 하지 않을 조건
(9) 열차 특수운행 요구사항

라. 하중의 특성

작용하중의 특성치는 합리적으로 계산되어지고 공인될 수 있는 통계적인 값을 사용해야 한다. 통계적인 분포가 없을 경우에는 공칭하중이 사용될 수 있다.

하중들은 다음의 3가지의 형태를 가진다.

(1) 영구적인 작용하중(고정하중, 프리스트레싱, 영구적인 주위환경의 하중 등)

(2) 빈도에 관계없이 변동성 있는 하중 또는 준영구적인 작용하중으로 차량과 보행자하중, 기타 여러 작용원인에 의한 다양한 하중들(동적인 증폭관련 외의 어떠한 우발적 사고 상황은 포함시키지 않음)

(3) 우발적인 하중(열차운행 상의 우발적인 하중 또는 기타 환경적인 우발적 하중) 운행을 위한 조건

(4) 교량은 재료의 특성과 관계된 사항 이외에 추가적으로 진동 한계와 엄격한 변형 제한을 만족해야만 한다.

다음과 같은 4가지의 독립적인 항목이 반드시 고려되어야 한다.

- 주행의 안전성
- 승객의 승차감
- 교량의 동적 안전성
- 궤도-교량 간 상호작용

(5) 궤도-교량 간 상호작용

교량 등 선로 상부구조물이 두개의 걸쳐져 있는 단순구조 형식이거나, 또는 하나의 교대를 포함하는 상부구조를 기지거나, 혹은 레일 신축이음장치(REJ)를 가지고 있거나 가지지 않는 복잡한 연속구조물인 경우 등의 모든 경우에 있어서, 장대레일에서 기인하는 교축방향하중은 구조물과의 상호작용으로 복잡하게 분산되어진다. 이러한 하중들의 일부분은 다른 선로에 전달되어지며, 또한 교량 구조물은 다음과 같은 영향을 받을 수 있으므로 검토해야 한다.

- 교량의 종방향 변위에 대한 궤도의 저항
- 탄성받침 등 종방향 강성을 고려할 수 있는 특정한 형식의 받침에의한 종방향 변위에 대한 상부구조의 저항

다음의 하중에 의한 영향은 복합적인 수평방향 거동을 유발하여 반드시 교려해야 한다.

- 온도변화에 따른 레일과 구조물에서의 서로 다른 거동의 영향
- 재동과 시동에 준용하는 수평하중의 영향
- 수직하중에 의한 교량휨에 기인한 영향

마. 하중의 종류

설계에 있어서는 다음 하중을 고려한다.

- 고정하중(자중)
- 2차 고정하중(부가되는 고정하중)
- 환경적인 작용하중
- 간접적인 작용하중
- 운행하중
- 표준열차하중
- 충격
- 수평하중 : 차량횡하중, 캔트효과, 원심하중, 시동하중과 제동하중
- 풍하중
- 온도변화의 영향 : 교량 설계시 온도변화, 단면에서의 온도변화율, 궤도-구조물간의 상호작용
- 장대레일 종하중
- 2차 구조부분, 장비, 설비 등에 작용하는 하중 : 유지보수 통로하중, 군중하중, 승강장에 재하되는 하중, 난간하중, 방음벽, 지주 하단에 작용하는 하중, 마찰저항하중, 화물하중
- 특수하중
- 충돌하중
- 탈선하중
- 가설시의 하중
- 지진의 영향

• 철도터널의 설계 기준은 다음과 같다

가. 설계일반

터널설계는 터널단면에 따라 단선터널, 복선터널, 대단면터널 등으로 구분하여 전철화를 고려하여 설계해야 한다. 터널설계는 터널연장에 따라 짧은터널, 장대터널, 초장대터널로 구분하여 그 기능과 목적에 적합하도록 설계해야 한다. 장대터널과 초장대터널은 방재대책을 고려하여 설계해야 한다. 터널설계는 조사결과를 토대로 안정성, 시공성, 경제성과 내구성이 확보되고 유지관리가 편리한 시설이 되도록 하되 실제 시공조건이 설계당시에 예측한 조건과 상아한 경우에 대비한 변경방법 및 조치사항 등을 포함해야 한다. 이를 위하여 설계 시에 적용한 모든 적용자료와 분석 및 예측사항을 명확하게 제시해야 한다.

터널설계는 제반조사 자료들을 근거로 지반특성을 고려하여 터널주변 원지반이 보유하고 있는 지보능력을 최대한 활용할 수 있도록 단면형상, 굴착공법과 방법, 지보재 형시, 콘크리트라이닝, 터널 입구와 출구부, 방재 및 부대시설, 시공순서 등을 선정해야 한다.

터널설계 시 환기, 조명, 방재시설 등의 제반설비 사항도 고려하고 이들의 역할이 잘 발휘되도록 설계해야 한다.

터널굴착 시 원지반의 손상이나 여굴발생이 최소화되도록 설계하며 원지반의 손상이나 여굴발생 시 그 처리방안을 설계해야 한다.

터널안정성을 확보하기 위하여 터널구조물의 안전뿐만 아니라 주변 위험 영향도 최소화되도록 해야 하며, 터널 주위에 미치는 영향에 대해서는 필요 시 합리적인 대책을 강구해야 한다.

터널설계는 지반의 불확실성, 지반조사의 기술적 한계 및 지하공간에세의 제한적 작업특성 등이 고려되어야 한다.

나. 설계방법의 선정

설계방법 선정은 지반의 거동특성과 지보재의 지보력이 상호 연합하여 일체가 되게 거동하여 터널의 안정성이 유지될 수 있는 방법을 선정해야 한다. 다만, 지반의 거동특성상 지반의 지보능력 활용이 불가능할 경우에는 지반보강을 시행하거나 지보재가 지반하중을 모두 지지하도록 하는 설계방법을 채택한다.

암반분류 후 해당 등급에 적용할 표준지보패턴과 굴착방법을 정하여 설계할 수 있다. 이 경우 유사암반조건에서의 시공실적 또는 RMR 방법 및 Q-system 등에서 제안한 지보패턴을 참조하여 지보패턴을 정하는 것을 원칙으로 하되 현장조건에 따라 변경할 수 있다. 암분류는「기본설계 등에 관한 세부시행기준(국토해양부)」, 「터널설계기준(국토해양부)」, 「건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부)」 을 기본으로 하며 필요할 경우 별도로 정하여 실시한다.

굴착공법과 지보패턴은 선정조건에 따라 각 조건별 해석적인 방법을 통하여 그 안정성을 검증하며 작용하중, 공학적 특성치, 해석기법 및 경계조건 등을 종합적으로 검토해야 한다. 설계조건이 특수하거나 유사조건에서의 시공사례도 없는 경우에는 예상되는 문제들을 면밀히 검토한 후 굴착방법, 지보패턴 및 보조공법 등을 선정하고 정밀한 해석적인 검증을 통하여 설계를 확정해야 한다.

다. 설계의 기본요건

터널설계에는 다음 사항을 포함해야 한다.

- 평면 및 종단선형
- 굴착 대상지반의 분석 및 분류
- 터널단면의 형상
- 지보패턴 및 지보패턴 적용구간 성정
- 굴착공법 및 굴착방법
- 각종 지보재의 규격 및 시공순서
- 필요한 보조공법 및 보강공법
- 방수 및 배수방법
- 콘크리트라이닝의 시공
- 계측계획 및 수행방법
- 환기, 방재 등을 비롯한 각종 부대시설
-유지관리계획
- 터널시공에 따른 환경영향분석
- 공사시방서

터널 설계는 안정성 확보를 우선으로 하고 지보재가 최적화 되도록 설계한다. 이 경우 해석적인 방법 외에 설계·시공사례 등의 경험적인 방법도 고려해야 한다. 신선한 암반을 통과하는 터널은 지보재의 내구성이 확보될 경우 콘크리트라이닝의 역할 분석하여 이의 미설치 여부를 검토할 수 있다. 터널 부대사설에 사용하는 재료는 화재에 대한 내화성을 가진 재료를 사용해야 한다.

○ 해중터널의 Life Cycle Cost

- 김이현은 철도교량의 생애주기동안 발생가능한 비용 항목을 분석하여 국내실정에 적합한 합리적이고 실용적인 설계 단계의 경제성분석 의사결정 시스템을 개발하였다. 이를 통해 철도교량 LCC의 정량적 평가를 할 수 있으며, 궁극적으로 일관성 있고 타당성 있는 대안설계를 선정하여 사회비용의 절감과 LCC를 고려한 교량의 설계, 시공으로 예산을 절감할 수 있게 된다. (철도교량의 설계 단계 생애주기비용 분석 시스템 개발, 한국철도기술연구원 2008)
- 김용기는 LCC기반의 궤도시스템 관리 기술을 개발하였다. 자갈궤도와 슬라브 궤도 구조에 대해 궤도 LCC 분석 기법을 적용하여 초기 투자비인 설계비, 초기공사비, 유지보수비가 궤도구조 형식별로 차이가 발생함을 보였고, 경제적인 생애주기 비용을 제시하였다.(김용기, LCC기반의 궤도시스템 관리기술 개발, KRRI연구07-107, 2008)
- 공정식은 위험도 분석에 기초한 철도교 LCC 평가 기법을 개발하였다. 자연재해 및 사고위험에 대한 위험도 평가 기법을 제시하고 위험도를 고려한 LCC 평가 프레임 개발을 통하여 철도교량이 최적 유지관리 될 수 있는 기술적 기반을 조성하였다. (공정식, 위험도 분석에 기초한 철도교 LCC 평가 기법, 고려대학교)

(나) 국외 기술 동향

○ 해중고속철도 설계 기준

- Bernt Jakonsen 등은 광폭 대수심의 Sogne 피요르드에 적용되는 해중터널의 다양한 개념과 설계원리를 제안하였다. 폰툰형 해중터널과 1개의 해저 앵커를 공동으로 활용하는 새로운 테더링 방식의 해중터널 개념을 그림 2.77~78과 같이 제안하였다. 해중터널에 대한 설계를 위해 사하중, 부력 및 교통하중과 같은 일상적인 하중 외에 다음과 같은 특수 하중 조건을 고려해야 한다고 제안하고 있다.
  - 아치형 구조의 좌굴
  - 선박 충돌
  - 와류 유기 진동 (Vortex Induced Vibration)
  - 1차 오더(order)의 파력
  - 서서히 변동하는 2차 오더의 파력

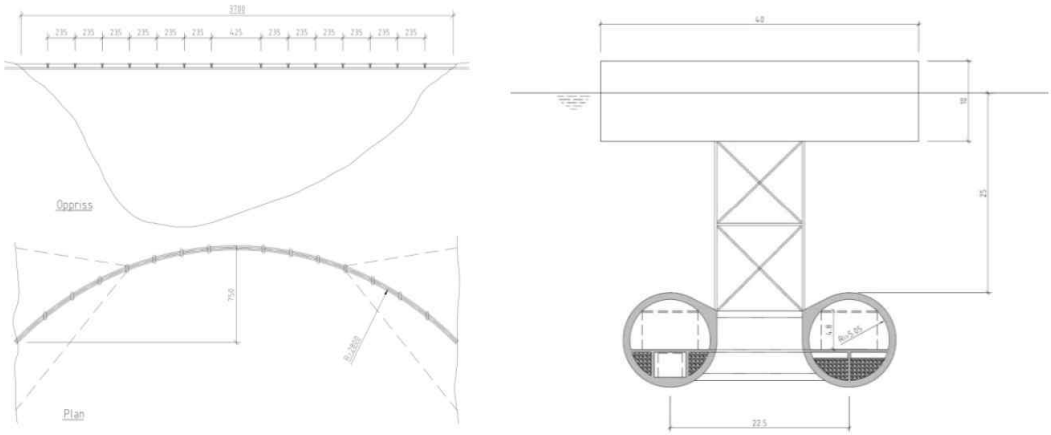


그림 2.77 Proposed submerged floating tunnel with pontoon

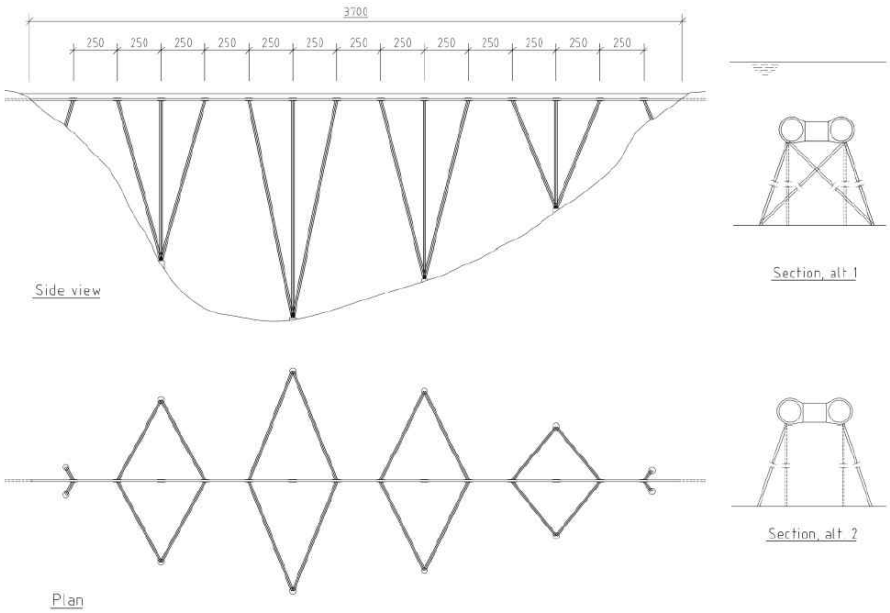


그림 2.78 Principles of submerged floating tunnel with tethers

- 좌굴
  수평면에서 좌굴이 발생하는 경우 안전 계수는 바람 및 조류 하중에 대하여 약 30이다. 파력이 모든 부교에서 동시에 그리고 단계적으로 작용한다면 좌굴에 대한 안전 계수는 그래도 7 이상이 된다.

- 선박 충돌
  부교에 선박이 충돌할 경우 대형 사고로 이어질 수 있다. NPRA 요구조건에 따르면 연간 사고 발생 확률이 10^{-4}이상일 경우 사고 하중을 고려하여야 한다. Sogne 피오르드 횡단 지점에서의 선박 운동 에너지는 1,500MN 인데, 이 충격에

저항할 수 있는 수중터널을 설계하기란 현실적으로 불가능하다. 가능한 해결책은 부교와 관을 링크로 연결하는 것이다. 관은 부교 하나가 손상되어도 피해 없이 견뎌낼 수 있어야 한다.

- 와류로 인한 진동
  함체 설치 깊이에서 해류 속도를 예상하고, 와류에 의한 공진을 피하기 위해 수직방향 진동모드에 대해 공진을 검토하고, 와류 유발 횡진동 한계 미만이 되도록 한다. 원통형 실린더의 경우 해류로 인한 요동은 문제가 되지 않는다. 그러나 2개의 원형 관이 있을 때, 하나가 다른 하나의 뒤에 위치하는 경우 이러한 요동이 문제가 될 수 있다. 와류로 인한 진동에서 2개 실린더 간의 간섭 영향은 모형시험에서 상세하게 조사되어 한다.

- 파력
  피오르드 횡단 설계 기초 자료에 따르면, 현장에서의 100년 태풍의 특성은 유의파고는 2.3m, 주기는 4.8초이다. 이들의 주기는 너무 짧아 매우 높은 모드만 영향을 받는다. 대략적인 계산에 따르면 이러한 파도는 구조물에 심각한 영향을 주지 않는다. 또한 먼 바다에서 부는 태풍의 여파로 생기는 파도는 파고 0.1m, 주기 13~14 초로 중대한 영향을 주지 않을 것으로 예상된다. 개략적으로 파랑 표류력은 구조물의 고유 진동주기가 30초 이하일 경우 문제를 야기하지는 않을 것으로 판단된다.

- 부교 공법과 테더링 공법의 비교
  부교 공법의 장점으로 다음과 같은 것들이 있다.
  - 해저 토양 조건 관련 불확실성 제거
  - 심해 해저에서의 비싸거나 위험한 기초 혹은 정착지점의 회피
  - 수중 산사태 취약성 감소
  - 잠수함 충돌 취약성 감소
  - 불안정 요인인 테더의 회피
  - 지진에 의한 영향 감소

  테더링 공법의 장점은 다음과 같다.
  - 선박 통행에 제한이 없고 선박 충돌 위험 없음
  - 수면위로 보이는 부분이 없음
  - 예상치 못한 거동에 대비한 사슬 등 추가 방안의 설치 용이성
  - 서서히 변하는 동적 반응의 제거
  - 1차 파력에 의한 영향 감소
  - 바람 및 조류에 의한 영향 감소
  - 비틀림 자극을 포함한 복잡한 동적 반응의 감소
  - 설치 중 계류시스템으로 테더를 이용할 수 있기 때문에 관 설치 비용이 낮

고 안전
- 직선 및 곡선 선형에 모두 적합

○ 부유식 해중터널 설계 기준

• 설계 원리

다른 구조물과 마찬가지로, 해중터널은 예상 가능한 하중 조합에 기초하여 설계하여야 한다. 허용 가능한 설계 방법 및 일반 조건은 국가 별 규정에 의하여 결정되며 그렇지 않은 경우 발주자가 설계사 및 시공사와 함께 이러한 규정을 정해야 한다. 해중터널의 설계는 해양 산업 분야에 적용되는 기준과 관련되어 있으며, 하중과 재료강도에 대한 부분안전계수(partial safety coefficient)를 사용한 준확률적 한계상태(quasi- probabilistic limit state) 방법을 적용한다.

• 한계 상태

준확률적 방법에 따른 설계를 위해 다음과 같이 설계 한계 상태를 구분한다.

- SLS (Serviceability Limit State, 사용 한계 상태): SLS 조건은 구조물이 처짐, 균열 폭, 안전 계수 및 가속도 등과 관련하여 실제적인 기준과 부합되지는 확인하기 위해 설정된다.
- ULS (Ultimate Limit State, 극한 한계 상태): ULS 조건은 구조물이 허용 파괴 위험 내에서 기준 하중 및 하중 조합에 견딜 수 있는 충분한 강도를 갖고 있는지 확인하기 위하여 설정된다. 계수들은 계수가 고려되지 않은 사건이 발생한 이후에도 구조물이 만족할 만한 기능을 계속 유지할 수 있을 만큼 충분하여야 한다.
- PLS (Progressive Collapse Limit State, 점진 붕괴 한계 상태): PLS 조건은 발생 확률이 아주 낮은 어떤 하중이나 하중 조합이 발생한 경우, 인명을 보호하기 위하여 고려된다. 이러한 경우, 구조물이 심하게 손상되었다 할지라도 인명 손실은 허용되지 않는다. 이 조건은 종종 연간 약 10-4의 확률 수준으로 정의된다.
- FLS (Fatigue Limit State, 피로 한계 상태): FLS는 반복 하중으로 인하여 어떤 재료가 강도를 잃게 되는 경우를 고려한 것이다. 재료의 누적 손상을 계산하고 작동수명(operational life)에 대한 구조물의 계산수명(computed life)을 체크함으로써, 구조물 특정 부분의 민감도를 추정 할 수 있다. 일반적으로 계산수명과 작동수명 사이의 안전계수는 파괴의 영향과 부품 수리의 기회에 따라 3에서 10까지 사용된다.

• 재료

재료의 종류에 따라 사용되는 안전계수는 국가 별 설계 규정이나 고객의 사양서에 명시된다.

- 하중

  설계하중을 구하기 위해 개별 하중을 부분하중계수를 이용하여 조합한다. 하중계수는 국가 설계규정이나 사양서에 명시되어 있다. 통상 5 가지 유형의 하중이 고려된다.

  - PL (Permanent Load, 영구하중): PL은 구조물의 사용 수명 기간 중 영구히 상존하는 하중이다. 구조물은 시공 중 하중에 노출되며 가장 일반적인 영구하중에는 다음과 같은 것들이 있다. 구조물 자중(structural dead weight), 정수압, 부력 등.
  - FL (Functional Load, 기능 하중): 기능 하중은 구조물의 사용으로 인하여 발생되는 하중이다. 해중터널의 경우에는 다음과 같은 것들이 있다. 교통에 의한 하중, 밸러스트 조건의 변화에 의한 하중, 시공 중 변동 하중 등.
  - DL (Deformation Load, 변형 하중): 변형 하중은 구조물 자체의 기하학적 변형으로 인하여 발생하며 이러한 하중은 종종 재료의 성질과 관련이 있다. 변형 하중은 수축, 크리프 및 이완(relaxation), 사후 및 초기 인장(post or pre tension), 부등 침하, 온도 변화, 공법에 따른 잔류 내부 하중 등에 의하여 발생 된다.
  - EL (Environmental Load, 환경 하중): 환경 하중은 현지 조건에 의하여 발생한다. 이 하중의 크기를 결정하는 데에는 특별한 조사 및 연구가 필요하다. 환경 하중이 구조물에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수학적 또는 수리역학적 모델이 필요 할 때가 있다. 해중터널의 경우 가장 중요한 환경하중에는 파랑에 의한 하중, 조류에 의한 정적 하중, 조류의 와류(vortex)에 의한 동적 하중, 간만의 차이로 인한 하중, 수면 유빙에 의한 하중, 물의 밀도 변화에 의한 하중, 지진에 의한 하중 등이 있다.
  - AL (Accidental Load, 우발 하중): 우발 하중은 속성상 발생하지 않아야 한다. 그러나 현실은 우발적 사고가 발생하고 있으므로, 이러한 하중에 대해 사양서에 반영하거나 합리적인 방안을 제시하여 적절히 대책을 수립할 필요가 있다. 우발 하중에서 고려하는 영역은 튜브 내부 혹은 외부 폭발, 차량이나 유류에 의한 화재, 부력 손실, 지지시스템의 손상, 선박 충돌 등이 있다.

  해중터널의 타당성 연구 시에 선박이나 잠수함과 충돌에 의한 돌발 하중에 대해 충분한 검토하여야 한다. 해중터널의 안전을 위해 각종 교량에서 많이 발생하였던 대형 선박과의 충돌로 인한 구조물의 심한 손상을 피해야 한다. 해중터널은 실제로 수면 아래에 위치하기 때문에 수면위로 항해하는 선박과의 충돌은 쉽게 피할 수 있다. 해상 교통이 빈번한 곳에서는 특정 구역에서 선박 침몰 가능성 및 이로 인한 결과 등이 고려되어야 한다. 침몰 선박이 (혹은 다른 물체) 구조물에 가하는 충격 에너지는 국부 또는 전체 변형에 의해 흡수되어야 한다. 흡수

정도는 선박의 유형에 따라 다르다.
예를 들면, Messina 해협 프로젝트에 제안된 해중터널의 경우, 5000-dwt급 침몰 선박의 충격은 레벨 1내에 있어야 하며 250,000-dwt급 침몰 선박의 충격은 레벨 3내에 있어야 한다. 선박의 크기와 종류 및 적정 레벨은 각 해중터널 마다 상이하다. 자주 발생하나 미치는 영향이 덜 민감한 또 다른 유형의 우발 하중은 어업 장비이다. 이러한 유형의 충격은 해사 규정을 준수함으로서 피할 수 있다.
교통 법규가 잠수함의 운행을 위해 제정되어야 한다. 필요 시 터널 및 지지 시설, 특히 케이블이 잠수함 항해 장비에 의해 모니터링될 수 있도록 조치가 취해져야 한다. 해중터널 자체의 안전을 위한 경보 시스템을 사용할 수 있다.

○ 해양구조물의 설계기준

- 노르웨이 선급 DNV의 고정식 해양구조물의 설계 기준의 주요 내용은 다음 표와 같다.

Sec. 1 Introduction A. General A 100 Introduction A 200 Objectives A 300 Scope and application A 400 Other than DNV codes A 500 Classification B. References B 100 General C. Definitions C 100 Verbal forms C 200 Terms D. Abbreviations and Symbols D 100 Abbreviations D 200 Symbols
Sec. 2 Design Principles A. Introduction A 100 General A 200 Aim of the design B. General Design Considerations B 100 General C. Limit States C 100 General D. Design by LRFD Method D 100 General D 200 The load and resistance factor design format (LRFD) D 300 Characteristic load D 400 Load factors for ULS D 500 Load factor for FLS D 600 Load factor for SLS D 700 Load factor for ALS E. Design Assisted by Testing

E 100 General
E 200 Full-scale testing and observation of performance of existing structures
F. Probability Based Design
F 100 Definition
F 200 General

Sec. 3 Loads and Load Effects
A. Introduction
A 100 General
B. Basis for Selection of Characteristic Loads
B 100 General
C. Permanent Loads (G)
C 100 General
D. Variable Functional Loads (Q)
D 100 General
D 200 Variable functional loads on deck areas
D 300 Tank pressures
D 400 Lifeboat platforms
E. Environmental Loads (E)
E 100 General
E 200 Environmental loads for mobile offshore units
E 300 Environmental loads for site specific units
E 400 Determination of characteristic hydrodynamic loads
E 500 Wave loads
E 600 Wave induced inertia forces
E 700 Wind loads
E 800 Vortex induced oscillations
E 900 Current
E 1000 Tidal effects
E 1100 Marine growth
E 1200 Snow and ice accumulation
E 1300 Direct ice load
E 1400 Water level, settlements and erosion
E 1500 Earth quake
F. Combination of Environmental Loads
F 100 General
G. Accidental Loads (A)
G 100 General
H. Deformation Loads (D)
H 100 General
H 200 Temperature loads
H 300 Settlements and subsidence of sea bed
I. Load Effect Analysis
I 100 General
I 200 Global motion analysis
I 300 Load effects in structures and soil or foundation

Sec. 4 Structural Categorisation, Material Selection and Inspection Principles
A. General
A 100 Scope
B. Temperatures for Selection of Material
B 100 General
B 200 Floating units

B 300 Bottom fixed units
C. Structural Category
C 100 General
C 200 Selection of structural category
C 300 Inspection of welds
D. Structural Steel
D 100 General
D 200 Material designations
D 300 Selection of structural steel
D 400 Fracture mechanics (FM) testing
D 500 Post weld heat treatment (PWHT)

Sec. 5 Ultimate Limit States
A. General
A 100 General
A 200 Structural Analysis
A 300 Ductility
A 400 Yield check
A 500 Bucking check
B. Flat Plated Structures and Stiffened Panels
B 100 General
B 200 Yield check
B 300 Buckling check
B 400 Capacity checks according to other codes
C. shell Structures
C 100 General
D. Tubular Members, Tubular Joints and Conical Transitions
D 100 General
E. Non-Tubular Beams, Columns and Frames
E 100 General
F. Special Provisions for Plating and Stiffeners
F 100 Scope
F 200 Minimum thickness
F 300 Bending of Plating
F 400 Stiffeners
G. Special Provisions for Girder and Girder Systems
G 100 Scope
G 200 Minimum thickness
G 300 Bending and shear
G 400 Effective flange
G 500 Effective web
G 600 Strength requirements for simple girders
G 700 Complex girder system
H. Slip Resistant Bolt Connections
H 100 General

Sec. 6 Fatigue Limit States
A. General
A 100 General
A 200 Design fatigue factors
A 300 Methods for fatigue analysis

Sec. 7 Accidental Limit States
A. General
A 100 General

Sec. 8 Serviceability Limit States
A. General
A 100 General
A 200 Deflection Criteria
A 300 Out of plane deflection of local plates

Sec. 9 Weld Connections
A. General
A 100 General
B. Types of Welded Steel Joints
B 100 Butt joints
B 200 Tee or cross joints
B 300 Slot welds
B 400 Lap joint
C. Weld size
C 100 General
C 200 Fillet welds
C 300 Partly penetration welds and fillet welds in cross connections subject to high stresses
C 400 Connections of stiffeners to girders and bulkheads etc.
C 500 End connections of girders
C 600 Direct calculation of weld connections

Sec. 10 Corrosion Control
A. General
A 100 General
B. Techniques for Corrosion Control Related to Environmental Zones
B 100 Atmospheric zone
B 200 Splash zone
B 300 Submerged zone
B 400 Internal zones
C. Cathodic Protection
C 100 General
C 200 Galvanic anode systems
C 300 Impressed current systems
D. Coating systems
D 100 Specification of coating

Sec. 11 Foundation Design
A. General
A 100 Introduction
A 200 Site Investigations
A 300 Characteristic properties of soil
A 400 Effects of cyclic loading
A 500 Soil-structure interaction
B. Stability of Seabed
B 100 Slope stability
B 200 Hydraulic stability
B 300 Scour and scour protection
C. Design of Pile Foundations
C 100 General
C 200 Soil resistance against axial pile loads
C 300 Soil resistance against lateral pile lads
C 400 Group effects
D. Design of Gravity Foundations

D 100 General D 200 Stability of foundations D 300 Settlements and displacements D 400 Soil reaction on foundation structure D 500 Soil modelling for dynamic analysis D 600 Filling of voids E. Design of Anchor Foundations E 100 General E 200 Safety requirements for anchor foundations E 300 Pile anchors E 400 Gravity anchors E 500 Suction anchors E 600 Fluke anchors E 700 Plate anchors
App. A Cross Sectional Types A. Cross Sectional Types A 100 General A 200 Cross section requirements for plastic analysis A 300 Cross section requirements when elastic global analysis is used

○ 해중고속철도 시스템 설계 조합 및 최적화

- 해중터널의 유형은 4가지로 분류해 볼 수 있다(Havard Ostlid, When is SFT competative?, Procedia Engineering). 첫 번째는 유형은 그림 2.79(a)에 나타난 바와 같이 폰툰형 해중터널이다. 이 유형은 수심에는 상관없이 건설될 수 있으나 바람, 파도, 조류, 선박 충돌 등의 위험에 항상 노출되어 있다. 두 번째 유형은 그림 2.79(b)와 같은 형태로서 해저면에 기초를 둔 해저 교량이라고 할 수 있다. 기본적으로 기둥은 압축하중을 받으나 경우에 따라 인장하중을 받을 수도 있다. 이 유형에서는 수심이 중요한 역할을 하는데, 수백미터가 한계라고 할 수 있다. 또다른 유형으로서 인장삭도 형태를 들 수 있다. 이 유형은 모든 상황에서 활용될 수 있는 유형으로서 모든 하중조건에서 인장삭도의 인장력이 영(zero)가 되는 슬랙(slack)이 발생해서는 안된다. 수백미터 이상의 수심에서도 적용될 수 있는데, 인장삭도는 수직 또는 수직과 경사의 조합을 활용할 수 있다. 마지막 유형은 그림 2.79(d)와 같이 해저면에 고정되지 않은 자유형으로서 수심에 제한이 없는 형태이다. 수직 하중 때문에 길이가 수백미터로 제한될 수밖에 없는데, 소형 교통수단의 통행을 위한 시험용으로 활용될 수 있다.

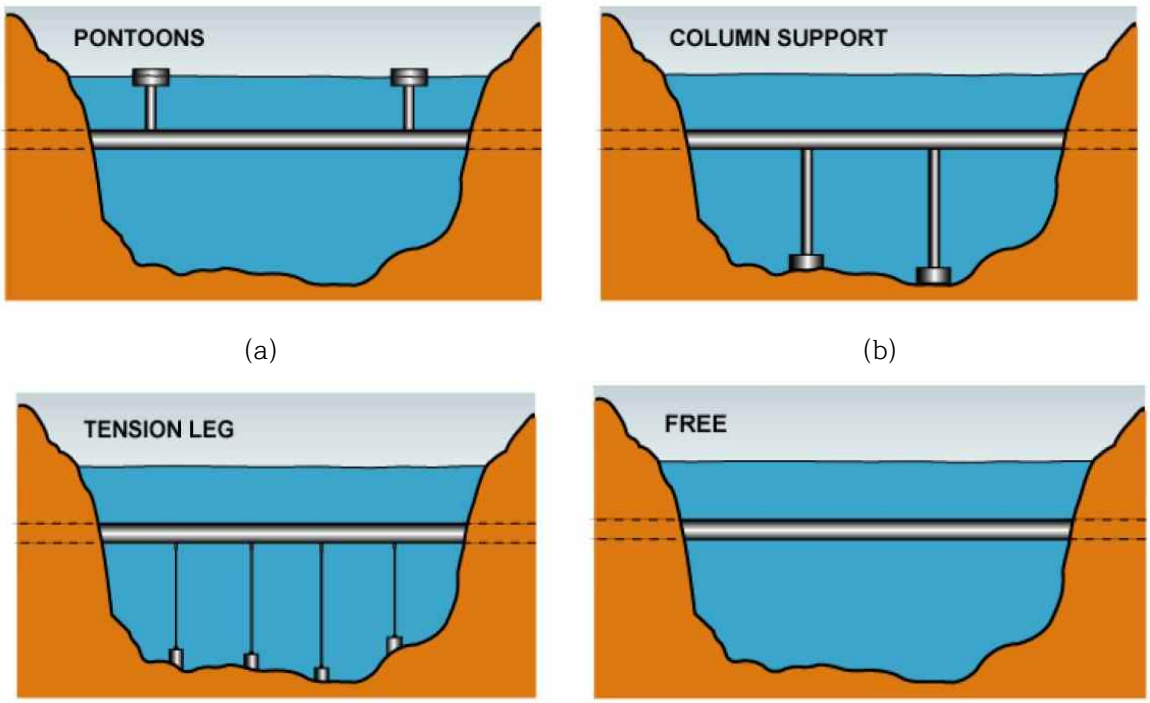


그림 2.79 Submerged Floating Tunnel의 주요 형식

- 해중터널의 주요치수의 결정
  현장 조건은 설계 및 공법에 따라 구조물의 크기에 영향을 준다. 고려하여야 할 조건에는 수심, 길이, 해양 환경(조류 및 해수 밀도), 해상 상태(장파 및 단파), 입구의 지질, 지지 시스템의 기초 지질 조건, 환경, 지역 내의 지진 활동, 해양 장비를 현장까지 가져올 수 있는 통로, 수상 및 수중 교통 현황 등이 있다.
  해중터널 주구조물의 크기는 내, 외부 및 구조적 요건에 의하여 결정된다. 2차 부재의 크기는 주로 구조적 요구 조건 및 설치 방법에 따라 결정된다.

- 내부 크기
  내부 크기는 터널의 용도에 따라 다르며 따라서 이는 사용자가 결정한다. 환기, 조명, 표시, 밸러스트 및 비상 장비 등 지원 시설을 위한 공간이 필요하다.

- 외부 크기
  외부 크기는 주로 필요한 내부 크기, 전체 구조 개념, 국부적인 구조 요구사항, 외부 하중에 의한 영향 (선박 충돌), 공법 등에 의하여 결정된다.
  소요 차선(traffic lane) 및 필요한 장비를 수용하는데 요구되는 최소한의 내부 공간이 최적 설계를 통해 구해진다. 가장 중요한 설계하중이 부피와 관련이 있기 때문에 외형의 크기는 터널의 거동에 지대한 영향을 미친다. 그러한 하중의 예는 원주 방향의 압축 하중, 부력, 부가 질량, 파도의 운동에 의한 관성력, 지진 하중 등이다. 최근 개발된 개념은 원형 혹은 6각 형태의 터널의 특성을 보여주고 있다. 이러한

하중을 감소시키기 위해 Messina 해협 횡단 프로젝트에서 3개의 평행 독립 터널을 계획하였다.

- 지지 장치
  해중터널이 일정 길이를 넘어서면 수평과 수직 방향에서 지지되어야 한다.

- 수평 지지장치
  통상 정적 수평 하증은 허용 경간 길이와 관련하여 비교적 작다. 조류가 이러한 수평 하중의 주요 원인이 된다. 이는 장경간을 최소한의 수평 지지로 활용할 수 있다는 의미이다.

- 수직 해저면 지지물
  모든 하중 상태에서 수평 방향의 힘보다 수직 방향의 힘이 클 때에 수직 안정성(stability) 조건이 달성된다. 따라서 지지 시스템은 가능한 한 짧은 간격으로 설치되어야 한다. 수직 방향으로 함체의 구조적 거동은 중간 지지 장치를 갖는 연속 보의 원리를 따른다. 해저면 계류장치의 설계 원칙은 지진이 발생하는 경우라도 삭도가 인장 상태에 있도록 충분한 수직 부력을 갖도록 하는 것이다.
  삭도에 의한 지지 방법은 수심이 깊은 곳에서 사용 할 수 있기 때문에 유리하다. 삭도와 삭도 그룹의 간격은 중량 대 부력비와 튜브의 횡단면 강도에 좌우된다. 삭도 간의 간격은 상이하다. 예를 들면, Messina 해협 횡단 연구 시의 간격은 Hogs 피요르드 횡단 시의 간격 400m에 비하여 50m – 70m 정도 상이하다.
  삭도는 강선 혹은 강관으로 조립되며 해양산업 분야에서 Tension Leg Platform(TLP)의 계류를 위해 사용하는 것과 유사하다. 해중터널의 삭도는 TLP의 것보다 운동과 하중의 크기가 작으므로, 삭도 및 연결장치가 해양산업에서 사용하는 것보다 덜 복잡하다. 수심이 550m 되는 곳에서 이러한 유형의 삭도 계류 작업 경험이 있다.
  아라미드 케이블을 사용하는 방안이 연구되었다. 이 케이블은 내부식성, 강성/저항 비, 수중에서 가벼운 중량 등의 장점을 가지고 있어 설치가 용이하고 현수효과(catenary effect)를 피할 수 있다. 아라미드 케이블의 단점은 터널의 변형이 큰 경우 현수 효과가 부족하다는 것이다.
  삭도는 상방향 인장력을 해저면 앵커 지점으로 전달한다. 사용되는 앵커 지점의 유형은 토양 조건과 설치 방법에 따라 다르다. 파일 앵커와 중력식 앵커 블록이 모두 설계 프로젝트에 제안되었다. 해저면에 암반이 있는 경우 앵커를 드릴링이나 그라우팅함으로써 해결할 수 있다.
  또 다른 대안으로 고정된 해저면 지지장치가 있다. 수심에 따라 높이가 수십 미터에서 100m에 이른다. 지지 장치의 기초는 일반적으로 중력식 구조물로서 토양 조건이 양호하여야 한다. 터널과 지지장치에 의해 형성된 구조 시스템은 고

정 지지된 연속보로 간주할 수 있다. 이렇게 배치된 하중하에서 응답은 케이블 배치가 활용된 경우의 응답과는 상당히 다르다.

- 수직 폰툰지지
  폰툰 지지의 경우 해중터널은 수면의 폰툰에 의하여 지지된다. 이 시스템은 해저면 지지 시스템보다 더 탄성적이다. 이 방법은 수심에 제한을 받지 않는다는 장점이 있지만, 선박, 파도, 빙하 등과의 상호 작용을 해결해야 한다.

- 수평 및 수직 지지의 조합
  해중터널이 길고 해안으로부터 수평 지지가 충분하지 못할 때, 그림 3- 와 같이 수평과 수직 지지의 조합 형태가 활용될 수 있다. 케이블의 경사 각도는 수평 및 수직력과 강성간의 적절한 비가 얻어지도록 조정할 수 있다.

- 연결장치(abutment)
  각 해안에서 축방향 팽창에 구조적으로 힌지 역할을 할 수 있는 특수 장치가 필요하다. 예를 들면, 이 장치는 지진의 영향에 의한 길이 방향 및 횡방향 하중을 제한하게 된다. 연결장치는 수면 아래에 위치하는 것이 바람직하며 그렇지 않을 경우 해중터널은 파랑 하중을 받게 된다. 이러한 배치가 가능하지 않을 때, 토사를 채운 구조물과 같은 보호 장치가 필요하다.
  각 해안의 접근 구조물은 사면, 굴착이나 개착 터널 혹은 이를 혼용한 구조로 구성된다. 공법에 따라 사면 구조물의 하나는 작업장으로 사용할 수도 있다.

- 해중터널의 설계 방법
  (Keqian Zhang, Yiqiang Xiang, Yinguang Du, Research on tubular segment design of submerged floating tunnel, Procedia Engineering)
  침매 터널 설계 기술, 교량 및 터널 엔지니어링, 최신 토목 및 해양 엔지니어링 설계 규정 및 시방서를 종합하여 해중터널 관 세그먼트의 개념 설계 방법을 안전, 적용성, 경제성, 외형 및 환경 보호의 측면에서 제시하였다. 관 단면 형태의 선정, 구조 분석, 설계 하중, 방수 및 내부식성, 관 이음매 설계 및 터널 환기 등이 설계 하중, 중량에 대한 부력, 흐름 저항력, 내구성 및 기타 요소를 고려하여 기술되었다.

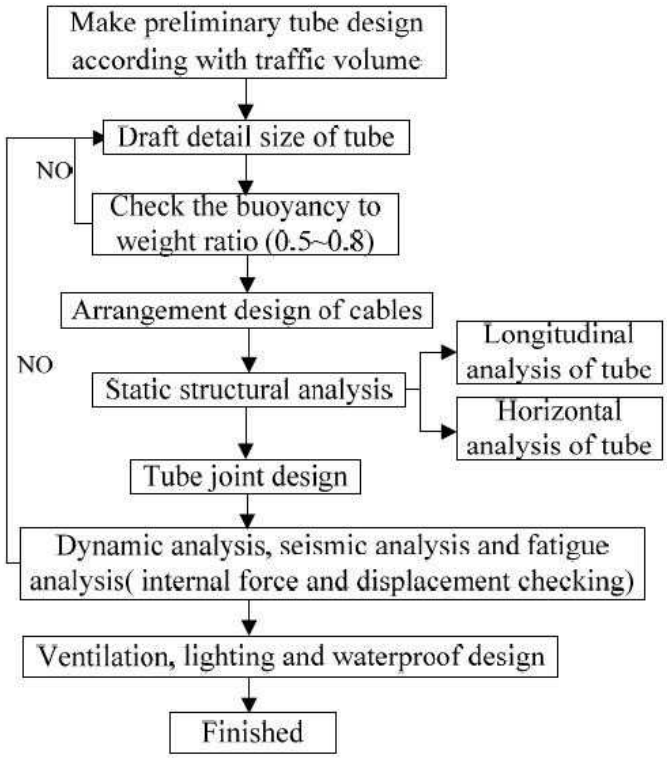


그림 2.80 파이프라인 본체 설계 흐름

해중터널의 설계 과정은 그림 2.80과 같은 절차를 따른다. 중요한 설계 원리중 하나는 부력과 중력의 비가 1이하가 되어야하고 0.5와 0.8 사이에 있는 것이 안정적이다.

(Submerged floating tunnels for crossing of wide and deep fjord, Rolf Magne Larssen, Svein Erik Jakobsen, Procedia Engineering), Rolf Magne Larssen 등은 넓고 깊은 피오르드 횡단을 위한 해중터널 설계 개념을 제시하였다. Hogs 피요르드 프로젝트를 통해 해중터널의 타당성을 입증하였고, 노르웨이 해안에 위치한 폭이 1,800m 깊이가 150m인 Nor 피요르드와 폭이 2,500m, 깊이가 400m인 Storfjord, 폭이 3,700m이고 깊이가 1,250m인 Sogne 피요르드 횡단에 따른 문제점들을 기술하고 새로운 설계 개념을 제시하였다.

Per Tveit 는 노르웨이 피요르드의 해중터널 설계를 위해 주요 조건, 아치형 해중터널에 작용하는 하중, 터널의 최적 형상, 터널 콘크리트 튜브의 생산, 콘크리트 튜브와 해안의 연결, 건설 지점까지 해중터널을 이송하는 방법, 해중터널에 작용하는 응력, 파도에 의한 진동, 튜브 단면 설계, 방수구조, 선박 및 잠수함과 충돌 문제, 사용 재질의 선정 등에 관하여 기술하였다. (Per Tveit, Submerged floating tunnels for Norwegian fjord, Procedia Engineering)

○ 해중터널의 Life Cycle Cost

- G. Mrtire 등은 기존의 현수교나 사장교와 혁신적 해협 통과 솔루션인 해중터널간의 비용을 비교 평가하였다. (G. Martire, B. Faggiano, F. M. Mazzolani, Compared cost evaluation among traditional versus innovative strait crossing solutions, Procedia Eng) 각 솔루션간에 비용을 평가하기 위해 비용 추정 모델을 제안하고 현수교와 해중터널 간에 길이에 따라 비용을 산정하여 비교하였다, 길이가 길어짐에 따라 해중터널이 비용 측면에서 유리하다는 사실을 보여 주었다.

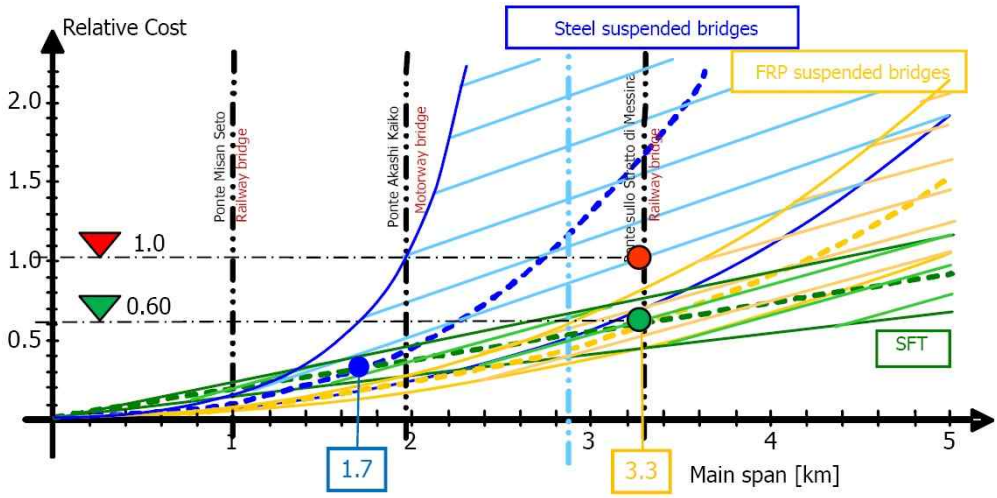


그림 2.81 Cost trend curves of crossings

(3) RAMS 기술

(가) 국내 기술 동향

○ 서승일 등은 한국형 고속철도시스템의 신뢰성 관리 및 입증을 위해 신뢰도 목표치 설정, 기능 분석, 신뢰성 해석, 신뢰성 성장 관리, 신뢰성 입증 등을 수행하였다. 고속철도 신뢰성 관리 과정은 다음 그림 과 같고, 시스템의 분류 및 전원 공급 시스템의 기능 블록다이어그램은 그림 와 같다. (S. I. Seo, C. S. Park, S. H. Choi, Y. J. Han, K. H. Kim, Reliability management and assessment for the electric traction system on the Korea High-Speed Train, Proc. IMechE Part F : Journal of Rail and Rapid Transit, Vol. 224, 2010)

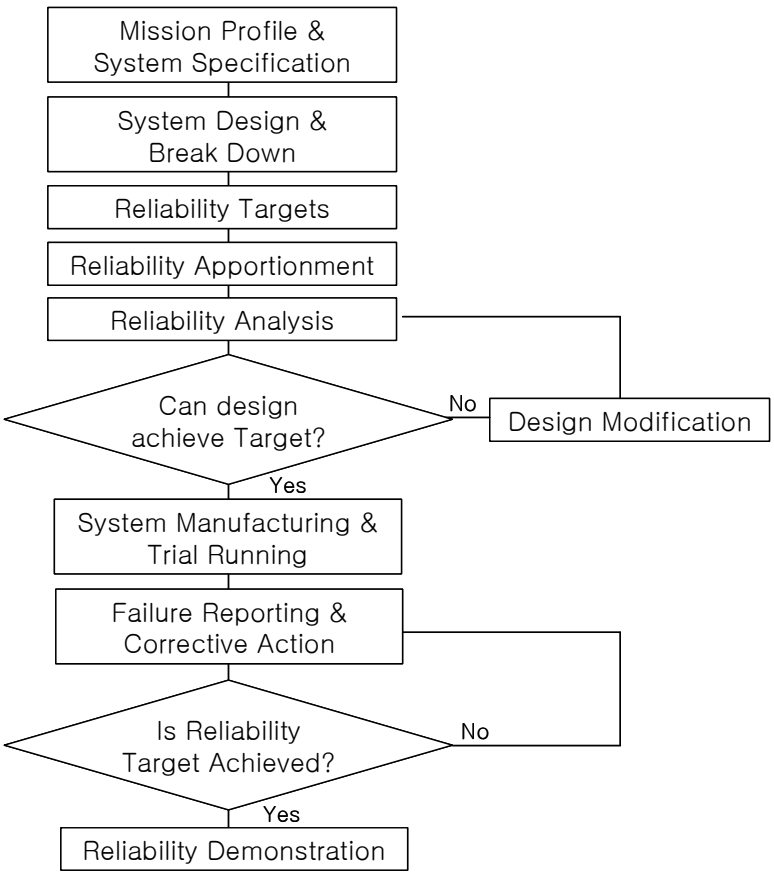


그림 2.82 고속철도 신뢰성 관리 과정

표 2.23 Classification into subsystems and subassemblies of the Korea High-Speed Train system.

SUBSYSTEM	SUBASSEMBLY
ELECTRIC TRACTION AND BRAKING	PANTOGRAPH
	HIGH VOLTAGE SAFETY DEVICE
	ROOF LINE
	MAIN TRANSFORMER
	AUXILIARY TRANSFORMER
	MOTOR BLOCK
	TRACTION MOTOR
	EDDY CURRENT BRAKE
DRIVING, TRAIN CONTROL AND DATA TRANSMISSION	MAIN CONTROL
	ATC/ATS
	TRAILER CONTROL
	TRAIN CONTROL NETWORK
	DRIVER'S DESK CONTROL
	DISPLAY UNIT
ELECTRIC POWER PRODUCTION AND DISTRIBUTION	AUXILIARY BLOCK
	BATTERY SET
	CVCF INVERTER UNIT
	POWER DISTRIBUTION
MOVEMENT & MECHANICAL BRAKING	MOTOR BOGIE
	CARRYING BOGIE
	CONNECTION
	BRAKE OPERATION
	AIR BRAKE ASSEMBLY
COMFORT FUNCTION UTILITIES	DOOR SYSTEM
	LIGHTING SYSTEM
	FIRE DETECTION
	HVAC AND PRSSURIZATION SYSTEM
	WATER DISTRIBUTION
	PUBLIC INFORMATION SYSTEM
	VIDEO
COMPRESSED AIR, TREATMENT AND STORAGE	MAIN AIR COMPRESSION
	AUXILIARY AIR COMPRESSION

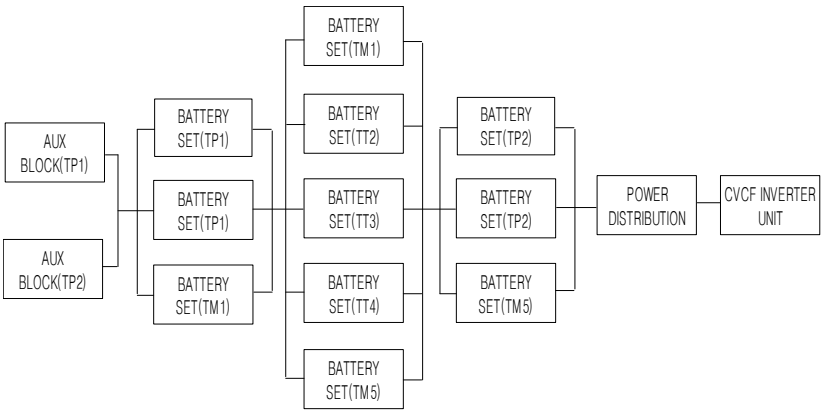


그림 2.83 Reliability block diagram of the electric power production and distribution system.

○ 철도시스템의 신뢰성 기반 유지보수 체계를 구축하고 KTX 유지보수 자료를 기반으로 신뢰성 기반 유지보수를 실시하고 있다.(서승일, 문형석, 엄기영, 한국형 틸팅열차의 신뢰성 기반 유지보수 체계 구축에 관한 연구, 한국철도학회논문집, 제10권, 제5호, 2007)

○ 김이현 등은 철도구조물의 안전성 평가 및 신뢰성 향상을 위해 교량 등의 시설물의 파괴모드를 고려하여 확률론에 입각하여 시스템신뢰성 연구를 수행하였다. (김이현, 박주남, 철도구조물의 시스템 신뢰성, 2010철도학회 추계학술발표대회논문집)

(나) 국외 기술 동향

○ 철도시스템의 RAMS 기술 및 기준은 유럽기준인 IEC 에 정리되어 있다. 신뢰성 관리 및 평가 기술은 대부분 IEC 에 기초하여 수행되고 있다. IEC에서 규정하는 시스템의 RAMS Life Cycle은 그림 과 같다.

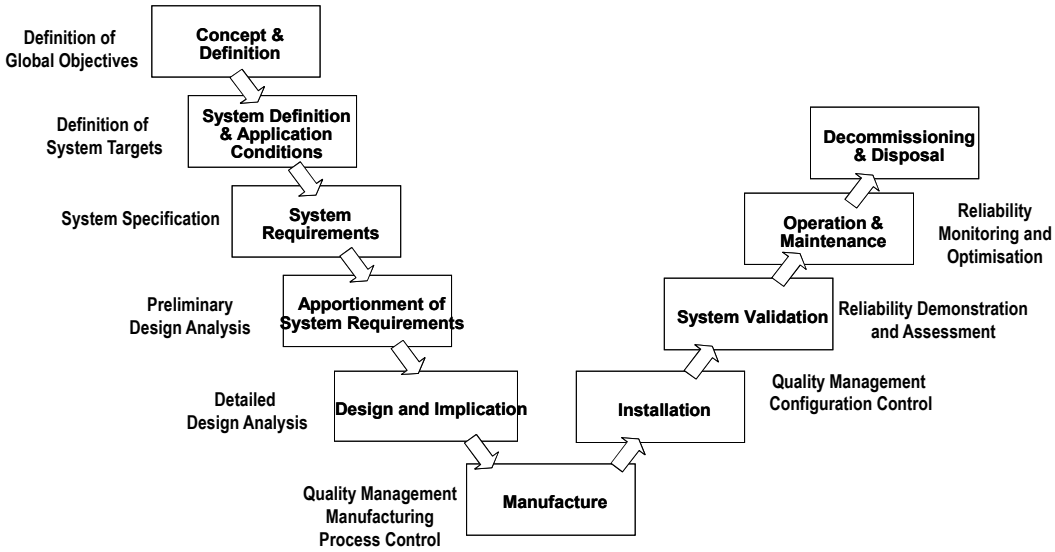


그림 2.84 RAMS life cycle

LIFECYCLE PHASE	PHASE RELATED GENERAL TASKS	PHASE RELATED RAM TASKS	PHASE RELATED SAFETY TASKS
1. CONCEPT	• Establish Scope and Purpose of Railway Project • Define Railway Project Concept • Undertake Financial Analysis & Feasibility Studies • Establish Management	• Review Previously Achieved RAM Performance • Consider RAM Implications of Project	• Review Previously Achieved Safety Performance • Consider Safety Implications of Project • Review Safety Policy & Safety Targets
2. SYSTEM DEFINITION AND APPLICATION CONDITIONS	• Establish System Mission Profile • Prepare System Description • Identify Operation & Maintenance Strategies • Identify Operating Condition • Identify Maintenance Conditions • Identify Influence of Existing Infrastructure Constraints	• Evaluate Past Experience Data for RAM • Perform Preliminary RAM analysis • Set RAM Policy • Identify Long Term Op & Mtce Conditions • Identify Influence of RAM of Existing Infrastructure Constraints	• Evaluate Past Experience Data for Safety • Perform Preliminary Hazard Analysis • Establish Safety Plan (Overall) • Define Tolerability of Risk Criteria • Identify Influence on Safety of Existing Infrastructure Constraints
3. RISK ANALYSIS (see Note 6)	• Undertake Project Related Risk Analysis		• Perform System Hazard & Safety Risk Analysis • Set-Up Hazard Log • Perform Risk Assessment
4. SYSTEM REQUIREMENTS	• undertake Requirements Analysis • Specify System (Overall Requirements) • Specify Environment • Define System Demonstration & Acceptance Criteria (Overall Requirements) • Establish Validation Plan • Establish Management, Quallity & Organization Requirements • Implement Change Control Procedure	• Specify System RAM Requirements (Overall) • Define RAM Acceptance Criteria (Overall) • Define System Functional Structure • Establish RAM Programme • Establish RAM Management	• Specify System Safety Requirements (Overall) • Define Safety Acceptance Criteria (Overall) • Define Safety Related Functional Requirements • Establish Safety Management
5. APPORTIONMENT OF SYSTEM REQUIREMENTS	• Apportion System Requirements – Specify Sub-System & Component Requirements – Define Sub-System & Component Acceptance Criteria	• Apportion System RAM Requirements – Specify Sub-System & Component RAM Requirements – Define Sub-System & Component RAM Acceptance Criteria	• Apportion System Safety Targets & Requirements – Specify Sub-System & Component Safety Requirements – Define Sub-System & Component Safety Acceptance Criteria • Update System Safety Plan
6. DESIGN AND IMPLEMENTATION	• Perform Planning • Perform Design and Development • Perform Design Analysis and Testing • Perform Design Verification • Perform Implementation and Validation • Perform Design of Logistic Support Resources	• Implement RAM Programme by Review, Analysis, Testing and Data Assessment, covering: – Reliability & Availability – Maintenance & Maintainability – Optimal Maintenance Policy – Logistic Support • Undertake Programme Control, covering: – RAM Programme Management – Control of Sub-Contractors & Suppliers	Implement Safety Plan by Review, Analysis, Testing and Data Assessment, addressing: • Hazard Log • Hazard Analysis & Risk Assessment • Justify Safety Related Design Decisions • Undertake Programme Control, covering: – Safety Management – Control of Sub-Contractors & Suppliers • Prepare Generic Safety Case • Prepare (if appropriate) Generic Application Safety Case

LIFECYCLE PHASE	PHASE RELATED GENERAL TASKS	PHASE RELATED RAM TASKS	PHASE RELATED SAFETY TASKS
7. MANUFACTURING	• perform Production Planning • Manufacture • Manufacture and Test Sub-Assembly of Components • Prepare Documentation • Establish Training	• Perform Environmental Stress Screening • Perform RAM Improvement Testing • Commence Failure Reporting and Corrective Action System (FRACAS)	• Implement Safety Plan by: Review, Analysis, Testing & Data Assessment • Use Hazard Log
8. INSTALLATION	• Assemble System • Install System	• Start Maintainer Training • Establish Spare Parts and Tool Provision	• Establish Installation Programme • Implement Installation Programme
9. SYSTEM VALIDATION (INCLUDING SAFETY ACCEPTANCE AND COMMISSIONING)	• Commission • Perform Probationary Period of Operation • Undertake Training	• Perform RAM demonstration	• Establish Commissioning Programme • Implement Commissioning Programme • Prepare Application Specific Safety Case
10.SYSTEM ACCEPTANCE	• Undertake Acceptance Procedures, based on Acceptance Criteria • Compile Evidence for Acceptance • Entry into Service • Continue Probationary Period of Operation (if appropriate)	• Assess RAM Demonstration	• Assess Application Specific Safety Case
11.OPERATION AND MAINTENANCE	• Long Term System Operation • Perform On Going Maintenance • Undertake On Going Training	• On Going Procurement of Spare Paris & Tools • Perform On Going Reliability Centred Maintenance, Logistic Support	• Undertake On Going Safety Centred Maintenance • Perform On Going Safety Performance Monitoring and Hazard Log Maintenance
12.PERFORMANCE MONITORING	• Collect Operational Performance Statistics • Acquire, Analyse and Evaluate Data	• Collect, Analyse, Evaluate and Use Performance & RAM statistics	• Collect, Analyse, Evaluate and Use Performance & Safety Statistics
13.MODIFICATION AND RETROFIT	• Implement Change Request Procedures • Implement Modification and Retrofit Procedures	• Consider RAM Implications for Modification & Retrofit	• Consider Safety Implications for Modification & Retrofit
14.DECOMMISSIONING AND DISPOSAL	• Plan Decommissioning and Disposal • Undertake Decommissioning • Undertake Disposal	• No Activity for RAM	• Establish Safety Plan • Perform Hazard Analysis & Risk Assessment • Implement Safety Plan

○ 설계 시 해중터널 시스템의 확률적 위험 분석을 시행하기 위해, 개별 구조 부재의 손상 확률을 기초로 고장수목(fault tree)를 활용할 수 있다. 해중터널시스템의 고장확률을 계산하기 위한 모델을 다음 그림 과 같이 제안하였다. (Tunneling and underground Space Technology)

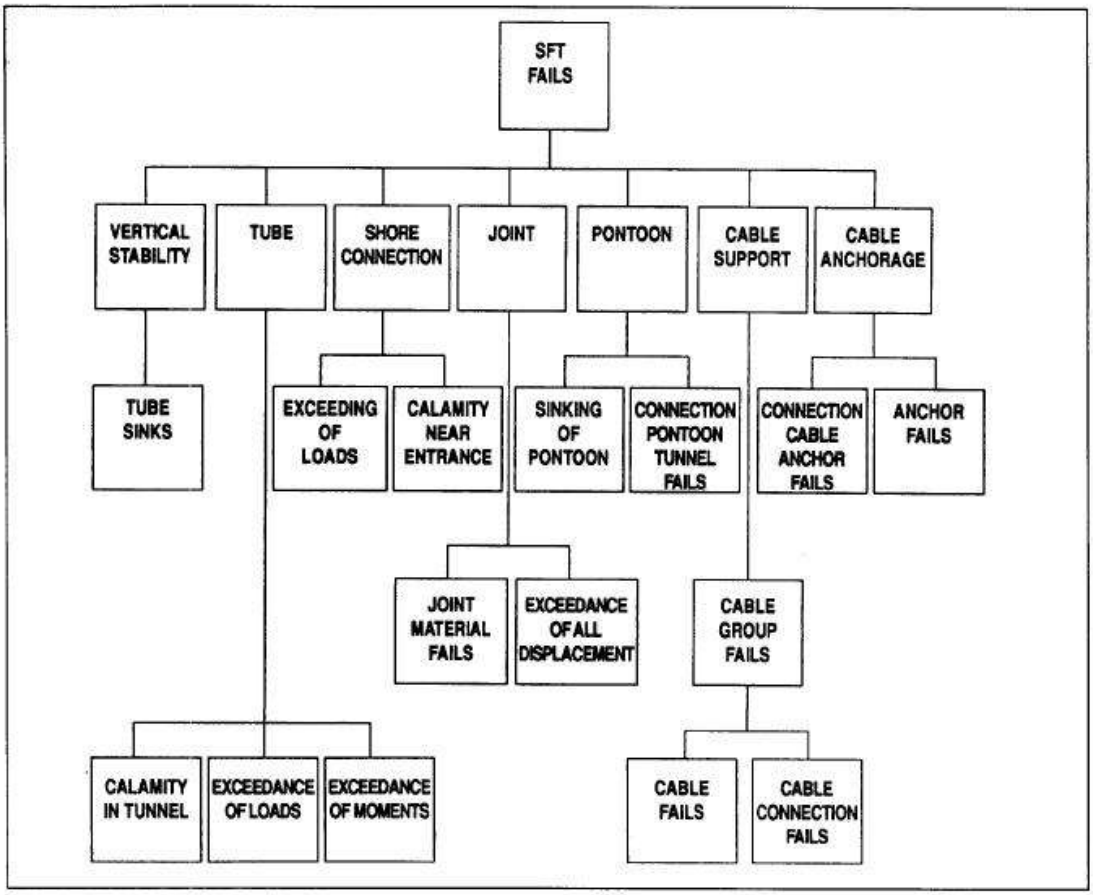


그림 2.85 수중 부유식 터널 구성품 고장 확률을 표시하기 위한 Fault Tree

(4) 시험 및 성능평가

(가) 국내 기술 동향

○ 김성일 등은 철도교량 동적성능평가 기준 및 평가절차에 관한 연구를 수행하였다. 철도교량에서 가장 지배적인 요소인 주행열차하중에 의한 동적거동에 대하여 국내외 성능검증기준의 조사 및 수립근거를 분석하며, 궤도구조와의 인터페이스를 고려한 성능요구조건 분석과 열차하중에 의한 철도교량 동적거동의 이론 및 실험적 연구를 통하여 거동한계기준을 분석하여, 고속철도 및 일반철도 교량의 동적안정성 및 사용성을 확보하는 합리적인 동적설계기준을 제시하였다.

철도교량 동적성능평가 기준 및 평가절차에 관한 연구, 김성일, 박용걸, 정휘석, 홍성모2008 한국철도학회 추계학술대회 논문집

속도(km/h)	면틀림(mm/m)	3m 기준 면틀림 변화량
$V \leq 120$	1.5	4.5mm/3m
$120 < V \leq 220$	1.0	3.0mm/3m
$220 < V$	0.5	1.5mm/3m
실 고속차량(동적계수 포함)	0.4	1.2mm/3m

- 장승엽 등은 철도 궤도 성능평가 체계 구축 방향에 대한 연구를 수행하였다. (장승엽, 유진영, 조수익, 이명석, 철도 궤도 성능평가 체계 구축의 필요성과 추진현황, 대한토목학회지, 제57권, 제4호, 2009) 각국의 궤도 성능 평가 체계를 고찰하고, 신형식 궤도를 개발하여 적용하는 과정에서 성능 평가 체계를 구축하는 방향을 제시하였다.
- 박춘수 등은 차세대 고속철도의 시스템엔지니어링 및 시험평가 기술 개발을 수행하였다. 고속철도시스템의 운영 조건과 요구사항을 분석하고 시스템엔지니어링 관리체계를 구축하여 시스템엔지니어링 절차에 따라 차세대고속철도 기술을 개발하였다. 차량안전모니터링 체계를 구축하여 시운전을 실시하고 주행성능, 제동성능, 동적 특성 등 열차성능을 계측할 수 있는 종합시험계측시스템을 구축하여 시험평가를 수행하였다. 차량과 궤도, 차량과 전차선, 차량과 신호시스템의 인터페이스 성능을 계측하고 평가를 실시하였으며, 시스템요구 사양과 비교 평가하여 종합 성능을 검증하였다.(박춘수 외, 시스템엔지니어링 및 시험평가 기술개발, 차세대고속철도기술개발사업 보고서, 2011)
- 이지하 등은 고속철도 시운전시 궤도 노반시설물의 성능 검증에 관한 연구를 수행하였다. KTX 시운시 열차운행 조건에 따라 궤도 각 부재의 강도와 내구성을 확인하고 KTX 고속 주행시 궤도 부담력을 계측하였다. 궤도 침하에 영향을 주는 반복하중, 속도, 궤도구조, 궤도 재료 등의 영향을 분석하고 궤도 침하 및 파괴에 미치는 정량적인 효과를 파악하였다. 궤도 침하와 틀림의 메카니즘을 분석하여 향후 유지보수관리 시스템 구축을 위한 기본자료로 제시하였다. 고가구조물의 설계 및 시방기준을 검증하고 KTX 고속 주행시 주요 부위에 발생하는 진동, 처짐 등의 계측자료를 확보하여 성능을 평가하고 검증하였다. (이지하, 시운전시 궤도 노반시설무의 성능 검증, 연구2003-0084, 한국철도기술연구원, 2003)

(나) 해외 기술 동향

○ 노르웨이 NPRA는 교량이나 터널의 내구성을 평가하기 위해 계측·문서화·검증시스템(IDV, Instrumentation, Documentation, Verification System)을 확립하기 위한 연구를 수행하였다. IDV의 목적은 터널과 부품의 성능을 모니터링하고 설계시의 기대 성능과 비교하여 신뢰성 있는 문서를 작성하여 검증하는 것이다. 계측 항목은 재료의 성질, 구조적 거동, 환경 인자 등인데 각 단계별 적용할 수 있는 분야는 다음과 같다.(ITA, Submerged Floating Tunnels - Appendix B : Instrumentation, Documentation, Verification, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 12, Number 2, 1997)

- 설계 단계
  - IDV의 위치
- 생산 단계
  - 생산 제어
  - 콘크리트 온도 기록
  - 균열의 생성과 진전 기록
  - 응력과 변형율 기록
  - 방식 효율성 결정
  - 염화와 침투 깊이, 콘크리트 수분 함유량, 확산율, 국부응력 등
- 구조 완료 단계
  - 염화 수준
  - 부식 정도
  - 균열 측정
  - 위치와 Alignment
  - 이음부 이동
  - 진동 및 동적 응답

다. 해중 고속철도 해석 및 설계기술

(1) 외력 및 거동평가 기술

(가) 국내 기술 동향

○ 파랑, 해류, 지진 하중 평가 기술

- 한국해양과학기술원에서는 해중터널에 작용하는 동수역학적 하중을 평가하기 위한 연구를 실시한바 있다. CADMAS-SURF를 이용하여 터널에 작용하는 비선형 파력을 산정하는 연구를 건국대학교과 같이 수행하였으며, ANSYS를 이용한 파력 산정도 추진하고 있다. 또한, 파와 조류가 같이 있는 경우와 터널

이 움직이는 경우에 대한 해석기술 개발을 시도하고 있다.

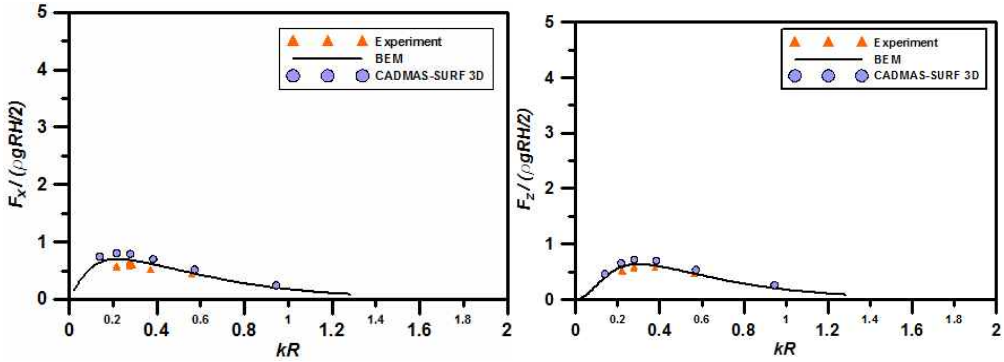


그림 2.86 수평 및 연직 파력

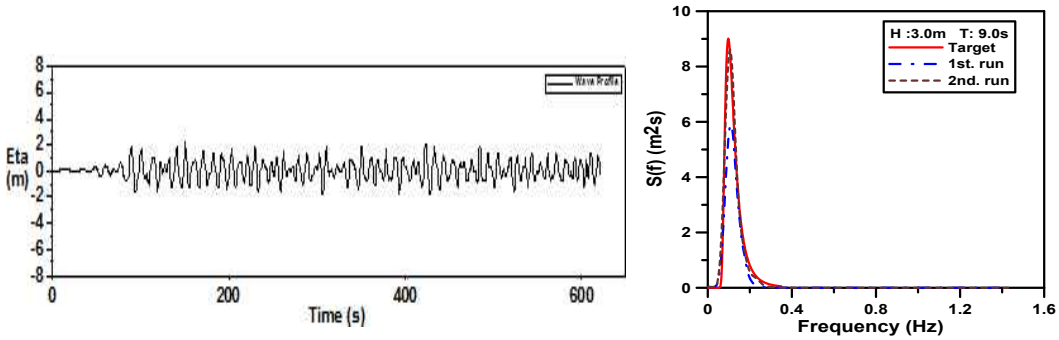


그림 2.87 불규칙파 생성

- 또한, 해중터널에 작용하는 파력을 Morison 방정식을 이용하는 경우와 회절이론에 기초한 경우를 비교하였으며, 수리실험 결과와 비교를 진행중에 있다. Morison 방정식을 이용하여도 충분한 정도의 파력을 얻을 수 있음이 확인되었다.

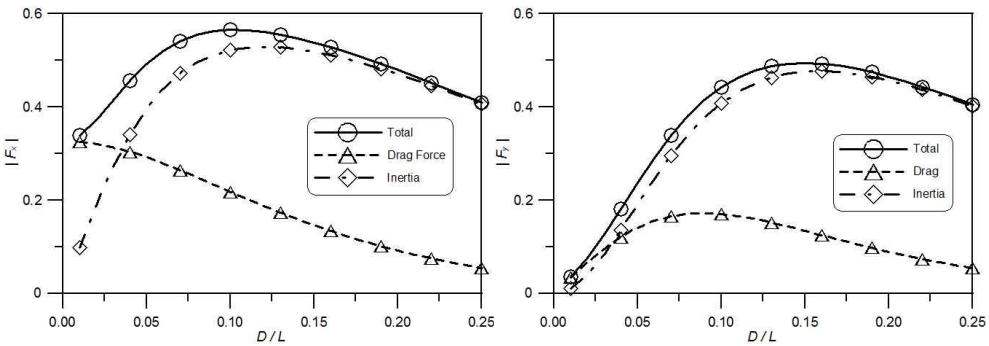


그림 2.88 Morison 방정식에 의한 파력

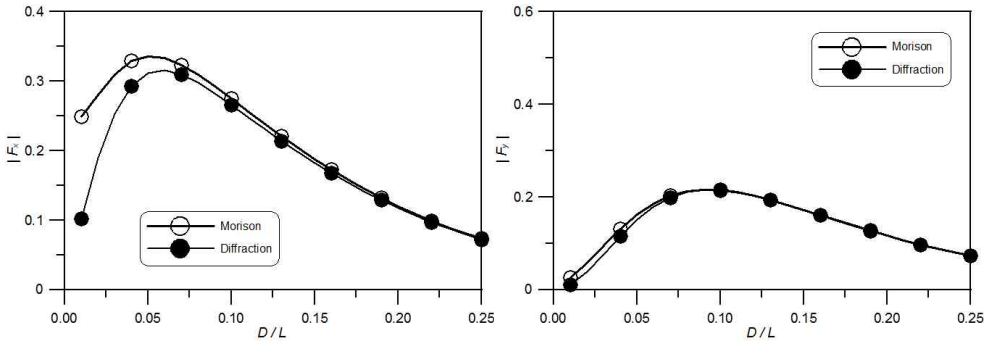


그림 2.89 산정방법에 따른 파력 비교

- 동적 해석 기술은 한국해양과학기술원에서 파랑과 지진에 대해 연구를 수행하고 있으며, 일본의 훈카만의 해중터널을 사용하여 연구하고 있다. 상용프로그램 ANSYS를 활용하여 수치해석을 실시하고 있으며, 2차원 수로를 이용하여 모형실험을 실시하고 있다.

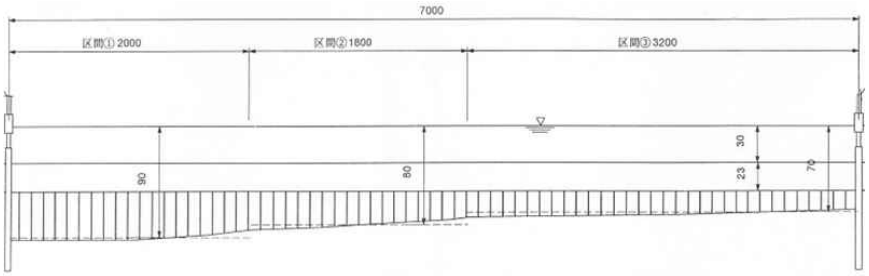


그림 2.90 훈카만 해중터널 설치도

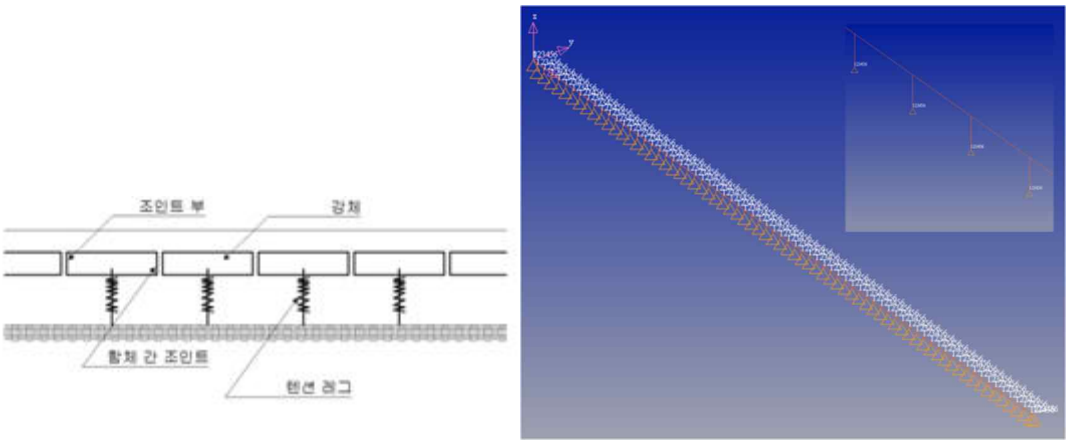


그림 2.91 해석 모형

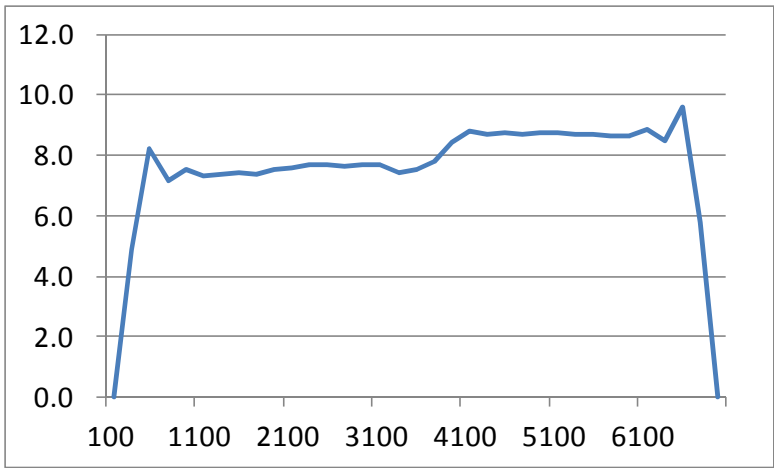


그림 2.92 파랑에 의한 수평 최대변위

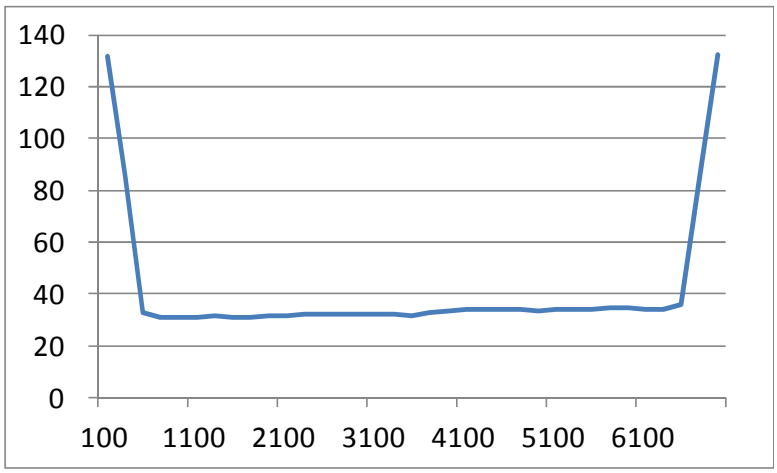


그림 2.93 지진에 의한 최대 가속도

- 한국건설기술연구원에서는 해중터널내에 차량이 주행할 때 터널과 차량의 상호작용해석을 실시하였다. Morison식을 이용하여 부가질량을 고려하였으며, 상용프로그램 ABAQUS를 이용하여 모드중첩법을 이용하여 해석을 수행하였다. 주행차량은 300km/h로 달리는 KTX열차를 이용하였다.

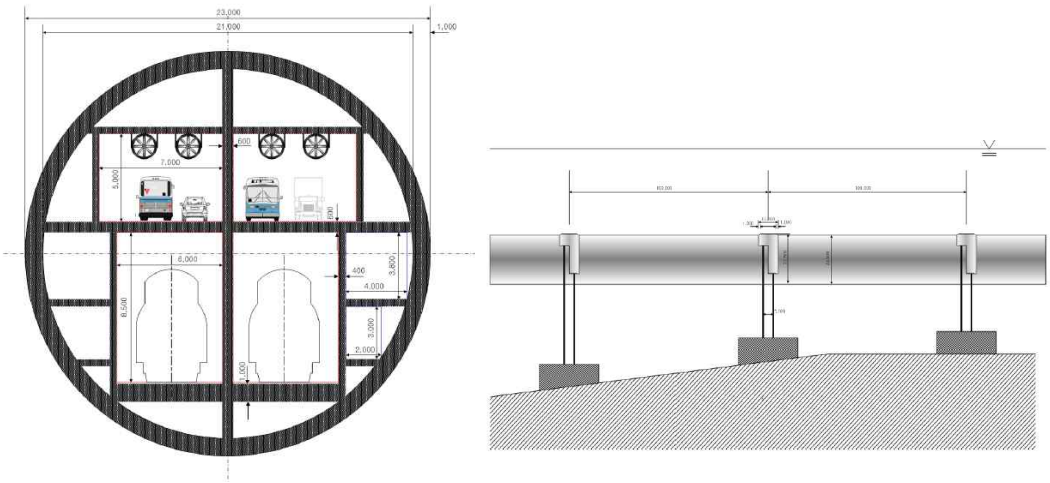
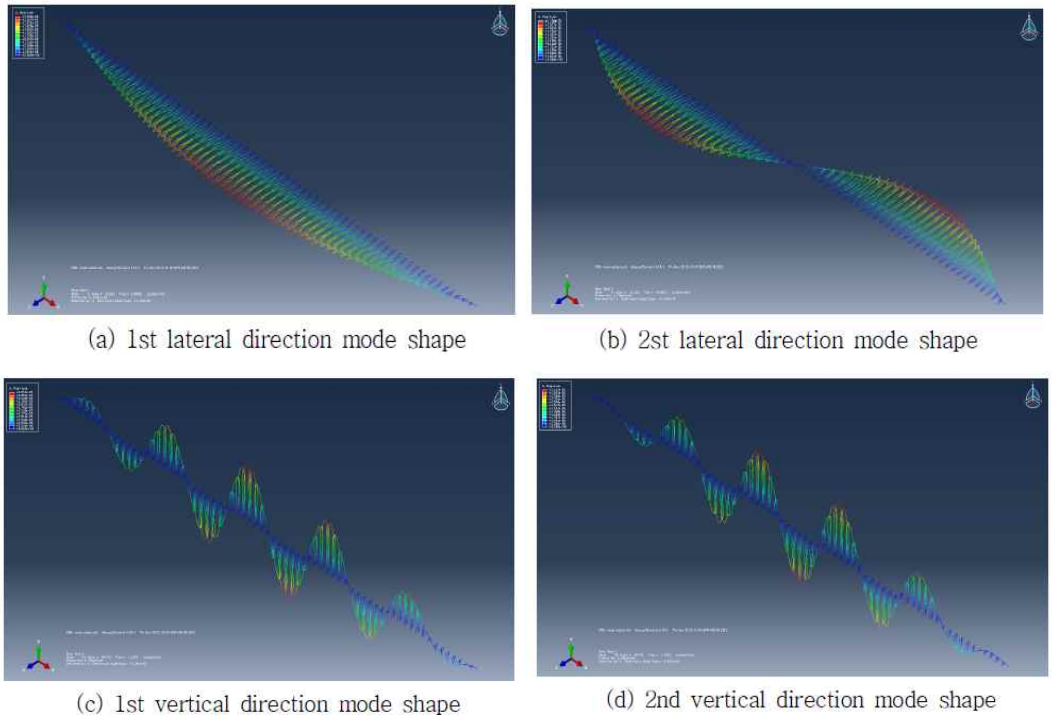


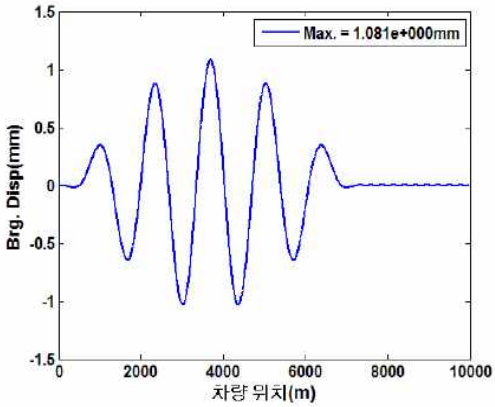
그림 2.94 해석 해중터널



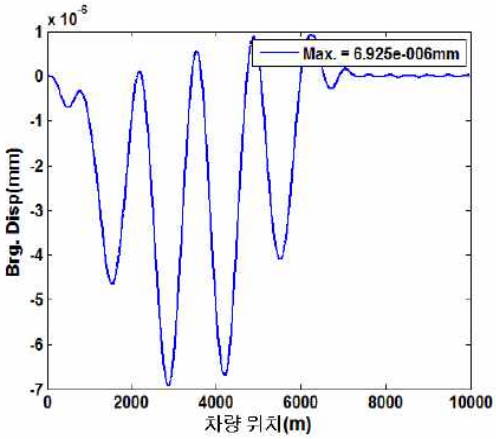
(a) 1st lateral direction mode shape (b) 2st lateral direction mode shape

(c) 1st vertical direction mode shape (d) 2nd vertical direction mode shape

그림 2.95 진동 모드

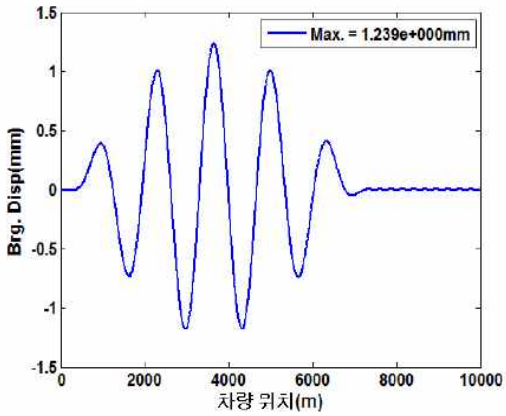


(a) Vertical displacement

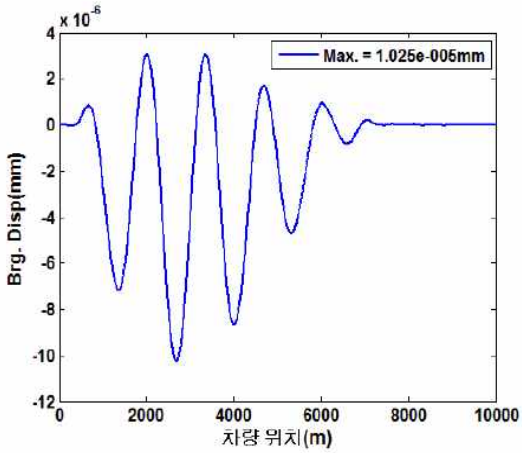


(b) Lateral displacement

Figure 5. Time history of displacement at center of tunnel



(a) Vertical displacement



(b) Lateral displacement

Figure 6. Displacement from 50m away at center of tunnel

그림 2.96 해석 결과

○ 충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술

- 한국해양과학기술원에서는 잠수함에 의한 해중터널의 충돌영향을 수치해석을 통해 모델링하였다. 1860톤의 손원일함이 5 m/s의 속도로 정면충돌할 때와 측면충돌할 때의 거동을 해석하였다. 또한, 잠수함의 침몰에 의한 해중터널의 영향에 대한 연구도 진행하였다. 운항 중에 잠수함이 해중터널에 충돌하면 해중터널의 안전성에 큰 영향을 미치는 것으로 해석되었고, 침몰에 의한 충돌은 그 영향이 작았다.

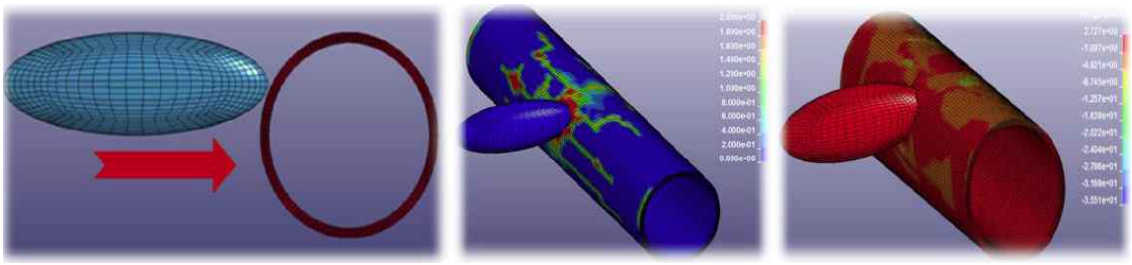


그림 2.97 LS-DYNA 충돌 모델링

- 한국철도기술연구원에서는 해중터널과 잠수함의 충돌을 무한보이론을 이용하여 검토하였다. 1800톤의 잠수함이 10 m/s로 충돌할 때의 해중터널의 변위와 모멘트를 간략식을 이용하여 제시하였다.

(나) 국외 기술 동향

○ 파랑, 해류, 지진 하중 평가 기술

- 해중철도 구조물에 작용하는 하중으로는 영구하중, 변동하중 그리고 사고하중으로 구분할 수 있고, 영구하중은 사하중, 정수압에 의한 하중, 프리스트레스로 인한 하중, 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향 등을 들 수 있으며, 변동하중은 열차하중 등의 적재해중, 파랑하중, 조류하중, 해일하중, 지진하중, 풍하중, 빙하중, 온도하중 등을 들 수 있다. 사고하중에는 터널내 열차의 탈선 또는 충돌에 의한 하중, 내부 적재물의 폭발, 침선 또는 잠수함의 충돌 등을 들 수 있다.

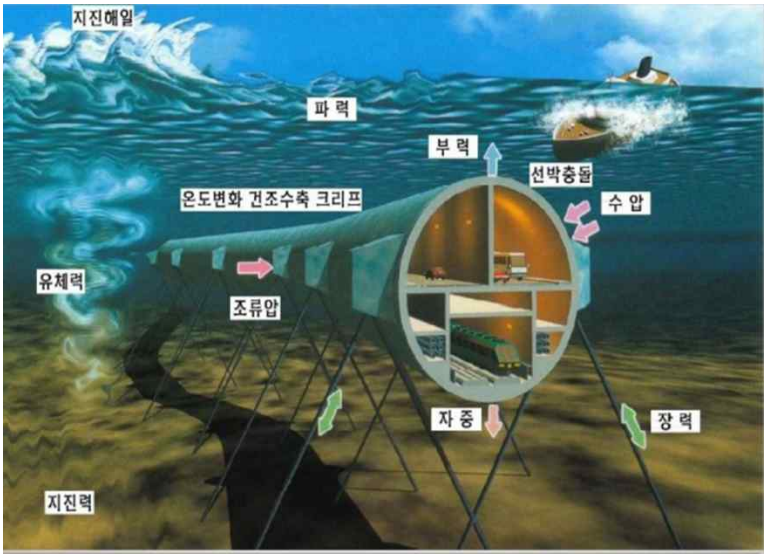


그림 2.98 해중철도 구조물에 작용하는 주요하중

- 해중철도 구조물에 작용하는 하중은 일반적인 해양구조물에 작용하는 하중을 평가하는 기술을 대부분 그대로 적용하여 평가할 수 있다.
- 해중터널 구조물에 작용하는 파력 산정을 위해 적용한 방법을 살펴보면, Sogne 피요르드 SFT의 경우에는 입사파장에 비하여 구조물의 크기가 작은 경우에 적용이 가능한 Moriosn 방정식으로 적용하였으며, 일본의 H. Kunisu는 Morison 방정식과 회절이론에 근거한 경계요소법의 결과를 수리모형실험의 결과와 비교하여, 직경 23m 정도인 경우는 Morison 방정식으로도 충분한 정도의 파력을 산정할 수 있음을 보였다.
- 조류하중도 Morison 방정식을 이용하고 산정하는 것이 일반적이며, 흐름하고 나란한 방향의 항력과 직각 방향의 양력을 구분하여 산정하고 있다. 항력계수와 양력계수는, 부재의 형상 외에 부재표면의 조도(粗度, roughness)나 레이놀즈수 R_e에 따라 변화하기 때문에 그 결정에서는 마린 그로스에 의한 부재표면의 상태 등도 고려하며 수리실험를 통한 검토를 원칙으로 하고 있다. 원주(圓柱) 부재의 항력계수는 $C_D = 0.6 \sim 1.0$의 값이 적용된다. 파(波)와 흐름이 동시에 작용할 경우에는 양자(兩者)에 의한 수립자(水粒子)의 운동을 벡터 합으로 항력을 산정한다.
- 지진하중의 평가는 일반 해양구조물의 경우와 같이 1) 설계진도법에 의한 방법, 2) 설계응답스펙트럼에 의한 방법, 3) 시간이력 해석에 의한 방법 등 3가지 방법에 의하여 수행되고 있다. 해저면의 연직방향 움직임으로 인한 Seaquake에 의한 동수압에 대해서는 바닷물을 비압축성으로 가정한 경우와 압축성으로 가정한 경우에 대하여 고려한 바 있다. 일본의 Yamazaki 등은 Seaquake에 의한 동수압을 회절이론에 기초한 유체의 압축성의 고려한 그린함수를 이용하여 산정한 바 있다. Yamazaki 등은 압축성을 고려한 경우 응답

이 고려하지 않은 경우에 비하여 크게 예측될 수 있음을 보고하였다.

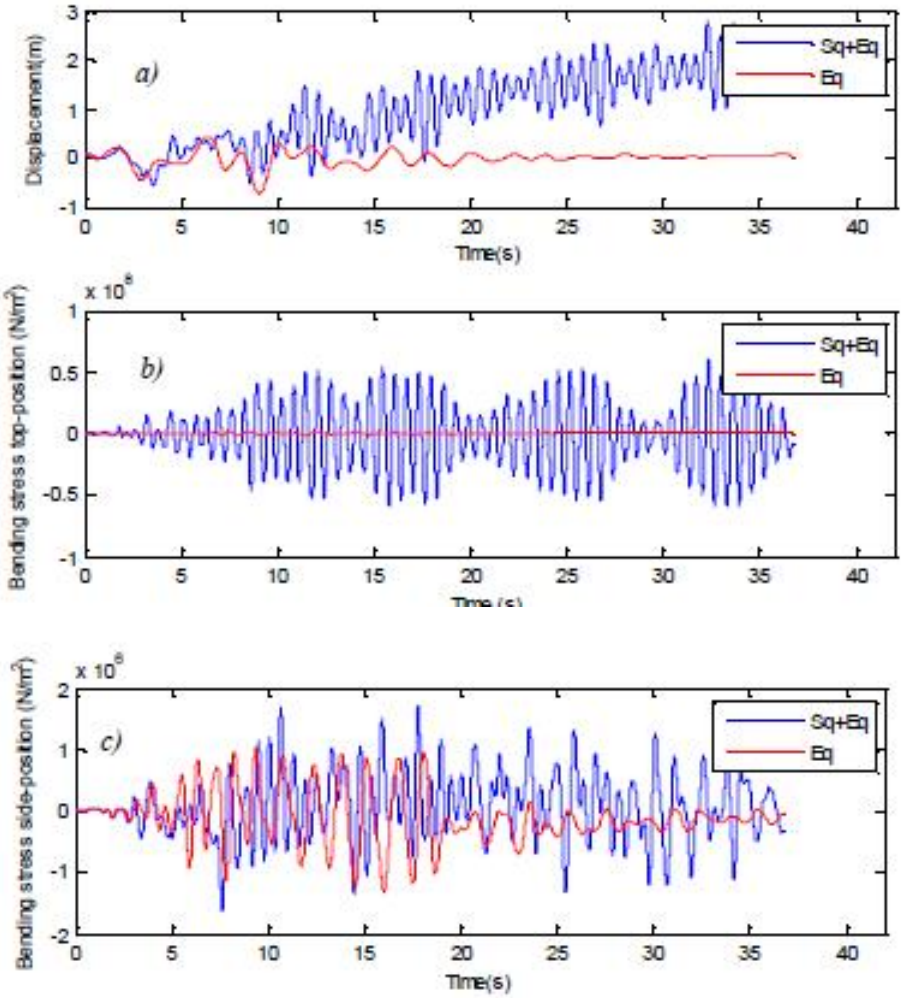


그림 2.99 지진에 의한 SFT 중앙부 응답,
a)연직변위 b) 상단 휨응력 c) 측면 휨응력

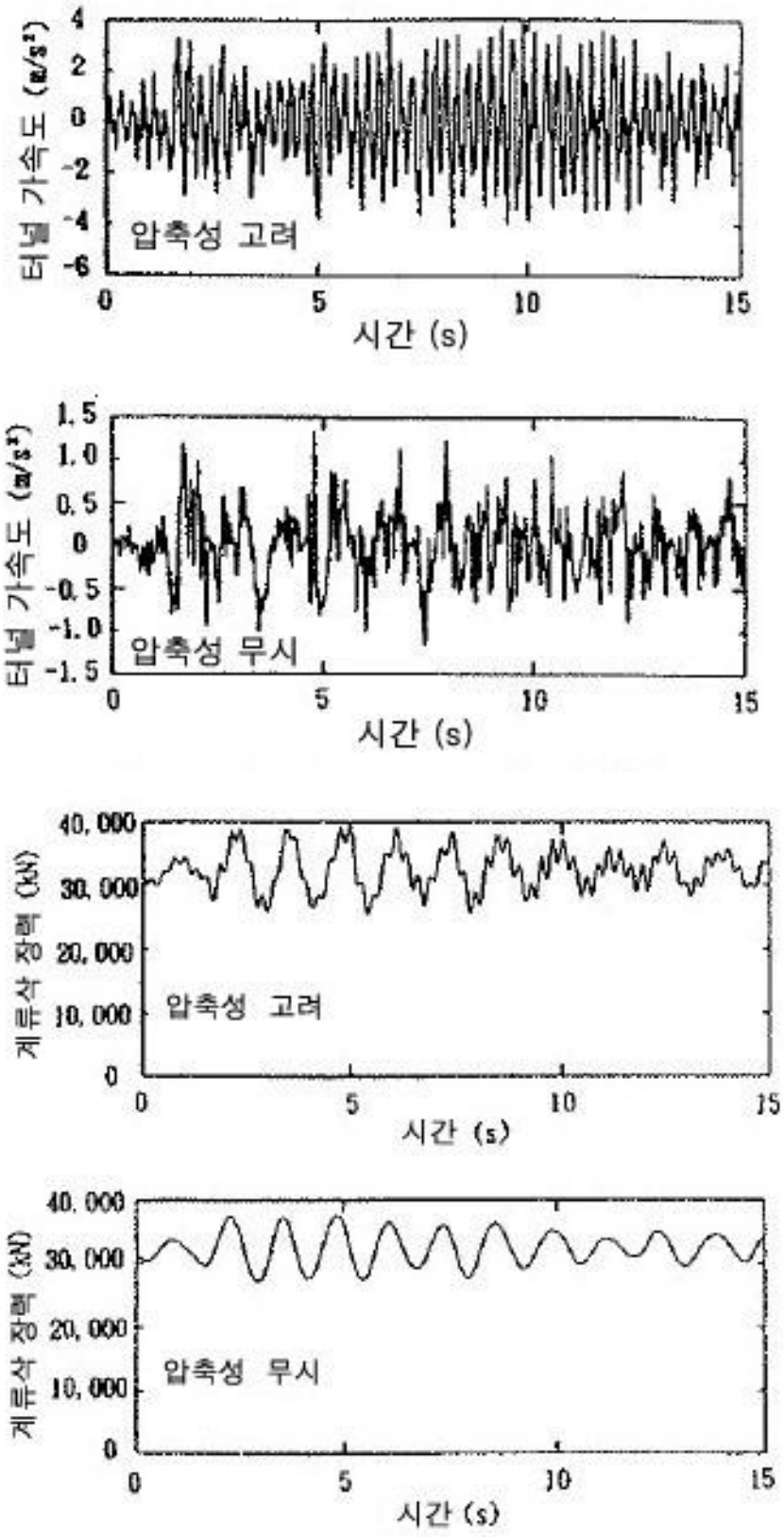
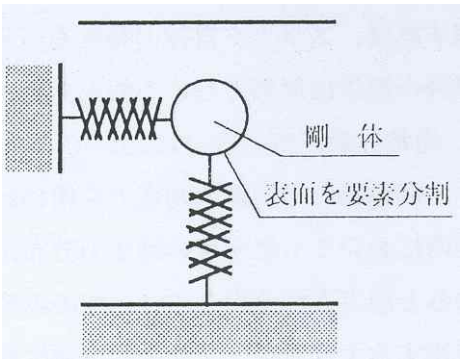
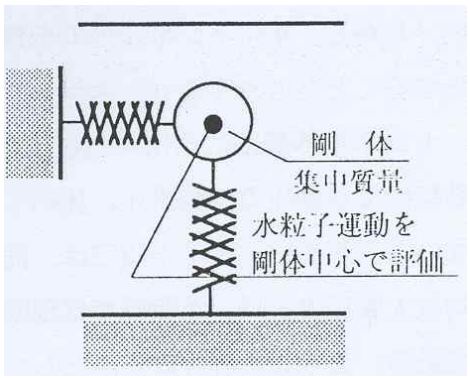


그림 2.100 Seaquake에 의한 터널 가속도 응답 및 계류삭 장력

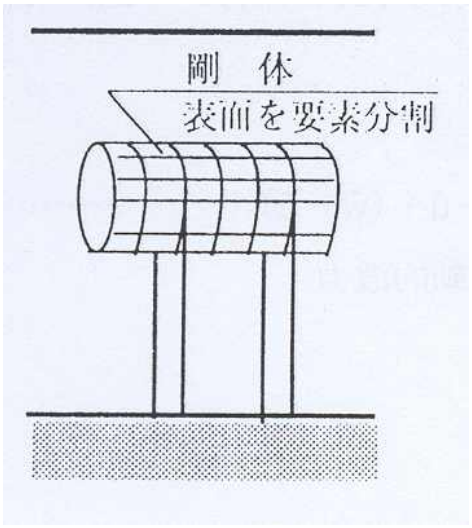
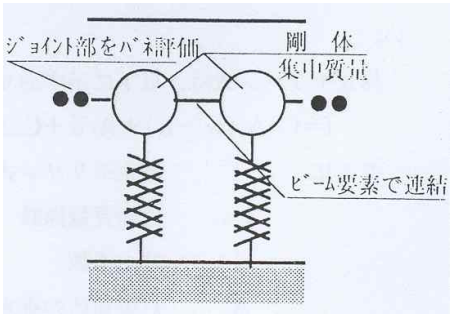
- 동적 해석은 계획, 설계의 안전성, 합리성 혹은 타당성을 입증하기 위해 하는 것이며, 그 목적에 합치하는 적절한 모델화와 방법의 선정이 필요하다. 해양구조물의 설계에서 일반적으로 실시되는 동적 해석에는 1) 내파랑해석, 2) 내진해석, 3) 피로해석을 들 수 있다.
- 내파랑(耐波浪) 해석은 전체 동요를 해석하고 그 안정성과 발생변위, 가속도를 검토하여 텐션 레그, 환기탑 등으로의 전달력을 산정하는 데 목적이 있다. 특히 동요가 클 경우에는 터널 외각부에 작용하는 유체압력 분포도 구해야 한다.
- 내진 해석은 내파랑 해석과 마찬가지로 전체 동요 해석을 통해 발생 변위와 가속도를 검토한 후, 텐션 레트와 조인트, 환기탑에서의 단면력을 구하는 것이다. 그러나, 파랑에 비해 변위가 작고 외각부에 작용하는 유체압력분포가 부재설계에 주는 영향도 작기 때문에 압력분포까지 구할 필요는 없는 것이 일반적이다.
- 피로해석은 피로한계상태에서의 부재설계를 목적으로 하며 특히 텐션레그에 작용하는 반복응력의 산정이 중요해진다. 이에는 내파랑설계나 내진설계에서 하는 전체 동요해석 외에 특별히 텐션 레그에 착안한, 보다 상세한 동적해석을 하는 경우도 있다.
- 일본의 수중터널연구조사회에서 수중터널의 동적 해석모델을 다음과 제시하고 있다.

표 2.24 대표적인 해석 모델 (2차원)

모델		2차원 축 직각 단면 모델	2차원 축 직각 단면 모델
해석방법		경계요소법	강체-스프링
유체력 평가		회절파 이론	Morison 방정식
모델 이미지			
적용	파랑	○	○
	지진	△	○
목적		- 수중터널 일반부(환기탑 등 단부(端部) 구속의 영향이 작은 곳)에서의 다음과 같은 항목 산출 ①터널의 연직단면 내 변위, 가속도 ②연직단면 내에서의 텐션 레그 장력 ③외각에 작용하는 2차원 동압력 분포	- 수중터널 일반부(환기탑 등 단부(端部) 구속의 영향이 작은 곳)에서의 다음과 같은 항목 산출 ①터널의 연직단면 내 변위, 가속도 ②연직단면 내에서의 텐션 레그 장력
특징		- 터널 외각부에 작용하는 유체압력 분포를 얻을 수 있는 것이 특징이다. - 그러나, 항력성분이 탁월한 듯한 조건에서는 적용할 수 없다.	- 외각에 작용하는 유체압력 분포는 구할 수 없으나 취급이 매우 간단하다. - 부가질량계수, 항력계수 등의 설정에는 충분한 주의가 필요하며 항력이 탁월한 경우에도 적용 가능하다.

○ : 매우 적합하다.
△ : 적합하다

표 2.25 대표적인 해석 모델 (3차원)

모델		3차원 부분모델	3차원 전체모델
해석방법		경계요소법	강체-스프링
유체력 평가		회절파 이론	Morison 방정식
모델 이미지			
적용	파랑	○	○
	지진	△	○
목적		- 주로 수중터널 일반부를 대상으로 한 경우, 이하와 같은 항목의 산출 ①터널의 변위, 가속도 ②텐션 레그 장력 ③외각에 작용하는 3차원 동압력 분포	- 수중터널 전체를 대상으로 한 경우, 이하와 같은 항목의 산출 ①터널의 변위, 가속도 ②텐션 레그 장력 ③조인트부 발생 단면력 ④환기탑 등으로의 전달하중
특징		- 항력이 탁월할 경우에는 2차원 모델과 마찬가지로 적용할 수 없으나 외각에 작용하는 압력분포를 구할 수 있다. - 1함체만일 경우 혹은 복수함체에 대해서도 해석할 수 있으나 함체수가 너무 많아지면 계산용량, 계산시간 면에서 반드시 최적이라고는 할 수 없다.	- 부가질량계수, 항력계수 등의 설정에는 충분한 주의가 필요하며 비교적 간편하게 전체 동요를 해석할 수 있다. - 함체는 집중질량의 연속체(질량 이산(離散) 모델)로 가정하고 집중질량 간에는 조인트 강성이나 터널 본체의 강성과 등가인 스프링으로 연결한다. 단, 한 개의 집중질량이 대표하는 함체 길이의 결정에는 충분히 주의할 필요가 있다.

- 이태리 Politechico di Milano의 F. Perotti 등은 지진하중과 Seaquake에 의한 하중에 대하여 이태리 Messina 해협의 SFT 안에 대한 비선형 동적해석을 실시하였다. 터널과 앵커케이블을 3차원 보요소로 모형화하였으며, 하중은 Morison 방정식으로 산정하였다. 동적해석은 상용프로그램 ANSYS를 사용하여 수행하였다.

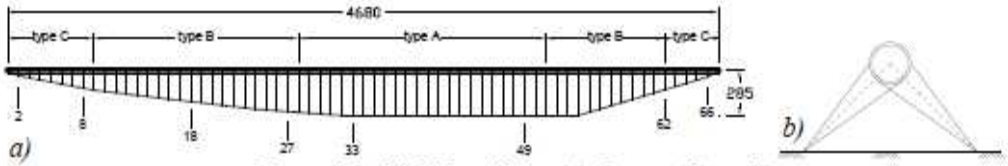


Figure 1 – SFT, Front View (a), Section View (b)

Table 1 – Geometrical and Mechanical Characteristics of Anchoring Bars

Section A	R_{out}(m)	R_{in}(m)	Area(m^2)	I(m^4)
A	0.933	0.871	0.348	0.139
B	0.975	0.91	0.385	0.171
C	1.029	0.961	0.425	0.211

*R_{out} is the out radius, R_{in} is the inner radius, and I is the initial moment.

Table 2 – Geometrical and Mechanical Characteristics of Tunnel

D_{out}(m)	D_{in}(m)	Area(m^2)	I(m^4)	W(kN/m)
15.95	13.95	58.24	16370	1200

*D_{out} is the out diameter, D_{in} is the inner diameter, and W is the weight of the tunnel.

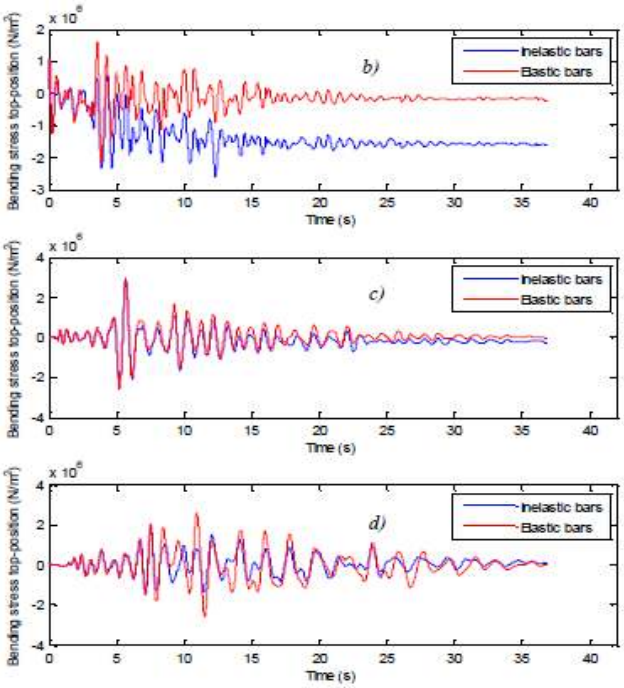


Figure 8. Bending stress on top of the tunnel section. (a) closest to the shore, (b) section 4, (c) quarter span, (d) mid-span.

- 또한, 이태리 Politechico di Milano의 F. Perotti 등은 SFT의 동적 거동 분야의 연구 그룹의 활동을 요약하여 발표하였다. 지진과 지진으로 인한 쯔나미, Seaquake, 그리고 파랑과 조류, 조류에 의한 Vortex shedding, 내부파, 차량하중 등에 대하여 언급하였다.

Table 1. Dynamic loading on Archimedes Bridges

Phenomenon	Treatment	Impact on safety/serviceability	Design implications
Earthquake (ground transmission)	Numerical simulation	Resistance	Section, end connections, connections between modules (tunnel); section, end connections (anchors), foundations
Earthquake (water transmission) – "seaquake"	Numerical simulation (RD) Physical testing (RD)	Resistance	Section and connections between modules (tunnel); section, end connections (anchors), foundations
Earthquake - tsunamis	Numerical simulation (RD)	Resistance	Still to be defined
Wind waves	Numerical simulation	Fatigue (anchoring system) Comfort (tunnel)	Design solution, end connections (anchors) Depth below water table (tunnel)
Current (vortex shedding)	Numerical simulation (RD) Physical testing (RD)	Fatigue (anchoring system) Comfort (tunnel)	Design solution end connections and section shape (anchors)
Secondary waves	Numerical simulation (RD)	Resistance	Still to be defined
Traffic (structure-vehicle interaction)	Numerical simulation (RD)	Fatigue (anchoring system) Comfort (tunnel)	Design solution, end connections (anchors)

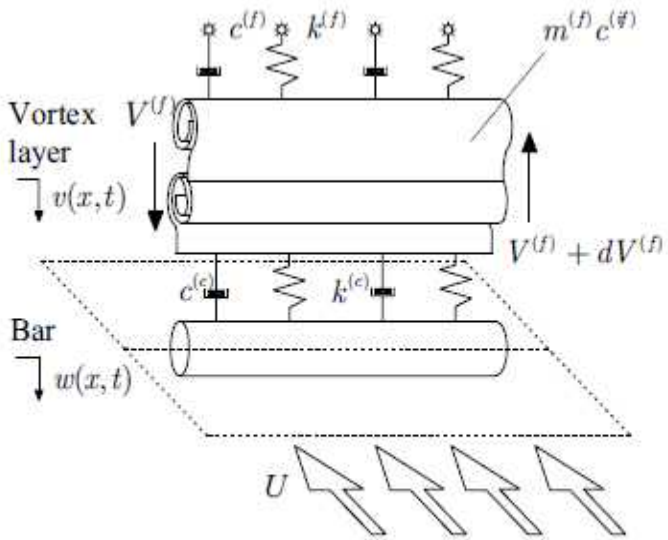


Fig. 2. Distributed Vortex Layer (DVL) model

- 노르웨이 Olav Olsen의 Anette Fjeld 등은 Sognefjorden의 SFT안에 대하여 불규칙 파랑에 대한 동적해석을 실시하였다. 터널 본체는 3차원 유한요소로 모형화하였으며, 하중은 3차원 포텐셜 이론에 의거하여 산정하였다.

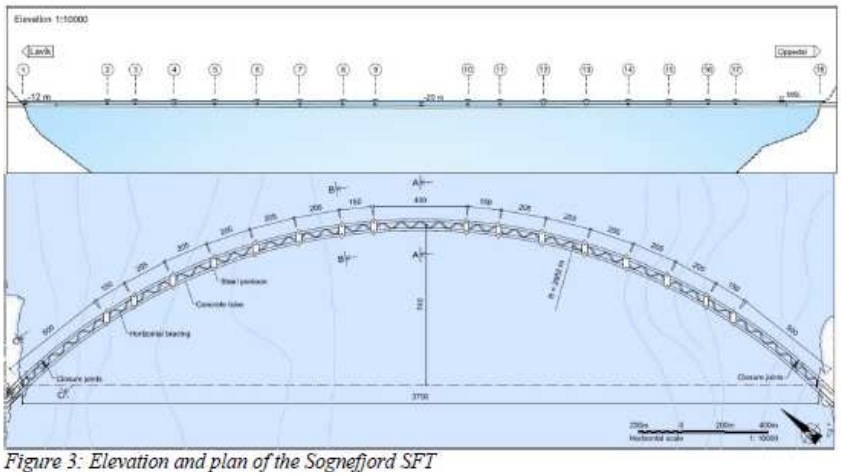


Figure 3: Elevation and plan of the Sognefjord SFT

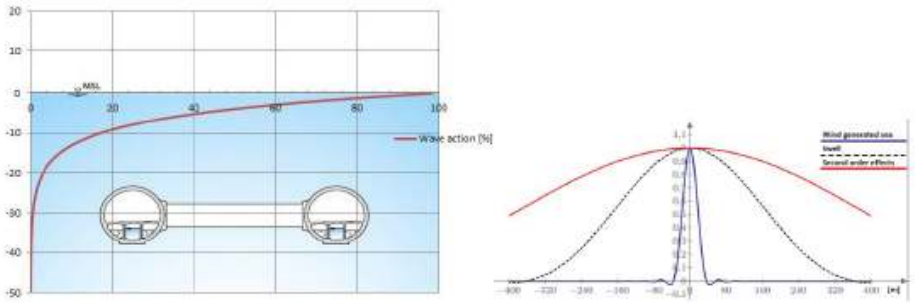


Figure 6: Water depth vs. normalized wave action (left) and correlation lengths for wave actions (right)

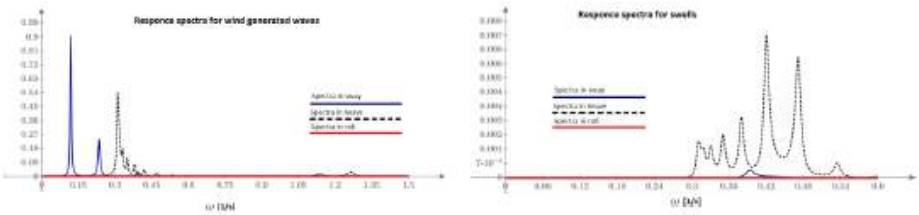


Figure 7: Response spectra for (left) wind generated waves and (right) swells

- 중국 Academy of Sciences의 F. Ge 등은 Qiandao 호수의 SFT에 대하여 파랑-구조 상호작용 해석을 실시하였다. 파랑하중은 회절이론에 기초한 경계요소법으로 산정하였으며, 주파수영역에서 동적해석을 실시하였다.

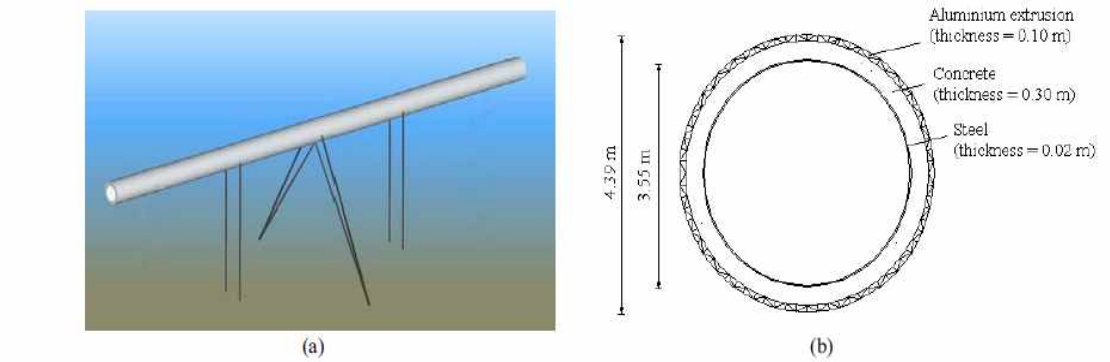


Fig. 1. (a) Schematic diagram of submerged floating tunnel prototype at Qiandao Lake; (b) Cross-section of tube segment

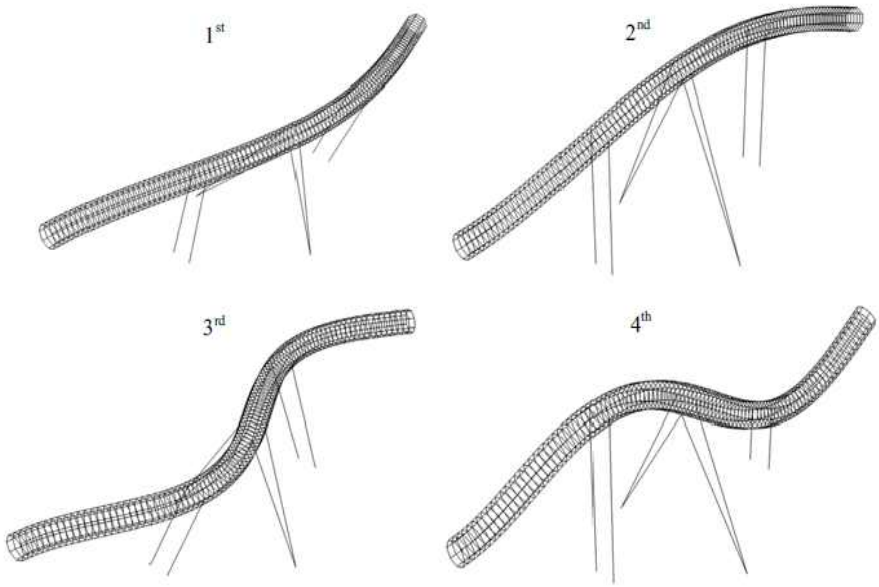


Fig. 3. Eigenmodes of SFTP

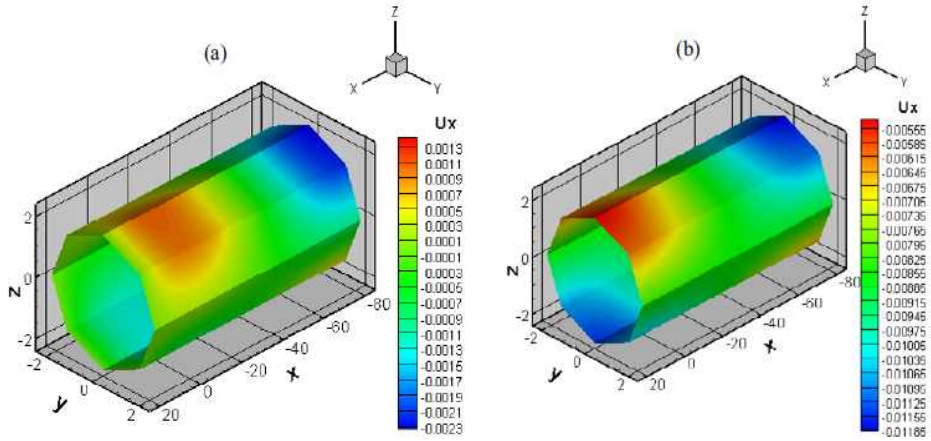


Fig. 4. Distribution of axial deflection along the tunnel: (a) Model A; (b) Model B (unit: m)

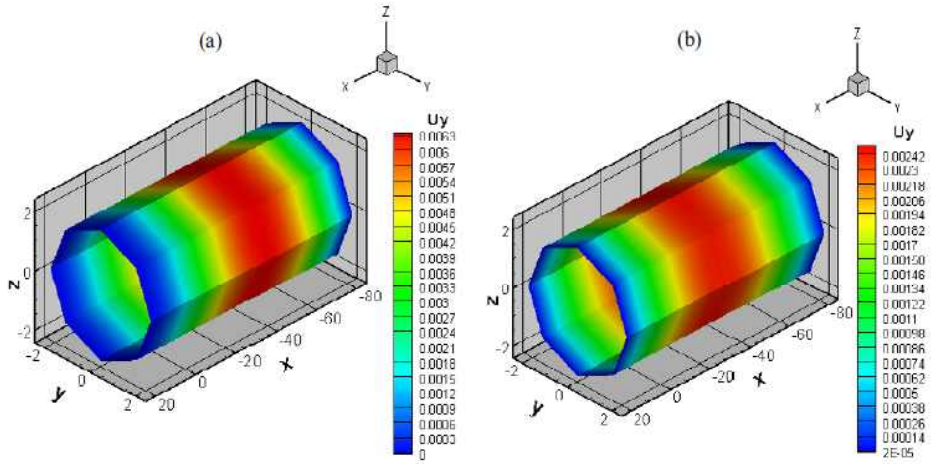


Fig. 5. Distribution of horizontal deflection along the tunnel: (a) Model A; (b) Model B (unit: m)

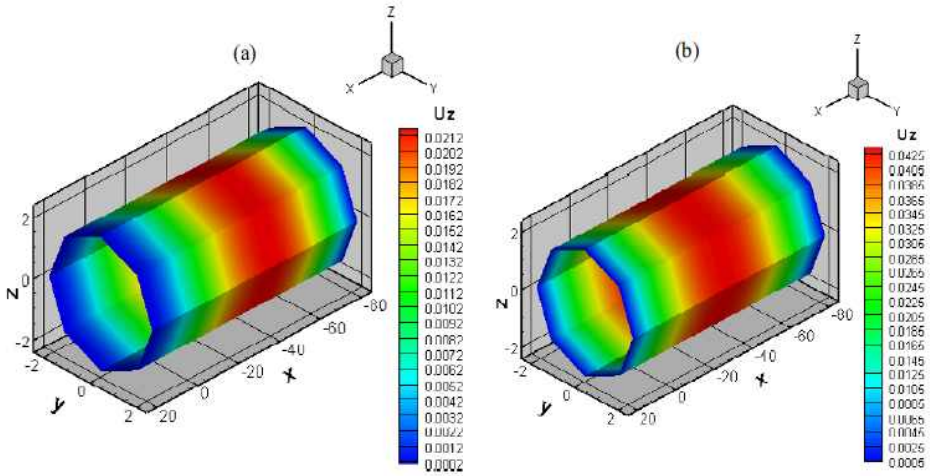


Fig. 6. Distribution of vertical deflection along the tunnel: (a) Model A; (b) Model B (unit: m)

- 또, 중국 Academy of Sciences의 Y. Hong과 F. Ge는 SFT의 1) 적용대상지 선정과 해양환경 및 지반조건, 2) 파랑과 조류하중에 대한 SFT의 동적 거동, 3) SFT 주요 설계변수의 동적 거동에 대한 영향, 4) 지반조사 및 인장파일 해석, 5) 지진과 충돌하중에 대한 SFT의 동적 응답, 6) 피로해석, 7) Qiandao lake SFT의 설계, 해석 및 강도진단 등에 대하여 보고하였다.

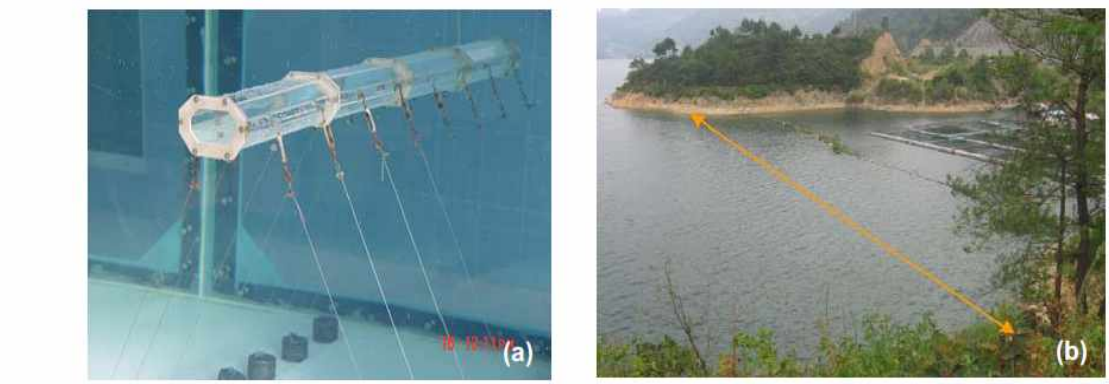


Fig. 1. (a) An SFT demonstration model in laboratory of IMECH; (b) West view of ABB, the line indicating the selected route for ABP

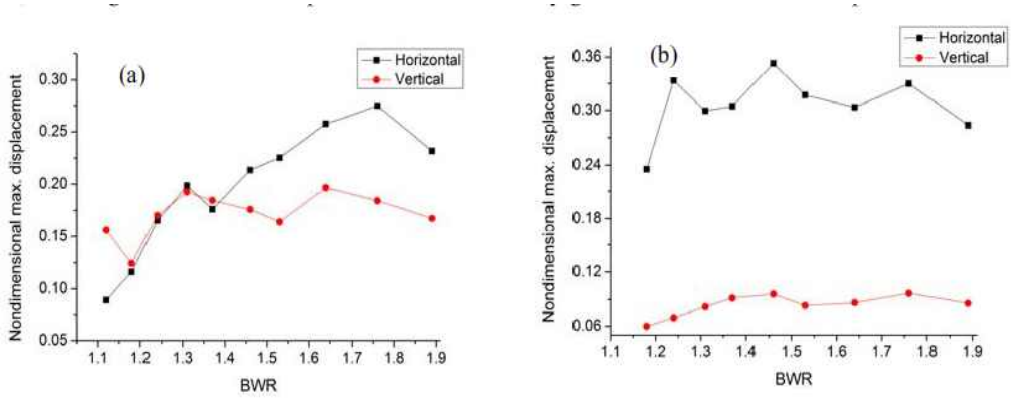


Fig. 8. SFT dynamic response versus BWR under (a) tether angle of 30°; (b) tether angle of 0° [42]

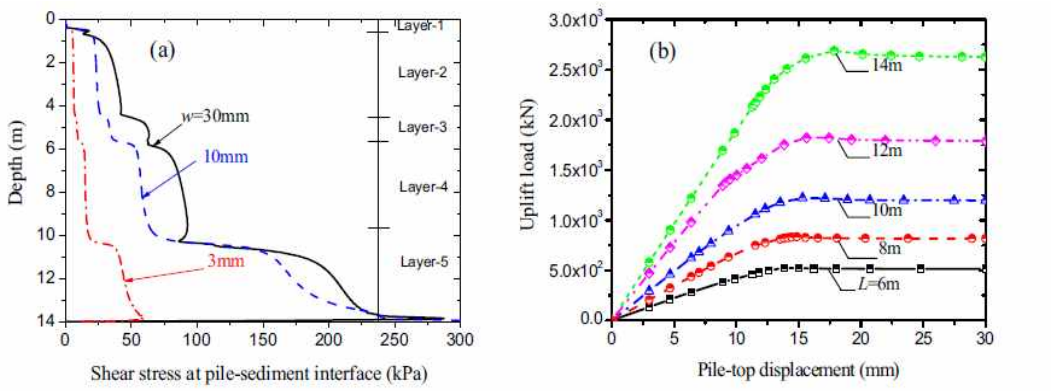


Fig. 10. (a) Development of shear stress along pile-sediment interface for various values of pile-top displacement (pile length L = 14m, pile diameter D = 0.6m); (b) uplift load-displacement curves of single tension pile for various values of pile length (L=6~14m; D = 0.6m)

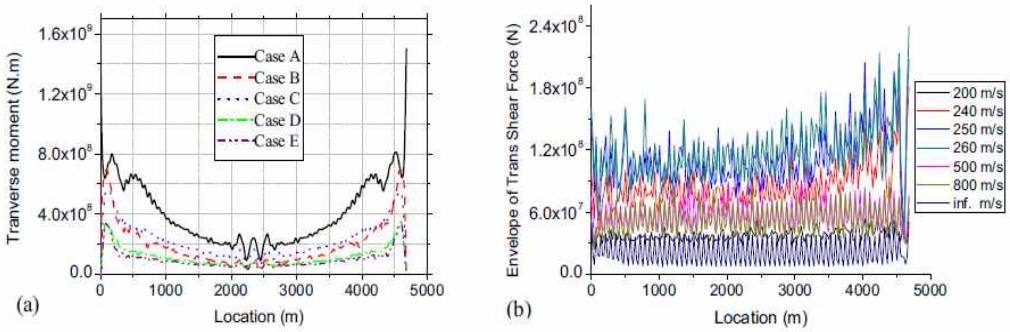


Fig. 12. (a) Seismic responses of SFT with different shore connections; (b) envelopes of transverse shear force of SFT under uniform excitation and multiple excitations with various wave velocities

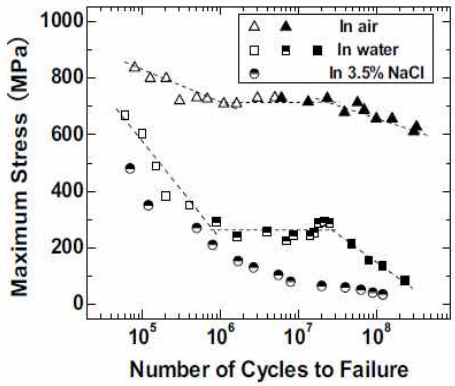


Fig. 13. S-N curves tested in air, water and sea water, hollow: surface crack origination, solid: subsurface origination, and semi-solid: mixed mode

○ 충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술

- 충돌에 의한 해중 고속철도의 안전성 검토는 구조물의 실용화시에 반드시 고려해야 하는 사항으로 개념설계단계에서부터 핵심 설계요소로 고려되어왔다.



그림 2.101 해중 고속철도와 잠수함의 충돌

- 2004년에 디스커버리 채널의 Extreme Engineering에서 뉴욕과 런던을 연결하는 해중 고속철도에 대한 프로그램을 방영하였다. 이 때, 해중 고속철도와 잠수함에 의한 충돌을 핵심 위험요인으로 검토하였다. 잠수함의 평상 시에 해중 고속철도에 충돌하는 것은 거의 발생 확률이 적어 고려하지 않았고, 잠수함이 내부 결함요인으로 제어능력을 상실했을 때의 충돌위험을 언급하였다. 충돌은 해중 고속철도 시스템의 유연성으로 일정 부분 충격을 흡수할 수 있을 것이라는 예측을 하였다.
- 해중터널의 실제 시공이 있었던 중국의 Qiandao 호수 해중터널에 대해서는 침몰하는 선박에 의한 해중터널의 영향을 검토하였다. 50톤 보트가 1 m/s의 속도로 침몰할 때의 안전성에 대한 검토를 실시하였다. 국부적인 손상에 의한 재료파괴, 충격하중에 의한 과다변위, 손상부위의 에너지 흡수율 등에 대한 검토를 실시하였는데, 충돌에 따른 큰 안전성 저하는 발생하지 않는 것으로 해석되었다.
- 대형 부유식 교량의 교각에 대한 충돌연구는 구조물의 특성상 해중터널의 충돌해석과 설계에 크게 활용할 수 있다. 최근에 노르웨이 Sogne 피요르에 대한 대형 부유식 교량의 운항선박의 충돌영향을 검토한 결과들이 발표되고 있다.
- 송네피요르드에는 대형 크루즈선, 쾌속선, 화물선 등의 다양한 대형선들의 항로이고, 충돌 설계 확률은 NPRA에서 1/10000으로 제시하였다. 해석에 사용된 충돌선박 제원은 31,456톤, 충돌속도 9.1 m/s, 충돌에너지 1565 MNm이다.
- 부유식 교량은 3개의 경간으로 되어 있고 2개의 부유식 교각이 있으며, 교각은 대형 폰툰 구조물로 제작된 것이다. 충돌에 의한 상부구조의 동적거동이 커서 이를 제어하기 위한 댐핑시스템이 필요한 것으로 해석되었다. 충격에 의

한 폰툰의 파괴는 일어나지 않는 것으로 판단되었다. 선박에 대한 충격을 줄이기 위해서 펜더 등의 충격흡수장치의 설치가 필요한 것으로 해석되었다.

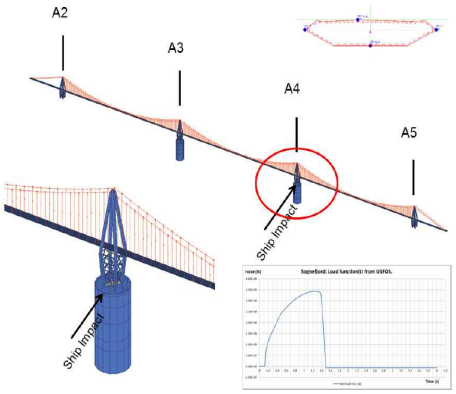


그림 2.102 충돌 수치해석 모델

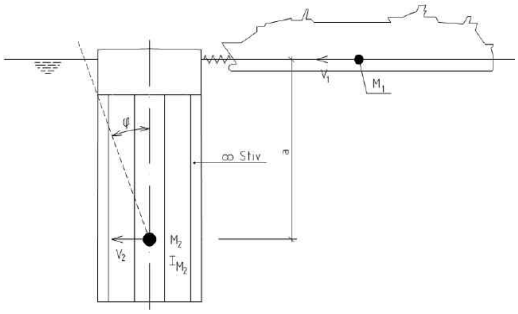


그림 2.103 충돌 간략화 모델

(2) 거동제어 기술 (구조체 횡방향 변위 저감 기술)

(가) 국외 기술 동향

○ 싱글 튜브 단면에서의 텐션레그 방법

- A타입 : 수평방향의 강성이 낮기 때문에 수평변위가 크다. 파랑에 대한 교통제한도 생각할 수 있다. 구조적으로는 단순(simple)하며 시공성이 좋다. 유사 구조물로서 석유 굴삭용 플랫폼의 하나인 TLP가 있다.
- B타입 : 동요에 대한 특성은 연직 배치보다 사면 배치에 가까우나 동요에 의한 슬랙이 발생하기 쉽다.
- C타입 : 수평변위를 작게 할 수 있다. 설치부의 구조가 복잡해지는 경향이 있다. 한편, 축방향의 설치간격은 축방향의 단면력이나 변형, 텐션 레그 설치부의 응력집중, 기초의 형식·규모 및 시공성 등을 고려해 설정해야 한다.

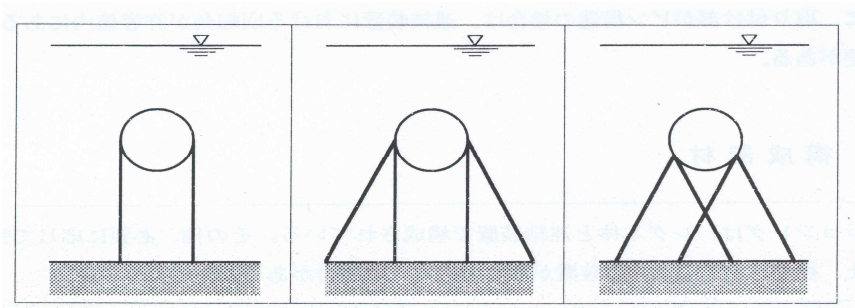


그림 2.104 텐션레그 형상(A,B,C 타입)

○ 듀얼 튜브 단면에서의 텐션레그 방법

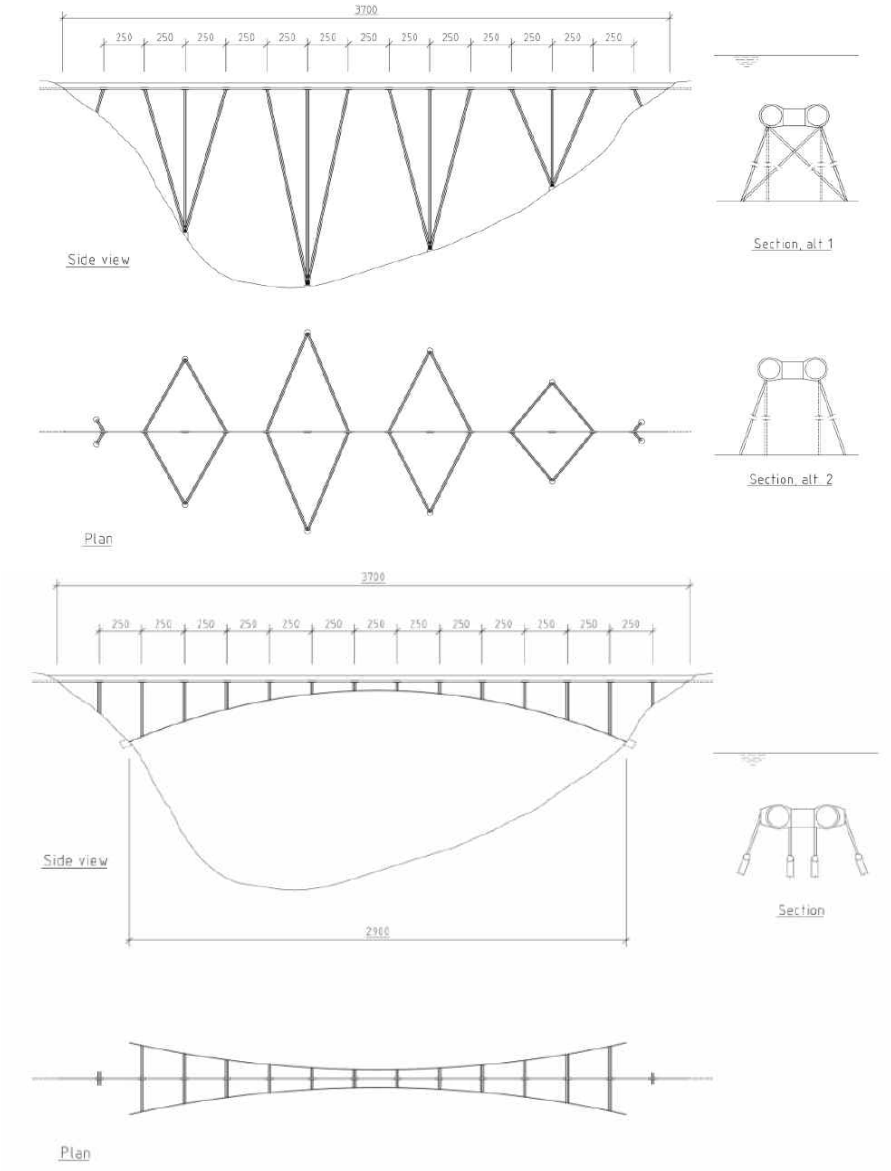


그림 2.105 듀얼 SFT의 Tethering 방법, 듀얼 A,B,C 타입

○ 노르웨이의 Bernt Jakobsen et al(2013)는 3700m의 SFT 횡방향 변위 제어를 위하여 위와 같이 Tethering 방법을 제안하였다. 수심 450m를 대상으로 설정하였으며, tethers들은 강재와 폴레에스테르 무어링 라인 사용이 가능하며, 강재 무어링의 경우 강재로프에 강재 체인 또는 튜브로 보강하는 것으로 제안하였다.

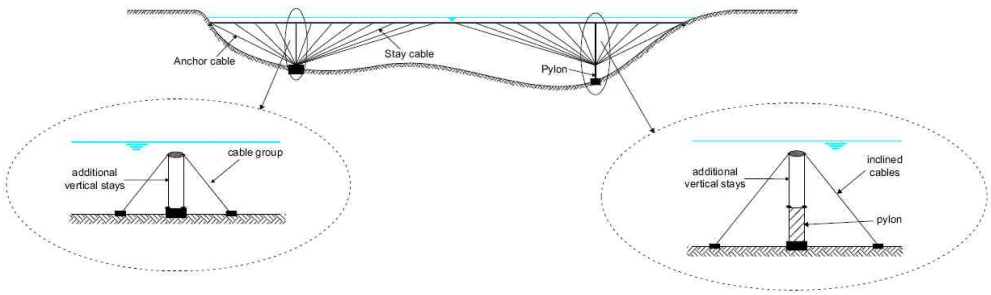
- 듀얼 A타입 : 싱글 B,C 타입을 복합적으로 적용한 방법으로 수평변위를 작게 할 수 있다. 설치부의 구조가 복잡해지는 경향이 있다. 한편, 축방향의 설치간격은 축방향의 단면력이나 변형, 텐션 레그 설치부의 응력집중, 기초의 형식·규모 및 시공성 등을 고려해 설정해야 한다.
- 듀얼 B타입 : 싱글 B타입과 동일한 방법이며, 동요에 대한 특성은 연직 배치

보다 사면 배치에 가까우나 동요에 의한 슬랙이 발생하기 쉽다.

- 듀얼 C타입 : 싱글 A타입을 각각의 메인 튜브에 설치한 것으로 수평방향의 강성을 향상시키기 위하여 양끝의 텐션레그를 수직이 아닌게 배치한 것이 특징이다.
-

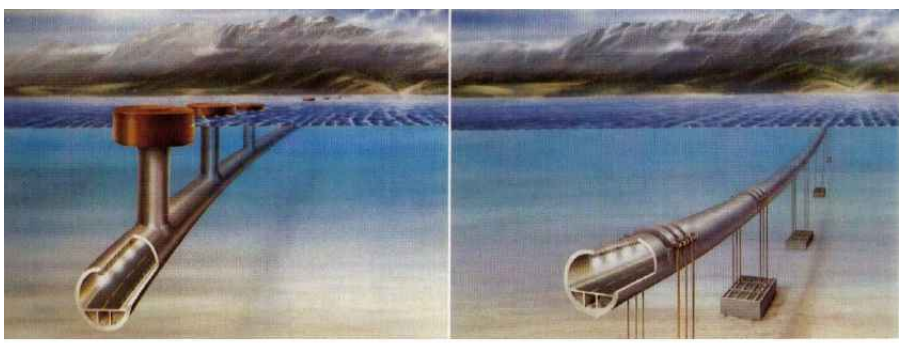
○ 사장형식 방법

- Faggiano et al(2010)은 Y형 또는 V형의 주탑을 세우고 SFT를 케이블을 이용하여 Tethering 하는 방법을 제시하였다. 본 구조의 경우 케이블의 장력을 유지하는 것이 매우 중요하다. 케이블이 주탑으로 모두 향하고 있기 때문에 본체에 압축력이 발생하게 되고 이때 본체의 좌굴 검토도 이루어져야 할 것이다.



○ 부유식 방법

- 노르웨이에서 제안된 방법들 중 텐션레그 방법과 부유식 방법은 SFT의 수직 위치와 모션을 제어해 주는 방법들이다. 이 두가지 방법의 경우 각각 독립된 방법으로 사용이 가능하고 서로 상호 보완적으로도 적용이 가능하다.



(a) SFT with pontoons (b) SFT with tethers

그림 2.106 SFT's developed in the Hogsfjord-project

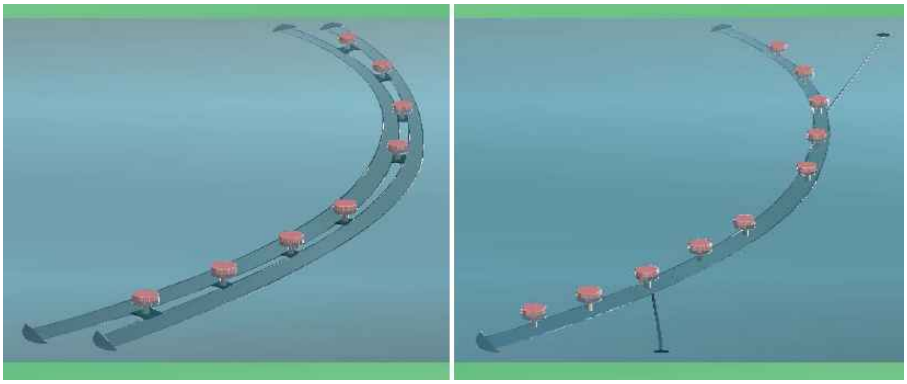


그림 2.107 부유식 트윈 시스템과 횡방향 텐던 고정 시스템

(3) 설계기술

(가) 국내 기술 동향

○ 리스크 분석 및 저감 설계 기술/환경영향평가 및 저감 설계 기술

- 한국해양과학기술원에서는 해중터널에 영향을 미치는 인적위험요소와 자연위험요소를 인식하고 이의 경중을 설문조사와 AHP기법을 활용하여 제시하였다. 조사에 의하면 쯔나미에 의한 위험이 가장 인식 수준이 높은 것으로 조사되었다.

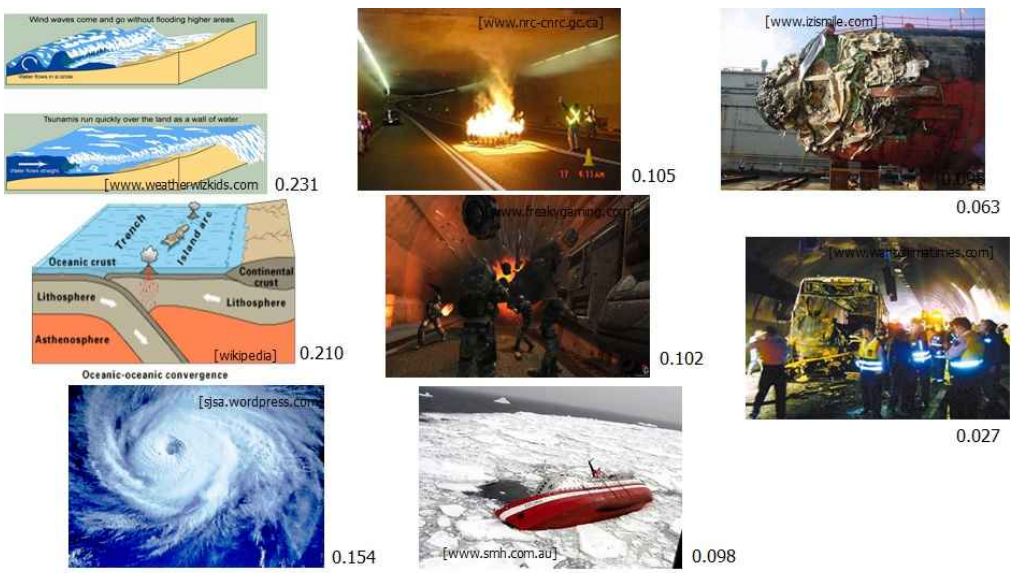


그림 2.108 위험도 순위

○ 터널튜브 구조체 및 접합부 설계기술

- 한국철도 기술연구원에서는 SFT에 고속철도를 운행할 수 있도록 단면을 제안

하였다. 터널 본체는 케이블과 중력식 기초를 이용하여 지반에 고정하며, 트러스형 환기탑을 설치한다. 국제적으로는 철도와 차량이 동시에 운행할 수 있도록 하는 반면에 본 SFT는 고속철도를 위한 단면으로 합성구조이다. 또한 양방향의 선로 중간에 작은 공간을 만들어 사람이 이동할 수 있는 공간을 확보하였다.

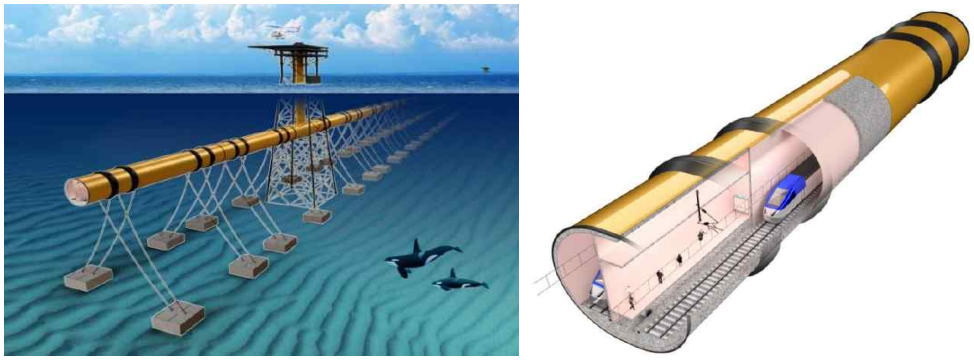


그림 2.109 해중 철도 SFT by 한국철도기술연구원

○ 한국해양과학기술원의 SFT의 단면 형상

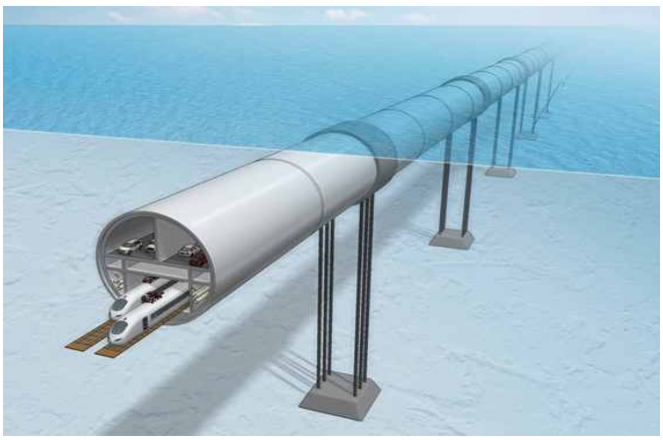


그림 2.110 한국해양과학기술원의 SFT 단면

- 한국해양과학기술원에서는 위의 그림과 같이 철도와 차량이 동시에 운행 가능한 SFT를 제안하고 연구하고 있다. 격벽은 상부와 하부 그리고 중간부로 나누었으며, 상부에는 차량이 운행하고 하부에는 철도가 운행을 하도록 제안을 하였다. 또한 중간부의 긴급상황시 피할 수 공간을 만들어 주었다. 본 단면 형상은 본체 튜브는 철근 콘크리트로 구성이 되며, 이 내부에 강재 튜브가 배치되는 합성구조로 제안되었다.

○ 계류시스템 설계 기술

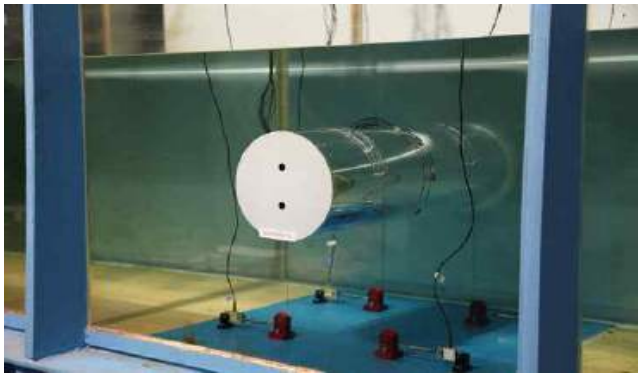


그림 2.111 한국해양과학기술원의 SFT
tethering 방법에 따른 특성 평가

- 한국해양과학기술원에서는 텐션레그의 형상 및 구조에 따라서 어떤 거동 특성을 보이는 지에 대해서 수조 실험을 수행하였으며, 현재 싱글 튜브에 대한 규칙파 실험 평가를 완료하였으며, 텐션레그 배치 방법은 타입 A, B, C에 대해서 모두 연구를 수행하고 있다. 또한 튜브를 듀얼로 배치하였을 경우의 거동을 분석할 예정이다.

(나) 국외 기술 동향

○ 리스크 분석 및 저감 설계 기술/환경영향평가 및 저감 설계 기술

- 리스크 매니지먼트는 북해의 석유 플랜트 설계와 운용에 적용된 이래 많은 해양 관련 플랜트에서 위험의 인식, 정량화, 저감 등에 사용되고 있다. 이러한 기법은 해중 고속철도의 위험요인을 감소시키기 위한 목적으로도 사용될 수 있어 여러 연구자들에 의해 연구가 진행되고 있다.
- 중국의 Qiandao 호수에 대한 해중터널 적용을 위해, 각 위험요소를 인식하고 정량화하는 연구를 진행하였다. 투자위험 리스크, 설계위험 리스크, 환경위험 리스크에 대한 리스크 인자들을 도출하고 이에 대한 크기를 정량화하기 위한 연구를 진행하였다.

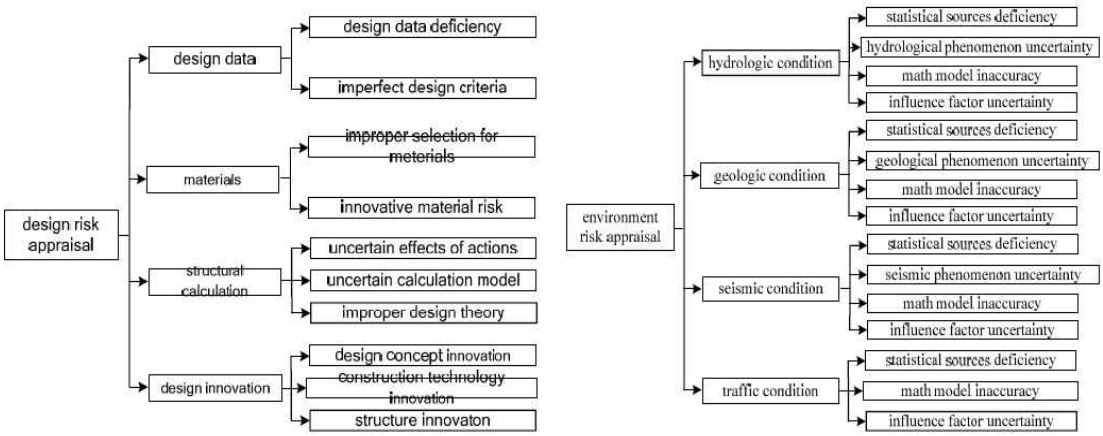


그림 2.112 해중터널의 설계 및 환경 리스크

- Sogne 피요르에 건설이 고려 중인 대한 해중터널과 대형 부유식 교량에 대한 선박 충돌 리스크를 리스크 매니지먼트 기법을 통해 검토하였다.
- 리스크 모델링을 위해 빈도분석과 결과분석을 실시하였다. 빈도분석에서는 송네피요르를 지나는 선박의 운항횟수 분석과 선박 사고확률 분석을 기본으로 이루어진다.

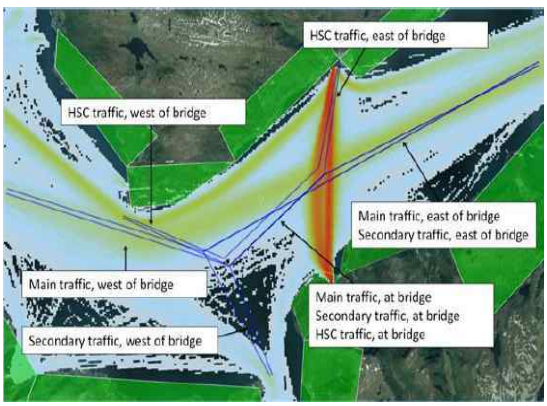


그림 2.113 선박 운항 횟수 모델링

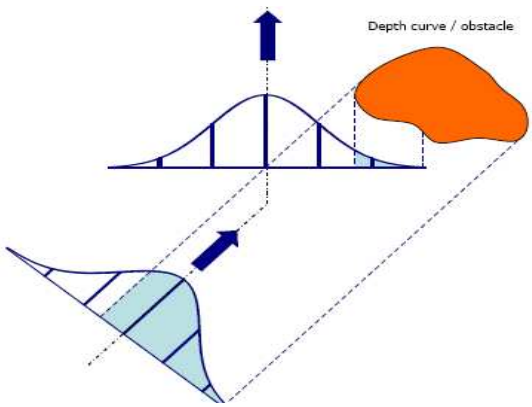


그림 2.114 선박 인적요인 사고확률 모델

- 결과분석은 충돌에 의한 구조물의 영향분석과 선박에 대한 영향분석으로 나뉘고 구조물 영향분석에는 이용자의 사망자수 , 구조물의 파괴에 의한 재산손실, 통행제한 시간 등이다. 선박에 대한 영향은 선박내부의 사망자수, 선박 손상에 의한 재산손실, 오일유출로 인한 환경영향 등이다.
- 검토결과 해중터널의 폰툰의 모든 통행선박에 대한 충돌확률은 1.1×10^{-1}/년 정도로 10년에 1회정도이다. 부유식 교량의 경우에는 충돌확률은 9.2×10^{-3}/년 정도이다.
- 구조물과 선박 각각에 대한 리스크 결과분석가 신뢰할 수 있는 있는 수준이

하가 되도록 설계에 반영하는 것이 중요하다.

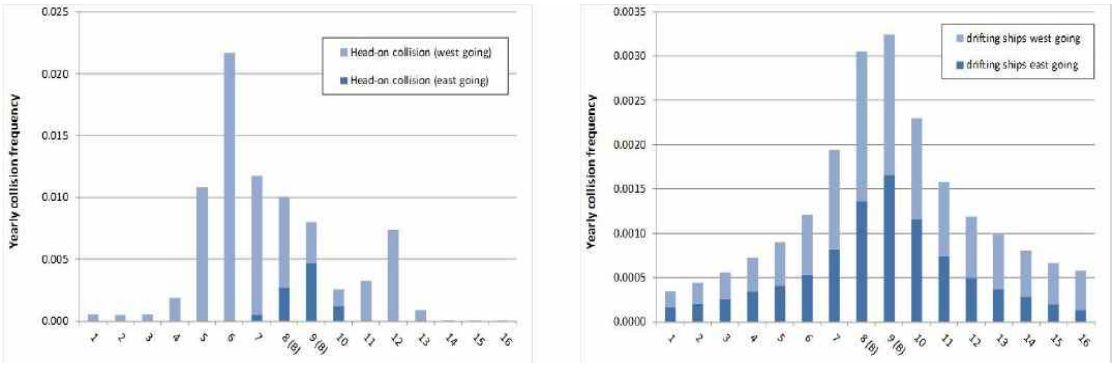


그림 2.115 해중터널 폰툰의 각 부위별 충돌확률

표 2.26 해중터널의 충돌에 대한 리스크 분석 결과

Fixed structure risk	Fatalities [per year]	Property [NOK/year]	Disruption [days/year]
Floating bridge	9.61×10^{-3}	128,781	0.073
SFT	4.83×10^{-3}	2,062,903	1.0
Ship risk	**Fatalities [per year]**	**Property [NOK/year]**	**Environment [tonnes/year]**
Floting bridge	1.72×10^{-4}	128,854	0.31
SFT	2.26×10^{-4}	465,070	1.23

○ 터널튜브 구조체 설계기술

- Funka Bay SFT

  Funak Bay의 SFT의 단면은 그림 2.116과 같이 철도와 차량이 동시에 주행할 수 있는 구조로 설계되었다. 본체의 단면 직경은 23m로 설계되었으며, 큰 선박의 운항에 방해가 되지 않도록 수면으로부터 약 30m 아래에 설치되도록 하였다.

  단면의 배근은 그림 2.117과 같이 횡방향철근을 2단으로 단면 양단에 배치하였으며, 그사이에 종방향철근을 배치하였다. 철근의 직경은 D25를 사용하였으며, 200mm 간격으로 배치하였다.

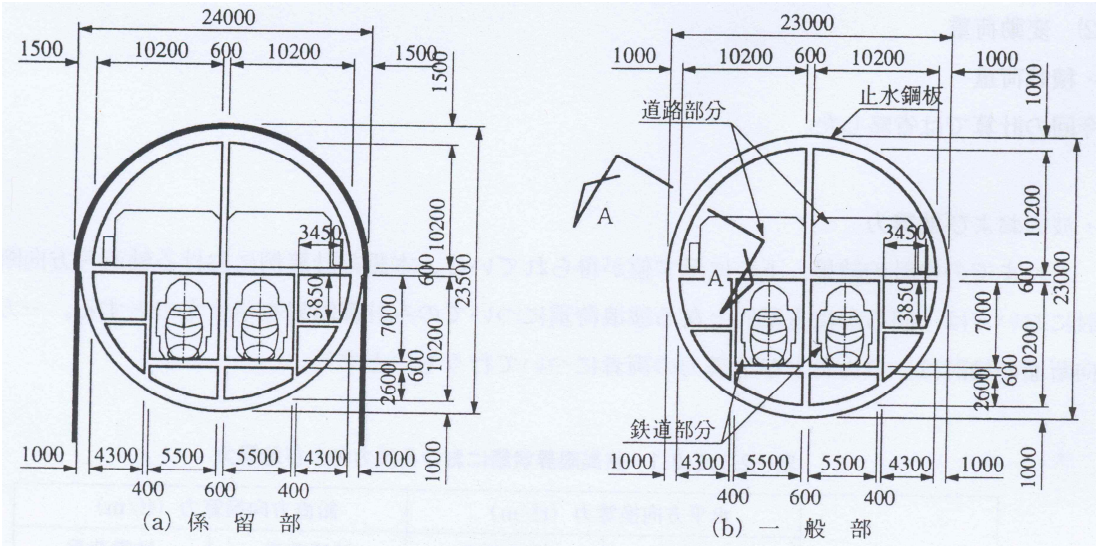


그림 2.116 단면 형상

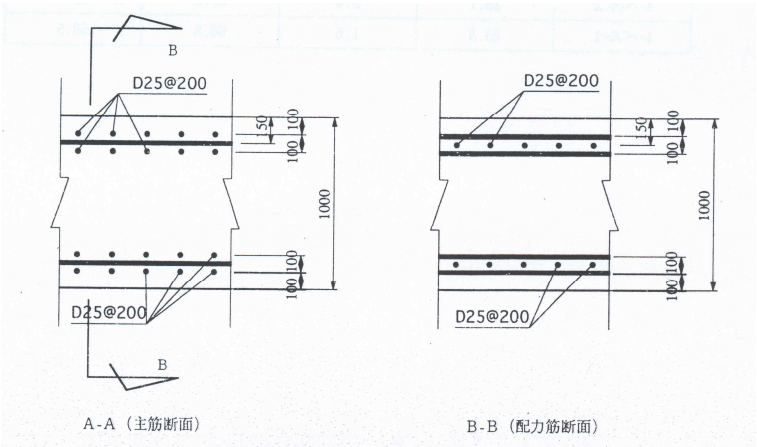


그림 2.117 단면배근도

- Qiandao Lake SFT

  Qiandao Lake에 설치 예정인 단면으로서 여러겹의 구조로 되어있는 합성형 구조이다. 최외각부는 알루미늄으로 보강하였으며, 내부는 강재 튜브가 설치되어 그사이는 철근콘크리트 구조로 되어 있다. 이러한 샌드위치 구조는 콘크리트를 3축구속상태에 놓이게 함으로써 우수한 성능을 발휘하도록 한다. 최외곽 직경은 4.39m로 하였으며, 내부의 운용공간은 사각형상을 가지며, 공간 폭은 2.5m 이다.

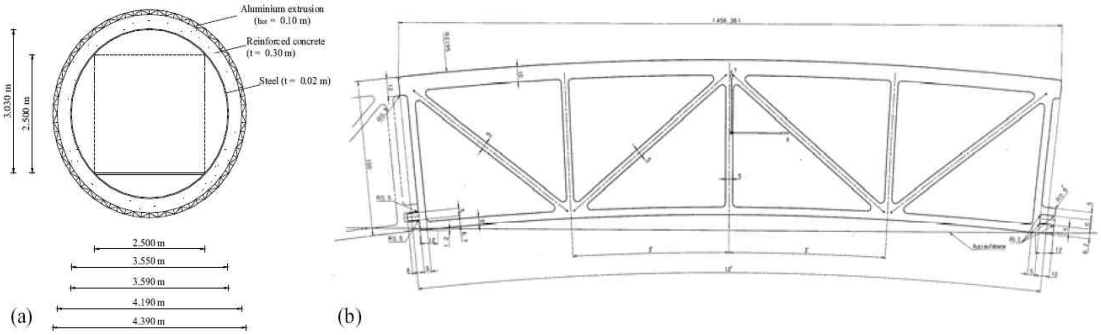


그림 2.118 SFT 단면 형상(좌), 알루미늄 보강재의 형상(우)

- 싱글 & 듀얼 SFT
  노르웨이에서는 위의 그림과 같이 본체단면을 싱글과 트윈단면으로 제안하였다. 긴급 상황 발생시에 탈출할 수 있는 공간을 마련해 주는 것이 특징이다. 트윈단면의 경우 각각의 차량이 다른 튜브에서 운행을 하도록 되어 있다.

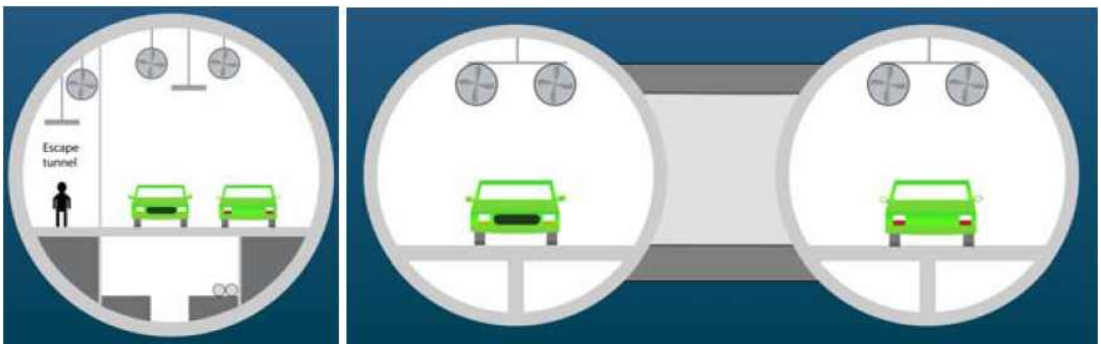


그림 2.119 싱글과 트윈 단면

- Strait of Messina SFT
  Faggiano B et al(2001, 2005)은 노르웨이 Messina strait를 횡단하기 위한 SFT 형식을 제안하였는데 최 외경은 24.9m이며, 내부 격벽과 본체는 철근 콘크리트로 제작이 되며, 외부는 30mm의 강재를 이용하여 보강한 구조이다. 총 3층으로 구성되어 있으며, 최하단은 복선 철도를 위한 공간이고 중간과 최상단은 3차선으로 구성되어 차량을 운행할 수 있도록 제안하였음.

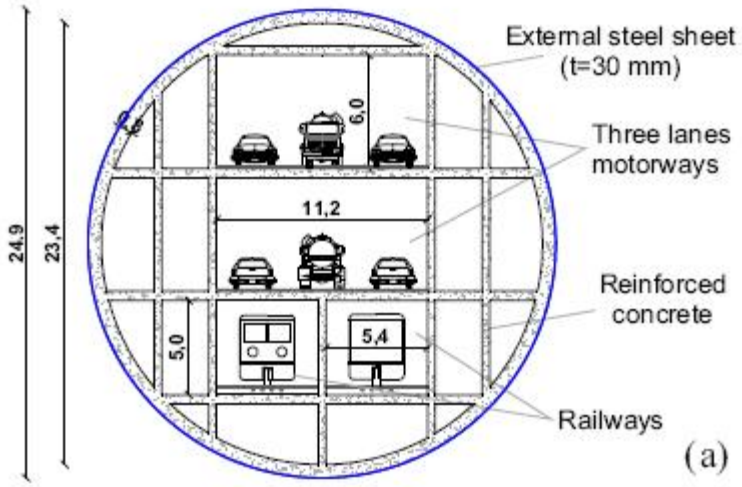


그림 2.120 Messina Strait crossing을 위한 SFT

- Strait of Akashi SFT

  Martire et al(2010)은 일본 아카시 해협을 횡단하기 위한 SFT 형식을 제안하고 이를 기존의 현수교와 경제성 분석을 수행하였다. 구조 형식은 직사각형의 형태를 가지며, 차량이 왕복 3차선으로 운행할 수 있도록 설계되었다. 유체역학적인 문제를 고려하여 양단에는 강재를 이용하여 제작되었으며, 전체 구조는 철근 콘크리트로 제작된 후에 6mm의 강재 플레이트를 보강하였다.

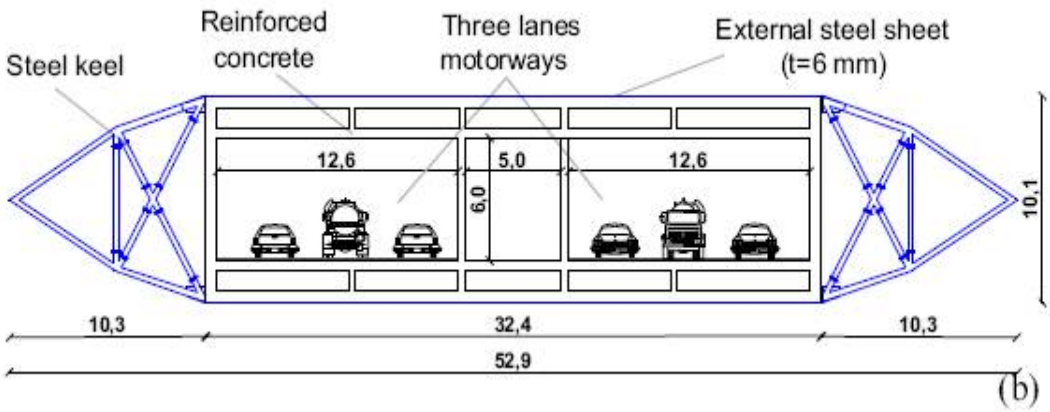


그림 2.121 Strait of Akashi를 횡단하기 위한 SFT

- 국가별 여러 형상

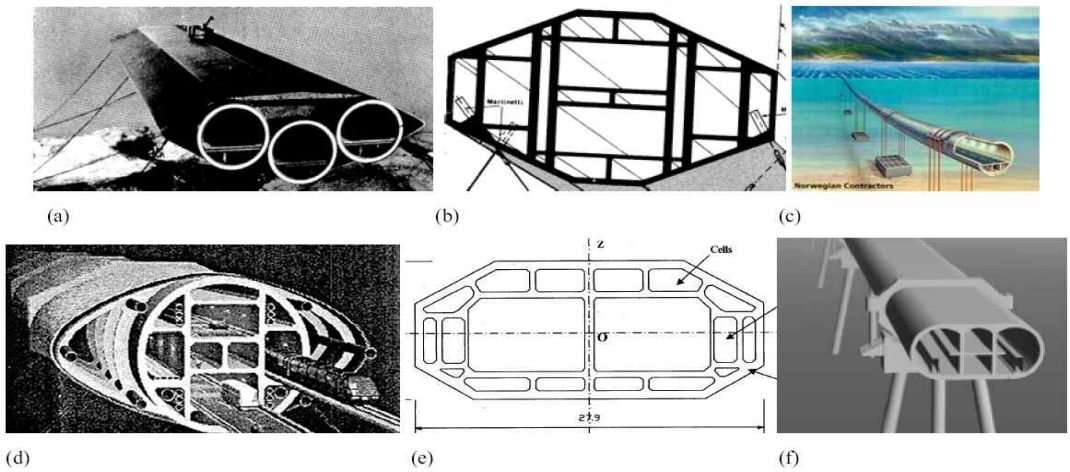


그림 2.122 (a) A. Grant (1969); (b) Archimedes Inc. (1984); (c) Norway Hø gsfjord (1987); (d) North Japan exchange axis (1996); (e) Jintang Channel program (2001); (f) Lake Washington (2001)

- Jakobsen et al(2010) 제안 방법 - 노르웨이
  Jakobsen et al(2010)은 노르웨이의 Hogs 피요르드를 횡단하기 위하여 부유식 SFT를 제안하였다. 그림과 같이 싱글 튜브 형태의 SFT를 제안하였으며, 추가적으로 긴급 탈출할 수 있는 공간을 그림 (b)와 같이 제안하였다.

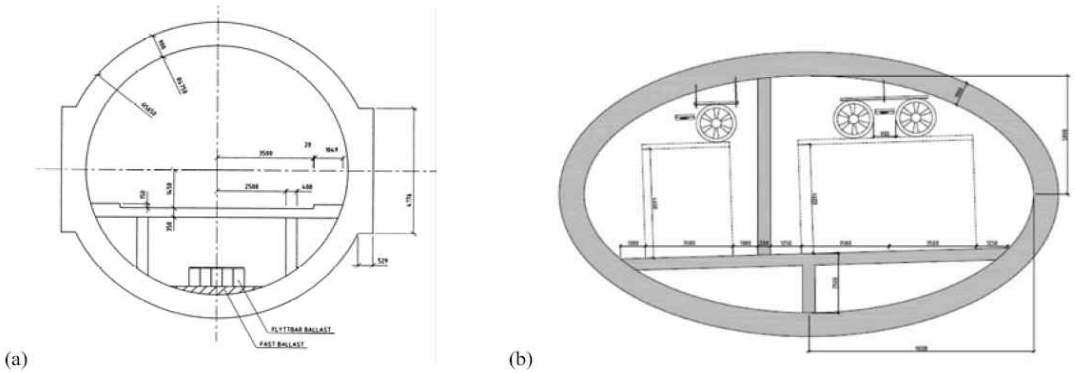


그림 2.123 (a) Simple cross-section proposed for Hø gsfjord; (b) Cross-section with separate escape tunnel

- Dong et al(2008)의 제안 방법 - 중국
  SFT가 싱글 튜브일 경우 응급상황 회피할 수 있는 공간이 없어 인명의 피해로 이어질 가능성이 매우 크다. Dong et al(2008)은 SFT에 탈출 공간을 따로 설치함으로써 안정성을 높인 구조를 제시하였다. 탈출 공간을 확보함으로써 부력을 더 크게 할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 전통적인 방법에 비해 경제성을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

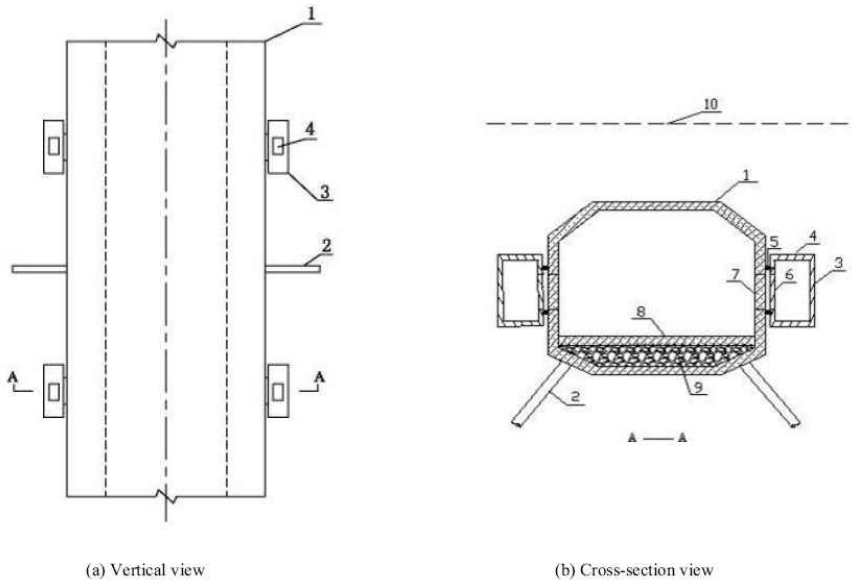


그림 2.124 SFT의 외부에 탈출가능한 공간 제시

- Youliang Xu(2010)의 제안방법 - 중국
  Youliang Xu(2010)은 중국과 대만의 사이의 해협에 설치하기 위해 위의 그림과 같은 SFT형식을 제시하고 이에 대한 연구를 수행하였다. 본 SFT는 다른 SFT와는 다르게 본체와 이를 보호해 주는 이중 구조로 되어 있다. 또한 내부 프레임구조, 균형 유지를 위한 탱크, 댐핑, 내부 균형 유지 장치, 등등으로 구성되어 있다. 이 SFT는 철도와 차량을 동시에 운행할 수 있도록 제안되어 있으며, 긴급 피난을 구분하여 설계하였다.

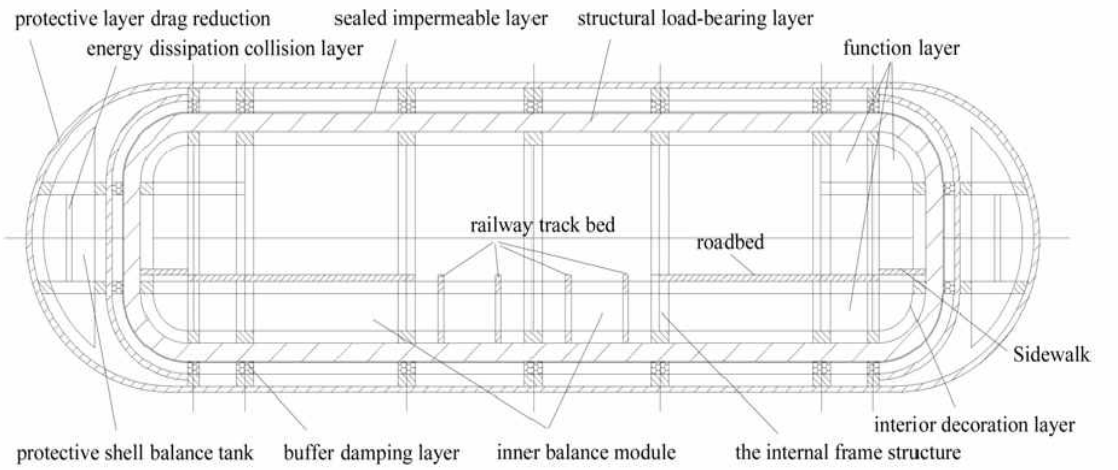


그림 2.125 대만해협을 위한 SFT 개념

- Birger Opgård의 제안방법 - 노르웨이

노르웨이의 Birger Opgård가 제안한 부유식 SFT 형식으로서 세 개의 강재 튜브로 구성되어 있다. 2개의 메인 통로에는 차량이 운행 가능하며, 응급상황 및 사람의 통행이 가능한 통로를 제시하였다. 메인 튜브의 단면은 내외부에 튜브를 배치한 구조로 되어 있으며, 화재에 대비한 본체 내화재가 설치되어 있다. 메인튜브의 직경은 13.3m 이다. 메인튜브의 차량 통행 방향은 일방향이다. 세 개의 튜브의 설치 간격은 20m 이며, 수심 20m에 설치가 된다.

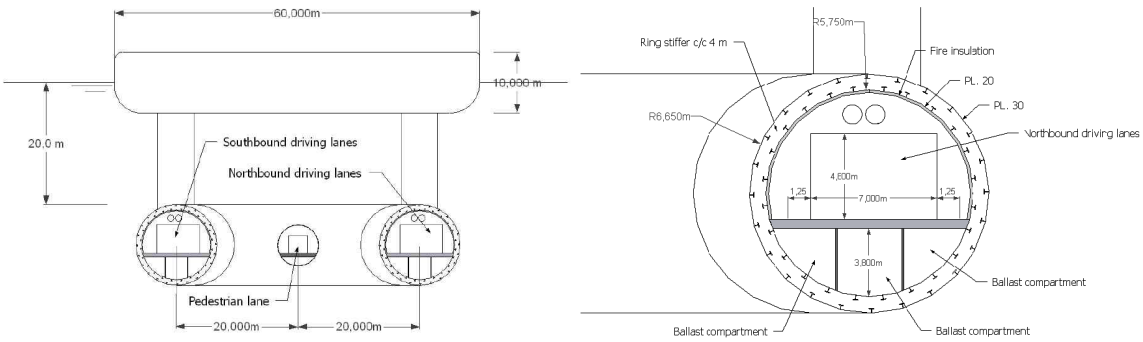


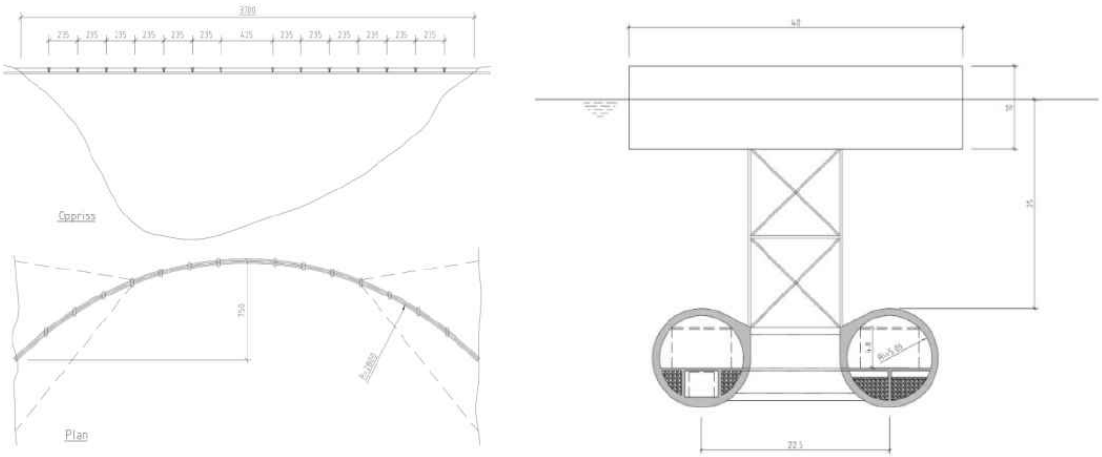
그림 2.126 부유식 SFT (좌) 듀얼 SFT (우) 단면 상세

- Bernt Jakobsen et al(2013)의 제안방법 - 노르웨이

  노르웨이의 Bernt Jakobsen et al(2013)는 피요르드 지역에 설치하기 위한 부유식 SFT를 제안하였다. 계류할 수 있는 방법으로 pontoon을 이용하였으며, pontoon과 본체간에는 트러스 구조를 이용하여 연결하였다. 기본적으로 2개의 메인 튜브를 제안하였으며, 대안형식으로 메인튜브의 중간에 추가적인 튜브를 설치하는 방안도 마련하였다. 또한 원형형식 뿐만 아니라 사각형 단면을 가진 형식도 제안을 하였다. 기본적으로 두 개의 메인 튜브의 사이는 22.5m 이며, 튜브의 외경은 11.9m, 벽두께는 0.9m이다.

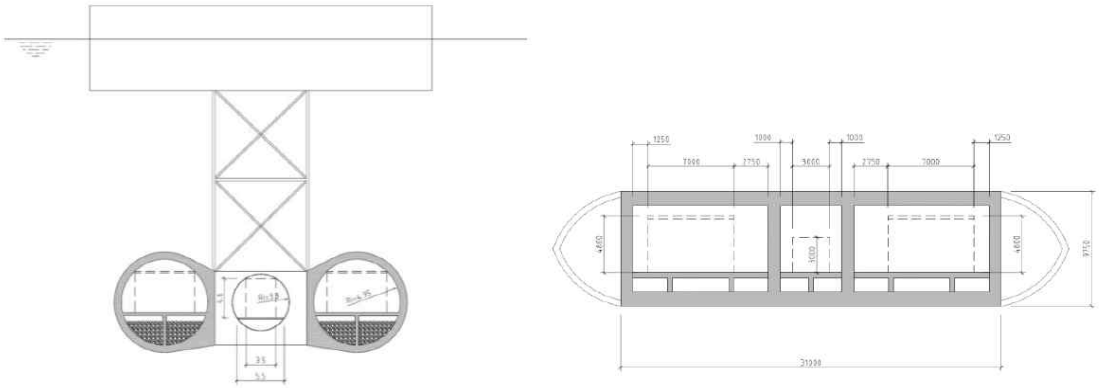


그림 2.127 부유식 SFT의 구성도 by Bernt Jakobsen et al(2013)



a. Plan and side view　　b. Cross-section

그림 2.128 1st proposed SFT with pontoons by Bernt Jakobsen et al(2013)



a. Walkway in separate tube　　b. Rectangular cross-section

그림 2.129 2nd proposed SFT with pontoons by Bernt Jakobsen et al(2013)

- Odd M. Eidsheim et al(2013)의 제안 방법 - 노르웨이
  Odd M. Eidsheim et al(2013)은 사각형 박스구조의 듀얼 SFT를 제안하였다. 본체 모듈들은 횡방향과 종방향으로 텐던을 이용하여 접합된다. 2개의 차량 운행 라인과 승객 혹은 자전거 등의 통행라인이 중간지점에 배치되어 있는 구조로 되어 있다. 운행통로 상하좌우에 발라스트 탱크를 설치함으로써 본체의 균형 유지가 수월할 수 있도록 배치하였다. 단면은 폭 30m, 높이 11.2m로 구성되어 있다.

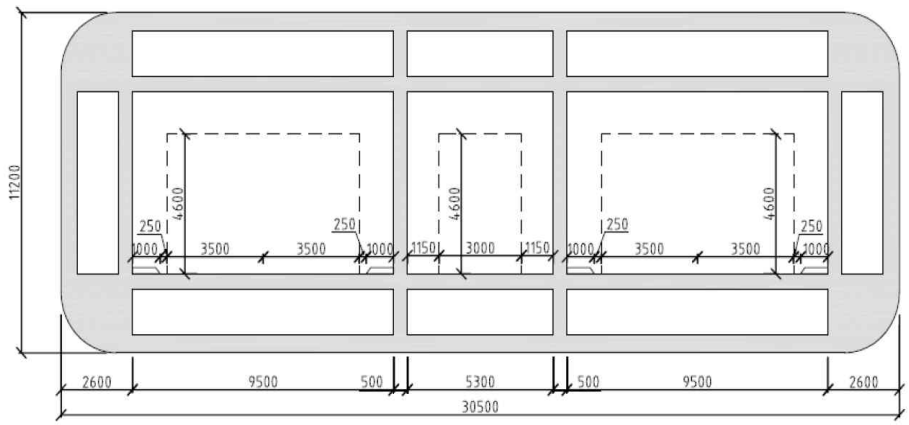


그림 2.130 사각 박스형 듀얼 SFT by Odd M. Eidsheim et al(2013)

- Anette Fjeld et al(2013)의 제안방법 - 노르웨이
  Anette Fjeld et al(2013)가 노르웨이의 Sogne 피요르드를 횡단할 수 있는 SFT를 위의 그림과 같이 제안하였다. 듀얼 SFT로 구성이 되며, 2개의 메인 튜브는 트러스 구조 형태의 브레이스로 연결이 되어 있어 자중이 크지 않은 장점을 가지고 있다. 또한 튜브의 재료는 콘크리트 튜브이며 외경은 12.6m이고 벽 두께는 0.8m 이다. 메인 튜브는 2개의 내부 공간으로 나뉘어지게 되는데 상부

공간은 차량을 운행할 수 있는 공간이며, 이에 반해 하부 공간은 안정성향상을 위하여 water ballast나 콘크리트 ballast로 제안하였다.

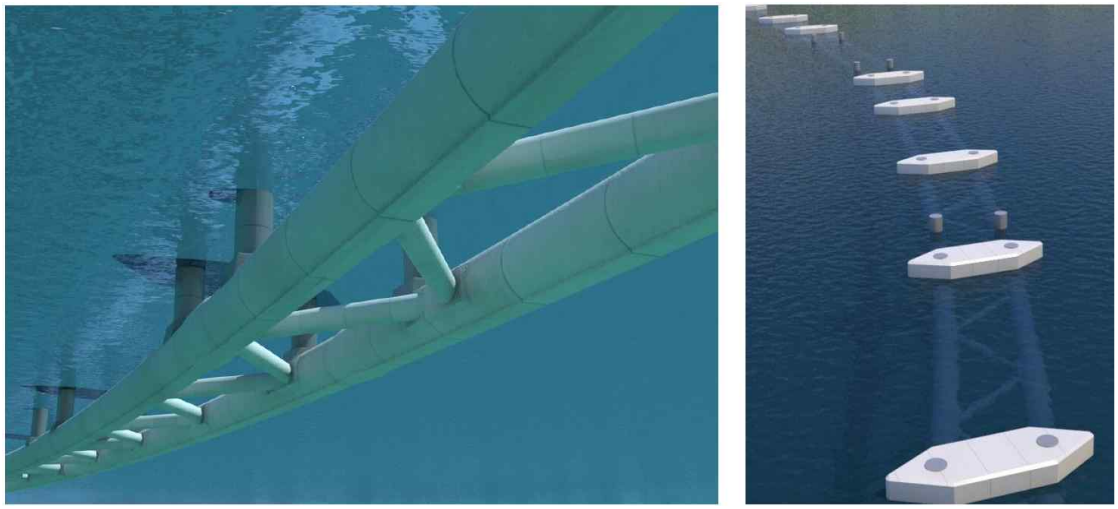


그림 2.131 Sognefjord SFT by Anette Fjeld et al(2013)

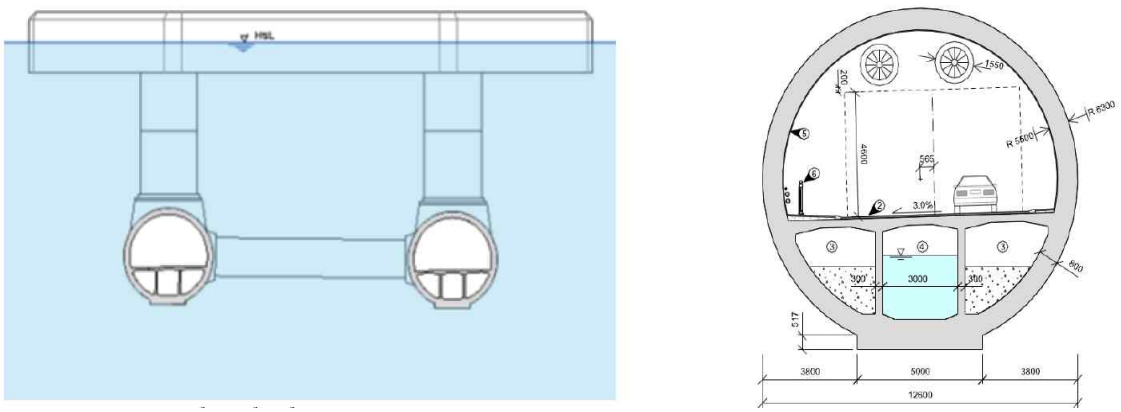


그림 2.132 cross section type of Sognefjord SFT by Anette Fjeld et al(2013)

○ 모듈간 접합부 설계기술

- Funka Bay SFT

  지수(止水) 구조는 함체를 접합할 때 이용하는 1차 지수 고무 개스킷과 그 내측에 지수강판을 용접하는 방법을 생각할 수 있다. 결합부 힘의 전달구조는 축방향 철근을 접속하고, 후(後)타설 콘크리트로 일체화하는 방법, 강재를 용접해 결합하는 방법이 있다

  연속 이음매는 함체의 유닛 간을 상호 일체화하고 강(鋼) 결합 구조로 하는 형식이다. 강 결합 구조에서, 이음매부의 강성 및 내력을 함체 본부와 동일하

게 하는 것이 완전 강결(鋼結)구조, 결합부의 단면이 함체 본부보다 작은 것은 반강결합(半鋼結合) 구조이다

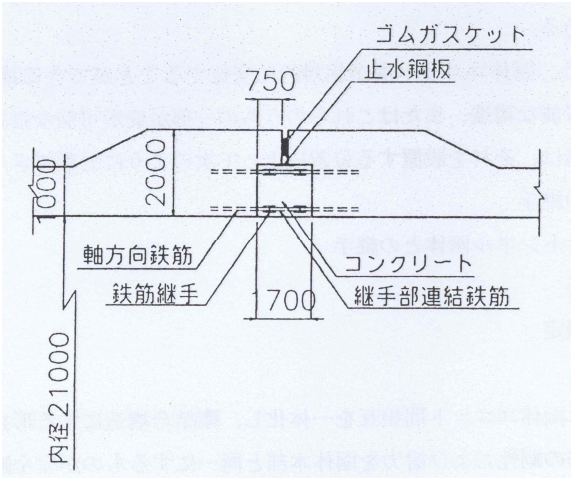


그림 2.133 속이음매 구조의 예

- Qiandao Lake SFT
  외측에는 차수를 하기 위하여 고무 가스켓을 이용하였으며, 내부에 설치된 튜브에 리브 플레이트를 설치하여 볼트 접합을 하는 구조를 제안하였다. 여기에서 콘크리트는 직접적으로 연결을 하지 않는다. 144개의 고장력 볼트가 사용되어지며, 직경은 30mm 이다.

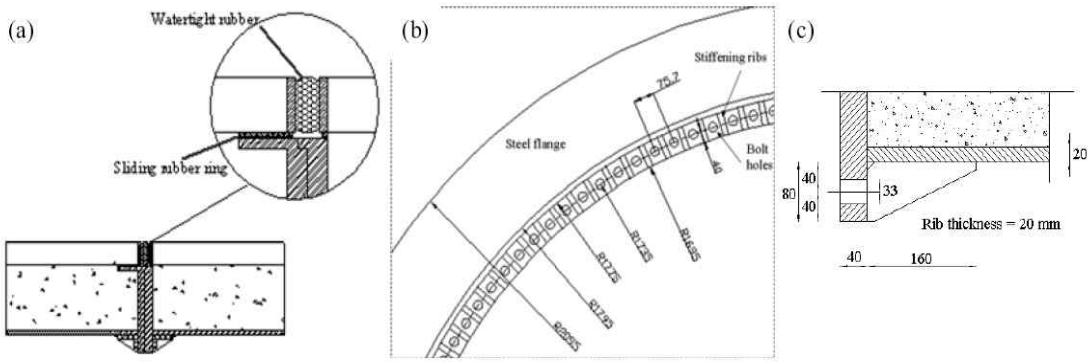


그림 2.134 부 모듈 접합부 상세

- Keqian Zhang et al(2010)의 제안 방법
  Keqian Zhang et al(2010)은 SFT의 단면 세그먼트를 접합하기 위한 접합방법을 위의 그림과 같이 rigid joint 방법과 flexible 방법을 각각 제안하였다. 두 가지 방법은 모두 외부에서 유입되는 해수를 막기 위하여 강재 판과 개스킷을 이용하였다. 그리고 콘크리트의 본체 접합을 위하여 철근과 콘크리트를 이

용하여 접합하는 방법과 전단키를 이용하여 접합하는 구조를 제안하였다.

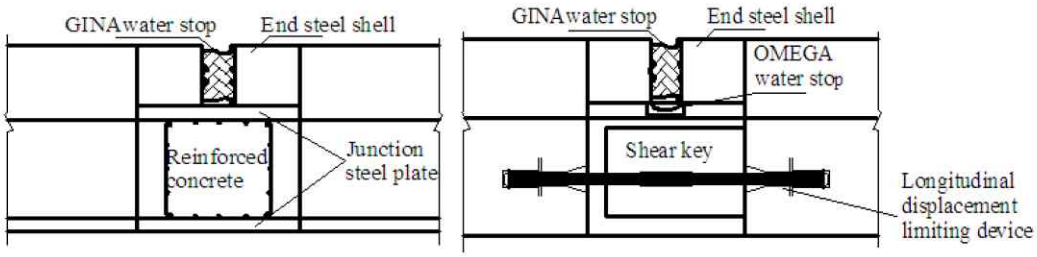


그림 2.135 (a) Rigid joint design, (b) flexible joint design

○ 텐션레그 접합부

- Funka Bay SFT

  레그의 상하단(上下端)에 설치되는 연결장치는 결합조건에 따라 핀 구조와 강구조가 있다. 연결장치는 필요한 내력을 가지는 한편, 변위에 대한 추수성(追隨性)·지수성 등 필요한 기능을 갖고 있어야 한다. 또한, 시공성과 유지보수도 고려한 구조로 할 필요가 있다. 핀 결합에서는 탄성중합체(elastomer)를 사용한 플랙스 조인트(flex joint)와 베어링, 유니버설 조인트, 구면(球面) 슬립 베어링 타입인 기계식 조인트가 있으며 큰 변형에도 추수할 수 있는 구조이다. 텐션 레그가 케이블일 때에는 소켓 등으로 정착된다.

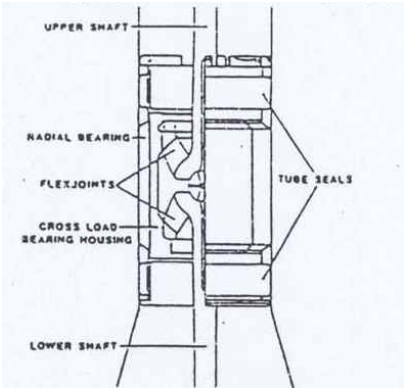


그림 2.136 HUTTON TLP (CONOCO)

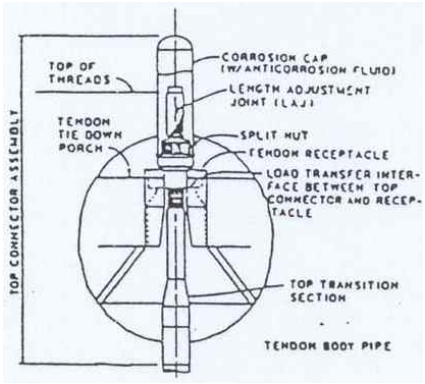


그림 2.137 JOLLIET TLP (CONOCO)

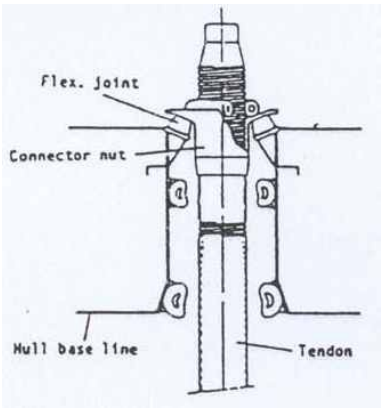


그림 2.138 GVA15,000TLP

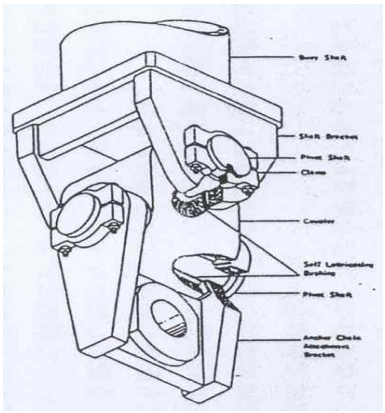


그림 2.139 BERGA SALM (ESSON)

- Qiandao Lake SFT

  SFT와 텐션레그와 연결하기 위한 접합부 상세는 아래의 그림과 같다. 양단과 아래쪽에 3지점으로 연결된다. 후크형상으로 되어 힌지의 역할을 한다. 강재 후크는 내부강재튜브에 볼트로 고정되어 있으며, 외부 알루미늄과의 사이공간은 몰탈등을 채워서 완전 합성 구조로 한다.

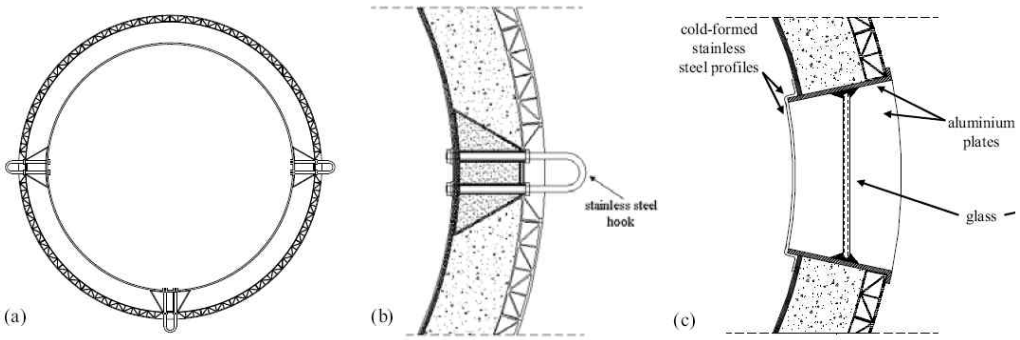


그림 2.140 (a) 앵커 장치 형상, (b) 앵커링 접합부 상세 형상, (c) 외부를 볼 수 있는 장치의 구성

- 해상 석유 산업 및 TLP에서의 Tethering system

  무어링 시스템의 목적은 허용 가능한 거동 범위 내에서 구조물을 보호하는 것이다. 수직 무어링 방법으로는 pontoon 방법과 케이블을 이용한 tethering 방법이 있다. pontoon방법은 수평 강성 제공이 거의 불가능하다. 또한 파랑하중, 선박 충돌, 빙하 등을 고려하여 설치방법을 고려하여야 하는 단점을 가지고 있다.

  해상 석유 산업 및 TLP의 기술에는 Tethering system을 제안하고 있는데 구

조를 구성하고 있는 주요 요소는 Top connector, Flexelement, Tether string, Bottom connector가 있다.

Top Connector : String의 상부 나사로 결합되는 부분으로 그림 (b)를 나타낸다. 텐션조정을 위해 길이 조정이 가능하며, 피로 등의 저항성을 높이기 위하여 단조 재료로 제작이 된다. 만약에 시공성이 확보된다면 Fixed length tether로 대체가 가능하다.

Flexelement : String의 Top과 Bottom에서 angular flexibility를 제공하며, 교량의 탄성 받침과 유사하다.

Tether string : Top과 Bottom 사이 부분으로 TLP에서는 pipe로 만들어 지며 로프, 체인, 카본, 아라미드 화이바로 대체가 가능하다.

Bottom connector : 그림 (c)와 같이 String과 기초 연결되는 부분으로 설치방법에 따라 수직 결합을 하거나 측면으로 삽입이 가능하다.

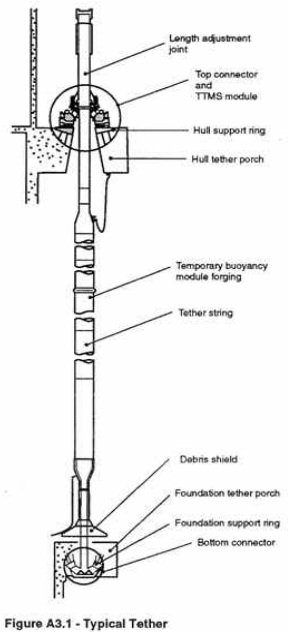
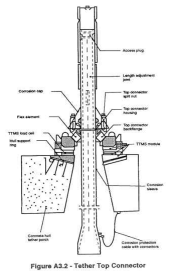
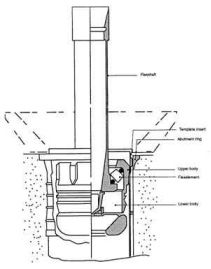


Figure A3.1 - Typical Tether

(a)


Figure A3.2 - Tether Top Connector

(b)


Figure A3.4 - Tether Bottom Connector

(c)

그림 2.141 (a) Tether system (b) Top connecter (c) Bottom connector

- Odd M. Eidsheim et al(2013)의 제안방법 - 노르웨이

Odd M. Eidsheim et al(2013)은 사각 박스 SFT를 고정할 수 있는 테더링 방법을 제안하였다. SFT의 Side에 그림과 같이 최소 4개의 스틸 강봉을 설치해야 하며, 강재 강봉의 직경은 ϕ711로 해야 한다. 강봉을 설치하는 것은 본체 이외의 콘크리트 및 강재의 보강을 통하여 텐션레그를 설치할 수 있도록 제안하였으며, 지반과의 연결은 중력 베이스 앵커리지를 이용하여 지반에 고정한다.

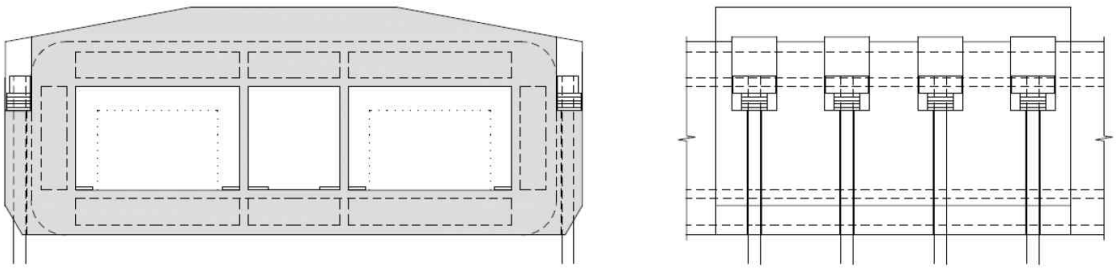


그림 2.142 텐션레그와 본체의 연결 방법

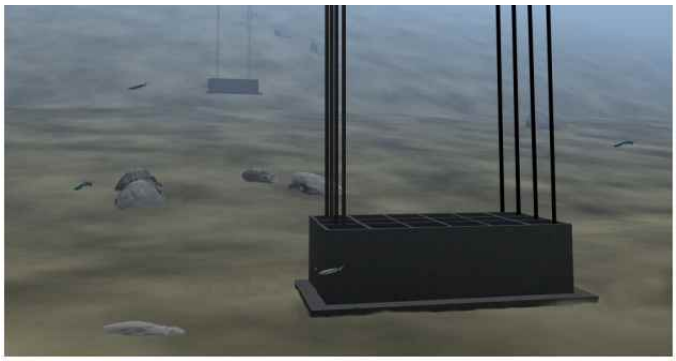


그림 2.143 중력베이스 앵커리지

○ 기초와 지반 해석 및 설계기술

- 대형 부유식 구조물의 중요 설계요소 가운데 하나가 계류선의 앵커링과 이와 관련된 기초부의 해석과 설계이다. 석유와 가스 플랜트를 위한 대형 부유식 해양 플랫폼에서는 석션케이슨, 평판앵커, 스퍼드캔, 중력기초, 인장 파일 등의 다양한 기초형식이 적용되고 있으며 해중터널 구조물에서도 이와 같은 기초형식을 활용할 수 있다.
- 중국 Qiandao 호수의 해중터널에서는 인장 파일이 고려되었다. 바닥이 암반구조로 석션케이슨, 평판 앵커, 스퍼드캔 등의 사용을 불가능하고 중력기초는 비용면에서 적합하지 않아 터널 천공 후에 콘크리트 파일을 인입시킨 후에 그라우팅하는 공법이 적용되었다. 이러한 인장 파일의 인장한계를 수치해석을 이용하여 계산하였다. 수직하중은 축대칭 FEM법으로, 경사하중은 3-D FEM법을 통해 계산하였다. 안전성을 계산하기 위해서는 그룹파일 효과와 반복하중의 영향이 고려될 필요가 있다고 언급하였다.
- 노르웨이 Sogne 피요르 지반은 연약지반이라 석션앵커나 석션케이슨의 적용이 고려되었다. 이러한 형태의 케이슨은 노르웨이의 북해 유전 개발에 많이 사용된 것으로 그 기술 적인 안정성은 이미 많은 검토가 되어있는 상태이다. 석션앵커는 지반 속으로 18 m 관입되고, 앵커의 외경은 6 m이다. 앵커시스

템이 유일한 횡방향 강성이고 폰툰의 흘수는 175 m이고 최대 틸팅각도는 0.96도이다.

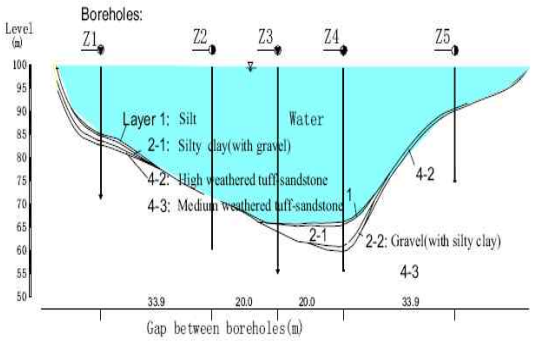


그림 2.144 Qiandao 지반조사 결과

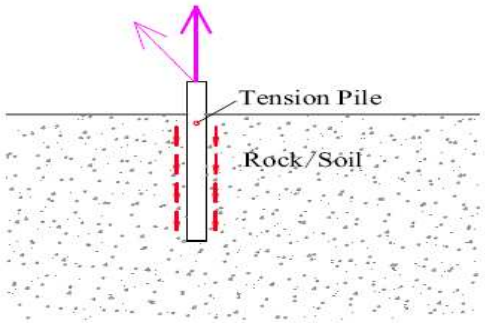


그림 2.145 Qiandao의 인장파일 개념도

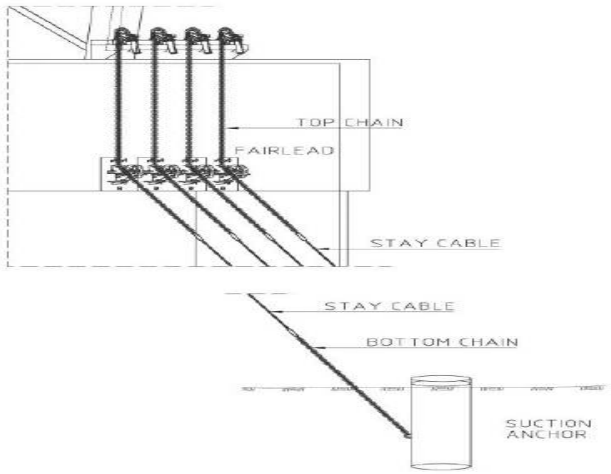


그림 2.146 Sogne 피요르의 전체 앵커링 시스템



그림 2.147 Sogne 피요르 폰툰 기초

○ 환기탑 및 정차역 설계 기술

- 터널의 환기시설 및 환기탑은 환기기능 뿐만아니라 방재시설로서의 기능성에도 큰 주안점을 두어 설계가 이루어져야한다. 환기탑은 중력식, 말뚝식, 텐션레그식, 쟈켓식 등으로 그 구조형식이 나뉠 수 있으며, 기능성, 안전성, 시공성, 경제성을 고려하여 각 지역조건에 맞게 선정되어야 한다.
- 일본은 홋가이도의 Funka만을 연결하는 해중터널에 대한 연구를 진행하면서, 5 - 8 km 마다 말뚝식 환기탑을 건설하는 계획을 검토하였다. 이를 위해 환기기능 뿐만아니라, 용수의 배수기능, 비상시의 피난로와 점검시의 접근 통로, 기념비적인 건축물로서의 경관성 등을 고려하여 상부 지름 70 m, 하부지름

115 m의 원형구조물을 고려하였다.

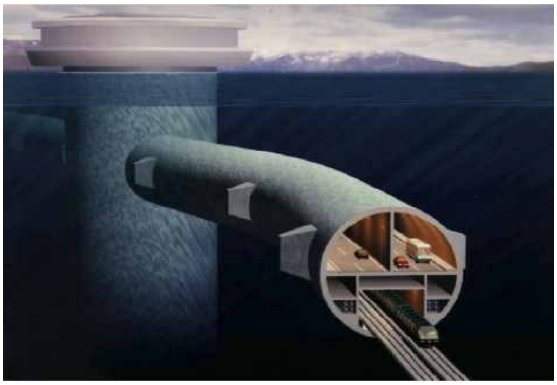


그림 2.148 Funka bay 해중터널 환기탑

○ 궤도 시스템 설계 기술

- 탈선과 관련된 177건의 논문 중 80% 이상이 미국과 유럽에서 발표된 것이고 해중철도 탈선 방지 기술개발을 위한 전체적인 논문 동향을 살펴보면 2008년 이후 관련 논문이 증가하여 2009년 이후 매년 10 이상이 논문이 꾸준히 발표되고 있다. 중국의 논문 발표가 주목되고 일본에서도 철도운영의 경험에 기초한 논문이 발표되고 있다.
- 일본은 한국의 2 배에 가까운 231건의 탈선관련 특허를 보유하고 있으며 고속열차의 개발에 따른 탈선안전관련 장치로 조사된다. 협궤조건에서도 운영하는 일본 철도는 전체를 표준궤로만으로 운영하는 국가보다는 탈선에 대한 대비가 더 많이 요구되었을 것으로 판단된다. 서부 개척시대부터 철도를 주요 교통수단으로 사용하고 현재에는 화물운송에 그 목적을 두고 있는 미국 철도의 경우 세계적으로 가장 많은 653개의 탈선관련 특허기술을 보유하고 있다. 중국과 유럽은 각각 76개의 탈선관련 특허를 보유하고 있으며 세계철도시장의 주목을 받으며 기술발전을 선도하는 지역이기도 하다.
- 일본에서 제안된 탈선 방지기술의 일부를 살펴보면 다음과 같다.
- 지진 등의 때 철도 차량이 전도되는 것을 방지할 수 있는 철도 차량의 미끄럼 방지 구조. 레일 6,6의 양 옆에 차량 전도 방지용 측벽 10,11을 설치. 차량 전도 방지용 측벽 10,11은 건축 한계의 외부 500mm이내에 위치하고 철도 차량 7의 측면에 마주하여 레일 6,6에 따라 연장됨. 철도 차량 7이 지진 등에 의해 탈선해 기울어진 경우, 철도 차량이 차량 전도 방지용 측벽 10,11에 충돌 하고, 이 차량 전도 방지용 측벽 10,11에 의해 지지되고 그 이상의 전도가 저지됨

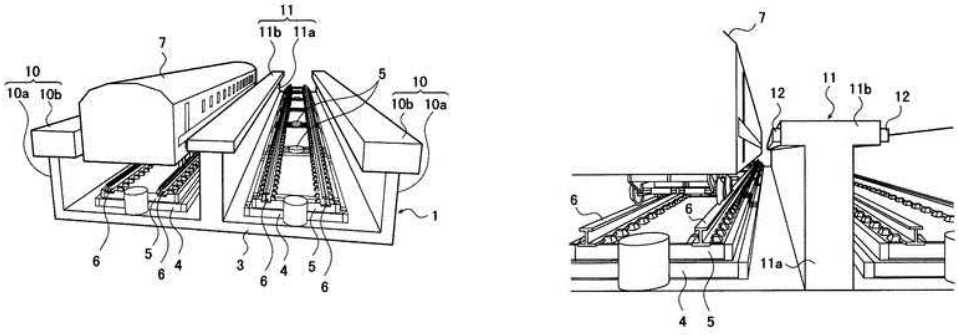


그림 2.149 철도차량의 전도방지 구조

- 좌우 한 쌍의 본선 레일이 부설된 궤도의 안쪽 공간에 좌우 한 쌍으로 내부 주행로가 근접 배치되는 동시에 상기 궤도의 두 외부 영역에 좌우 한 쌍으로 외부 주행로가 근접 배치되어 탈선 주행하는 열차 바퀴를 유도해 주행시키는 탈선 시 주행 기구. 지진 등에 의하여 열차가 탈선 할 때 주행하는 열차의 바퀴를 유도 제어하고 기차 이탈 주행이나 전복 등을 해결 함과 동시에 궤도에 배치 된 레일 체결 장치 나 레일 베어링 등의 궤도 부품의 손상을 방지

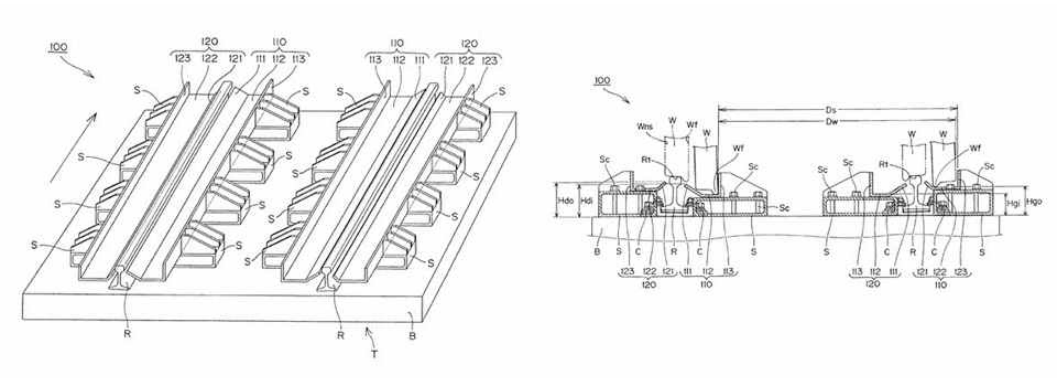


그림 2.150 탈선시 주행장치

- 철도 교량의 경사 부재 또는 세로재의 상부에 주행 방향으로 이어진 레일을 배치하여 강풍에 의하여 교량의 열차 전복 방지 장치. 강풍으로 인한 교량의 열차 전복 방지 장치에서 철도 차량의 상부 6에 대응한 교량 1의 경사 부재 또는 세로부재 2의 상부에 주행 방향으로 이어진 열차 전복 방지용 레일 3을 배포하고 강풍시의 열차 전복을 방지

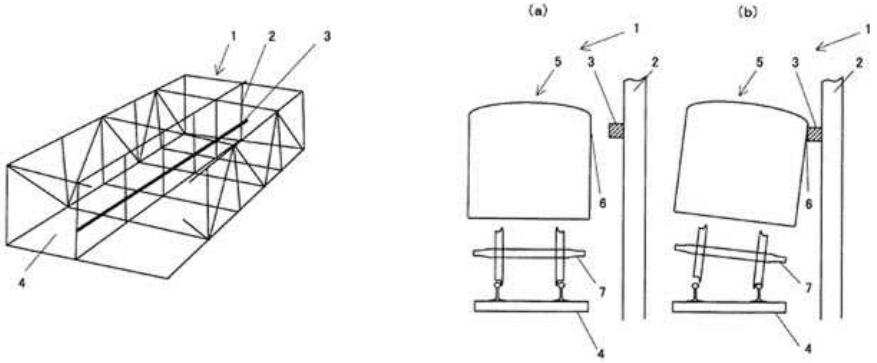


그림 2.151 강풍에 의한 교량의 열차전복 방지장치

라. 해중 고속철도 시공 기술

(1) 구조체 시공 기술

(가) 국내 기술

- 해중고속철도에 대한 국내 연구는 거의 전무한 상태. 직접적으로 관련된 과제가 수행된 실적이 없으며 활용가능한 일부기술에 대한 연구는 진행되었다.
- 2011년부터 한국해양연구원에서 '수중터널 실용화를 위한 원천기술'에 대한 연구를 시작하였으며, 2012년 한국철도기술연구원에서는 "해중철도 시스템 핵심기술 기초연구" 가 수행되었다.
- 다만 국내의 경우 2010년 국내 최초로 부산-거제 간 연결도로 선박의 진출입 장애요소 제거 및 군사적 이유로 교량의 건설이 불가능하여 침매터널이 적용되었으며 관련 해중고속철도와 연계된 기술을 정리하면 다음과 같다.
- 침매함체의 종류에는 강각구조와 콘크리트박스구조가 있으며 콘크리트를 이용할 경우 사각형 단면을 구성할 수 있기 때문에 수평 수직 방향의 건축한계만을 확보하여 콘크리트 단면을 최적화함으로써 재료 및 가격경쟁력을 높일 수 있으므로 부산-거제간 침매터널에는 콘크리트박스 구조가 적용됨. 침매터널 제원은 길이 180m, 폭 26.5m, 높이 9.97m의 함체 18개로 구성되며 각 함체는 종방향 길이 22.5m의 세그먼트 8개로 구성.

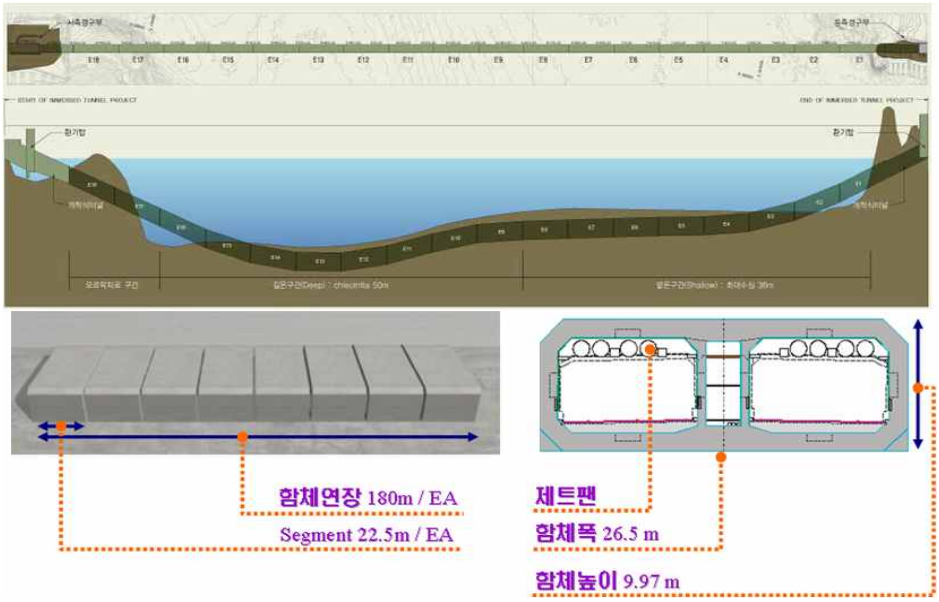


그림 2.152 부산-거제 침매터널 함체구성 및 함체단면

○ 해중철도터널 및 침매터널의 가장 두드러진 특징 중 하나는 미리 제작된 침매함을 연결하기 위해 필요한 연결조인트이며 조인트에 문제가 발생되면 해수 유입이라는 심각한 결과를 초래하므로 조인트는 침매터널의 가장 중요한 포인트임. 본 침매터널에 적용된 조인트는 기 침설된 선행함체와 연결되는 부분의 접합을 위한 침설조인트와 각 함체를 구성하는 세그먼트 사이의 지수를 위한 세그먼트 조인트임.

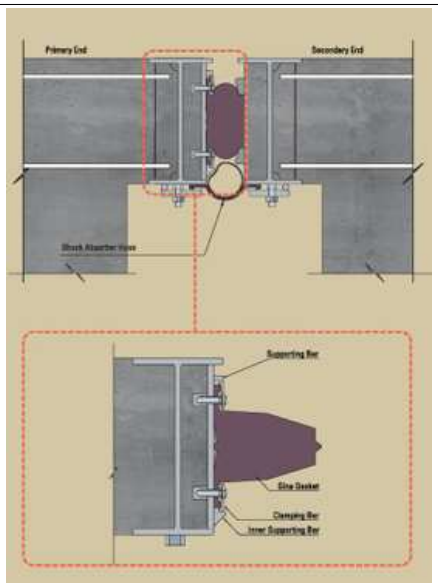
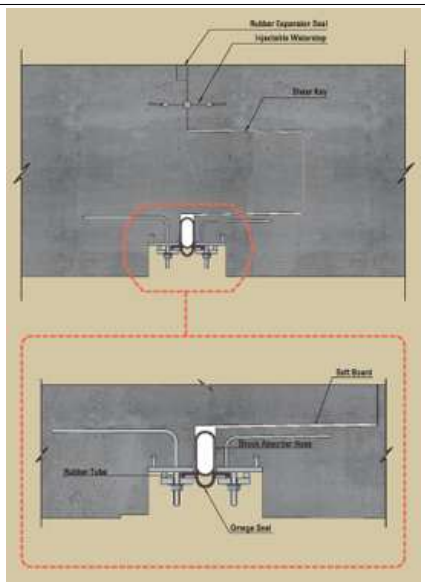
침설 조인트	세그먼트 조인트
	

그림 2.153 침매터널의 조인트

○ 해중고속철도 터널의 시공순서는 별도로 마련된 Dry dock에서 4개의 함체를 동시에 제작하고 Dry dock 내부에 물을 체워 함체를 부양시킨 후 예인선으로 임시계류장까지 예인함. 계류장에서 모든 의장작업이 완료되고 침설될 위치의 기초조성작업이 완료되면 특수 제작된 Pontoon과 예인선을 이용하여 함체를 침설위치까지 이동시킨 후 기설치된 앵커를 이용하여 Pontoon을 안정되게 고정시키고 Ballast tank의 수위를 조절하면서 함체를 침설시켜 선행함체에 접합.

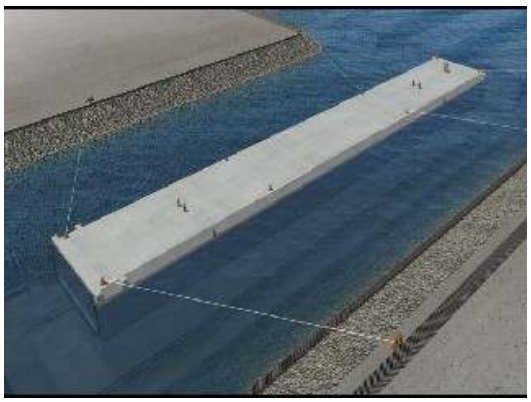
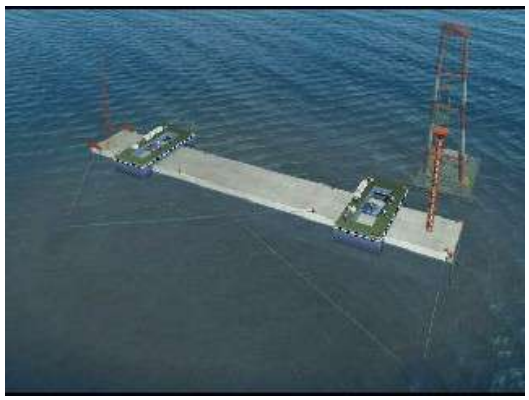
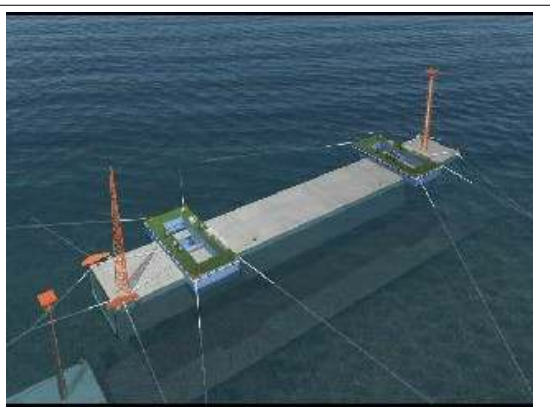
① 함체 제작	② 주수 및 반출 작업
	
③ 계류 및 의장 작업	④ 침설 및 접합 작업
	

그림 2.154 함체의 시공

○ 접합과정은 Pooling 시스템에 의한 1차접합과 수압에 의한 2차 접합으로 이루어지며 접합이 완료되면 후속공정인 되메우기 등을 수행.

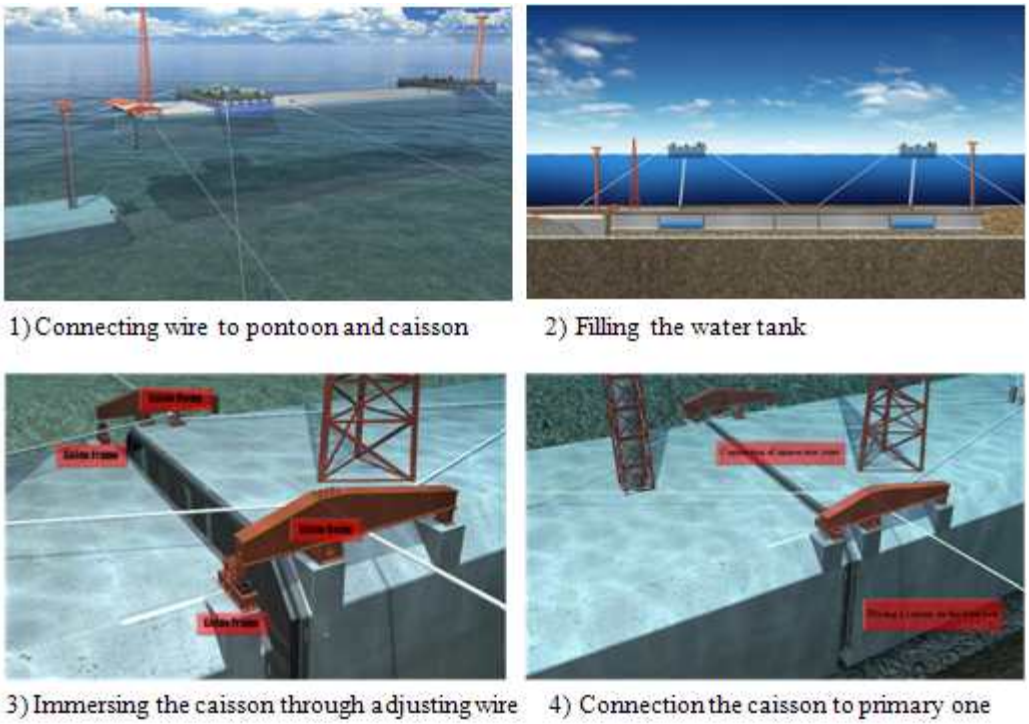


그림 2.155 함체의 접합

○ 기술적 이슈

- 침매터널의 경우 함체의 제작을 위해 별도의 제작장을 마련하여야 하며 침설 위치와 제작장까지의 거리가 멀 경우 공사기간이 길어질 수 있는 단점이 있음. 따라서 해상부유식 제작장이나 인공섬 조정을 통한 운반거리의 최소화 기술이 필요.
- 제작장에서 제작한 후 주수를 통해 부양시켜야 하므로 부양 시 함체와 제작장 접촉부에서 용이하게 탈락될 수 있도록 해야 하며 함체의 중량과 부양력을 명확히 산정해야 함.
- 함체의 운반, 침설등 침매터널 시공은 모두 해상에서 이루어지므로 기상의 영향을 많이 받게 되기 때문에 정확한 기상예측시스템 필요.
- 침매터널 설계 및 시공에서 가장 중요한 요인은 해수의 침입방지(Watertightness)임. 해수의 침입요인으로는 콘크리트 함체의 균열, 부정확한 침설에 따른 함체가 시공오차, 조인트 지수재의 손상, 화재 등을 들 수 있음. 따라서 콘크리트 균열제어 기술, 정확한 침설기술 및 함체 접합 시 오차를 줄이기 위한 함체 레벨조정 기술, 고심도 대수압하에서 또는 화재 시 내구성을 확보할 수 있는 지수재의 개발, 내화성이 우수한 콘크리트의 개발 등이 필요함.

○ 국내 기술동향 및 전망

- 함체를 제작하기 위해서는 육지에 별도의 제작장을 마련해야하는데 침설위치와 제작장까지의 거리가 멀 경우 운반에 시간이 많이 소요되는 단점이 있음. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 침설위치 주변의 해상에서 혹은 인공섬을 조성 후 침매함체를 타설하는 기법이 필요.
- 해중고속철도 터널에서 가장 중요한 점은 해수의 침입을 방지하는 것이며 따라서 함체 제작 시 수화열 제어 및 균열 제어 기법 필요.
- 해수에서의 고내구성 내염콘크리트 배합기술 필요.
- 해상 혹은 인공섬 조성 후 침매함체 제작 사례는 없으며 관련 연구개발사례 없음.
- 국내의 경우 3면이 바다로 되어있기 때문에 해수조건에서의 건설공사가 많음. 따라서 고내구성 내염콘크리트에 대한 연구개발이 활발히 이루어졌으나 비용이 비싼 단점을 나타내고 있음. 수화열 및 균열제어기법에 대해서도 많은 연구가 진행 중이나 명확한 Solution을 제시하지는 못하고 있음.

(나) 국외 기술동향

○ 국제터널협회의 제안(ITA, Submerged Floating Tunnels - A Concept whose time arrived, Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 12, Number 2, 1997)에 따르면, 해양구조물의 설계와 시공은 서로 분리 될 수 없다. 시공과 관련하여 가능한 공법 및 적절한 시공 현장에 대해 고려하여야 한다. 해양 환경 및 토질 조건 등 특정 현장 조건은 적합한 구조물의 설계와 공법에 모두 영향을 줄 수 있다. 시공 단계의 구조 해석은 나중에 돌발적인 상황을 피하기 위해 초기에 수행되어야 한다. 추가 하중 조건을 최소화함으로서 추가 비용을 감소시켜야 한다. 이러한 수준의 복잡성을 갖는 프로젝트의 성공적인 완공은 경험과 가용 장비에 크게 좌우된다. 따라서 타당성 조사 단계에서 경험이 많은 시공자로부터의 조언이 필요하다. 두가지의 기본적인 시공 방법이 개발되었다.

- 요소별 시공 : 터널을 시공 도크에서 요소별로 제작한 후에 사전 조립식으로 설치된다. 지지 장치로 케이블이나 폰툰 혹은 고정 교각을 사용한다.
- 점진적 진수 : 터널은 단면별로 조립되어 연속적으로 진수된다. 반대편 피요르드에 이를 때까지 진수가 반복된다. 진수 중 사장교 방식으로 터널을 지지한다.
- 유의할 것은 이러한 방법들은 일반론적인 것으로 해당 현장에 맞추어 수정 보완되어야 한다.

○ 함체 제작

- 침매터널의 함체의 제작은 미국에서 주로 사용되는 원형강각방식과 유럽등지

에서 주로 사용되는 구형콘크리트 방식이 있음.

- 함체의 구조형식은 크게 PC, 합성구조 및 RC구조로 나눌 수 있으며 적용실적을 살펴보면 RC구조가 전체의 71%로 가장 많이 적용되었으며 다음으로는 합성구조가 22%를 차지하여 RC와 합성구조가 대부분 적용되었음.

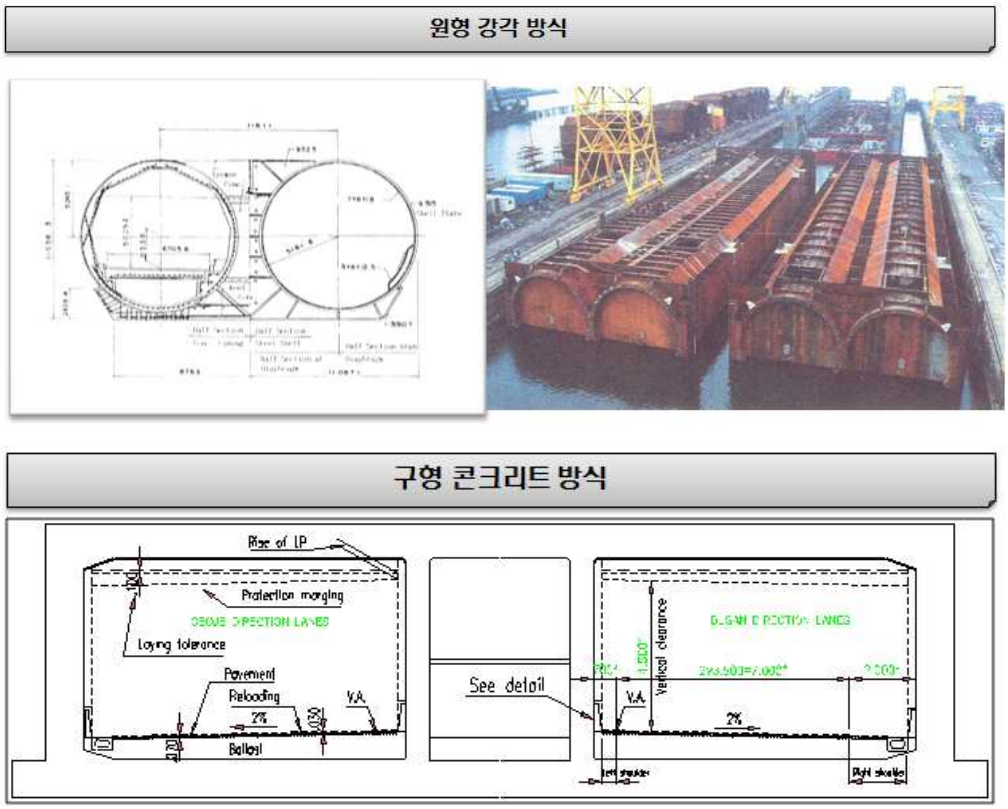


그림 2.156 침매터널 함체의 제작 방식

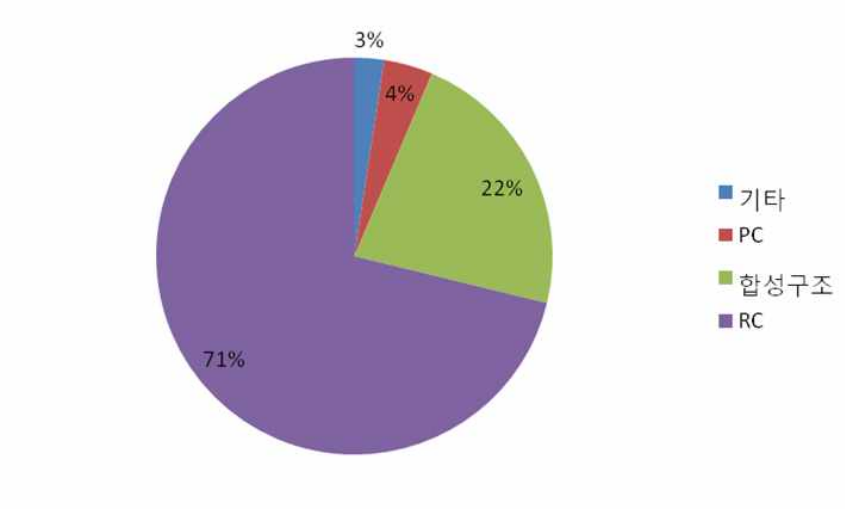


그림 2.157 콘크리트 함체의 제작 방식 비율

○ 함체 설치 기술

- 함체의 침설 및 접합은 SEP방식, Pontoon방식, Floating Crane방식이 있음.

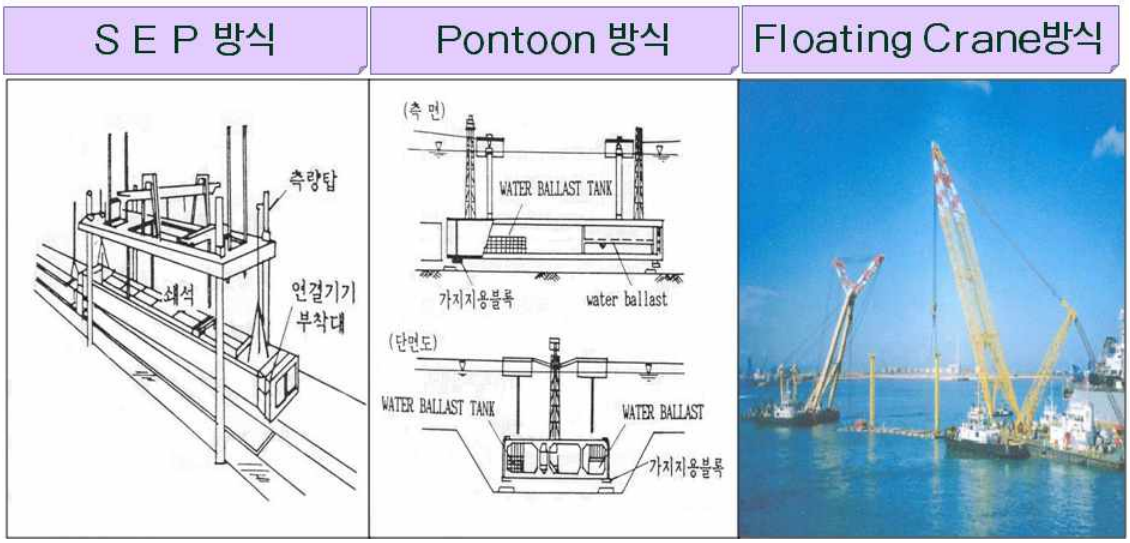


그림 2.158 함체의 시공 공법

- 각 침설방법의 적용실적을 살펴보면 프레싱바지선이 전체의 33%, 폰툰방식이 27%로 주로 프레싱바지선과 폰툰방식이 채택되었음.

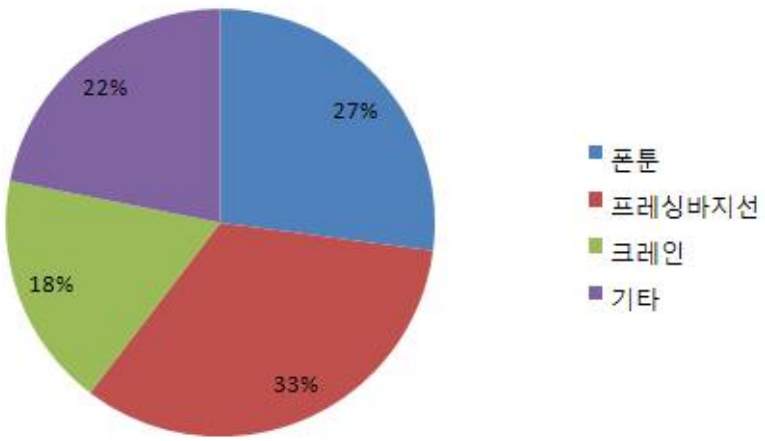


그림 2.159 침매터널 함체의 침설공법 비율

- 년도별로 보면 1960년~1980년에는 각 공법들이 골고루 적용되었으나 1980년

대 이후부터는 폰툰과 프레싱바지선이 사용되는 것을 알 수 있음.

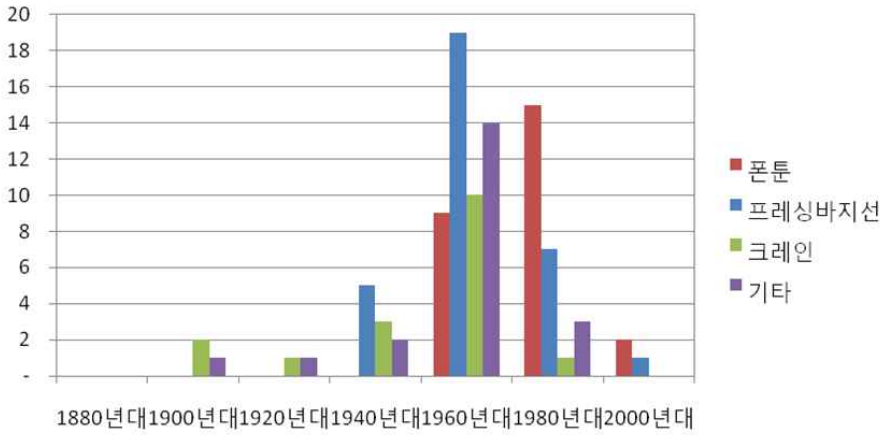


그림 2.160 침매터널 함체 침설공법의 년도별 변화

○ 이음부 시공기술

- 침설 후 함체를 기존에 설치된 함체와 접합하는 기술은 크게 침매함 끝단에 고무가스켓을 부착하여 수압으로 압착시키는 수압접합방식과 침매함 이음부에 거푸집을 설치하여 수중콘크리트를 타설하는 수중콘크리트 방식이 있음.

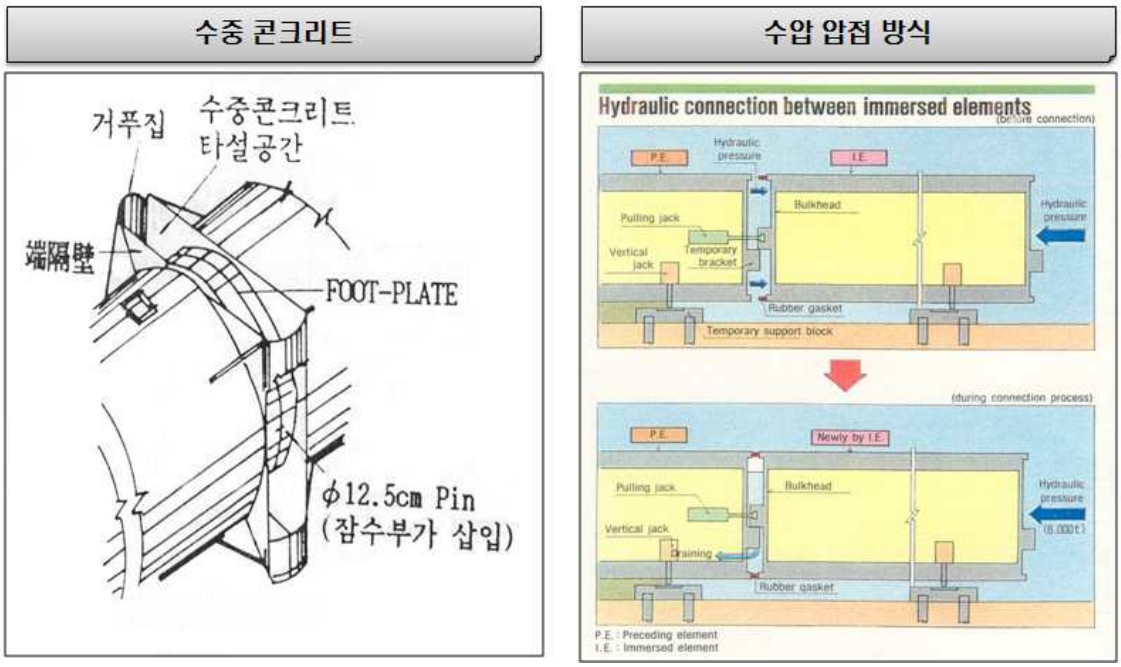


그림 2.161 침매터널 함체 접합기술

- 연결부의 연결방법은 강결합 후 수압접합을 하거나 수중콘크리트를 타설하는

방법과 가소성이음에 수압접합을 하는 방식 등이 있음. 이중 가소성이음에 수압접합을 하는 방식이 전체 적용실적의 39%를 차지하고 있으며 다음으로 강결합 후 수중콘트리트를 타설하는 방식이 전체의 28%를 차지하고 있음.

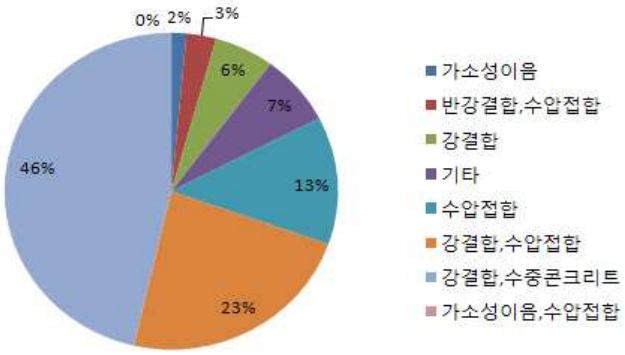


그림 2.162 침매터널 함체 접합공법의 비율

- 년도별로 보면 1960년~1979년 까지는 강결합 후 수중콘크리트 타설방식이 많이 채택되었으나 그 이후부터 현재까지는 가소성이음과 수압접합방식이 채택되고 있음.

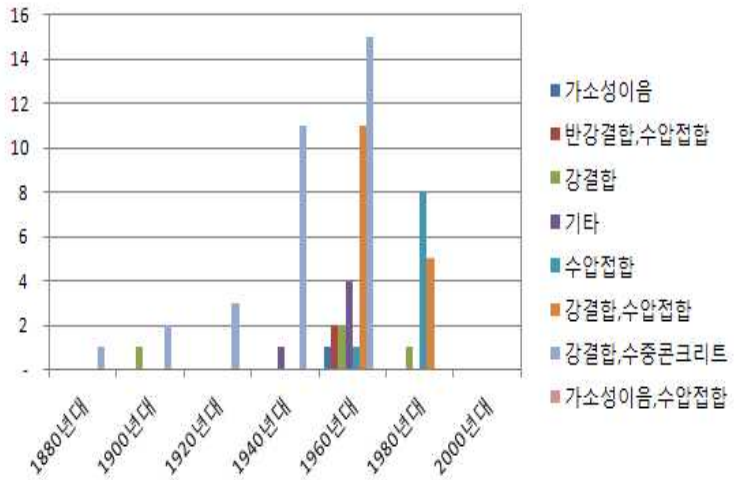


그림 2.163 년도별 침매터널 함체 접합공법의 변화

○ 공사 기간 : 공사 기간은 주로 다음과 같은 요소에 따른다

- 부품을 조립하기 위한 적절한 기존 시설의 가용여부
- 현장 조립을 위한 교대에서의 공간 및 접근로
- 제작 시 적절한 원자재의 공급
- 제작 및 설치 시 적절한 시설, 장비 및 인력 가용성

- 작업 기간 중 특히 설치 단계에서의 기후
- 최종 설치 시 발주자의 요구 조건

- Hogs 피요르드 및 Messina 해협 횡단 SFT 프로젝트에 관하여 언급되었듯이 공사 기간은 프로젝트별로 상이하다. Hogsfjord 횡단 SFT는 약 3년이 예상되며 이는 유사한 길이의 현수교 공사와 비슷하다. Messina 해협 횡단의 경우, 조선소나 해양플랜트 제작소에 있는 기존 시설들을 활용하는 조건을 기초로 한 2개의 연구결과에 따르면, 이태리에서 모든 부재를 사전 제작하는 데에 필요한 충분한 자재, 장비 및 인력이 가용한 것으로 확인되었다. 120개의 구성품을 시공하는데 약 7년 간에 걸쳐 1800명/년이 소요됨. 상응하는 템플릿, 파일, 고리 및 케이블을 시공하는데 약 7년에 걸쳐 1600명/년이 소요된다.

(2) 앵커 시공

○ 해중터널을 해저면 바닥에 고정시키기 위한 몇 가지의 앵커 방법이 있다. 중력식 앵커, 항타 파일 및 드릴 파일 등이다. 적절한 시스템의 선정은 현장의 지질에 따라 다르다. 케이블 지지 장치의 경우, 바닥에 앵커 지점이 필요하며 상당한 깊이가 되어야 한다. 앞서 언급하였듯이, 중력식 기초와 파일 기초, 두 가지 앵커 방법이 있다. 최근에는 석션앵커가 활용되고 있다.

○ 중력식 앵커 : 중력식 앵커 기초는 토양조건이 양호할 경우 사용된다. 중력식 앵커는 케이슨(콘크리트나 강재)의 형태를 띠며, 육상 도크나 플로팅 바지에서 조립되어 현장으로 이송된 후, 부유식 크레인을 이용하여 해저면으로 가라앉힌다. 필요한 무게를 얻기 위하여 밸러스트를 케이슨에 채운다.

○ 파일 기초 : 파일 기초 및 관련 삭도를 다양한 배열로 설치할 수 있다. 예를 들면, 삭도를 단일 파일 혹은 여러 개의 파일로 고정할 수 있다. 하나의 파일 군을 여러 개의 삭도에 사용할 수 있다. 후자의 경우 사전 조립된 파일 캡이 필요하며 이는 파일의 템플릿으로 작용 할 수 있다. 해양 산업에서의 기술 및 경험을 볼 때, 템플릿 및 파일 설치는 특별한 문제가 없을 것으로 예상된다.

○ 템플릿은 콘크리트나 강재로 제작될 수 있으며, 파일 슬리브 및 연결장치를 통해 인장 삭도와 연결된다. 인장 삭도의 교환을 위하여 추가적인 연결 포인트가 있어야 한다. 파일은 수상 선박에서 수중 파일 해머를 이용하여 항타한다. 이 기술은 수심이 수백 미터 되는 곳에서도 사용될 수 있다.

○ 템플릿 설치에 적용할 수 있는 허용 오차에 유의 하여야 한다. 이 허용 오차는 삭도의 조절 가능성 및 터널 배열의 허용 오차에 따라 좌우된다.



그림 2.164 파일 항타

○ 고정 지지 장치 : 고정 지지 장치를 기초로 사용하는 경우, 교각의 시공 방법은 해양 플랫폼 설치의 경우와 유사하다. 지지 장치의 높이가 50m에서 250m 범위일 경우, 지지 장치는 수심이 깊은 피요르드의 수면에서 조립될 수 있으며, 완료 후 교각은 수면까지 임시 연장 장치에 장착되어 정확한 위치에 설치될 수 있도록 돕는다.

○ 석션 앵커 : 석션 파일은 해저면과 밀착된 용기의 내부 해수를 제거하면 수압에 의해 해저면과 고착되어 충분한 외부하중을 견딜 수 있게 된다. 파일의 항타가 불필요하므로 수심이 깊은 해역에서 활용될 수 있다. 그림 와 같이 내부 해수만 제거하면 주위 수압과 표면의 마찰력 에 의해 충분한 파지력을 갖게 되어 시공이 간편한 장점이 있다. 그러나 해저면이 암반 상태이면 용기와 해저면의 밀착과 기밀유지가 곤란하므로 사용할 수 없는 단점이 있다.

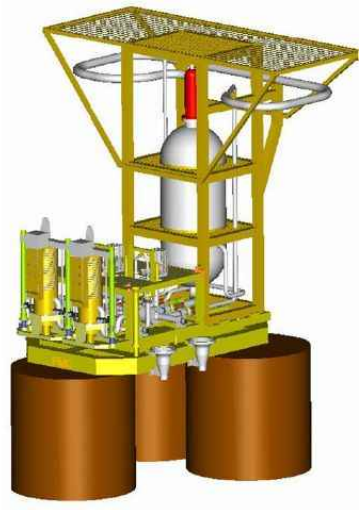


그림 2.165 석션 앵커 시공



그림 2.166 석션 앵커

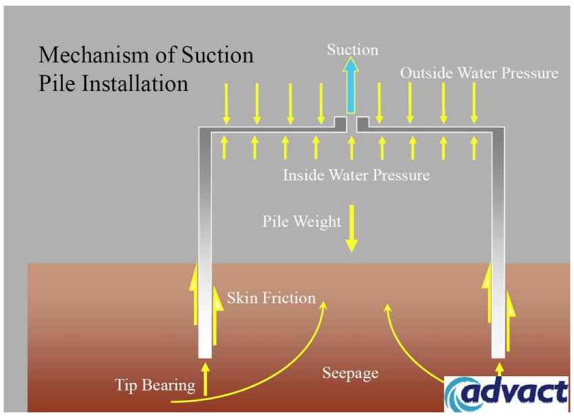


그림 2.167 석션 앵커의 원리

(3) 지원시설 시공기술

○ 기존 급전계통은 SCOTT결선변압기를 이용한 위상차 90° 의 단상 2회선을 방면별로 급전하며 급전거리 약 50㎞간격으로 전철변전소를 두고 전철변전소간에 급전구분소(SP)를 두어 변전소간 및 상간 이상 절연구분장치를 설치하여야하며 전철변전소와 급전구분소 사이의 사고구분 및 고장파급범위 축소를 위하여 보조급전구분소(SSP)를 두고 동상용 구분 장치를 설치하여 급전계통을 구성이 필요하다.

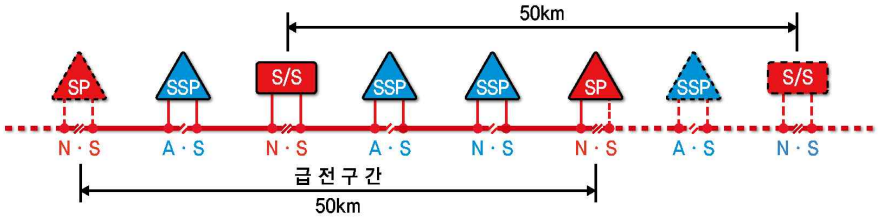
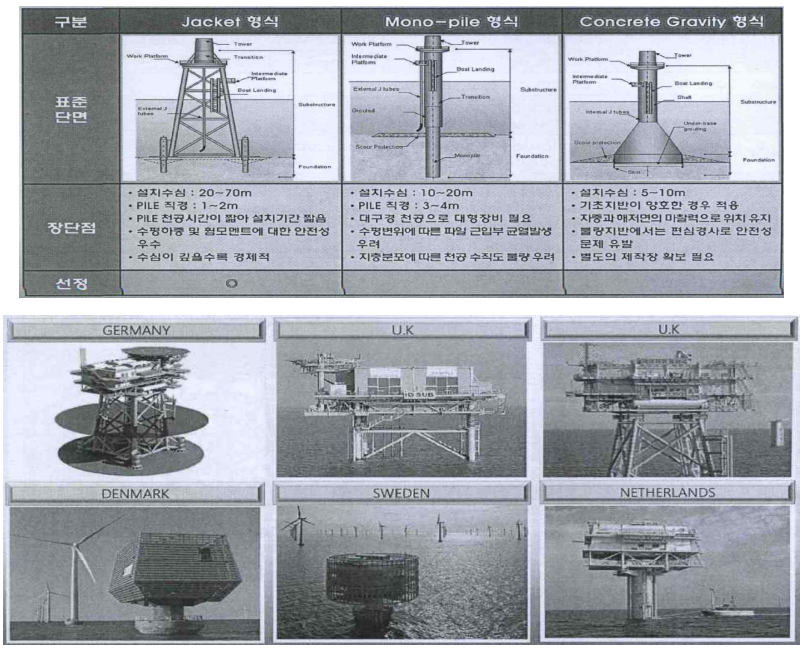


그림 2.168 기존방식 급전계통 구성도



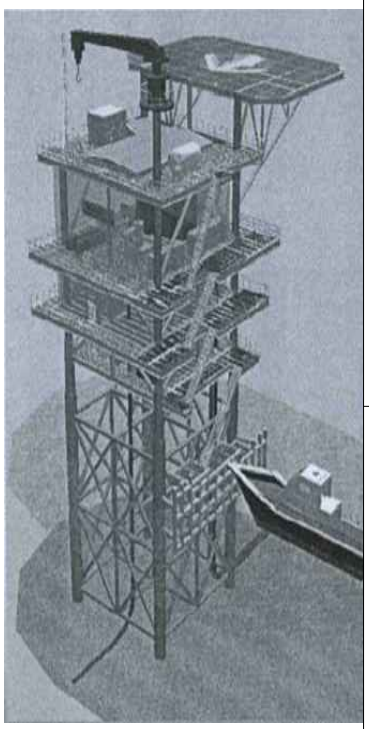
그림 2.169 해상변전소

○ 따라서, 해중철도의 경우 터널의 길이가 50㎞ 이상이 되어 해상에 전철변전소의 설치가 반드시 필요하다. 해상변전소 구조물 방식은 jacket 방식, Gravity Base 방식, Monopile 방식 등이 있다.



○ 또한 해상 변전소는 전기분야 뿐만 아니라 토목 건축 기계 분야의 설계 기술 필

요하며 그 구성은 다음과 같다.

<table>
<tr>
<td>토목 분야
구조물의 설치 위치 결정
구조물의 형태 및 규모결정
구조물의 모델링 및 해석
- 정역학적 해석
- 지진해석, 피로해석
- 설치해석, 해상운송해석
- 하역해석</td>
<td rowspan="2">  </td>
<td>전기/통신 분야
주변압기의 형식 및 용량 결정
GIS 차단기 규격
예비전원설비 (디젤발전기 등)
화재예방 설비
동력, 전등, 전열 설비
접지 및 낙뢰 보호 설비
전기 방식
원격제어 및 감시 설비
유/무선 통신설비, CCTV</td>
</tr>
<tr>
<td>건축 분야
유지보수 동선을 고려한 각 설비 및 거주구 배치
주 변압기실, 고/저압 배전반실, 축전지실, 발전기실, 제어실, 거주구
내/외장재 선정, 창문 배치</td>
<td>기계 분야
중량물 운반 설비
냉/난방 공조설비
위생설비
오/폐수 처리설비
담수화 설비(식수탱크)
디젤 저장 탱크
폐유 저장 탱크</td>
</tr>
</table>

(가) 컨버터 변전소 기술개발의 필요성

- ○ 교류 급전방식에서도 병렬급전을 할 수 있는 경우에는 철도 차량에 공급되는 전류를 분담할 수 있어 전차선로에서 발생되는 전력손실을 줄일 수 있으며, 전체 교류 급전계통을 연계하는 경우에는 부하 분담에 따른 변전소 간격 확대 및 회생에너지의 효율적 활용이 가능하다.
- ○ 기존의 스코트변압기의 경우 전원측 또는 부하측에 따라 위상을 제어할 수 없기 때문에 병렬운전이 불가능하며, 전원측의 위상이 다르므로 계통 연계도 불가능하다.
- ○ 따라서 전원측 또는 부하측의 전원 조건에 상관없이 전원의 위상각을 제어할 수 있는 능동형 전력공급장치에 대한 연구와 위상을 동기화 시켜 병렬운전 및 급전계통을 연계하기 위한 연구가 필요하다.

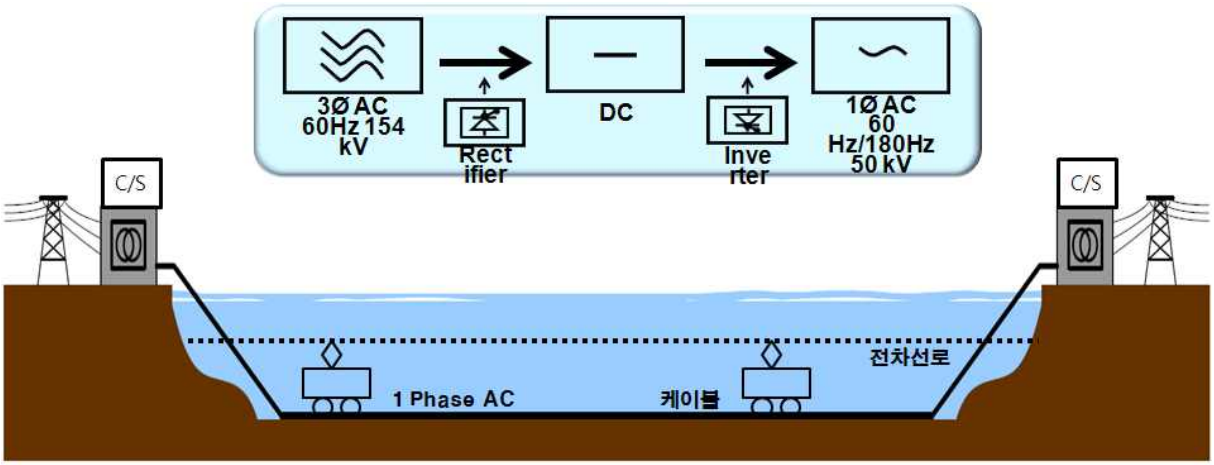


그림 2.170 컨버터변전소를 활용한 급전시스템

(나) 컨버터변전소의 개념

○ 철도 변전소는 3상의 송전교류전압을 수전하여 정류기를 통해 DC전압으로 변환시키고, 변환된 DC전압을 단상인버터를 사용하여 단상의 교류전압을 발생하는 기술.

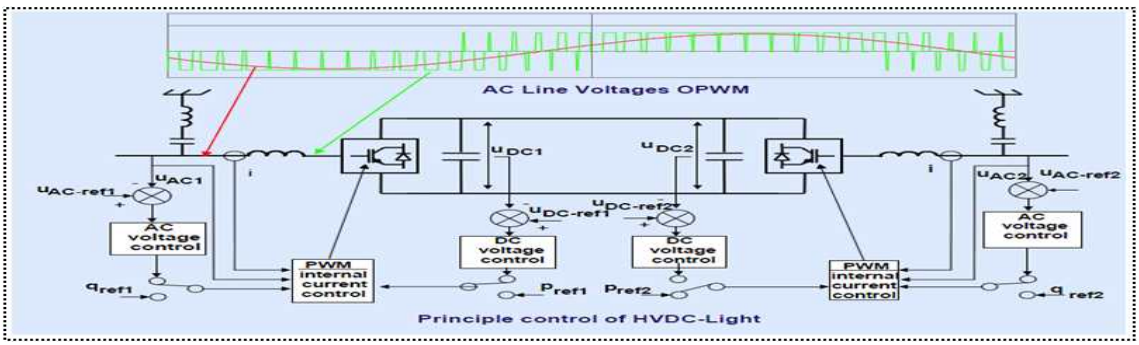


그림 2.171 컨버터 전철변전소 및 급전시스템 구조

○ 특징은 다음과 같다.
- 전력제어가 가능하기 때문에 전력품질보상장치가 필요없다.
- 사구간이 없기 때문에 전차선의 복잡한 절연구분장치가 필요 없다.

○ 급전시스템 세부 기능은 다음과 같다.
- 교류 변전방식은 일반 전력회사로부터 교류 3상 154kV를 수전
- 컨버터변압기는 교류 3상의 전기를 요구되는 컨버터 입력전압에 맞게 변환
- 컨버터는 교류 3상의 전기를 직류(DC)로 변환하며 스위칭밸브, 점호각 사용에 따른 고조파 및 무효전력 보상을 위한 필터 및 캐패시터 뱅크, 직류 전류를

평활하기 위한 평활 리액터 및 DC Filter로 구성되어 있음. PWM 방식의 컨버터 사용으로 스위칭 손실이 크고 대용량 적용에 부적합한 단점을 극복하기 위해 다중펄스 컨버터 사용

- 인버터는 변환된 직류 전압을 단상 AC로 변환
- 인버터 변압기는 변환된 단상 AC를 철도차량전력에 맞는 25kV 60Hz 로 변환
- 전력 계통 보호를 위한 차단장치
- 철도차량은 25kV 60Hz를 전차선을 통하여 차량에 공급
- 위상제어장치는 변전소간 쌍방향 통신을 통해(GPS 혹은 유선제어라인) 전력의 위상을 동기화 시키는 기능
- 전류(점선으로 표시)는 양측의 변전소에서 함께 공급함. 전류의 양은 각 선로의 임피던스에 의해 결정(전력송전용 전력손실 감소)
- 차량에서 제동시 발생되는 회생에너지는 다른 차량에 공급 가능

(다) 컨버터 변전소의 구성

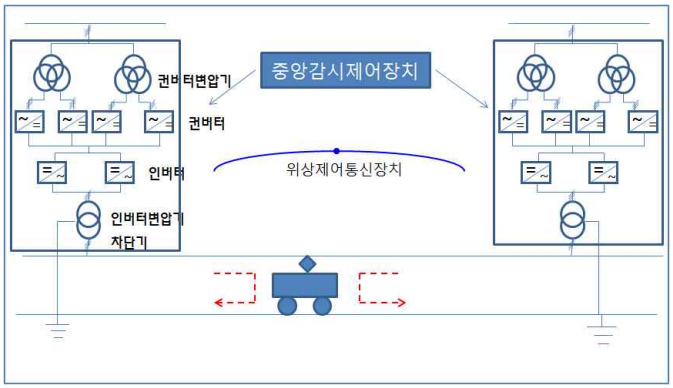


그림 2.172 급전시스템의 구조

설 비 별		기존 전철변전소	컨버터 전철변전소
전기방식		AC 154㎸/55㎸ /27.5㎸ 60㎐	AC 154㎸/55㎸ /27.5㎸ 60㎐
급전방식		AT급전방식 방면별 이상급전	AT급전방식 (전구간 동상)
급전계통구성	계통 설비 구성	송전선로 변전소(SCOTT 방식) 급전구분소 보조급전구분소 (병렬급전소)	송전선로 변전소(컨버터형 방식) 보조급전구분소 (병렬급전소)
	변전소 간격	약 50[㎞]	약 60[㎞]
변전설비 형식		옥내 GIS형	옥내 GIS형
배전선로 구성		별도 전력용 수전실 신설, 22.9[kV] 수전	별도 전력용 수전실 신설, 22.9[kV] 수전
변전소 기기구성	170[kV] 차단설비	GIS 1200[A] 50[㎄]	GIS 1200[A] 50[㎄]
	72.5[kV] 차단설비	GIS 1200[A] 20[㎄]	GIS 1200[A] 20[㎄]
	주변압기	SCOTT 결선 30/40[MVA]	3∅ Y-△ 결선 30/40[MVA]
	전력변환장치	-	3∅ 154㎸ 60㎐ / 1∅ 55㎸ 60㎐ 30/40MVA
	단권변압기	7,500[kVA]	7,500[kVA]

마. 방재안전 및 유지보수 기술

(1) 방재안전 기술

(가) 국내 기술

○ 국가연구개발사업을 통해 철도시스템의 종합안전기술을 개발하고 철도시스템의 안전프로그램을 구축하여 국가표준절차를 확립하였다. 표준절차의 기본이 되는 철도안전매뉴얼의 주요 내용은 다음의 표와 같다. Part 1은 철도안전관리 매뉴얼이고 Part 2는 철도 위험도 및 안전성 평가 매뉴얼이다.

[Part 1] 철도 안전관리 매뉴얼	**제1장 철도시설 안전관리 매뉴얼** 1.1 강우시 열차운전 규제 1.2 홍수시 열차교량통과 규제 1.3 측풍시 열차운전규제 1.4 설빙시 피해방지 및 열차운전규제 1.5 지진시 열차운전규제 1.6 혹서기 장대레일 장출시 열차운전규제

	제2장 철도차량 안전관리 매뉴얼
	2.1 차량-궤도 연계 안전관리 요구사항
	2.2 차량-신호 연계 안전관리 요구사항
	2.3 차량-전력 연계 안전관리 요구사항
	2.4 객차 안전 요구사항
	2.5 동력차 안전관리 요구사항
	2.6 화차 안전관리 요구사항
	2.7 완충차막이 안전관리 요구사항
	2.8 전두부 충격관통 방지장치 안전 요구사항
	2.9 철도차량 비상조명등 성능
	2.10 주행장치틀의 비파괴검사 기준
	2.11 차륜 비파괴검사 기준
	2.12 차축 비파괴검사 기준
	2.13 윤축용 베어링 안전요건
	2.14 현가장치 안전 요구사항
	2.15 철도차량커튼 화재 성능 요건
	2.16 윤축피로손상 평가유지보수 기준
	제3장 위험물수송 안전관리 매뉴얼
	3.1 총칙
	3.2 위험물의 분류
	3.3 위험물 목록, 특별조항 및 소량위험물 운송의 면제
	3.4 포장, 중형산적용기, 대형용기
	3.5 탁송
	3.6 운송, 적재, 하역, 취급
	제4장 소프트웨어 안전관리 매뉴얼
	4.1. 소프트웨어 안전관리 일반
	4.2. 소프트웨어 품질보증
	4.3. 소프트웨어 형상관리
	4.4. 소프트웨어 개발계획
	4.5. 소프트웨어 확인 및 검증계획
	4.6. 소프트웨어 위험도분석 및 안전무결성등급 설정
	4.7. 소프트웨어 요구사항
	4.8. 소프트웨어 요구사항의 확인 및 검증
	4.9. 소프트웨어 요구사항 안전성 분석
	4.10. 소프트웨어 안전계획 수립
	4.11. 소프트웨어 설계
	4.12. 소프트웨어 설계의 확인 및 검증
	4.13. 소프트웨어 설계 안전성 분석
	4.14. 소프트웨어 구현
	4.15. 소프트웨어 구현의 확인 및 검증
	4.16. 소프트웨어 구현 안전성 분석

	4.17. 소프트웨어 단위시험
	4.18. 소프트웨어 통합시험
	4.19. 소프트웨어-하드웨어 통합시험
	4.20. 시스템 시험
	4.21. 소프트웨어 시험의 확인 및 검증
	4.22. 소프트웨어 시험 안전성 분석
	4.23. 소프트웨어 유지보수
	4.24. 소프트웨어 유지보수 확인 및 검증
	제5장 인적요인 안전관리 매뉴얼
	5.1 인적오류 관리
	5.2 인적오류 분석 세부 절차
	5.3 인적행위 개선체계 구축 및 운용
	5.4 안전업무종사자의 직무관리
	5.5 인적요인 측면의 비상대응절차서 작성
	제6장 철도 교육훈련 매뉴얼
	6.1 교육훈련의 일반사항
	6.2 교육훈련 목표설정
	6.3 교육훈련 요구사항 정의
	6.4 안전업무 직무분석
	6.5 교육훈련 요구분석
	6.6 교육훈련 요구분석
	6.7 교육훈련 매체 선택
	6.8 교육훈련 계획
	6.9 교육훈련 실행
	6.10 교육훈련 성과 측정 및 평가
	제7장 철도운영자등의 안전관리 매뉴얼
	7.1 SMS 개요
	7.2 안전목표의 수립
	7.3 안전계획의 수립
	7.4 안전법령의 준수
	7.5 위험도 평가
	7.6 교육훈련
	7.7 비상대응
	7.8 안전감사
	7.9 협조
	제8장 비상대응 매뉴얼
	8.1 기본계획
	8.2 기능별 비상대응계획
	8.3 비상사태의 유형별 비상대응 계획
	8.4 비상대응 훈련계획
[Part 2]	**제9장 철도시스템 위험도 평가 매뉴얼**

철도 위험도 및 안전성 평가 매뉴얼	9.1 개요 9.2 위험요인 분석 9.3 위험도 산정 9.4 안전대책 수립
	제10장 철도시설의 화재안전성 평가 매뉴얼 10.1 철도터널 화재안전성 평가 10.2 철도터널 화재 피난 시뮬레이션 10.3 철도터널 축소모형 모의화재 실험 10.4 철도터널 현장 화재시험 10.5 장대터널 구난역 설계시 화재안전 요구조건 10.6 지하승강장 간이매점 설치에 따른 화재안전 요구조건 10.7 지하역사승강장의 스크린도어 설치에 따른 제/배연설비 요구조건 10.8 역사용 미분무수 소화시스템 성능평가 기준 10.9 철도터널 내화성능 평가 10.10 철도시설 배연설비 내열성능 시험
	제11장 철도차량 화재안전성 평가 매뉴얼 11.1 철도차량 화재위험도 평가 11.2 철도차량 화재시뮬레이션 11.3 철도차량 승객 피난 평가 11.4 철도차량 실물 화재시험
	제12장 철도차량의 충돌안전성 평가 매뉴얼 12.1. 국내철도차량 안전기준에 관한 지침 제 16조의 평가기준 및 방법 12.2. 철도차량 충돌해석 모델링절차
	제13장 열차제어시스템 안전성 평가 매뉴얼 13.1 열차제어시스템의 안전성 평가 13.2 열차제어시스템 안전성 활동 13.3 철도 소프트웨어 테스팅 기술 지침

○ 장용준(2011)등 (“대심도 역사의 화재위치에 따른 연기확산 영향 분석 “)은 대심도 역사에사 화재 위치에 따라 승강장에서 연기확산 영향을 분석하였다. 45m가 넘는 대심도 역사 승강장에서 10MW급 화재시 연기의 확산 분포를 시뮬레이션 기법을 이용하여 조사하였다. 기존의 RANS 방법이 아닌 화재 분석에 적합한 LES방법을 이용하여 확산 영역 및 분포를 조사하였으며, 일산화탄소(CO)의 확산에 따른 승객 대피 피난방법에 대한 고찰이 포함되었다.

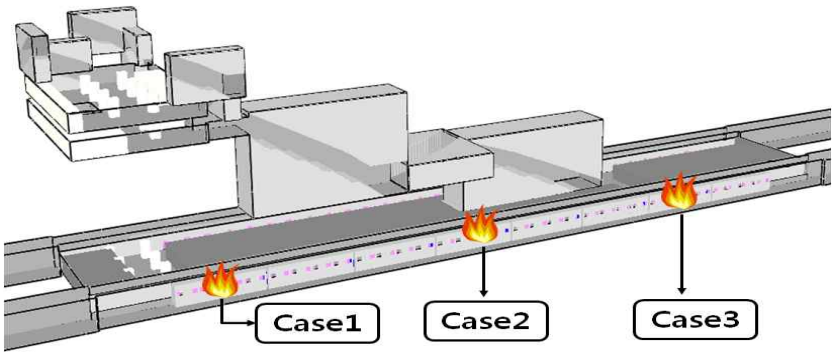


그림 2.173 FDS modeling of subway station (Fire Location)

○ 장용준 (2013) “대심도 역사 승강장 화재 시 승강장 환기 운전 모드에 대하 고찰 등은 대심도 역사에서 환기 운전 모드에 따른 화재 연기 제연 방법에 대하여 조사하였다. 기존의 승강장 화재시 급배기 모드의 효율성에 대하여 분석하였으며, 해중 터널 내부에서 화재시 제연 모드 방법에 대하여 힌트를 제공하고 있다.

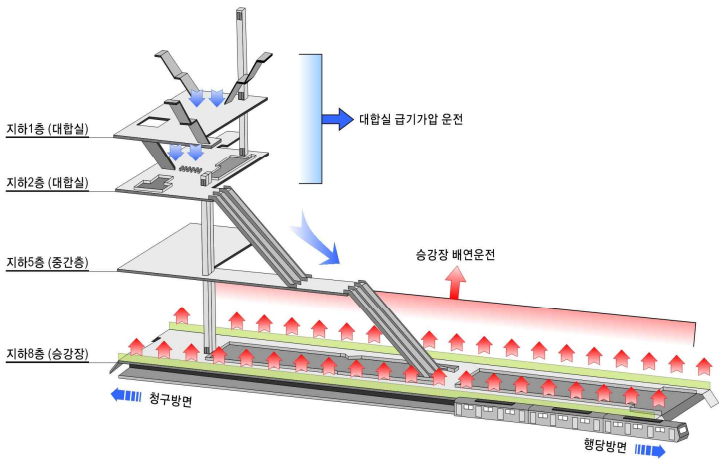


그림 2.174 대심도 승강장 화재시 제연 모드

○ “Fluent와 EXODUS를 이용한 승객피난 시뮬레이션 “, 한국철도학회논문집, 제11권, 제1호, pp.95-100 (2008) : 장용준 등은 대구 지하철 화재사고와 동일한 환경을 컴퓨터로 재현하고 화재 시뮬레이션을 수행하였을 때 대구 지하철 화재사고 당시 사망자 수와 시뮬레이션에 의한 사망자 수의 결과를 비교분석한 결과 시뮬레이션 결과의 유용성을 확인하였다.

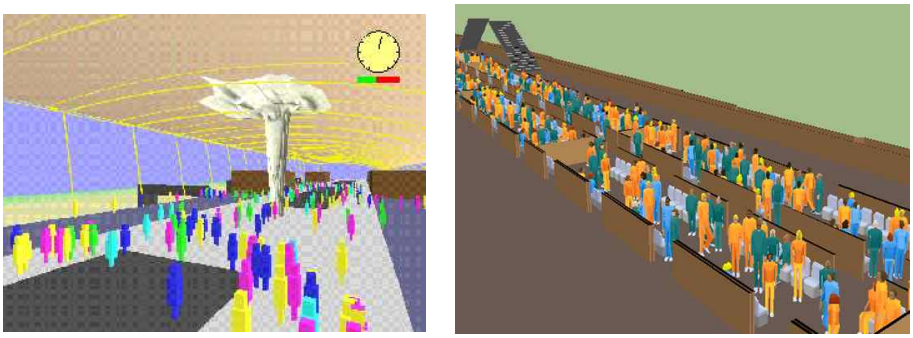


그림 2.175 지하철 화재 사고시 승객피난 시뮬레이션

○ 해중 고속철도 시스템과 직접적으로 관련된 방재 분야의 국내 논문은 아직 활발하게 연구되고 있지 않다. 기존 ‘철안사 (국토부: 2006-2011)’ 과제 통한 철도 터널 화재안전에 대한 연구 논문은 다수 존재하며, 해중 고속철도 시스템에도 기존의 연구를 응용하여 화재안전 분야에 충분히 적용할 수 있는 기술이라고 판단된다.

○ 국내 특허 동향

- “승객 대피경로 안내기능을 갖는 지하철 역사 및 터널 화재방재 시스템 “ , 한국, 2006 : 지하역사 및 터널에서 승객대피를 위한 안내 시스템
- “철도 차량용 물 분무식 화재 소화장치 “, 한국, 2005: 철도 차량에 장착되어 화재시 미세 물분무를 발사
- “시험용 열기류 발생기의 열량 측정장치” , 한국, 2008: 화재 모의 실험시 화재 강도를 정확히 계측하기 위한 장치
- “화재감지 및 배연 창 개방 장치가 있는 집중식 배연 덕트 시스템” , 한국, 2011: 지하 터널에서 집중식 배연 터널을 이용한 배연 효율 증대 시스템
- 국내에서 해중 철도터널 관련 특허는 전무하다. 그러나 기존에 ‘철안사 (국토부: 2006-2011)’ 과제를 통하여 개발된 철도 터널 및 차량 화재관련 특허가 다수 존재하며 해중 철도 터널에서도 동일한 목적으로 활용 될 수 있으리라 판단된다.

(나) 국외 기술

○ 철도시스템의 안전과 관련하여 유럽 EN규격(EN50126)이 적용되고 있다. 위험도 평가와 승인 과정이 확립되어 규격화 되었다. Hazardous Event의 발생빈도와 Hazard Severity Level을 통해 위험도 등급이 결정되고, 위험도 등급에 따라 위험도의 법주가 결정되어 저감 대책이 강구된다.

표 2.27 Frequency of occurrence of hazardous events

Category	Description
Frequent	Likely to occur frequently. The hazard will be continually experienced
Probable	Will occur several times. The hazard can be expected to occur often
Occasional	Likely to occur several times. The hazard can be expected to occur several times
Remote	Likely to occur sometime in the system life cycle. The hazard can reasonably expected to occur
Improbable	Unlikely to occur but possible. It can be assumed that the hazard may exceptionally occur.
Incredible	Extremely unlikely to occur. It can be assumed that the hazard may not occur.

표 2.28 Hazard Severlity Level

Severity Level	Consequence to Persons or Environment	Consequence to Service
Catastrophic	Fatalities and/or multiple severe injuries and/or major damage to the environment.	
Critical	Single fatality and/or severe injury and/or significant damage to the environment.	Loss of a major system
Marginal	Minor injury and/or significant threat to the environment	Severe system(s) damage
Insignificant	Possible minor injury	Minor system damage

표 2.29 Qualitative risk categories

Risk Category	Actions to be applied against each category
Intolerable	Shall be eliminated
Undesirable	Shall only be accepted when risk reduction is impracticable and with the agreement of the Railway Authority or the Safety Regulatory Authority, as appropriate
Tolerable	Acceptable with adequate control and with the agreement of the Railway Authority
Negligible	Acceptable with/without the agreement of the Railway Authority

표 2.30 Typical Example of Risk Evaluation and Acceptance

Frequency of occurrence of a hazardous event	Risk Levels			
Frequent	Undesirable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Probable	Tolerable	Undesirable	Intolerable	Intolerable
Occasional	Tolerable	Undesirable	Undesirable	Intolerable
Remote	Negligible	Tolerable	Undesirable	Undesirable
Improbable	Negligible	Negligible	Tolerable	Tolerable
Incredible	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
	Insignificant	Marginal	Critical	Catastrophic
	Severity Levels of Hazard Consequence			

Risk Evaluation	Risk reduction/control
	Shall be eliminated
Undesirable	Shall only be accepted when risk reduction is impracticable and with the agreement of the Railway Authority
Tolerable	Acceptable with adequate control and the agreement of the Railway Authority
Negligible	Acceptable without any agreement

○ Xiang 등은 해중터널의 조속한 건설 결정을 위해 위험 요인(risk factor)과 위험 인자(risk index)에 대한 광범위한 연구를 수행하였으며 위험을 감소시키기 위한 전략을 제시하였다. 해중터널의 위험을 관리하는 절차는 다음 그림과 같고, 각 단계마다 수행할 과업은 표와 같다. 위험도 분석을 수행하는 절차도 제안하였다.(Yiqiang Xiang, Chengxi Liu, Keqian Zhang, Qiangqiang Wu, Risk analysis and management of submerged floating tunnel and its application, Procedia Engineering, 2010)

표 2.31 위험도 관리의 주요 내용

Construction division	Contents of risk management
Planning stage	Risk analysis of planning scheme Risk Source identification of important event Investment and financing risk analysis

Feasibility study stage	Classification standard and strategy of risk management Risk identification and assessment of feasibility study
Design stage(including detailed survey, environment investigation, preliminary design and construction documents design).	Risk identification and assessment of design project Risk identification and assessment of construction method Special risk control for important event risk source
Construction tender stage	Risk management guidelines for bid inviting document Risk management guidelines for bid submitting document Risk Management guidelines for contract signing
Construction stage	Implementing regulations for construction risk management Early risk warning system and emergencies measures under construction Implementation and record for risk control under construction Dynamic tracking and monitoring of construction risk
Operation stage	Operations management rules Monitoring and control Repair and reinforcement

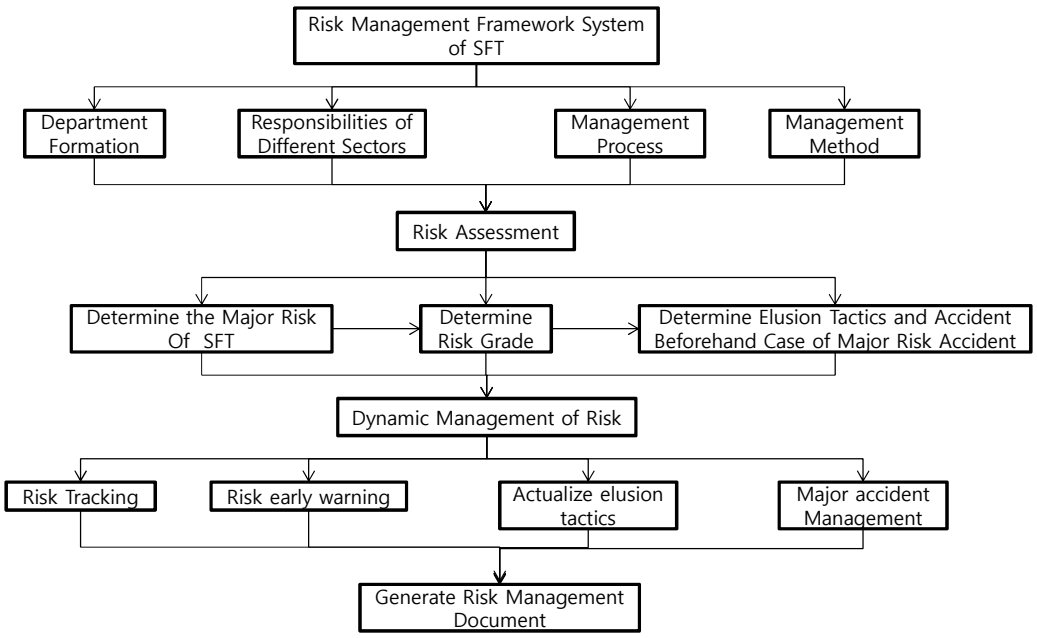


그림 2.176 위험도 관리의 흐름

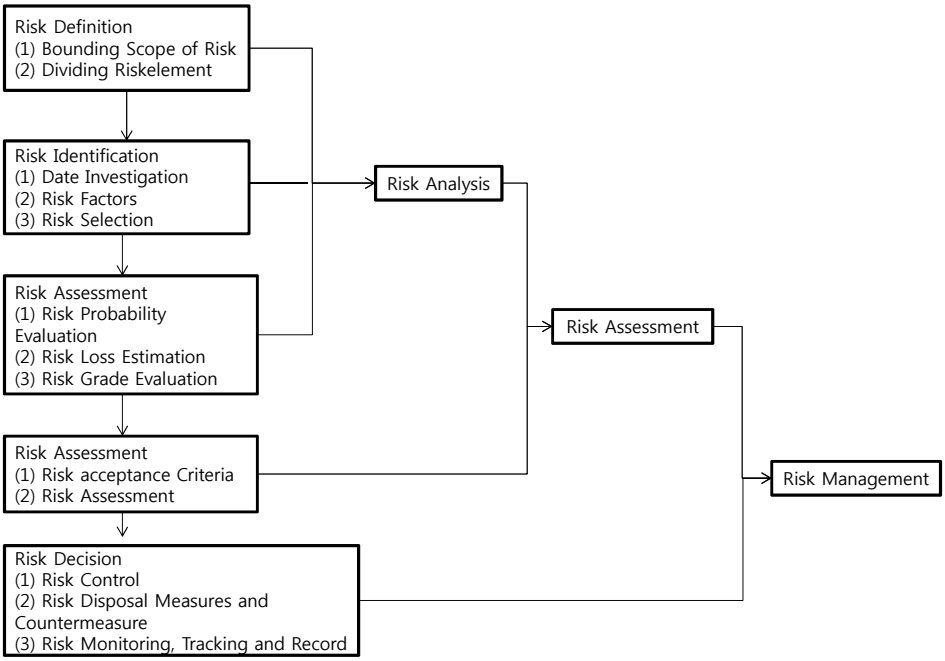
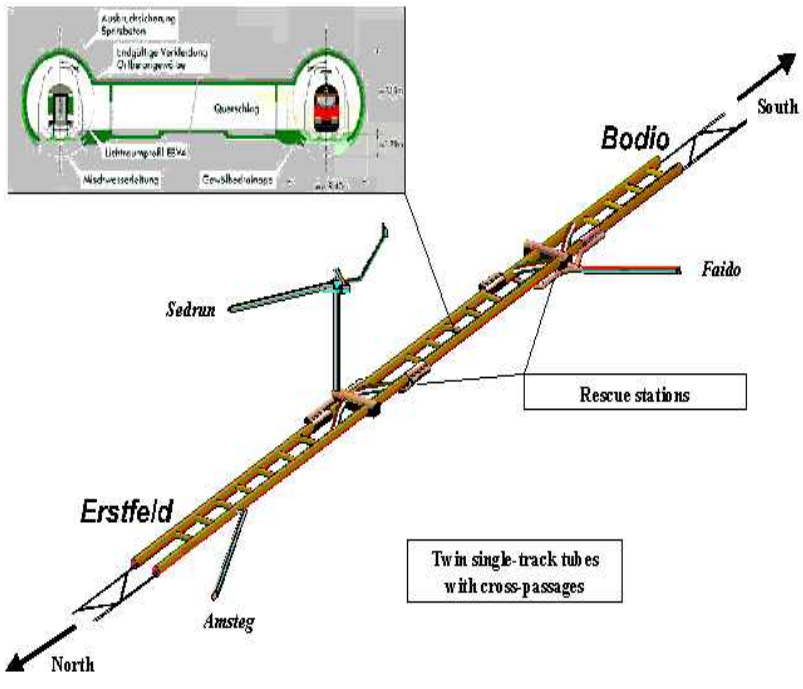
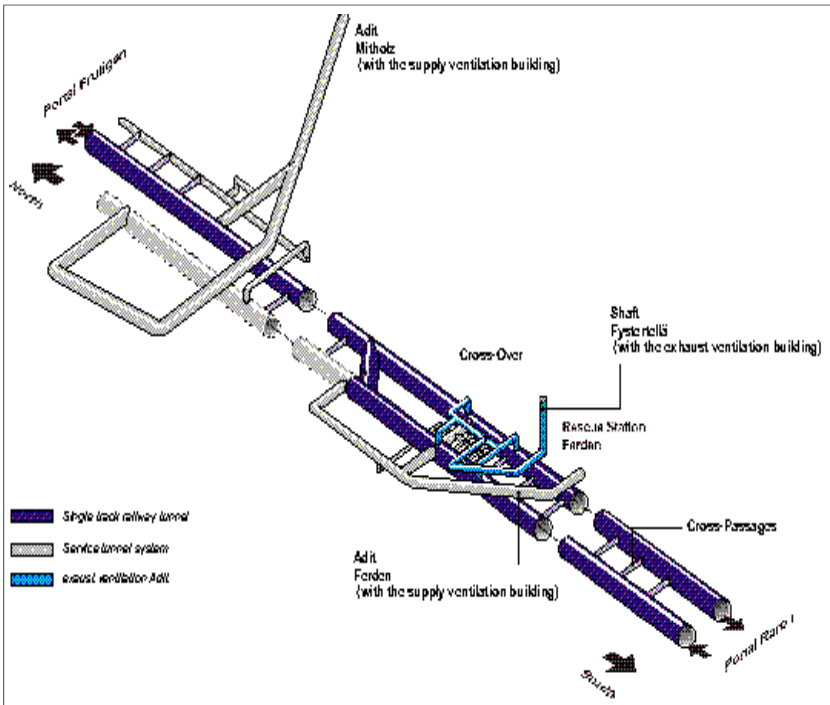


그림 2.177 위험도 분석 절차

○ 국외 터널 비상 환기 구조

Lotschberg Base 터널	
	• 연장 : 35km • 위치 : 스위스 • 구성 : 단선병렬터널 및 단선터널 + 써비스 터널 • 환기설비 : - 비상시 200m³/s 급배기 - 평상시 35m³/s 급기 • 구난역 2개소 설치

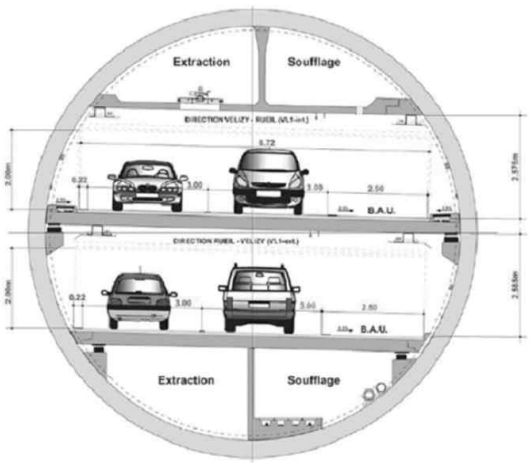
Gotthard Base 터널



- 연장 : 57km
- 위치 : 스위스
- 구성 : 단선병렬터널
- 환기설비 :
  - 비상시 250m^3/s 급배기
  - 평상시 35m^3/s 급기
- 구난역 2개소 설치

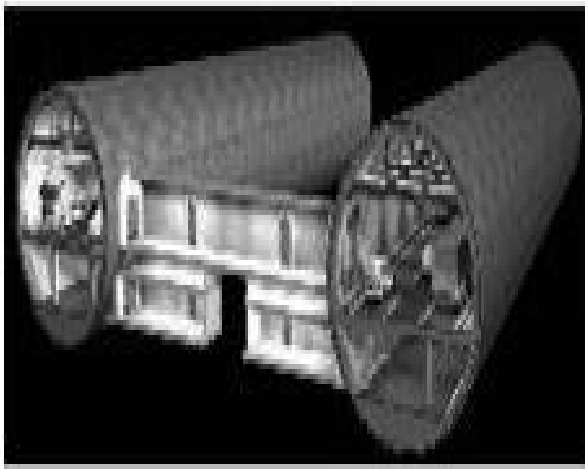
프랑스 A86 지하도로

A86 East tunnel



- 연장 : 10,115m(3차로)
- 횡류식 환기방식
- 400m 간격 배연구 설치
- 200m마다 이동계단 등 비상대피소
- 약 1,000m마다 안전공간 확보

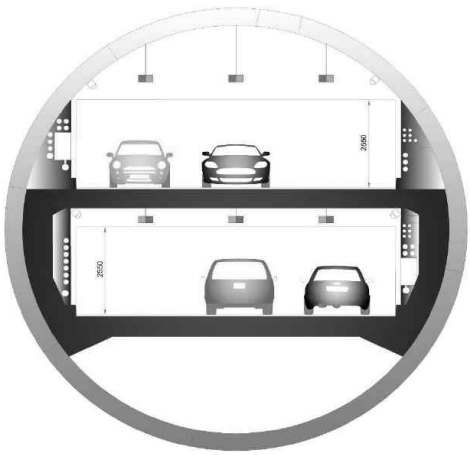
스페인 M30 지하도로



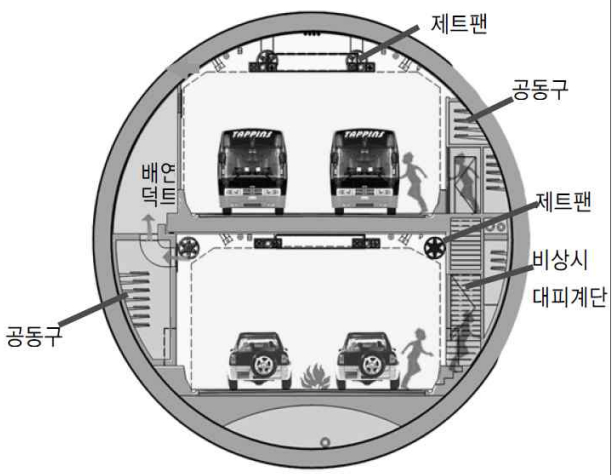
- 연장 : 7,560m(3차로 쌍굴터널)
- 횡류식 환기방식 환기소 2개소 설치
- 200m 간격 피난통로 설치
- 환기구 배기측 전기집진기 설치

말레이시아 SMART(Stormwater Management And Road Tunnel)

SMART tunnel



- 연장 : 3,000m(왕복 4차로)
- 횡류식 환기방식
- Klang강의 범람에 의한 홍수피해대책 및 급격한 교통량 충족을 위한 다목적 도로터널

중국 상하이 Shangzhong 하저터널	
	• 연장 : 1,490m(양방향 8차선) • 제트팬+집중배연 환기방식 • 평상시 제트팬 이용하여 환기 • 화재시 상층부 측면에 설치된 배연덕트를 이용하여 배연

○ 스위스 취리히 역사 배연 설계 (선로의 구조적 배연 설계)

- 다음 그림에서 보이듯이 쮜리히 지하역사는 선로의 천장이 높고, 승강장의 천장이 낮으므로 화재로 인한 연기발생 시 연기가 선로의 천장에 머물게 되므로 승강장의 승객이 피난할 수 있는 시간을 확보하여 준다. 또한 승강장 천장과 선로 천장이 부드럽게 연결되어 있으므로 차량화재 발생 시에는 연기가 승강장으로 침입하지 않고 선로 천장에 먼저 쌓이도록 하였으며, 승강장에서 화재발생 시에는 연기가 선로천장 쪽으로 이동하여 선로 천장에 쌓이도록 하였다. (해중 터널 설계 시 참조할 사항)



그림 2.178 쮜리히 지하역사와 스위스 도시간철도(IC) 차량



그림 2.179 터널과 역사의 구조적 배연설계

- 아래 그림에서 보이듯이 선로천장에는 배연구가 설치되어 비상 시 지상으로

연기를 뽑아낼 수 있게 되어 있다. 앞에서 설명하였듯이 취리히 지하역사는 역사 내에서 발생한 연기가 선로로 모이도록 구조적인 설계가 이루어져 있는데, 연기가 집중되는 선로천장에 배연구를 설치함으로써 부력효과에 따른 공기유동을 최대한 이용하여 강제배연의 효율을 높였음을 알 수 있다. 그림에서 이 배연구가 지상으로 수직 연결되어 지하에서 발생한 연기가 최단경로로 배출되고 있음을 알 수 있다.



그림 2.180 선로 천장에 설치된 비상배연설비



그림 2.181 그림 지상으로 연결된 배연관 (광고가 그려진 3개의 기둥)

○ 일본 : 세이칸 해저 터널 방재 대책 조사 분석

- 일본 국철에서는 1972년에 北陸(호꾸리구)터널(연장 약 14 km) 내에서 화재가 발생한 열차가 정지하여, 사망 30명, 부상자 714명에 달하는 대사고가 발생하였다. 사고 후, 장대터널의 화재 대책을 위한 터널 화재시험 등이 실시되어, 그 성과는 재래선 및 青函(세이칸)터널에 응용되었다. 또한, 작년 유로터널에서는 대형 트럭 운반용 셔틀 편에서 발화하여 사상자가 발생하지는 않았으나 열차와 터널 설비에 손상을 입혀, 장대터널의 화재대책의 중요성이 재인식되었다.
- 일본에서 가장 긴 세이칸터널의 설비에 있어서는 세이칸 터널 화재 대책위원회’에서 다양한 검토를 하여, 그 결과를 바탕으로 각종 설비가 설치되어있다. 통상, 화재를 일으킨 열차는 터널 바깥까지 주행하는 것으로 되어있으나, 세이칸 터널은 길이가 54 km에 달하기 때문에 ‘긴급 구난역(정점) 방식’을 채용하고 있다. 터널 바깥과 거의 동등한 피난환경을 갖는 ‘긴급 구난역’을 2곳에 마련하여, 비상시에는 이곳에 화재열차를 정지시켜서 승객의 피난·구조와 병행하여 소화활동도 할 수 있게 되어있다. 환기 배연 설비에 있어서 중요한 것은 승객의 피난방법과 연기의 방향이 일치하지 않도록, 환기류에 따라서 열기류를 제어하는 것이다.

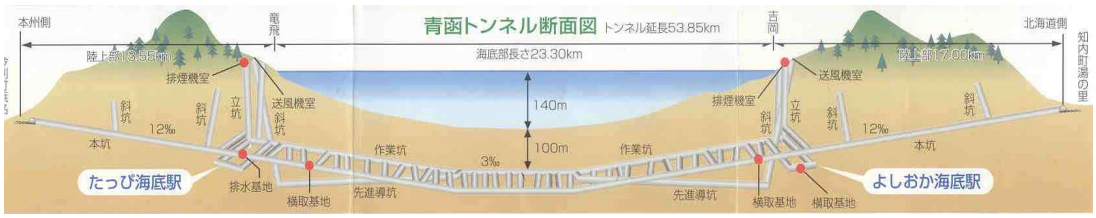


그림 2.182 세이칸(青函) 터널의 종단면도

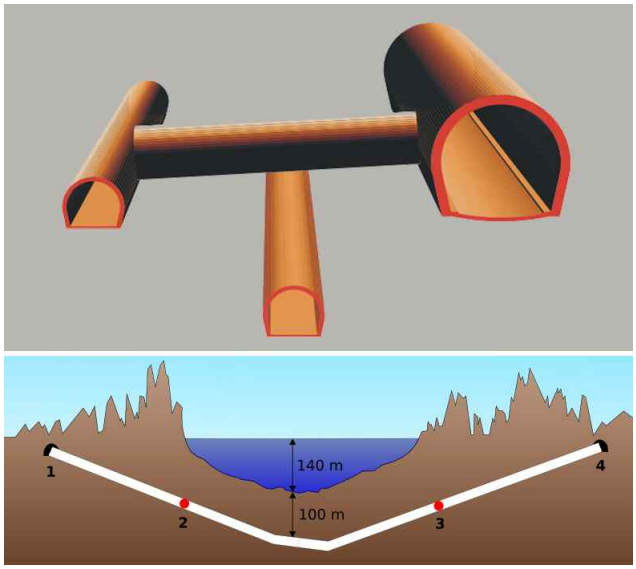


그림 2.183 일본 세이칸 터널 단면 및 종단도

- 긴급 구난역 설비 : 종래의 터널 내 열차 화재시는 가능한 한 열차가 터널 밖으로 나와서 대피 및 소화하도록 하였으나 세이칸 터널은 길이 특성상 특별대책위원회를 구성하여 긴급 구난역 설치 결의하였다.
- 역할 : 화재열차의 대피역(정차장소), 피난, 구조, 소화활동 및 일원적 배연을 하도록 하였다. 그림 2.1.2 ~ 그림 2.1.5에 자세한 모습을 나타내었다.
- 설비 : 유도로와 경사로의 연결통로 사이에 대기장소 설치, 조명설비, 비상용 방송설비, 전화, ITV, 물분무(스프린클러)설비, 소화전, 급수전으로 이루어져 있으며 하꼬다떼의 관리센터에서 원격제어로 작동한다. 이러한 방재 설비들에 대한 사진은 아래 그림에 나타내었다.

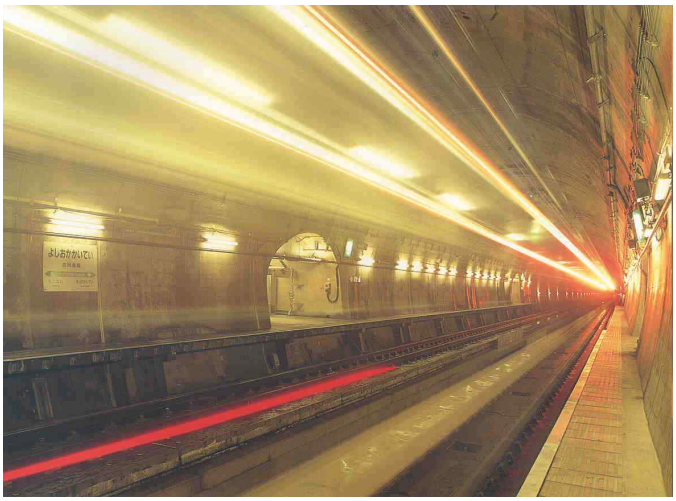


그림 2.184 긴급 구난역(정점 시설)

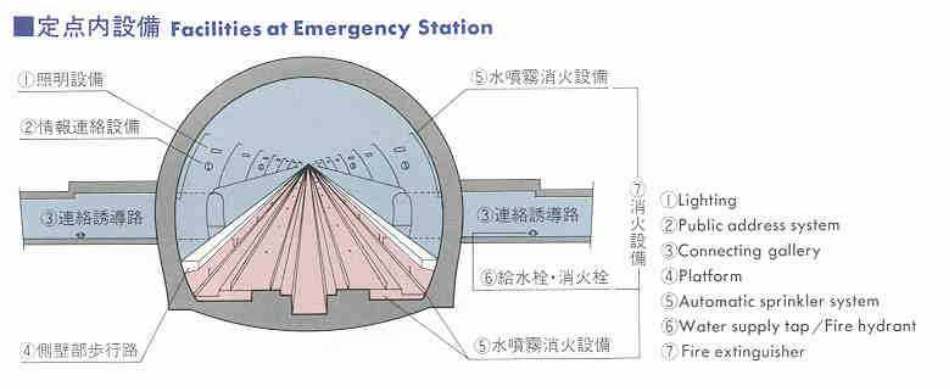


그림 2.185 긴급 구난역 내의 설비



그림 2.186 세이칸 터널 모형(요시오까 긴급 구난역 모형)



그림 2.187 본선에서의 연결 유도로(서비스 터널)

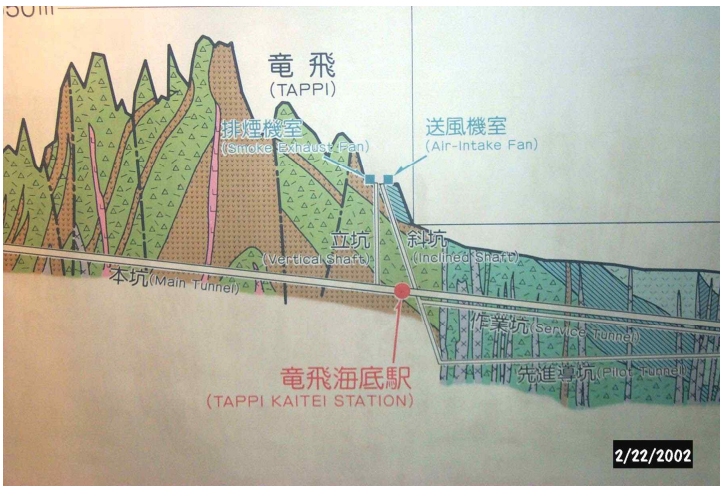


그림 2.188 배연을 위한 송풍기실 위치도

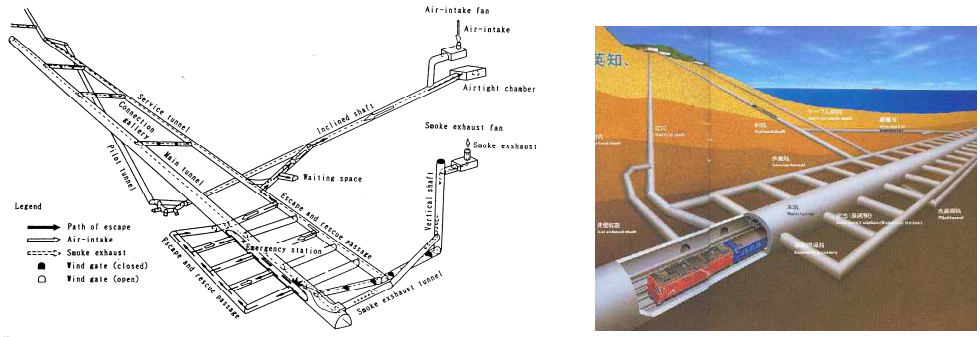


그림 2.189 일본 세이칸 터널 비상 환기 대책

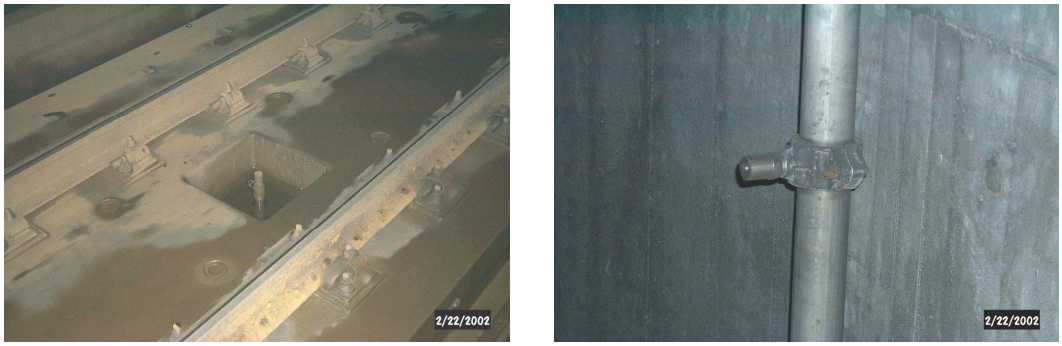


그림 2.190 피난역에서 차량하부 및 터널 측부에 설치된 스프링클러



그림 2.191 궤도 측벽 바닥쪽 스프링클러

○ 국외 특허 동향

- “Ventilation system for railway tunnels“ (중국, 2008년) : 철도 터널에서 화재로 인한 연기를 효율적으로 배출하기 위하여 철도터널 환기구 간격 및 제연 팬 시스템에 대한 기술
- “Five-hole and four-path railway underwater tunnel and construction method“ (중국, 2010년) : 철도 터널에서 화재시 승객 대피를 신속히 하고 사고 복구를 효율적으로 하도록 초기 대처 대응 시스템에 관한 기술
- “Curtain type regulating air valve“ (중국, 2010년) : 급배기구를 조절하는 start-and-stop 밸브를 인공지능 방법으로 조절하여 철도 터널 화재시 연기의 전파를 적절히 조절하는 시스템에 관한 기술
- “Equipment for controlling a train fire in a long railway tunnel“ (프랑스, 2010년) 철도 터널에서 화재 발생시 화재 발생 지점의 정확한 위치를 화재 발생 동시에 감지하고 물분무 시스템의 동작 여부를 신속히 판단하는 기술
- “ Tunnel disaster prevention system“ (일본, 2002년) : 철도 터널 화재를 조기에 탐지하고, 급기 구역 및 배기 구역을 자동적으로 파악하여 화재 구역은 배기를 비화재 구역은 급기를 하여 승객들의 대피를 조율하며, 물분무 시스템의 적용 여부를 판단하여 화재 지역만 물분무를 적용하여 효율적이고 신속한

화재 진압 시스템

- “The air-conditioning control system using the natural ventilation by a train draught“ (일본, 2004년) : 철도 터널 역사에서 냉방 필요량을 정확히 파악하여 구역마다 절절한 냉방량을 공급하므로서 불필요한 전력을 차단하여 전력 소모를 최소화하는 시스템
- 일본, 중국 및 유럽의 특허 중 해중 터널과 직접적으로 관련된 특허는 발견하기 어려우나 일반적인 철도 터널에서의 화재 안전 대책의 일환으로 개발된 기술들이다. 해중 고속철도터널의 경우에도 이러한 특허 기술을 응용하여 적용하면 가능하나, 해중 철도 터널 환경에만 존재하는 장애물을 극복하여 적용할 필요가 있다.

(2) 유지보수 ROV 관련 국내외 기술 개발 동향

○ SFT의 유지관리를 위해서는 일반터널 또는 해저터널의 유지관리 기법이 사용될 수 있다. 일반터널 또는 해저터널의 보수·보강 기법을 활용하여 구조물의 균열 관리, 누수 관리 등을 행할 수 있다.
○ 하지만, SFT는 다른 터널과는 달리 터널 외부가 해수에 노출되어 있다는 큰 차이를 보인다. 즉, 일반적으로 터널은 지반에 매립되어 있는 상태이므로 터널 외부에서의 유지관리는 불가능하지만, SFT는 터널 외부의 유지관리도 추가적으로 필요하다. 그리고, SFT 외부의 유지관리를 위해서는 수중작업을 하여야 하고 이를 위한 다양한 잠수 기법, 수중 작업 기법, 수중잠수체 등의 활용이 필요하다.
○ 그러므로, 수중작업을 위한 잠수 기술, 수중 고압 용접, 수중잠수체 등의 기술 개발 동향에 대해 간략히 살펴보고자 한다.
○ 해수에 노출된 SFT에서 가장 주요한 구조물 노화의 원인인 강재 부식과 콘크리트 염해를 방지하는 기술에 대해서도 간략히 살펴보고자 한다.

(가) 잠수 기술 개발 동향

○ 일반적으로 잠수의 목적은 수중작업을 행하는데 있다. 수중작업을 행하는 경우에는 인간 또는 기계가 직접 수중에 들어가지 않으면 안 되는데, 이를 위해 여러 가지 잠수방법이 개발되어 실용화되었다. 수중작업은 크게 다음과 같은 순서로 나누어져 수행된다. 최초의 수중작업을 행할 경우에 있어서는 먼저 모선의 선상에서 Sonar를 이용하여 작업현장의 개략적인 탐사(explorations)를 수행하고, 이어서 상세한 탐색(searches), 식별(identifications), 조사(investigations)가 이루어지게 되며 그 이후에 직접적인 수중공사에 들어가게 된다. 또한 수중작업 완료 후에도 정기적인 보수정비(maintenances)가 그 작업장에서 실시된다.
○ 현재 이용되고 있는 잠수방법으로는 호흡을 위한 공기의 압축여부에 따라 환경

압잠수와 대기압잠수로 다시 나누어지게 된다.

- 환경압잠수란 인간이 수중의 고압환경에 직접 노출되어 수중작업을 행하는 경우를 말한다. 환경압잠수는 크게 폐식잠수, 고압공기잠수, 시스템잠수, 독립수중잠수선에 의한 잠수 등으로 구분된다.
- 폐식잠수란 1-3분 정도의 짧은 시간 동안 수중에서 호흡을 정지하고 행하는 원시적인 잠수방법으로 수중작업이나 탐사에 직접 응용되기는 어렵다. 폐식잠수와 시스템잠수의 중간형태로 반원모양의 아크릴 기구안에 다이버가 호흡할 수 있는 환경을 만들어 놓고 자력에 의해 이동도 가능하도록 한 레져용 시스템도 응용되고 있다.
- 시스템잠수(Diving by systems)란 해상의 잠수지원설비(배나 플랫폼), 고압설비(고기압실, 가스압축기, 가스저장용탱크), 잠수장치(가압식 수중엘리베이터와 가압식 잠수선)와 기중기 등 상가장치를 유기적으로 조합하여 행하는 잠수를 말한다.
- 고압공기잠수(Air Diving)란 다이버가 잠수심도에 상당하는 압력의 고압공기를 호흡하면서 행하는 잠수를 말한다. 이 방법은 심도 40-60M의 천해에서의 수중작업에 효과적이다. 고압공기잠수는 크게 '공기탱크를 휴대하고 행하는 방식(SCUBA:Self Contained Underwater Breathing Apparatus)'과 '외부로부터 연결된 공급호스를 통해 호흡하는 방식(Surface Supplied Underwater Breathing Apparatus)' 등으로 구분되고 있다.
- 독립수중잠수선에 의한 잠수란 전천후성으로 환경압잠수와 대기압잠수의 실시가 가능하며 수중에 장시간 머물러 작업이 가능한 자급기능을 갖춘 잠수시스템에 의한 잠수를 의미한다.
- 대기압잠수는 우주복형태의 내외압성 수납용기(내압각) 안에 인간이 직접 탑승해서 잠수하는 형식으로, 내압각은 높은 수압에서도 견딜 수 있는 구조이며 내부는 대기압을 유지하고 있다. 승무원은 환경잠수압의 경우와 같은 이상기압에 대한 특수훈련이 필요없으며, 내압각에 설치된 관측용창을 통해 외부를 관찰하게 되며, 작업용 기계팔(Manipulator)을 이용해 샘플채취, 해중공사 등의 수중작업을 행한다. 내압각을 견고하게 만들 경우 아주 깊은 심도의 잠수도 가능하며, 잠수심도가 깊은 경우에는 목표지점까지 잠수장치를 정확히 도달시키기 위해 잠수중의 측위, 통신 등의 기능이 유기적으로 결합된 종합시스템이 필요하다.

(나) 수중 고압 용접 기술 개발 동향

- 수중 고압 용접은 일반적으로 수중 높은 압력에서 용접하는 과정이다. 고압 용접은 물 자체에 습한 환경에서 하거나 특별히 제작된 양압 인클로저 내부의 건조한 환경에서 수행할 수 있다. 고품질의 용접이 필요한 경우에는 건조 고압 용접을 습식 수중 용접에 우선 해 사용된다.

○ 건식 고압 용접은 용접되는 부분 주위를 혼합 가스로 밀봉한 챔버에서 행해진다. shielded metal 아크 용접, flux-cored 아크 용접, 가스 텅스텐 아크 용접, 가스 메탈 아크 용접, 플라즈마 아크 용접 등의 대부분의 용접방법이 사용될 수 있는데, 가스 텅스텐 아크 용접이 가장 일반적으로 사용되고 있다.
○ 습식 수중 용접은 방수 전극을 사용하여 shielded metal 아크 용접 외에도 flux-cored 아크 용접, 마찰 용접 등이 사용된다.

(다) 수중잠수체 국내외 기술 개발 동향

○ 수중잠수체에 대한 국내 기술개발동향은 다음과 같다.
○ 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소: 1987년 수심 250m급 탐사용 유인잠수정 “해양 250”의 개발에 성공하였다. 1992년 수심 300m급 유삭식 무인탐사기 CROV300을 개발하였다. 1997년 200m급 자율무인잠수정 테스트베드인 VORAM호를 개발하였다.
○ 대우중공업(주): 1993년 러시아의 IMTP로부터 6,000m급 AUV (Autonomous Underwater Vehicle)의 기술을 도입하여 OKPO-6000 AUV를 개발하였다.
○ 삼성중공업: 수중장비에 대하여 개발된 실적은 없으나, 1994년부터 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소와 협동으로 200m급 AUV 개발에 참여한 바 있다.
○ 현대중공업: 수중장비에 대한 제작경험은 없으나, 해저파이프 매설과 관련한 장비의 설계, 제작 및 운용기술을 확보하고 있다.
○ 코리아타코마: 잠수정의 건조실적이 다수 있는 것으로 알려져 있으나 공표된 자료는 없다. 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소와 함께 250m급 유인잠수정 “해양250”을 설계, 조립, 제작 및 시험・평가를 성공한 실적이 있다.
○ 수중잠수체에 대한 국외 기술개발동향은 다음과 같다.
○ 1953년 Dimitri Rebikoff의 POODDLE이 개발되면서 ROV(Remotely Operated Vehicle)의 연구개발이 시작되었다.
○ 일본은 KAIKO로 명명되는 심해 해중로봇을 1995년 개발하여 세계에서 가장 깊은 수심의 마리아나 해구를 탐사하였다
○ 미국 Sonsub 회사의 Triton XLS는 Shell deepeater의 Mensa 유전에서 5,000시간 연속으로 임무를 수행하였다
○ 작업용 수중로봇은 작업수심과 마력으로 구분할 수 있는데, 수중에서 구조물을 연결하는 작업과 같은 임무를 수행함에 있어서, 해저에서 대형 구조물을 들어 올리기 위해서는 이에 적합한 ROV가 필요하다. 다음 표는 주요한 중작업 ROV를 정리한 내용이다.

표 2.32 중작업 ROV

항목 \ 명칭	RECON IV	TRITON	SUPER SCOLPIO	HYSUB 5000M
국 명	미 국	미 국	미 국	캐나다
제조사	Perry Offshore	Perry Offshore	Ametek Straza	ISE
주요목적	관찰·점검 모든작업	관찰·점검 모든작업	관찰·점검 모든작업	관찰·점검· 모든 작업
최대심도	457m	1,000m	1,000m	5000m
(LBH)(m)	1.98×0.91×0.84	2.44×1.42×1.32	2.48×1.48×1.42	2.54×1.48×1.68
중량(kg)	Vehicle: 457 launcher:750(1.3L×1.4Dia.)	Vehicle: 1,905 launcher:1.678(1.8L×1.8Dia.)	Vehicle:1,588 launcher:불명	Vehicle: 1.986 launcher:2.273(3.8L×2.03B×3.23H)
최대 속력	전진3kts	전진 3kts	전진 2.5kts	전진2.5kts
추진기(W:SHP, kg:추력)	36kg×2(전후·선회) 36kg×1(수직)740W 36kg×1(가로)전동모터	204kg×2(전후·선회) 82kg×3(수직) 204kg×1(가로)유압모터	225kg×2(전후·선회) 225kg×1(수직) 225kg×2(횡)유압모터	2대(전후·선회) 2대(수직) 2대(가로)유압모터
항법 기기	방위·심도계(자이로콤파스·압력센서)등	방위·심도계(자이로콤파스·압력센서)등	방위·심도계(자이로콤파스·압력센서)등	좌 동
페이 로드	160kg	227kg	150kg	254kg
표준 탑재 기기	칼라&B/W TV카메라 250W라이트×4 UDT 스캐닝소나 4DOF 매니퓰레이터	칼라TV카메라×2 250W라이트×6 UDT스캐닝 소나 7DOF&5DOF매니퓰레이터	칼라TV카메라×2 250W라이트×6 CTFM스캐닝 소나 7DOF&5DOF매니퓰레이터	칼라TV카메라×2 250W라이트×4 메조틱스캐닝 소나 7DEF&5DOF 매니퓰레이터
옵 션	옵션 다양:UDT전위계(아노이드 체크)등	HD옵션 다양, 증심도 1,500m etc	HD옵션 다양 증심도1,500m.etc	다양한 옵션
케이블 1차	동축·전력복합케이블 549mL×32㎜ϕ파단강도 14t	동축·전력복합케이블 1,000mL×42㎜ϕ파단강도45t		광·전력복합케이블 5000mL×30.5㎜ϕ×파단강도55t
케이블 2차		동축·전력복합케이블 128mL×46㎜ϕ		광·전력복합케이블 274mL×37㎜ϕ
전 력	60HzAC460×3ϕ ×80KW	60HzAC2400×3ϕ (37KW+37KW유압)	60HzAC3000×3ϕ 60HP유압	60HzAC460×3ϕ×100~ 150KVA
선상장치(중량×용량)	제어·전원장치 케이블윈치,etc(5901kg×644m³)	제어·전압장치 케이블윈치,etc	제어·전압장치 케이블윈치,etc	제어·전압장치 케이블윈치,etc(25,000kg×142m³)
양수 방식	A프레임, 케이블윈치 중간launcher	A프레임, 케이블윈치 중간launcher	A프레임,케이블윈치 중간launcher	A프레임,케이블윈치 중간launcher
운용년도	1984년	1985년	1985년	1989년
비 고	해저석유개발지원용 중형 표준기종	해저석유개발 지원용 대형표준기종	해저석유개발 지원용대형표준기종	HYDRA/HYSUB시리즈의 톱모델

○ 다음 표는 심해에서의 조사·회수 임무를 위해 사용되는 상용 ROV를 정리한 내용이다.

표 2.33 심해용 ROV

선체명	작업수심	개발기관, 국가
KAIKO	11,000m	Mitsui/Mitsubishi/Kawasaki/JAMSTEC, 일본
ATV	6,096m	Spawar Systems Center, San Diego, 미국
CURV III	6,096m	Oceaneering Technologies Inc., 미국
MAGELLAN 725/825	7000, 7620m	Oceaneering International Inc., 미국
GEMINI	6,096m	Oceaneering Technologies Inc., 미국
JASON/MEDEA	6,096m	WHOI (Woods Hole Oceanographic Inst.), 미국
RTM 4000/6000	4000, 6000m	Okeangeofizika, 러시아
SUPERMAX	6,000m	Deep Sea Systems International, 미국
VICTOR 6000	6,000m	IFREMER, 프랑스
HAMMERHEAD	5,000m	Subsea International Inc., 미국
ROPOS	5,000m	ISE(International Submarine Engineering),캐나다
TIBURON	4,000m	MBARI (Monterey Bay Aquarium Research Inst.), 미국
HIROV 3500	3,500m	Hitec Subsea As, 노르웨이
DOLPHIN 3K	3,429m	Mitsui/JAMSTEC, 일본
HYSUB 75	3,300m	ISE, 캐나다
TRITON XL	3,500m	Perry Tritech, Inc., 미국
MILLENNIUM	3,000m	Oceaneering International Inc., 미국

- 다음은 전세계적으로 운용되고 있는 ROV 제작판매사이다.
- International Submarine Engineering Co. Ltd (I.S.E): 1975년 캐나다 포르케틀람에서 설립되었다. 250마력급 파이프 보수용 ROV(DWS), 150마력의 수심 2,000m급 ROV(CRS I & II), 케이블보수유지용 수심 2,000m급 SCARAB IV, 수심 2,500m급 Pacific SCARAB I 등을 제작하였다.
- 일본 국제전신전화 (KDD): 예인 매설기인 KS-1 PLOW와 KS-2 PLOW, 수심 2,500m에서 해저 중작업이 가능한 ROV-MARCAS 2500을 개발하였다.
- Perry Tritec (PT): 1984년 대형 ROV인 TRITON 및 TRIUMPH, 1989년 수중 케이블 작업용 ROV TRITON ACMV, 1995년 2,500m ROV인 250마력의 MARIN를 제작하였다. 특히, 1996년 2,000m급 ROV를 국내 KST로부터 주문 받아 제작하였다.
- SIMEC: Towing 식 Plough (ELISE 1, 2 & 3), 해저면 주행 Tractor 식 (CASTOR 1 & 2), 바퀴부 Flying 식 워터제트 (SEA WORKER) 및 천해영 워터제트 (SCAT 2)등을 다양하게 개발하였다.
- Slingsby Engineering Limited (SEL): 영구 요크지방에 소재하며 1970년에 설립되었다. 유인잠수정 LR5 등을 건조하였고, 1인용 다이빙장비 JIM을 개발하였다. 2,000급 TROJAN, 해저 동력케이블 보수용 CHRAB, 1985년 해저케이블 보수유지용 수심 1,000m급 CIRRUS, 1989년 수심 2,000m급 해저트랙형 SEADOG, 1990년 수심 1,000m급 400KPa의 SCRAB III을 제작하였다. 다용도 목적의 수심 1,000m급 100마력의 Multi Roll Vehicle을 제작하였다.
- Soil Machine Dynamics (SMD): 1971년에 설립되었고 영국 노덤버랜드에 소재하고 있다. 케이블 매설용 중량 34톤급의 Plough, 중량 12톤급 Plough, Trench

Backfill Plough 등을 제작하였다. 20톤급 해저트랙형 수심 1,500m급 EUREKA, 수미 2,500m급 250마력의 ROV를 개발하였다.

(라) 강재 방식 기술 개발 동향

- ○ 해중에 설치된 계류선 등의 강재는 부식에 굉장히 취약하다. 전체 SFT 시스템의 안전성을 보장하기 위해서 다양한 강재 방식 기술이 개발되어 사용되어 왔다.
- ○ 해양환경의 강구조물에 대한 부식을 방지하기 위한 방법은 크게 금속표면의 피복과 전기방식의 사용 두가지로 대별할 수 있다.
- ○ 피복공법은 도장법, 유기라이닝공법, 무기라이닝공법 및 concrete jacket 등으로 분류할 수 있다. 피복재료에는 콜타르, 콜타르 에폭시, 페트로레이텀, 아연도금 및 알루미늄도금 등이 있다.
- ○ 경제성과 양호한 방식능력 때문에 콜타르 에폭시가 해양 강구조물의 수중부분 피복에 널리 사용된다. 석유계열의 혼합물과 섞이지 않은 순수한 에폭시는 일반적으로 콜타르 에폭시보다 고가이며, 흔히 국부적인 보수 및 해수중의 구조물 피복을 위해 사용된다.
- ○ 페트로레이텀 피복공법은 페트로레이텀 테이프를 강재면에 부착시켜 부식을 방지하는 공법으로 테이프 방식의 기본자재는 페이스트, 테이프, PVC 시트 및 FRP, FRPP, FRV 등을 이용한다.
- ○ 전기방식은 전기화학적 부식방지법으로 해양구조물의 방식을 위한 효과적인 방법의 하나이다. 전기방식법은 외부의 전기화학전지를 이용해 구조물이 음극이 되게함으로써 전류 흐름의 방향을 바꾼다. 전류의 흐름이 강구조물로 향하게 됨으로써 갈바닉 작용 등에 의한 철이온의 유출을 막게된다. 유전양극방식(galvanic anode system)과 외부전원방식(impressed-current system)의 두가지 방법이 있다.

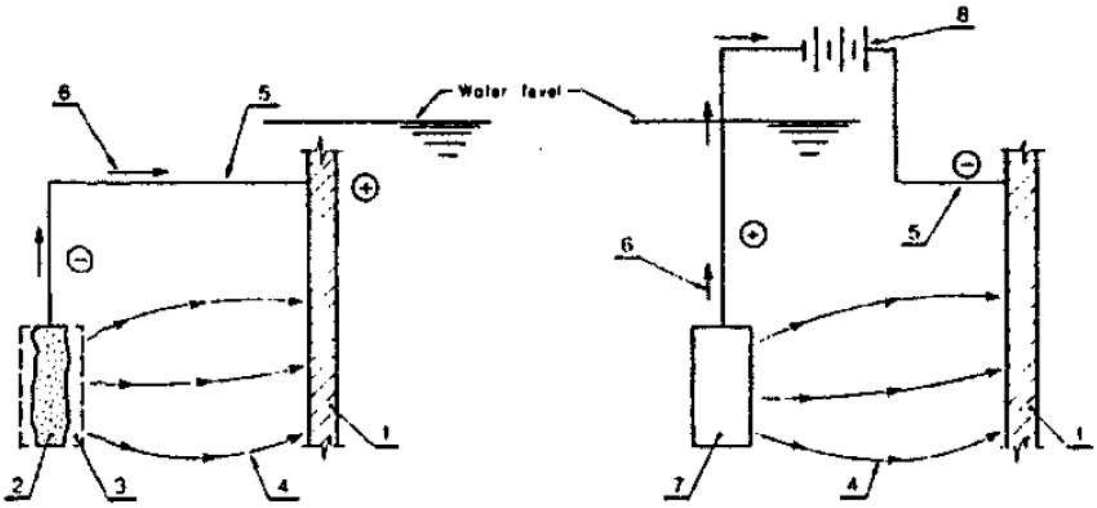


그림 2.192 기방식 시스템의 종류

○ 유전양극 (또는 희생양극) 방식은 해양구조물 및 이와 연결된 전해질(해수) 속에 잠긴 희생약극으로 구성된다. 부식되고 있는 금속은 음극으로 작용하며, 전위가 낮은 금속들은 양극으로서 사용된다. 이 시스템은 확실한 시공이 보장된다면 설계 공용기간 동안에 유지관리의 필요성이 거의 없다는 장점 때문에 해양구조물의 방식을 위핸 흔히 사용되며, 안정된 전원공급이 불가하든지 계속적인 유지, 관리능력이 어려운 해상 구조물 그리고 상대적으로 규모가 적은 곳에서 유리한 방법으로 현재 많이 사용되고 있다. 양극의 설치방법에는 소요 양극을 철구조물에 직접 용접하는 방법과 강관을 전기적으로 연결한 상태에서 소요 양극을 적당히 분포되게 매어다는 방법 등이 있다. 용접하는 방법은 시공이 간편하여 널리 사용되며 양극의 수명이 끝나 교체할 때에는 용접부를 절단하고 새로운 양극을 다시 수중용접하게 된다. 매어다는 방법은 양극의 교체가 쉬우며 피방식체와 거리를 다소 멀리 둘 수 있기 때문에 균일한 방식전위를 얻을 수 있는 장점이 있지만, 시설비와 강도 문제로 널리 적용되지 못하고 있다.

○ 외부전원방식은 전류의 소모량이 크게 요구될 때나 안정된 전원공급이 가능한 곳 또는 대형 구조물의 경우에 일반적으로 사용되며, 양극과 직류전원의 양극에 연결된 전원, 직류공급원과 정류기, 구조물에서 직류공급원으로 전류를 흐르

게 하는 폐쇄회로 등으로 구성된다.

(마) 콘크리트 염해 방지 기술 개발 동향

○ 해양환경에서 콘크리트 구조물은 일반적으로 탁월한 내구성과 성능을 보이지만, 해수로 인한 가혹한 환경은 심각한 콘크리트의 염해를 발생시키기도 한다. 염해로 인한 콘크리트의 열화는 내부철근의 부식을 초래하여 심각한 구조물의 성능 저하로 귀결된다. 그러므로, 콘크리트 염해를 방지하는 다양한 기술이 개발되었다.

○ 콘크리트 염화 방지 기술은 콘크리트 재료 및 배합 관리, 철근 방식, 전기화학적 방식 등의 기술로 분류할 수 있다. 철근 방식과 전기화학적 방식은 강재의 방식 기법과 유사한 방식이다.

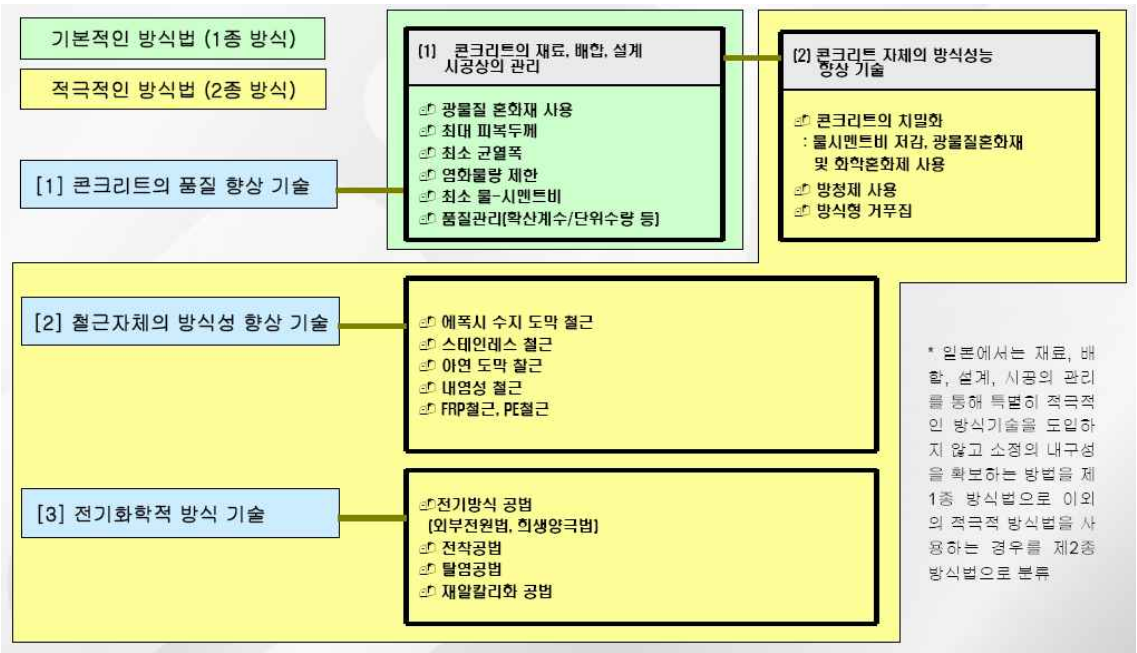


그림 2.193 크리트 내염 능력 향상

○ 콘크리트구조물에서는 내황산염(5종) 포틀랜드시멘트의 사용이 가능하나, 황산염보다도 염화물이온의 침투에 의한 철근부식 열화현상이 부각되면서 혼화재를 사용한 혼합시멘트의 사용을 추천하고 있다. 혼합시멘트 중의 광물질 혼화재는 시멘트 수화물과 2차적으로 반응하여 콘크리트의 수화조직을 치밀하게 충진시키는 효과가 있기 때문에 초기 및 장기재령에서 보통(1종) 포틀랜드시멘트 단독대비 콘크리트의 내염 특성이 크게 향상된다. 요약하면, 해양환경에 적합한 시멘트 종류 및 방청재료 선정, 적정 물-시멘트비에 의한 콘크리트의 수밀성 증대, 내구성 증대를 위한 적정 광물질 혼화재 사용 등에 의해 콘크리트 자체의

내염 특성을 향상시킬 수 있다.

3. 3P 분석

가. 분석 기술의 구성

표 2.34 기술분류 기준

대분류 (영문)	중분류 (영문)	소분류 (영문)	키워드 (영문)
장거리 부유식 해중 고속철도 시스템 기술 (Technologies for long submerged floating high speed railway system)	A.시스템 엔지니어링 기술 (Technologies for system engineering)	AA.시스템 분석 및 조합 (System analysis and combination)	설계, 최적화, 인터페이스, 생애주기비용 (Design code, optimization, interface, life cycle cost)
		AB.RAMS 기술 (RAMS technology)	신뢰성, 사용성, 유지보수성, 안전성, 위험도 저감, 감시, 응급상황, 피난, 누수, 제연, 건전성, 내구성, 진단 시스템, 유지보수, 원격제어로봇 (Reliability, availability, maintainability, safety, risk reduction, monitoring, emergency, evacuation, leakage, smoke extraction, integrity, durability, diagnosis system, maintenance, remote control robot)
	B.해석 및 설계 기술 (Technologies for analysis and design)	BA.외력 및 거동평가 기술 (Technologies for external loads and behavior analysis)	파랑하중, 해류하중, 지진하중, 쓰나미 하중, 충돌하중, 폭발하중, 내화성능, 유체-구조물 상호작용, 지반-구조물 상호작용, 차량-구조물 상호작용, 거동해석 (Wave load, current load, earthquake load, tsunami load, collision load, explosive load, fireproof performance, fluid-structure interaction, soil-structure interaction, vehicle-structure interaction, behavior analysis)
		BB.거동제어 기술 (Technologies for behavior control)	횡방향 변위 저감, 텐션레그, 폰툰, 지진하중 저감, 진동/소음 저감, 수동 감쇠 시스템 (Lateral displacement reduction, tension leg, pontoon, earthquake load reduction, vibration/noise reduction, passive damping system)
		BC.설계 기술 (Technologies for design)	리스크 분석, 환경영향 평가, 터널튜브, 계류시스템, 접합부, 기초, 환기탑, 정차역, 궤도, 전력시스템, 신호시스템, 차량, 차체, 추진장치 (Risk analysis, Environmental effect evaluation, Tunnel tube, Mooring system, Connection, Foundation, Ventilating tower, station, track, electric power system, Signal system,

			Vehicle, car body, propulsion)
	C. 시공 기술 (Technologies for construction)	CA.구조체 시공 기술 (Technologies for construction of structure)	보강형 모듈, 연속 시공, 충돌방지 시스템, 안정성 (stiffened girder module, consecutive construction, collision prevention system, stability)
		CB.테더링 시공 기술 (Technologies for behavior control)	중력식 앵커 시스템, 고정식 앵커 시스템, 케이블 (gravity anchor system, fixed anchor system, cable)
		CC.지원시설 시공 기술 (Technologies for design)	해상변전소, 해상 피난시설, 에너지 하베스팅 (offshore electric power substation, offshore evacuation facility, energy harvesting)

나. 특허 분석

(1) 특허 분석 범위

표 2.35 특허분석 기준

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
분석구간	1990.01.01.~2013.6.19				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

(2) 기술분류 및 검색 조합식

표 2.36 기술별 검색 조합식 및 대상특허건수

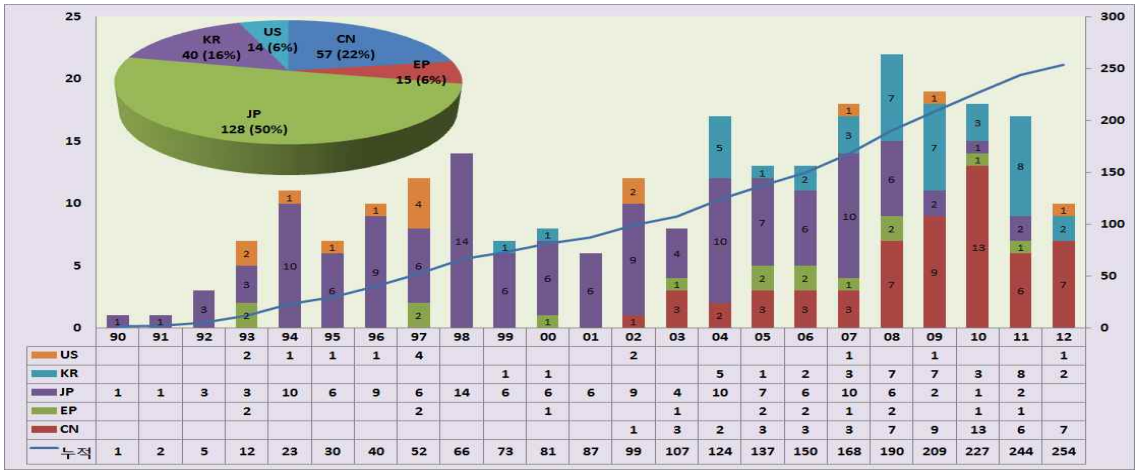
기술구분	검색 조합식	대상 특허건수
A기술		
AA/ AB	CTB=((sub*merg* or (under adj water) or underwater or under*sea or sub*marine or sea or river or water or undersea or submarine or marine) near4 (railway or railroad or tunnel or (pipe adj line))) and Tab=(float* or BUOYAN*);	447건
B기술		

기술구분		검색 조합식	대상 특허건수
	BA	TI=(((Wave or (ocean adj current) or earthquake or tsunami or collision or explos*) adj (load)));	442건
	BB	(CTB=((Lateral ADJ displacement ADJ reduction) OR (tension ADJ leg) OR pontoon OR (earthquake ADJ load ADJ reduction) OR ((vibration OR noise) ADJ reduction) OR (passive ADJ damping ADJ system)) AND TAB=(CONTROL)) AND (CTB=((RAILWAY OR RAILROAD)));	88건
	BC	(CTB=((Tunnel ADJ tube) OR (Mooring ADJ system) OR Ventilat*) AND CTB=(TUNNEL)) AND (CTB=(RAILROAD OR RAILWAY));	187건
C기술			
	CA/ CB/ CC	TAB=((stiffened ADJ girder ADJ module) OR (consecutive ADJ construction) OR (collision OR prevention) OR (gravity ADJ anchor) OR (fixed ADJ anchor) OR (offshore ADJ electric*) OR (offshore ADJ evacuation ADJ facility) OR (energy ADJ harvest*)) AND TI=(CONSTRUCTION AND (RAILWAY OR RAILROAD OR TUNNEL));	305건

(3) 특허기술 동향

(가) 출원년도 및 국가별 특허출원 동향

- ○ 장거리 부유식 해중 고속철도시스템 기술개발 분야의 전체적인 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 254건의 특허가 출원되고 있으며, 2000년대 중반이후 年 평균 3~4건씩의 특허가 꾸준히 출원되고 있음
- ○ 국가별로는 일본이 50%로 최다이며, 중국, 한국, 유럽, 미국의 순으로 출원되고 있음
- ○ 최다 출원국인 일본은 높은 수준의 특허를 출원하다가 2007년 이후 다소 감소하고 있으며, 중국은 2007년 이후 전체 특허의 약 80%를 출원하고 있어 최근 기술 상승세가 매우 높음
- ○ 우리나라의 경우 중국과 마찬가지로 2007년 이후 75%의 특허가 출원되고 있어, 최근 관련 분야 관심이 증가하고 있다고 판단할 수 있음



	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
US				2	1	1	1	4					2					1		1			1
KR										1	1				5	1	2	3	7	7	3	8	2
JP	1	1	3	3	10	6	9	6	14	6	6	6	9	4	10	7	6	10	6	2	1	2	
EP				2				2			1			1		2	2	1	2		1	1	
CN													1	3	2	3	3	3	7	9	13	6	7
누적	1	2	5	12	23	30	40	52	66	73	81	87	99	107	124	137	150	168	190	209	227	244	254

그림 2.194 출원년도 및 국가별 출원추이

(나) 세부기술별 특허출원 동향

○ 해석 및 설계기술(B기술)와 시공기술(C기술) 분야가 특허 출원건수가 가장 많으며 최근에는 시공기술(C기술) 분야가 상대적으로 특허 출원이 더 많이 발생하고 있는 상황임

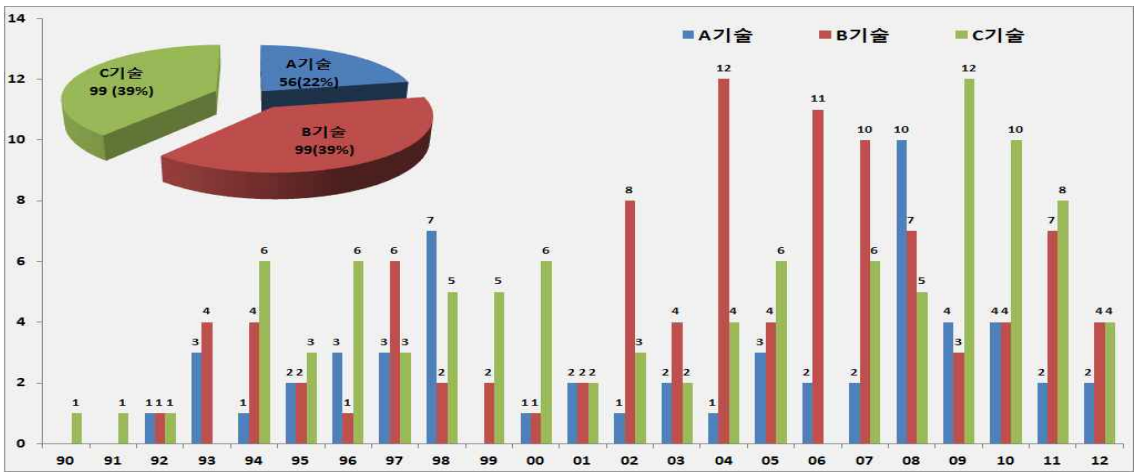


그림 2.195 세부기술별 특허출원동향

○ 시스템 엔지니어링 기술(A기술) 분야는 B기술, C기술과 비교하여 특허 건수는 적은 편이지만, 최근 Offshore tunnel traffic system using buoyancy of double block pipelines, Immersed tube tunnel section floating sink water 등에 대한 내용이 출원되고 있어 관련 분야에 대한 관심이 꾸준히 발생되고 있는 것으로 판단됨

(다) 주요 출원인 분석

○ 장거리 부유식 해중 고속철도시스템 기술 분야 전반에 걸쳐 많은 특허를 출원한 상위 10개의 출원인을 분석한 결과, 日 TAISEI CORP, KAJIMA CORP, MITSUBISHI, HITACHI LTD, 中 SHANGHAI TUNNEL ENG RAILWAY, CHINA RAILWAY TUNNEL GROUP 등 일본과 중국의 건설, 엔지니어링회사, 전자 및 자동차회사들이 출원을 많이 하고 있음

○ 특허 출원 성향을 보면 건설/엔지니어링회사들은 대부분 자국 특허위주로 출원을 하고 있고, 전자/자동차 회사들은 미국, 유럽 등 국제특허도 같이 출원하고 있음

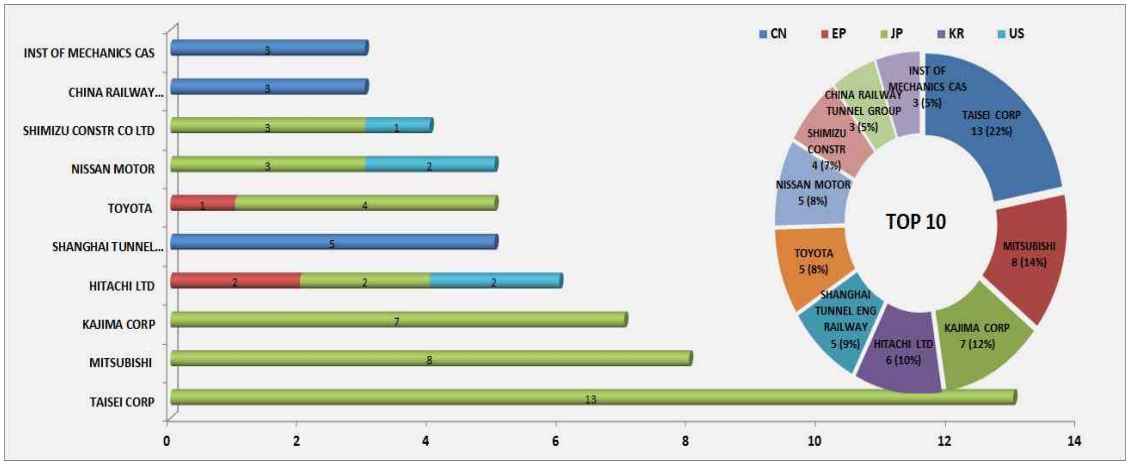


그림 2.196 주요 출원인 동향

○ 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 최다 출원인인 TAISEI CORP는 2004년 이후 특허가 없는 반면, SHANGHAI TUNNEL ENG RAILWAY, TOYOTA 등이 최근 관련 특허를 많이 출원하고 있음을 알 수 있음

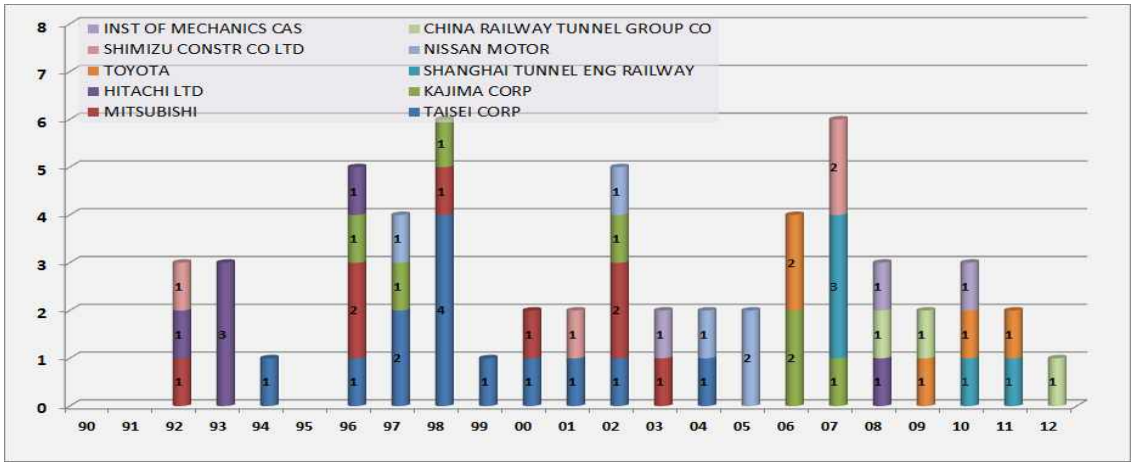


그림 2.197 연도별 주요 출원인 동향

(라) 국가별 기술 분포

○ 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과 일본은 모든 기술분야에 높은 수준의 특허를 보유하고 있으며, 특히 시공기술(C기술)이 다른 분야에 비해 높게 나타나고 있는데 이는 TAISEI CORP, KAJIMA CORP 등 건설/ENG회사가 관련 특허를 많이 보유하고 있기 때문으로 판단됨

○ 중국도 역시 시공기술(C기술)이 다른 분야에 비해 높게 나타나고 있는데 이는 HANGHAI TUNNEL ENG RAILWAY, CHINA RAILWAY TUNNEL GROUP 등 건설/ENG회사가 관련 특허를 많이 보유하고 있기 때문으로 판단됨

○ 한국은 해석 및 설계기술(B기술) 분야가 다른 분야에 비해 높게 나타나지만, 전반적으로 일본과 중국에 비해 특허가 부족한 상황으로 향후 기술 확보가 시급한 상황임

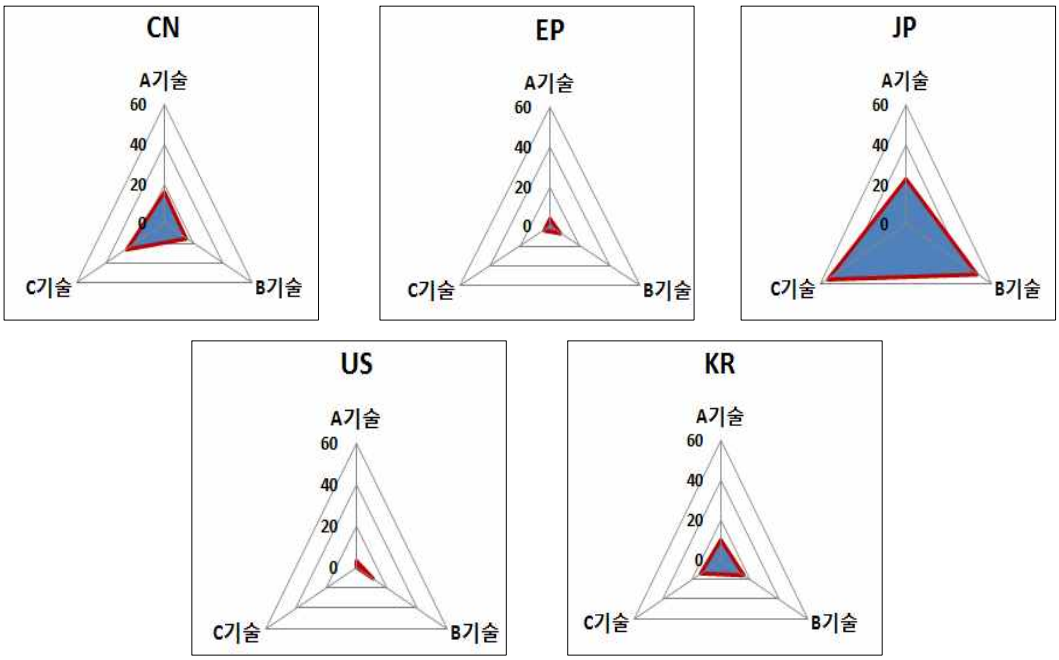


그림 2.198 국가별 기술분포(방사형)

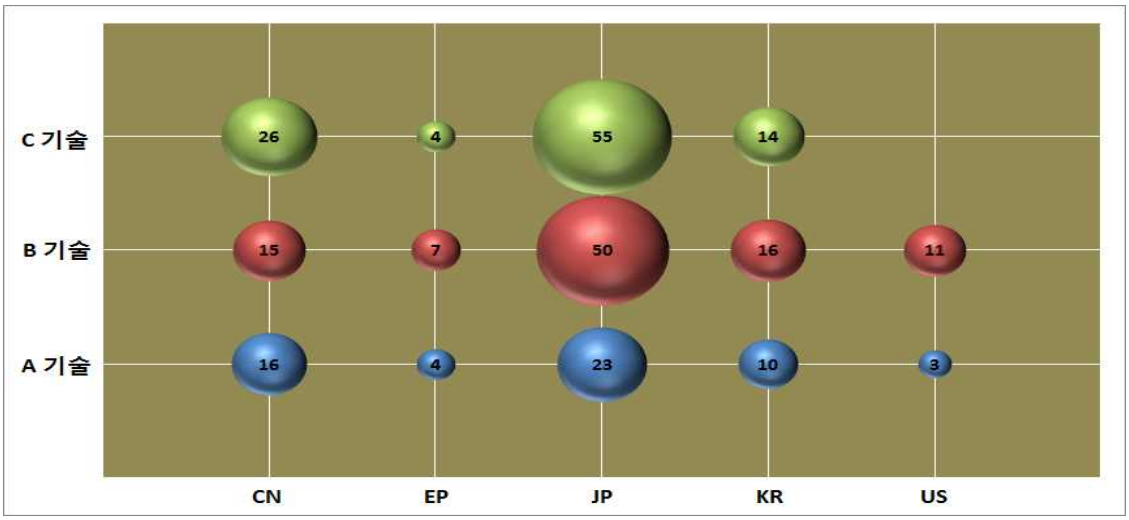


그림 2.199 기술별/국가별 기술분포(버블형)

(마) 국가별 특허분포 지수분석

○ 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

○ (지표 설명) 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 數가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용함

○ (계산식) 국가별 시장확보지수(PFS) = (Σ 해당국가 특허別 패밀리) / 해당국가 특허건수

○ (분석결과)

- 유럽의 시장확보지수(PFS)가 8.73으로 가장 높게 나타남
- 유럽 다음으로는 미국, 중국의 시장확보력이 높게 나타남
- 일본의 경우 특허 건수에 비해 시장 확보력이 낮게 나타나고 있음
- 한국은 시장확보력이 가장 낮은 것으로 평가됨

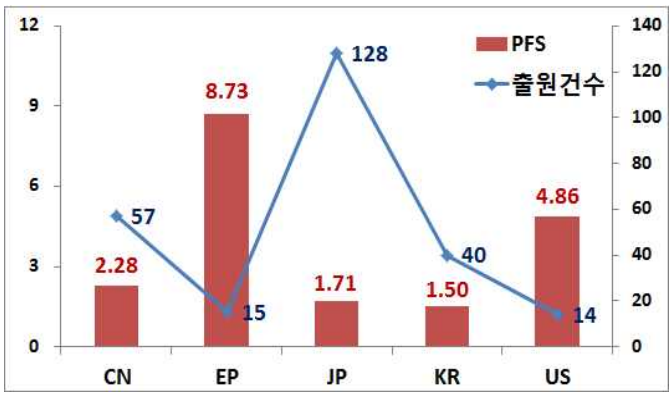


그림 2.200 국가별 출원건수 및 시장확보지수

○ 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

○ (지표 설명) 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 회수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용함

○ (계산식) 국가별 인용도 지수(CPP) = (Σ 해당국가 특허別 피인용수) / 해당국가 특허건수

○ (분석결과)

- 미국의 인용도지수(CPP)가 8.00으로 가장 높게 나타남, 미국이 특허 건수는 낮지만, 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있음
- 반면, 일본은 특허건수에 비해 인용도지수(CPP)가 많이 낮아, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있음

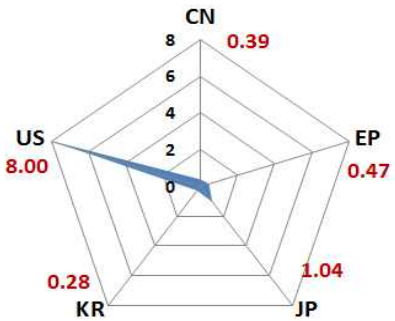


그림 2.201 국가별 인용도지수

○ 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)
○ (지표 설명) 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적수준)을 함께 나타냄
○ (계산식)
- 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수
- 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

○ (분석결과)
- 미국의 영향력지수(PII)가 99.82로 가장 높게 나타나 질적 수준에서 가장 경쟁력 있는 것으로 보여짐
- 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 특허 건수가 월등히 높은 일본이 118.53으로 높게 나타나고 있음
- 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 최하위 수준으로, 향후 지속적인 기술역량 강화가 필요함

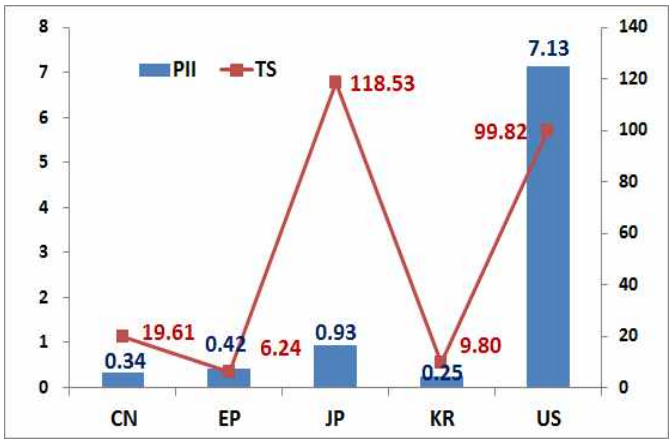
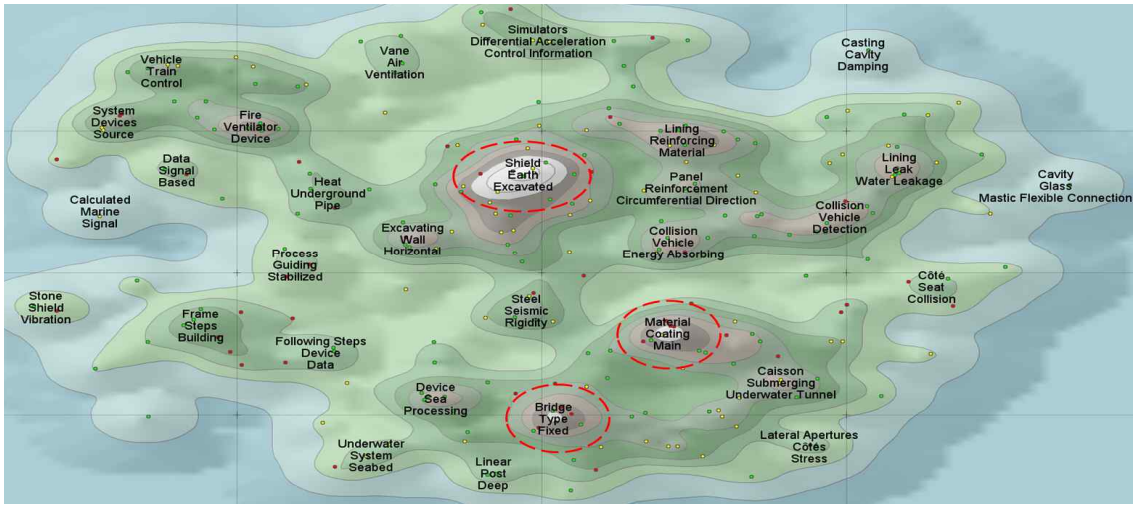


그림 2.202 국가별 영향력지수 및 기술력지수

(바) 기술분야 특허 분포도

○ Text mining을 통한 특허 분포
○ 장거리 부유식 해중 고속철도시스템 기술관련 검색결과 결과 1,469건 중 검색특허 중 최종 256건의 유효 특허기술이 분포함
○ 등고선 꼭지점이 높은 Shield/Earth/Excavated, Material/Coating/Main, Bridge/Type/Fixed 등 3개 기술에 특허가 많이 분포하고 있어 관련 분야가 기술집중도가 높은 기술로 볼 수 있음
○ 특히 최근 특허기술 분석결과 Equipment for controlling a train fire in a long

railway tunnel, Lower outlet plugging construction method for water 등이 많이 나타나고 있어 관련기술이 최근 동향임을 알 수 있음



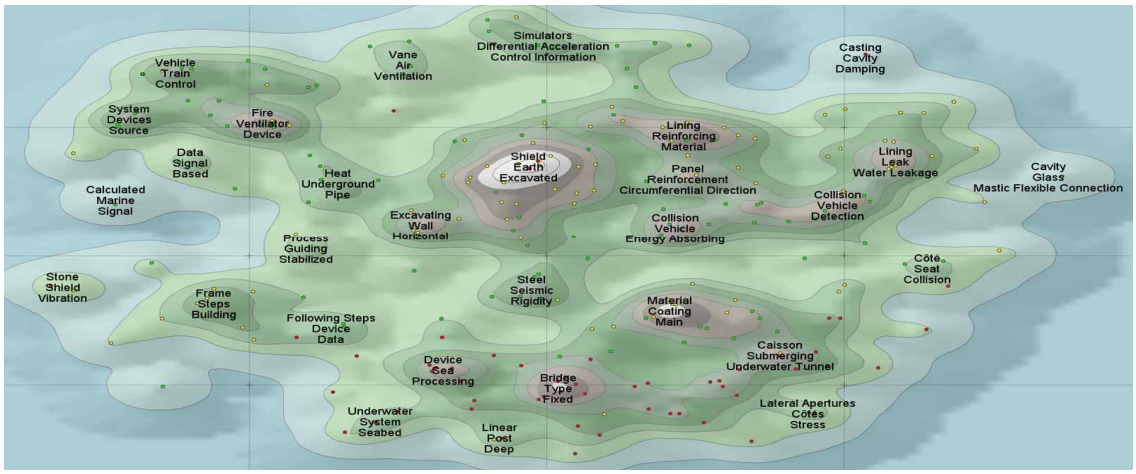
● 2010년 이후 ● 2000-2009 ● 1990-1999

그림 2.203 특허 등고선 맵

○ 핵심기술(중분류 기준)을 통한 특허 분포

○ 해석 및 설계기술(B기술)와 시공기술(C기술) 분야의 경쟁이 치열하며, B기술은 日 TOYOTA, NISSAN MOTORS 등 자동차 회사들이, C기술은 日 TAISEI CORP, KAJIMA CORP, 中 SHANGHAI TUNNEL ENG RAILWAY 등 건설/ENG 회사들이 기술을 주도하고 있음

○ 우리 연구원(KRRI)은 해석 및 설계기술(B기술)에 각 2건의 관련 특허를 보유하고 있는 것으로 나타나 향후 관련분야 기술개발이 시급한 것으로 판단됨



■ A기술. 시스템 엔지니어링기술 ■ B기술. 해석 및 설계기술 ■ C기술. 시공 기술

그림 2.204 세부기술별 특허 등고선 맵

(사) 주요 핵심특허 기술흐름 분석

○ 주요 핵심특허 현황

○ 터널 화재방지와 관련된 KOTLIAR IGOR K의 미국 등록특허 US6557374B2건의 피인용 건수가 15건으로 가장 많으며, 기타 해저터널 시스템, 터널 환기, 터널 재해 방지 등과 관련된 특허들이 피인용 건수가 많아 이러한 특허들을 중심으로 주요 특허를 선정하여 핵심특허 권리 분석을 할 수 있음

표 2.37 주요 핵심특허 현황

공개번호	발명의 명칭	출원인 정리	피인용수 (Forward)
US6557374B2	Tunnel fire suppression system and methods for selective delivery of breathable fire suppressant directly to fire site	KOTLIAR IGOR K	15
US5899635A	Transportation underwater tunnel system	KUJA M W	11
US7338118B2	Seat	SHIMIZU CONSTR CO	11
US5696435A	Fast battery charger for a device having a varying electrical load during recharging	NORAND CORP	10
US5726886A	Moving object controller containing a differential of acceleration measurer	HITACHI LTD	8
JP5195699A	TRAIN WIND MITIGATING DEVICE FOR UNDERGROUND RAILWAY	HITACHI LTD	8
US5841059A	Projectile with an explosive load triggered by a target-sighting device	LUCHAIRE DEFENSE SA	8
JP2005120926A	Fan for tunnel ventilation	MITSUBISHI	7
JP11181811A	UNDERWATER TUNNEL	KAJIMA CORP	6
JP2002291918A	Disaster prevention equipment in a tunnel	NOHMI BOSAI LTD	6

○ 주요 핵심특허 기술흐름도 분석

○ 피인용이 가장 많은 핵심특허 US6557374B2는 터널화재방지에 관한 원천특허로 20003년 해당 특허 공개 후 가스발생장치, 버퍼탱크를 통한 화재예방, 화재감지장치 등의 특허 들이 출원되어 해당기술을 통해 관련 기술이 구체화되고 있음을 알 수 있음

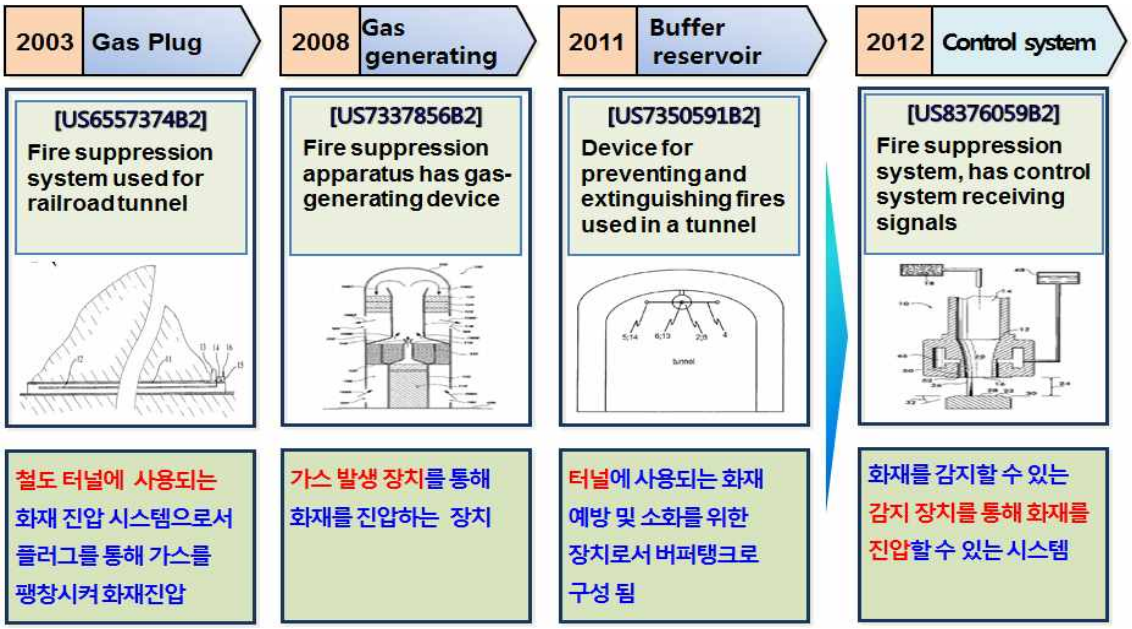


그림 2.205 기술분류별 기술흐름도 (터널화재방지분야)

○ 피인용이 두 번째로 많은 핵심특허 US5899635A는 해중터널시스템에 관한 원천 특허로 1999년 해당 특허 공개 후 부유식 수중 교량, 이중-튜브터널, 사장식 초장대 해저터널 등의 특허 들이 출원되어 해당기술을 통해 관련 기술이 구체화 되고 있음을 알 수 있음

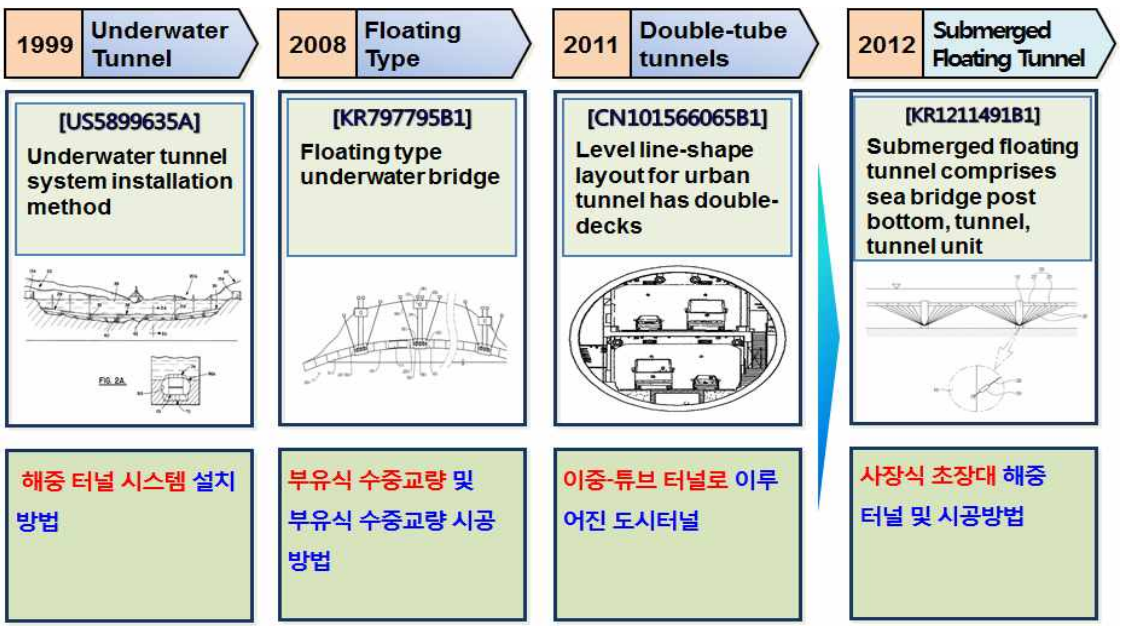


그림 2.206 기술분류별 기술흐름도 (해중터널시스템분야)

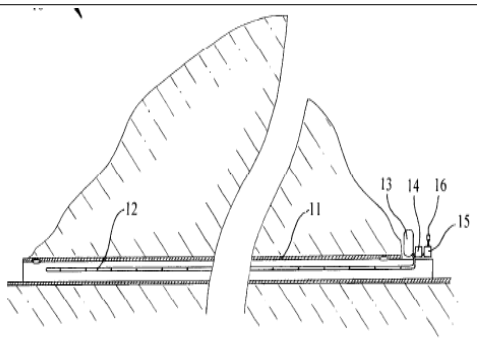
(아) 주요 핵심특허 심층 분석

○ 주요 핵심특허 심층분석 (권리성 분석)

○ 피인용수가 가장 많은 KOTLIAR IGOR K의 미국 등록특허 US6557374B2건은 터널 화재방지와 관련된 특허로 현재까지 특허가 유지되고 있어 향후 면밀한 검토가 필요함

○ 피인용수가 두 번째로 많은 KUJA M W의 미국 등록특허 US5899635A건은 해중터널시스템과 관련된 특허로 현재 특허가 만료되어 관련 특허 확보가 가능할 것으로 판단됨

표 2.38 주요 핵심특허 현황 (터널화재방지분야, US6557374B2)

<table>
<tr><td>1</td><td>기술 분류</td><td>B.해석 및 설계 기술</td><td>특허번호 (출원번호)</td><td>US200278988</td><td>특허번호 (공개번호)</td><td>US6557374B2</td></tr>
<tr><td colspan="2">출원인</td><td>KOTLIAR IGOR K</td><td>출원일</td><td>2002.02.19</td><td>공개일</td><td>2003.05.06</td></tr>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="5">Tunnel fire suppression system and methods for selective delivery of breathable fire suppressant directly to fire site</td></tr>
<tr><td colspan="2">대표도면</td><td colspan="5"> 

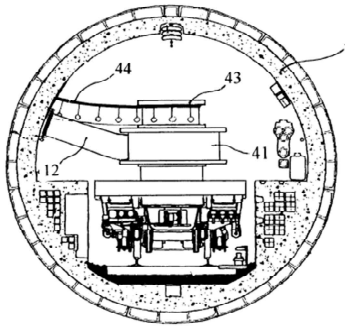
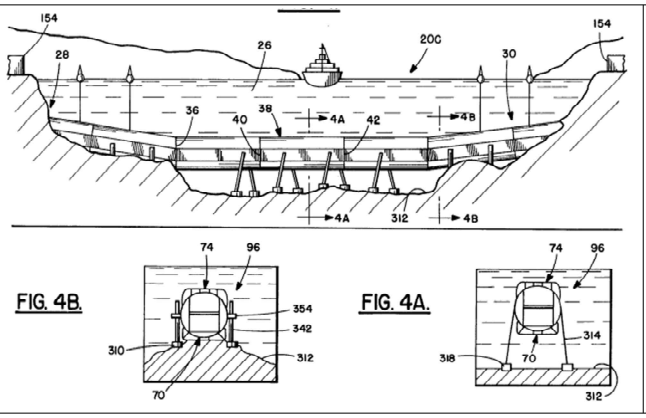
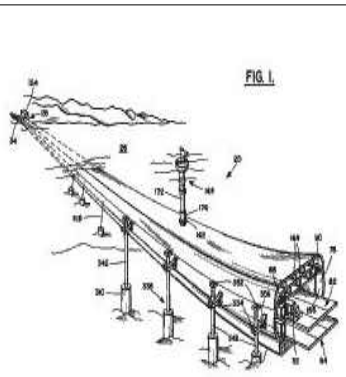

</td></tr>
<tr><td colspan="2">주요 내용</td><td colspan="5">– 철도 터널, 광산 등에 사용되는 화재 진압시스템으로서 플러그를 통해 화재 진압가스를 팽창시켜 터널 끝까지 흐르게 하여 화재를 진압하는 방법임</td></tr>
<tr><td colspan="2">주 요
청구항</td><td colspan="5">1. A fire suppression system and a method for selective delivery of a breathable fire–suppressive gas directly to a fire location inside a transportation tunnel, said system and method comprising:
a gas generation device producing said fire–suppressive gas from ambient atmospheric air;
a gas storage station consisting of multiple high–pressure containers receiving said fire–suppressive gas from said gas generation device and storing it for immediate release when needed;
an addressed gas delivery hose communicating with said gas storage station and said gas generation device and, when in use, receiving said fire–suppressive gas from said station and/or device; said hose installed throughout a tunnel and having multiple gas discharge means located at required intervals from each other;</td></tr>
<tr><td colspan="2">법적상태
(회피전략)</td><td colspan="5">– 본 특허는 2004년 FIREPASS IP HOLDINGS INC에 양도되어 현재까지 유지되고 있음
– 향후, 관련 분야 연구를 진행함에 있어 해당 특허기술을 회피하여 기술을 개발하는 것이 바람직할 것으로 보임</td></tr>
</table>

표 2.39 주요 핵심특허 현황 (해중터널시스템분야, US5899635A)

2	기술 분류	A.시스템 엔지니어링 기술	특허번호 (출원번호)	US19978538 24	특허번호 (공개번호)	US5899635 A
출원인		KUJA; MICHAEL W	출원일	1997.05.09	공개일	1999.05.04
발명의 명칭		Transportation underwater tunnel system				
대표도면						
주요 내용		– 기차, 자동차, 트럭 등 **교통수단의 이동이 가능한 해중 터널 시스템**				
주 요 청구항		1. A method of installing an underwater tunnel system for vehicular traffic connecting first and second shores of opposed land masses separated by a body of water, the method, using submarine manufacturing technology, comprising the steps of: (a)constructing on land a plurality of substantially complete elongated watertight tubular tunnel sections, each of the tubular tunnel sections having a longitudinal axis; (b)embedding into the first shore a first watertight elongated inclined stationary tubular tunnel section for ingress into and egress from the underwater tunnel system of the vehicular traffic traveling through the underwater tunnel system, the first inclined stationary tubular tunnel section extending transverse of the shoreline and into the body of water and having a land–based proximal end and a distal end immersed in the body of water at a predetermined depth at a location distant from the first shore; (c)embedding into the second shore a second watertight elongated inclined stationary tubular tunnel section for ingress into and egress from the underwater tunnel system of the vehicular traffic traveling through the underwater tunnel system,				
법적상태 (회피전략)		– 본 특허는 **기차 등의 이동이 가능한 해중 터널시스템**과 관련된 특허로, 해중 부유식 터널기술과 기술적 유사성을 가지고 있음 – 하지만, 2011년 특허 유지료를 납부하지 않아 **현재 특허가 만료된 상태**로, 향후 **관련 기술 확보가 가능할 것으로 판단**됨				

○ 주요 핵심특허 심층 분석 (우수성 분석)

○ 특허청 발명진흥회의 특허분석 평가시스템(SMART3)를 활용하여, 터널화재방지 분야 특허인 US6557374B2에 대해 상세 분석한 결과, 종합평가점수가 69.8점으로 A로 평가됨

※특허청 발명진흥회의 특허분석 평가시스템(SMART3)는 현재 유지되는 특허만을 분석하기 때문에 만료특허인 해중터널시스템분야 US5899635A는 평가가 불가능함)

평가결과 세부내용

- **전체 미국 등록특허 中 상위 22.9%에 위치**하는 우수 특허이며, 미국 內 패밀리특허가 18건, 미국 外의 해외 패밀리특허가 25건으로 **시장확보력도 높게 평가**됨
- **권리성 26.5점, 기술성 15.4점, 활용성 28점**으로 화학분야 평균인 권리성 26.1점, 기술성 14.6점, 활용성 27.3점에 비하여 **모든 분야에서 높게 평가**되었음

평가지표	점수	등급	대분류(화학)			중분류(화학2)			소분류(화학공학)		
			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차
권리성 (40점)	26.5	BBB	37.1	26.1	1.7	37.1	26.1	1.7	30.6	26.1	1.5
기술성 (20점)	15.4	BBB	27.8	14.6	1.1	27.8	14.6	1.1	28.2	14.6	1.1
활용성 (40점)	28	A	20.6	27.3	1.3	20.6	27.3	1.3	13.6	27.3	1.2
총점 (100점)	69.8	A	22.9	68.1	2.8	22.9	68.1	2.8	16.9	67.6	2.6

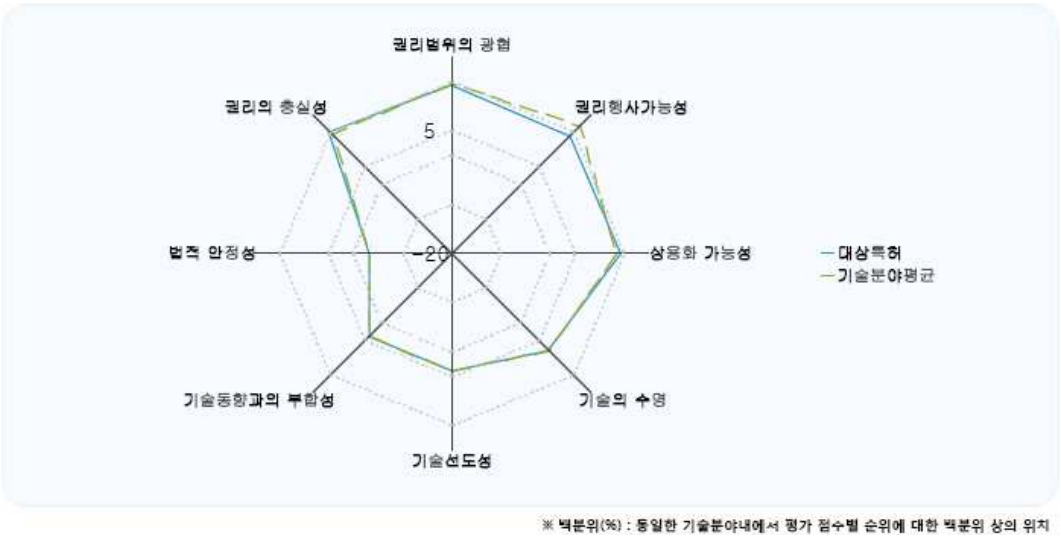


그림 2.207 핵심특허(US6974928B2) 평가결과

다. 논문 분석

(1) 논문분석 범위

표 2.40 논문 분석 기준

구 분	분석 기준
논문검색 DB	Web of Science, Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01.~2013.6.19
검색범위	Title, Abstract

(2) 기술분류 및 검색 조합식

표 2.41 기술별 검색 조합식 및 대상논문건수

기술구분		검색 조합식	대상 논문건수
A기술			
	AA/ AB	(TI=((sub*merg* or (under adj water) or underwater or under*sea or sub*marine or sea or river or water or undersea or submarine or marine and (railway or railroad or tunnel or (pipe adj line))))) AND (TI=((float* or BUOYAN*)));	636건
B기술			
	BA	TI=(((Wave or (ocean adj current) or earthquake or tsunami or collision or explos*) adj (load)));	171건
	BB	(ALL=((Lateral ADJ displacement ADJ reduction) OR (tension ADJ leg) OR pontoon OR (earthquake ADJ load ADJ reduction) OR ((vibration OR noise) ADJ reduction) OR (passive ADJ damping ADJ system)) AND Ti=(CONTROL)) AND (ALL=((RAILWAY OR RAILROAD)));	17건
	BC	(ALL=((Tunnel ADJ tube) OR (Mooring ADJ system) OR Ventilat*) AND ALL=(TUNNEL)) AND (ALL=(RAILROAD OR RAILWAY));	24건
C기술			
	CA/ CB/	Ti=((stiffened ADJ girder ADJ module) OR (consecutive ADJ construction) OR (collision OR prevention) OR (gravity ADJ	9건

기술구분		검색 조합식	대상 논문건수
	CC	anchor) OR (fixed ADJ anchor) OR (offshore ADJ electric*) OR (offshore ADJ evacuation ADJ facility) OR (energy ADJ harvest*)) AND TI=(CONSTRUCTION AND (RAILWAY OR RAILROAD OR TUNNEL));	

(3) 논문기술 동향

(가) 연도별 논문 발표 추이 및 주요등재저널 동향

○ 장거리 부유식 해중 고속철도시스템 기술 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 150건의 논문이 발표되고 있으며, 2009~2010년 다소 감소하는 추세를 보였지만 2011년 이후 다시 성장하는 추세를 보이고 있음

○ 시스템 엔지니어링 기술(A기술) 분야가 논문이 가장 많으며, 특허가 가장 많았던 시공기술(C기술) 분야는 현장/실용화 중심 기술로 인해 논문이 가장 적게 발표되고 있음

○ 저널별 논문현황을 보면 ELSEVIER SCI LTD, ACADEMIC PRESS LTD, CAMBRIDGE UNIV PRESS 등 유럽과 미국의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있음

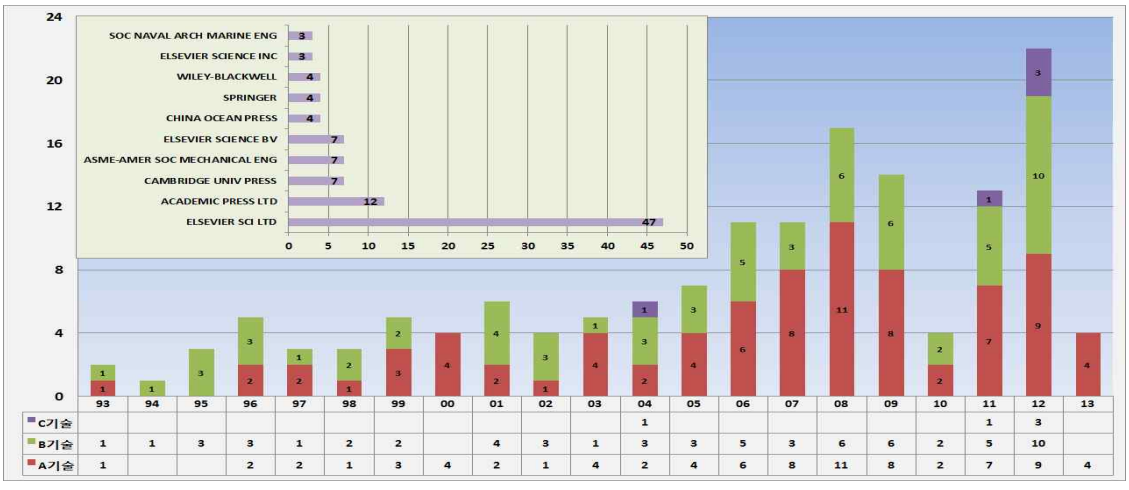


그림 2.208 연도별 논문 발표 추이 및 주요 등재 저널

(나) 국가별, 주요연구기관, 주요저자 분석

○ 장거리 부유식 해중 고속철도시스템 기술 분야 논문은 유럽과 중국의 기관에서 많이 발표되고 있으며, 한국은 논문 실적이 낮은 상황임

○ 또한, 논문 발표 주요저자 분석 결과 러시아 Sturova, IV 박사(Russian Acad Sci)가 6건으로 최다저자이며, Abbas, AM박사 (Indian Inst Sci)가 3건으로 그 다음 주요저자임

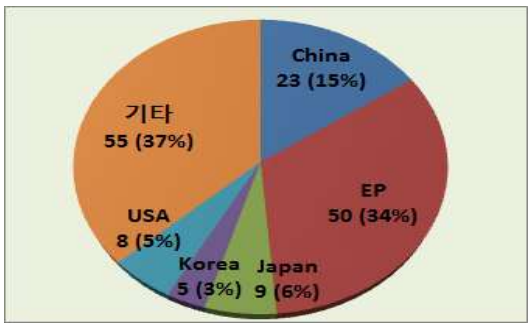


그림 2.209 논문 발표 주요 국가

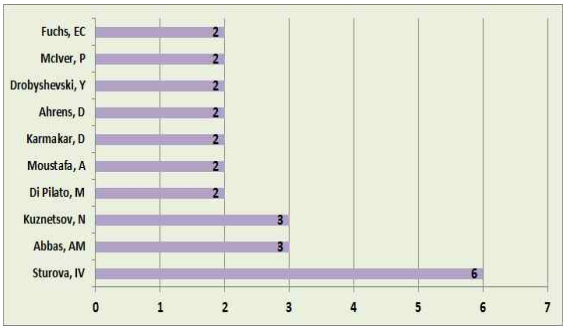


그림 2.210 논문 발표 주요 저자

○ 주요 연구기관별 논문분석 결과, 이 분야 최다 연구기관은 러시아의 Russian Acad Sci로 9건이며, 중국 Chinese Acad Sci, 노르웨이 Norwegian Univ Sci & Technol이 관련 분야 논문을 많이 발표하고 있어 해당분야를 선도하고 있음을 알 수 있음

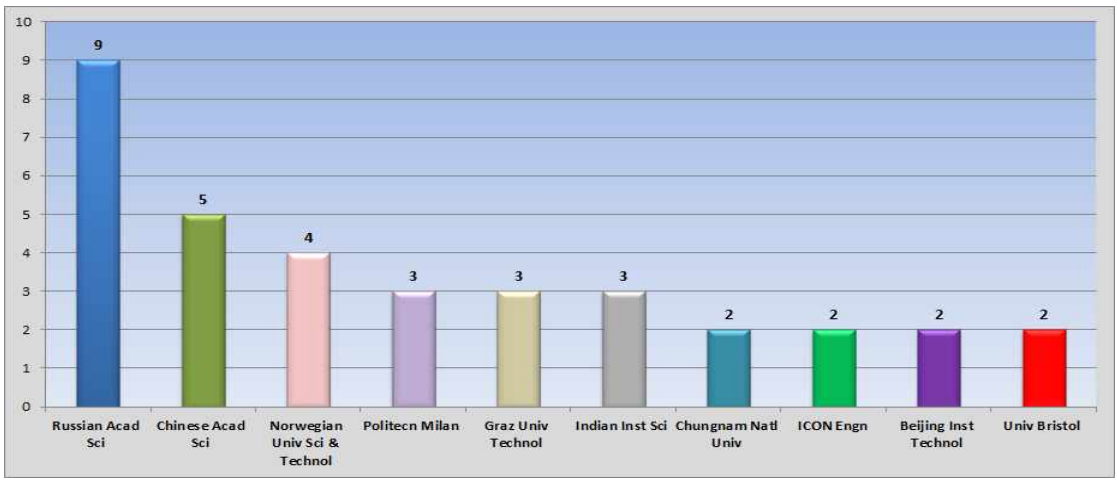


그림 2.211 논문 발표 주요 연구기관

(다) 주요 핵심논문 분석

○ 원형 부력 탄성과 관련된 벨기에 Lombaert, G교수(Catholic Univ Louvain)의 논문이 피인용 35건으로 가장 많음
○ 기타 유체탄성 부유식 매트, 해상구조물 파도 압력등과 관련된 논문이 피인용 수가 높은 것으로 보아 핵심 논문 분야로 파악할 수 있음

표 2.42 주요 피인용 논문 현황

번호	논문제목	저 널 명	발표년도	피인용수
1	The control of ground-borne vibrations from railway traffic by means of continuous floating slabs	ACADEMIC PRESS LTD	2009	35
2	The influence of water depth on the hydro elastic response of a very large floating platform	ELSEVIER SCI LTD	2004	35
3	Hydroelastic response of a floating mat-type structure in oblique, shallow-water waves	SOC NAVAL ARCH MARINE ENG	2010	34
4	SLENDER-BODY EXPRESSIONS FOR THE WAVE LOAD ON OFFSHORE STRUCTURES	ROYAL SOC	2004	28
5	Investigations into critical earthquake load models within deterministic and probabilistic frameworks	WILEY-BLACKWELL	2008	25
6	Water wave interaction with a floating porous cylinder	ELSEVIER SCI LTD	2004	25
7	Hydroelastic buoyant circular plate in shallow water: a closed form solution	ELSEVIER SCI LTD	2006	20
8	Dynamics of the floating water bridge	IOP PUBLISHING LTD	2009	18
9	Dynamics of the floating water bridge	IOP PUBLISHING LTD	2009	18
10	Complete two-dimensional analysis of sea-wave-induced fully non-linear sloshing fluid in a rigid floating tank	ELSEVIER SCI LTD	2009	17

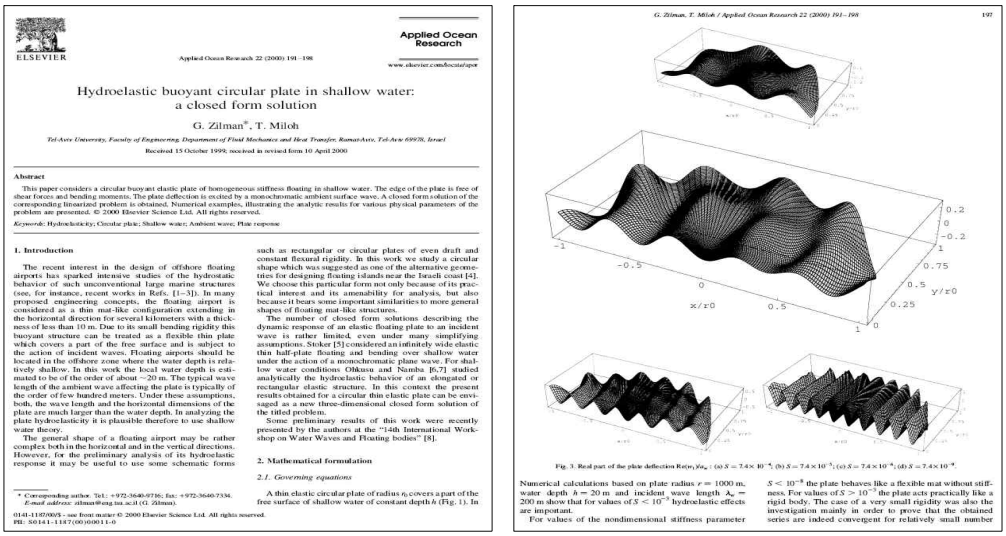
○ 최근 3년 內 발표 논문 중 피인용수가 높은 논문(Hot Paper)을 보면 부유식 터널, 부유식 구조물 등의 연구내용이 주로 발표되고 있어 관련 분야 연구가 최근 주목받고 있는 분야임을 알 수 있음

표 2.43 3년 內 발표논문 중 피인용수 높은 논문(Hot Paper) 현황

번호	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
1	A numerical procedure for simulating the multi-support seismic response of submerged floating tunnels anchored by cables	ELSEVIER SCI LTD	2011	5
2	Trapping of water waves by freely floating structures in a channel	ROYAL SOC	2011	2
3	ON THE PROBLEM OF TIME-HARMONIC WATER WAVES IN THE PRESENCE OF A FREELY FLOATING STRUCTURE	AMER MATHEMATICAL SOC	2011	2
4	Mathematical modeling of a hydrophilic cylinder floating on water	ACADEMIC PRESS INC ELSEVIER SCIENCE	2012	1
5	Parametric Vibration of Submerged Floating Tunnel Tether Under Random Excitation	CHINA OCEAN PRESS	2011	1

○ 핵심논문 심층분석

- SCI 논문 : 「The control of ground-borne vibrations from railway traffic by means of continuous floating slabs」
- 저널명 : ACADEMIC PRESS LTD, 2009
- 저자 : Lombaert, G 외 4명
- 주요 내용 : 얕은 물에 떠 있는 균질 강성의 원형 부력 탄성판의 다양한 물리적 매개변수 해결과 관련된 논문임



Applied Ocean Research

Hydroelastic buoyant circular plate in shallow water: a closed form solution

G. Zilman*, T. Miloh

Abstract

1. Introduction

2. Mathematical formulation

그림 2.212 핵심논문 발표현황

라. 시장 분석

(1) 시장 현황

(가) 국/내외 해저터널 건설현황

○ 2010년 9월 13일 부산 가덕도~경남 거제도를 잇는 거가대교 중 3.7km 구간의 해저 침매터널이 완공되었음, 이 터널은 세계 최대 심도(최대 수심 48m)에 건설된 터널로 높은 수압, 지진, 선박 충돌 등에 안전하도록 건설되었으며, 내부 차량 화재에 대비 1300도의 온도에도 구조물 손상이 없도록 비상통로, 배연덕트, 방화문 등을 설치하였음

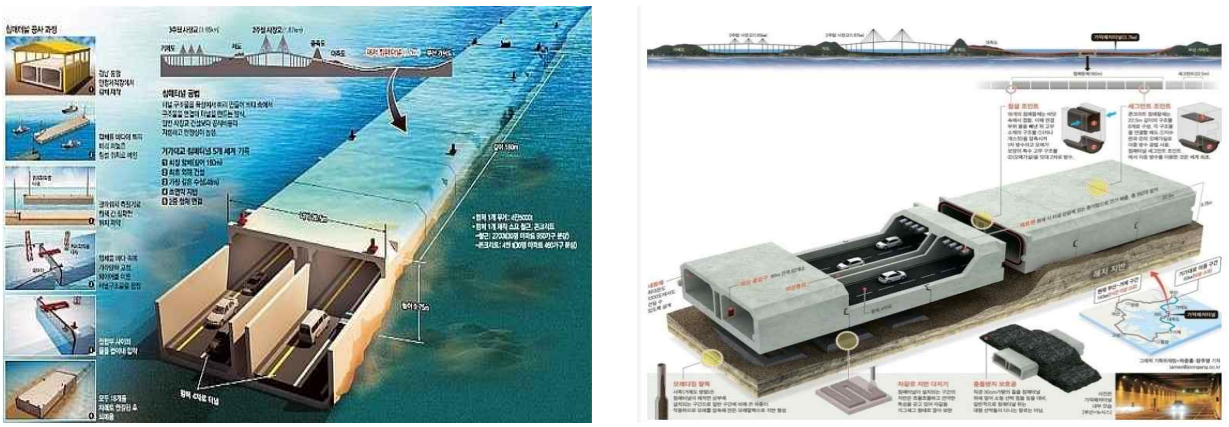


그림 2.213 거가대교 해저 침매터널 (3.7km)

○ 영국-프랑스 간 유로터널(1988~1994, 50.45km, 약 16조원), 일본 세이칸 해저터널(1964~1988, 53.85km, 6,890억엔), 덴마크-스웨덴 간 외레순 다리(교량/인공섬/터널로 구성, 터널 38.8km), 노르웨이 터널 (총 34개소, 130km 운용) 등의 사례가 있음 (※출처 : 지하터널과 해저터널의 기술발전 전망, 경기개발연구원)

○ 세계의 해저터널 시장규모는 발주물량이 많지는 않지만, 해저터널의 건설특성상 대규모 사업으로 발주되는 경우가 많으므로, 잠재적인 시장규모는 매우 클 것으로 예상됨. 향후 발주가 예상되는 건설사업은 대만해협 해저터널(대만-중국, 연장 130~210km, 1조 4400억 위안 규모), 지브롤터 해저터널(스페인 카날레스-모르코 시레스, 27.7km), 베링해협 해저터널(러시아대륙 동단-북미대륙 알레스카, 85km, 200조원 규모) 등이 있음 (※출처 : 건설교통기술연구개발사업 중장기계획수립연구 Part 1, 2007, 한국건설교통기술평가원)



그림 2.214 영국-프랑스 유로터널


그림 2.215 일본 세이칸 해저터널

○ 영국-프랑스 간 유로터널(1988~1994, 50.45km, 약 16조원), 일본 세이칸 해저터널(1964~1988, 53.85km, 6,890억엔), 덴마크-스웨덴 간 외레순 다리(교량/인공섬/터널로 구성, 터널 38.8km), 노르웨이 터널 (총 34개소, 130km 운용) 등의 사례가 있음 (※출처 : 지하터널과 해저터널의 기술발전 전망, 경기개발연구원)

(나) 부유식 해저터널 추진현황

○ 부유식 해저터널은 노르웨이, 이탈리아, 스위스, 일본, 미국 등을 중심으로 이루어지고 있으며, 노르웨이가 가장 적극적임. 노르웨이 교통부에서는 1998년 해수면 아래 25m 깊이, 1400m 연장의 "부유식 해저터널"에 대한 건설계획을 제안하고 이에 대한 가능성을 검토한 바 있음 (※출처 : 건설교통기술연구개발사업 중장기계획수립연구 Part 1, 2007, 한국건설교통기술평가원)

- 부유식 해저터널이 검토되는 사업지역 및 국가현황 : Vallavik-Bu, NPRA(노르웨이), Hogsfjord Project, NPRA(노르웨이), Strait of Messina(이탈리아), Lake Lugano(스위스), Funka Bay, Hokkaido(일본) 등

○ 캐나다의 브리티시-컬럼비아 교통부는 본토의 밴쿠버와 빅토리아섬 사이를 연결하는 몇 가지 방안을 검토하면서 "부유식 해저터널"을 검토한 적이 있음 (※ 출처 : A Potential Fixed Link to Vancouver Island, 캐나다 브리티시-컬럼비아주 교통국 보고서, 2001)

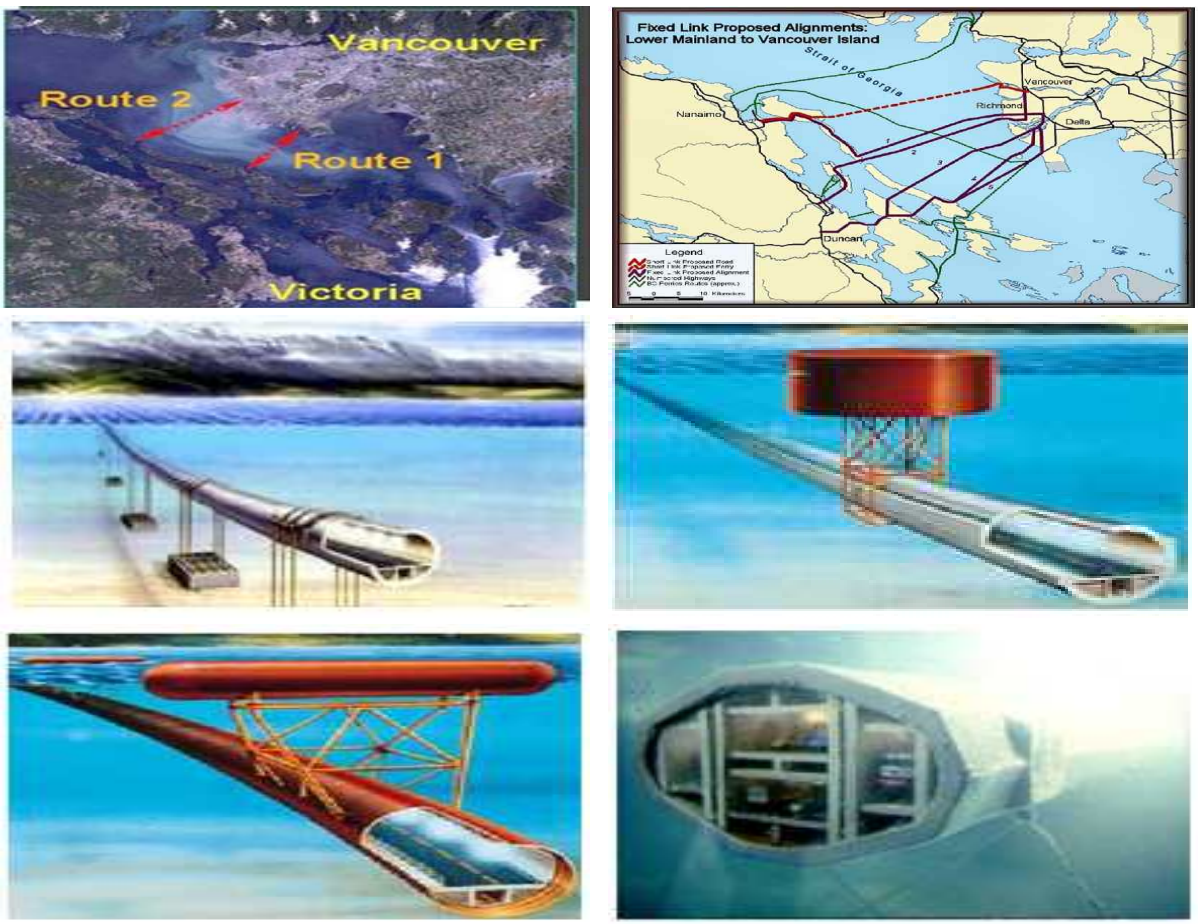


그림 2.216 부유식 해저터널 구상도 (캐나다 밴쿠버-빅토리아섬)

(다) 플로팅(Floating) 해양건축 현황

○ 네덜란드 플로팅(Floating) 구조물 전문회사인 Dutch Docklands社는 몰디브에 호텔과 골프장으로 이용할 수 있는 인공섬을 건설하고 있음(2015년 완공 예정), 이 중 골프장으로 통하는 길은 해중 터널을 설치하여 이동할 수 있도록 건설될 예정임 (※ 출처 : Dutch Docklands社 report, www.dutchdocklands.com)

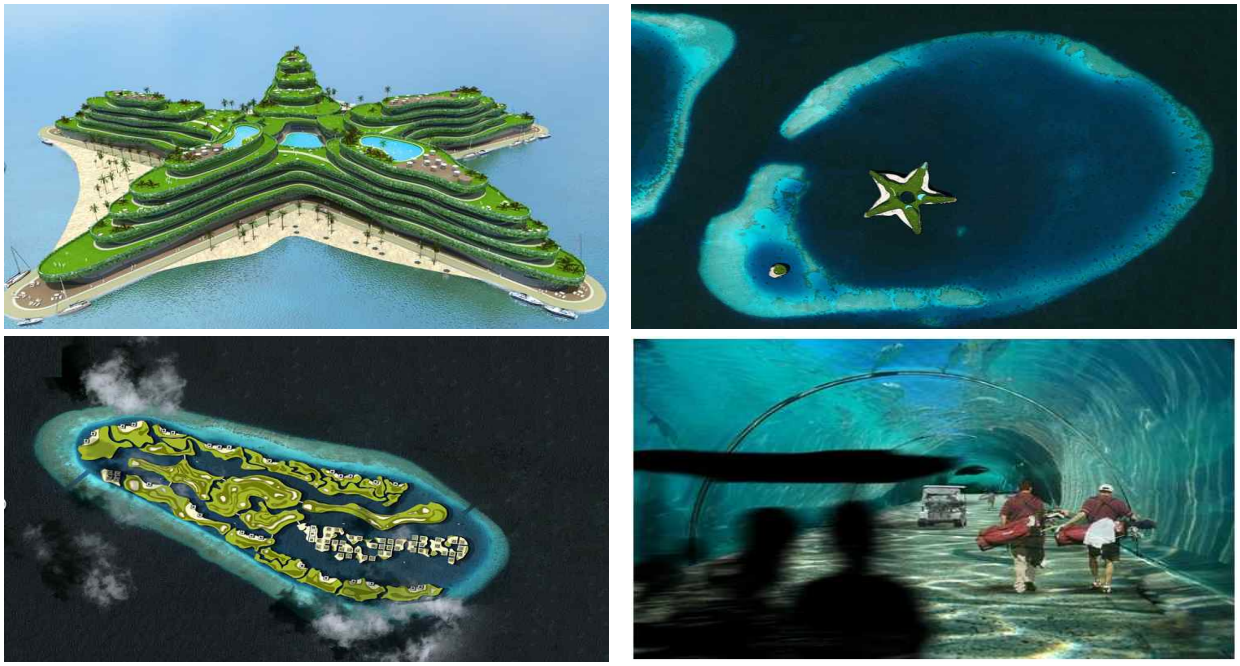


그림 2.217 몰디브 플로팅 아일랜드 (3.7km)

○ 네덜란드 플로팅(Floating) 건축 전문 설계사인 Watrerstudio社는 크루즈 선박이 계류할 수 있는 플로팅 크루즈 터미널 건설을 추진하고 있으며, UAE 두바이에는 플로팅 모스크 설치를 추진하고 있음 (※ 출처 : Watrerstudio社 report, www.waterstudio.nl)

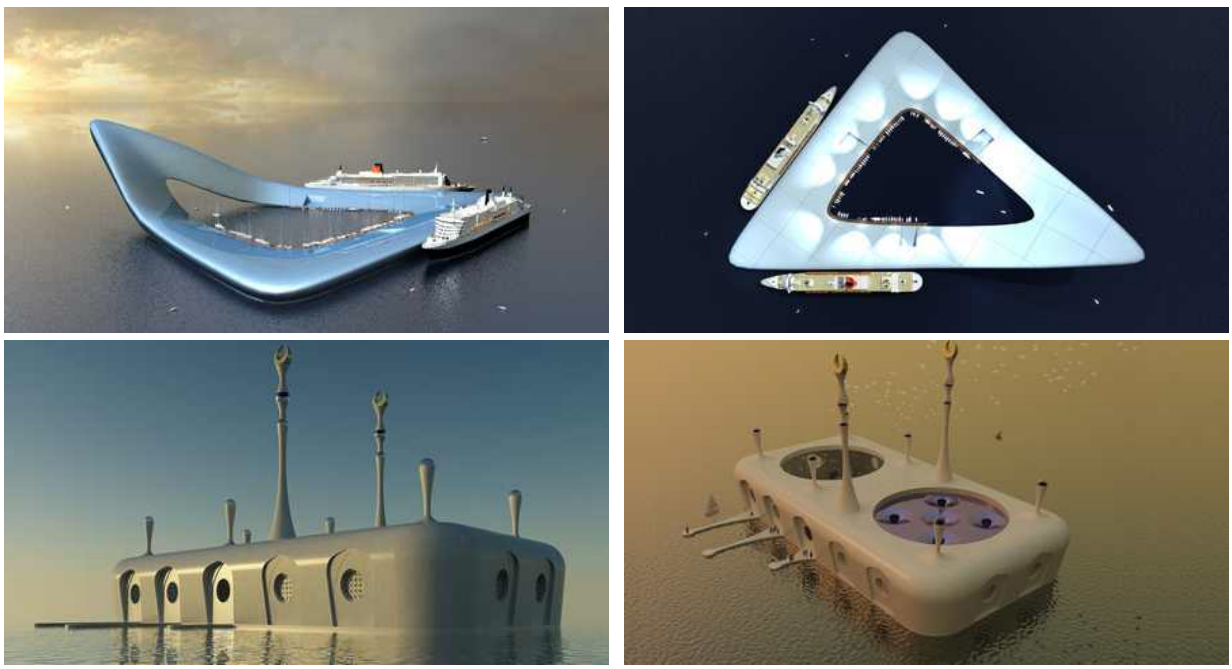


그림 2.218 플로팅 크루즈 터미널 및 플로팅 모스크 건설 개념도

(2) 시장 발전단계

○ 1990년대 초반부터 해외에 공개기술(적색선)과 기술의 발명(청색선)이 등락을 거듭하고 있으나, 2010년 이후 해외 공개기술이 더 많이 나타나는 것을 볼 때 해외시장에서 중요한 기술로 부각되고 있는 기술임을 알 수 있음

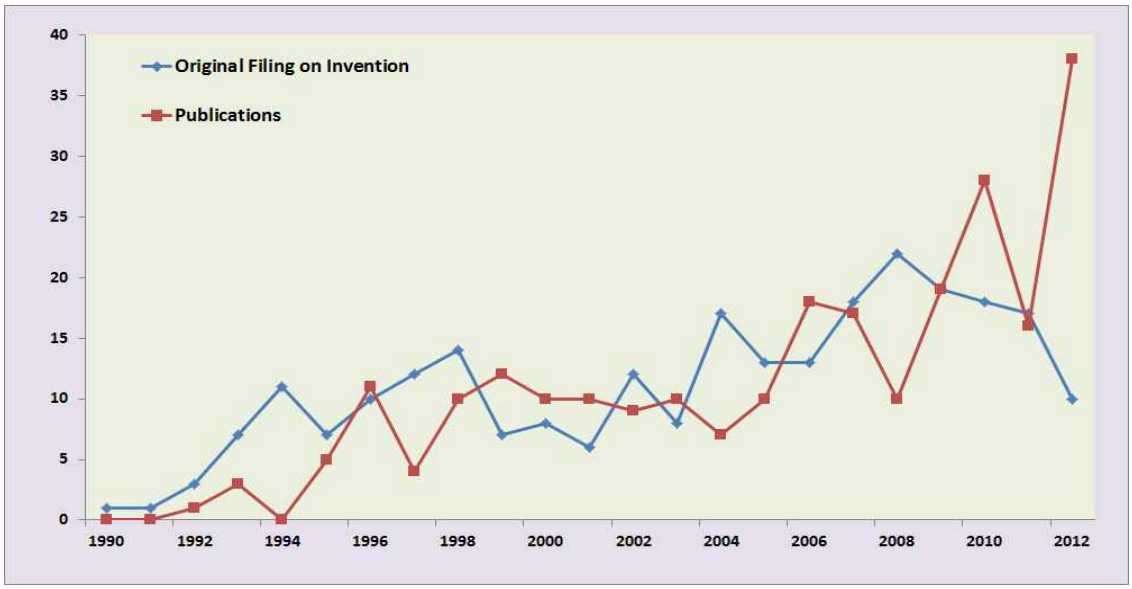


그림 2.219 특허기술 연계 기술발전 추이

○ 장거리 부유식 해중 고속철도시스템 기술개발 분야 전반의 논문 발표추이를 통해 시장 발전단계 위치를 추정하면, 2008년~2009년에 일시적으로 감소하기는 하였지만 전반적으로 우상향하는 추세를 보이고 있어 성장기에 있는 기술 분야임을 알 수 있음

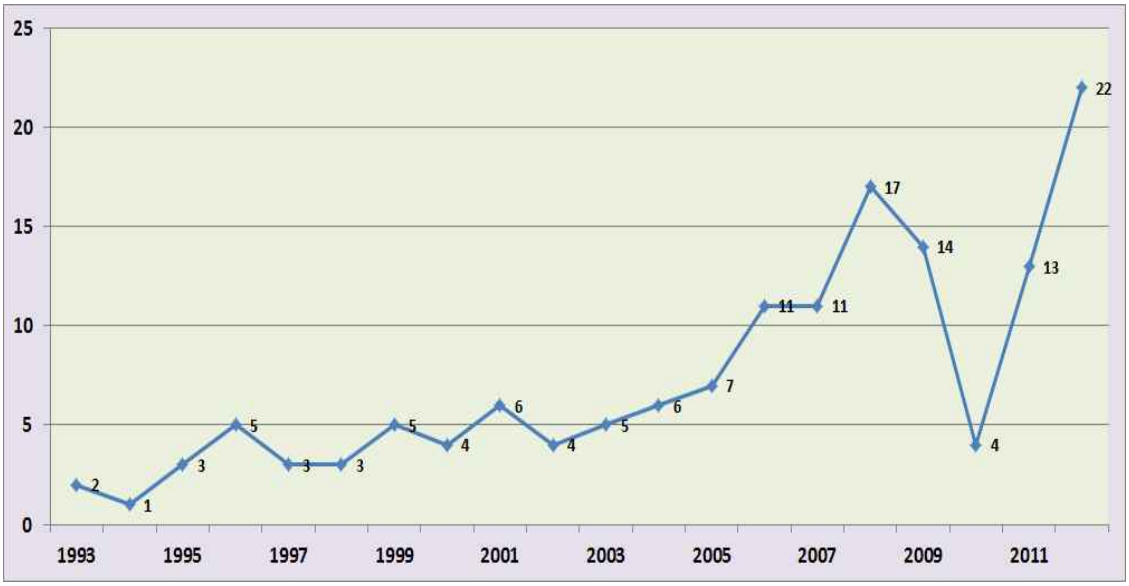


그림 2.220 논문 발표 연계 기술발전 추이

마. 종합 결론

(1) 특허분석 결론

- ○ 장거리 부유식 해중 고속철도시스템 기술 분야의 전체적인 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 254건의 특허가 출원되고 있으며, 일본이 128건(50%)로 최다 출원 국가이며, 중국이 57건(22%)로 이 분야 기술을 선도하고 있음
- ○ 특허를 출원한 상위 10개의 출원인을 분석한 결과, 日 TAISEI CORP, KAJIMA CORP, MITSUBISHI, HITACHI LTD, 中 SHANGHAI TUNNEL ENG RAILWAY, CHINA RAILWAY TUNNEL GROUP 등 일본과 중국의 건설, 엔지니어링회사, 전자 및 자동차회사들이 출원을 많이 하고 있음. 대체로 건설/엔지니어링회사들은 대부분 자국 특허위주로 출원을 하고 있고, 전자/자동차 회사들은 미국, 유럽 등 다양하게 출원하고 있음
- ○ 국가별로 보면 해외 특허 시장확보력을 의미하는 시장확보지수(PFI)는 해외 출원 Family Patent가 많은 유럽이 높게 나타나고 있으며, 미국은 원천/핵심 특허 보유와 관련이 높은 인용도지수(CPP) 및 영향력지수(PII)에서 가장 높게 나타나고 있음. 또한, 양적 수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 특허 출원이 월등한 일본이 가장 높게 나타나고 있음, 따라서, 향후 質的으로 가장 우수한 미국 특허를 중심으로 세부 선행기술을 분석하되, 量的으로 가장 많은 일본 특허도 병행하여 검토하는 것이 필요함
- ○ 한국의 경우 특허건수, 시장확보력, 인용도 등 기술영향력 등 대부분의 지수에서 가장 낮은 수준을 보이고 있어, 관련 분야 기술의 고도화가 시급히 요구되는

상황임

(2) 논문분석 결론

- ○ 장거리 부유식 해중 고속철도시스템 기술 분야의 전체적인 논문동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 150건의 SCI 논문이 발표되고 있으며, 유럽과 중국의 기관에서 전체 논문의 49%를 발표하고 있으며, 한국은 논문 실적이 3%에 불과하여 관련 분야 기술 확보 노력이 필요한 상황임
- ○ 논문발표 건수는 전반적으로 증가하는 추세를 보이고 있어, 전세계적으로 기술개발에 대한 관심이 증가하고 있는 것으로 보이며, 영국 ELSEVIER SCI LTD 저널을 통해 가장 많은 논문(47건, 총 발표 논문 150건 중 약 31%)이 발표되고 있음
- ○ 이 분야 논문 주요 저자는 러시아 Sturova, IV 박사(Russian Acad Sci)로 6건을 발표하였으며, 주요 연구기관 역시 러시아의 Russian Acad Sci로 9건의 논문을 발표하고 있음
- ○ 피인용도가 높은 핵심논문을 많이 발표하고 있는 저널로 영국 ELSEVIER SCI LTD, ACADEMIC PRESS LTD, 미국 SOC NAVAL ARCH MARINE ENG 등이 있으며, 향후 해당 저널에 발표된 논문을 중심으로 선행기술을 우선 검토할 필요가 있음

(3) 시장분석 결론

- ○ 부유식 해저터널은 아직 실용화되지 않은 미래 기술로 현재 全세계적으로 인프라가 구축된 사례는 없으며, 미국, 일본, 노르웨이, 이탈리아, 캐나다 등 선진국을 중심으로 구축이 검토되고 있는 상태임
- ○ 다만, 해저터널의 경우 이미 영국-프랑스 유로터널, 일본 세이칸 해저터널 등이 건설되어 활용되고 있으며, 대만해협 해저터널, 지브롤터 해저터널 등 향후 발주가 계획되어 있는 터널도 있음. 우리나라도 2010년 부산~거제도 구간에 해저 침매터널이 완공되었으며, 수압, 지진, 선박충돌, 내부 화재 등에 대비할 수 있는 기술이 적용되어 향후 부유식 해저터널 기술개발 時 관련 기술을 참고할 필요가 있음
- ○ 해저터널의 사례를 통해 볼 때, 부유식 해저터널은 대규모 사업으로 발주될 가능성이 높아 잠재적 시장규모는 매우 클 것으로 예상됨, 현재 선진국을 중심으로 관련 기술을 확보하려는 노력이 이루어지고 있어, 향후 국내에서도 국가 차원의 R&D 지원을 통해 관련 기술 확보가 시급하게 이루어져야 할 것으로 판단됨

4절. 연구개발 인프라 분석

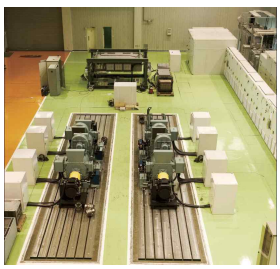
1. 해중고속철도 관련 연구기관 기술 현황

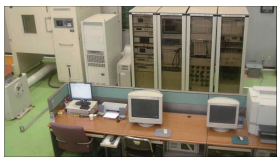
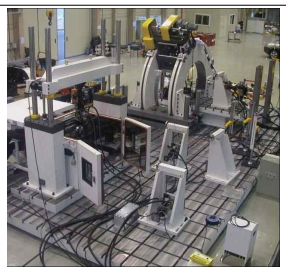
연구기관	연구기관 기술 수준
한국철도기술연구원	• 교통 신기술 연구개발 • 신교통 관련 핵심기술 및 시스템 개발 • 신교통 시스템 건전성 진단 및 평가기술 개발 • 첨단 신소재 적용기술 개발 • 미래수송시스템 차량 및 인프라 기술개발 • 해중철도/해저터널 시스템 및 인프라 요소 기술개발 • 초고속 튜브열차 개발 • 초고속 튜브열차 시스템엔지니어링 및 시험평가 기술개발 • 고속철도 차륜/레일 접촉역학에 관한 연구 • 고속철도 주행안전성에 관한 연구 • 전차선로 및 집전시스템에 관한 연구 • 고속철도 차량/궤도/전차선/구조물 인터페이스 관련 연구 • 500km/h 초고속열차에 관한 연구 • 효율적인 교통서비스를 위한 교통 융복합 시스템엔지니어링 연구개발 • 국가교통시스템 및 산업의 정책, 운영 및 시설투자에 관한 연구 • 도시철도 터널 및 차량의 공기질 개선 기술개발 • 화재 등 교통시스템 관련 기타 환경에 관한 연구 및 기술개발 • 철도안전 기술개발 총괄 연구 • 철도안전 정책/제도/평가에 관한 연구 • 철도 중대사고 예방/피해저감/평가 기술개발
한국해양과학기술원	• 본 사업과 관련된 “해중터널 실용화를 위한 핵심기술 개발” 연구를 수행하고 있음. • 부유식 구조 해석 및 설계 기술 보유. • 수중터널을 연구할 수 있는 조파수조 보유(장수조 2개소, 평면수조 2개소) • 수중 터널의 파랑 및 흐름과 같은 동적 하중에 의한 거동 해석 기술 연구 • 수중 터널 단면 및 연결부 설계 및 해석 기술 연구 • 수중 터널 내화 해석 기술 연구 • 수중 터널 충격하중에 의한 거동 해석 기술 연구 • 수중 터널 건설을 위한 사전 연구들을 현재 진행 중에 있으며, 핵심 기술 별로 본 사업의 추진 가능.
한국건설기술연구원	• SMART 터널 Observation Expert System 개발 • IT 및 신소재를 이용한 급속안정화 터널 시공기술 개발(급속시공을 위한 지반거동 분석 시스템 개발) • TBM 핵심 설계 부품기술 및 TBM 터널의 최적 건설기술 연구단 • 지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업(지하구조물 재해손상 대응 기술) • 기계화 자동화 터널건설을 위한 TBM 기술개발 기획연구 • 해저터널 방배수 설계기술 및 신재료 개발 • 도심지 대심도 지하도로 건설기술의 기획연구 • 지하구조물 굴착 전방 지질학적 위해요소 모니터링 기술 개발 • 미래형 신공간/인프라 창출을 위한 지반기술의 신개념 활용 방안 기획연구 • 다목적 방재용 수로터널 설계기준 정립 및 시공단면 개발 등 • 도로 안전성 조사 시스템(드라이빙 시뮬레이터, 모바일 조사차량 등) 보유

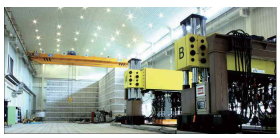
	• 친환경 지능형 도로설계프로그램 개발 연구 참여 등 도로 설계 분야 연구 • 국토해양부 도로안전시설 설치 및 관리지침(조명, 시선유도시설, VMS 등) 연구 • 도로설계편람 등 국가 도로설계기준 제정 연구 • 위험차량(과적/과고차량)관리방안 연구 다수 및 과적차량 무인단속시스템 설계·구축 기술지원 등 • 지하도로 및 철도를 건설하기 위한 사전 연구들을 많이 진행하였으며, 기술 분야별로 본 사업 추진을 위한 개발 방향 수립 가능
한국지질자원연구원	• 도시부 인근 압축공기 지하발전 저장 시스템 관련 연구 • 농수산물 지하 저장 시설 운영 등 실제 지하 터널 시설물 건설 및 운영 • 지하 비축 기지 지하공동 건설에 관한 연구 • 대심도 수압파쇄관련 연구 • 핵폐기물 처분장 관련 연구 • 초기 지압측정 관련 기술 개발 • 암반 특성 및 관련 실험 장비 운영 등 • 지질 및 암반관련 기초 기술 보유 및 지하공간, 지하공동 관련 지속적인 연구 추진 • 본 사업과 관련된 직접적인 연계 사업은 없지만, 지질 및 암반 분야의 전문가 포진 등으로 관련 분야 연계 필요

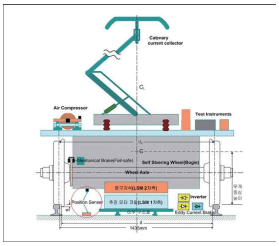
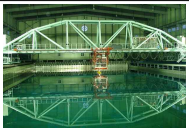
2. 해중고속철도 관련 연구인프라 현황

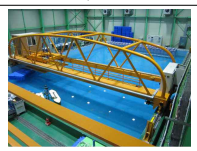
보유기관	장비명	시험항목	주요사양
한국철도기술연구원	 <대차동특성주행시험기>	• 행안정성(임계속도) 시험 • 주행 동적특성 시험 • 주행모사 시험	• 최고시험속도 : 420km/h • 최대축하중 : 20ton • 시험대상 : 2축대차 1량 및 차량 1량(Half Carbody 방식) • 궤간 : 표준궤간(1435mm), 광궤간(1676mm) • 축간거리 : 1400~3500mm까지 유동적으로 시험가능 • 궤조륜 직경 : 1376mm • 가진장치 – One Table 가진방식 – 가진제어 : 정현파, 구현파, 임의파형 및 실궤도 불규칙파 – 엑츄에이터 : 7대(수직 4대, 수평 3대) – 횡방향 가진 : ±1.5~10mm (40~6Hz) – 수직방향 가진 : ±1.5~10mm (30~6Hz) – 회전방향 가진 : 2.5'~12' (20~6Hz)
한국철도기술연구원	 <제동성능시험기>	• 마찰재 및 디스크 성능시험 • 디스크 및 제륜자의 마찰계수측정 • 시험신청에 따른 성능평가시험	• 최고속도 420km/h, 1900kg·㎡ 관성 • 최대 구동동력 : 540HP • 최대 구동토크 : 2,527Nm • 최대 구동속도 : 2500RPM(400km/hr, Φ860mm 기준) • 최대 제동토크 : 25,000Nm • 디스크 제륜자 압부력 : 30kN×2 • 답면 제륜자 압부력 : 60kN×2 • 점착부 압부력 : 98kN • Flywheel Inertia : 1,860kg·㎡, 400kg·㎡, 100kg·㎡ • 시험차륜직경 : Φ700~Φ1120mm • 가속시간(0→1500RPM) : 2분 30초(1900kg·㎡ 기준) • 비상정지시간(at 2500RPM) : 3분(1900kg·㎡ 기준) • 산수량 : 4LPM • 송풍량 : 16,800㎥/hr (풍속 30m/s 기준) • 제동압 공급원 : 공압 • 토크 측정법 : Load Cell

한국철도기술연구원	 <드라이빙기어시험기>	• 기어의 굽힘강도 및 치면 피로에 대한 내구성 시험 • 감속기 오일 누유 시험 • 온도상승 시험 • 효율 시험 • 진동 시험 • 소음 시험 • 백래쉬 측정(Tooth Clearance) • 치면 접촉 상태 및 베어링 이상유무	• 입출력모터 : 1300kW(690V) • 입출력 모터 : 1300kW(690V) • 토크 : 57,000Nm • 시험대상 : 전동차, KTX, G7감속기 • 측정인자 : 토크, 회전수, 진동, 온도 • 시험방식 : 동력흡수식
한국철도기술연구원	 <스프링시험기>	• 고속철도차량, 기존철도차량 현가요소(스프링, 댐퍼) 특성 시험 및 성능평가 • 각종 방진재, 노후 현가요소 특성 시험 • 현가요소 국산화 및 품질 향상을 위한 연구 개발	• KS M 6745 철도차량용 방진 고무 통칙 • KS R 9234 철도차량용 오일 댐퍼 • KS R 9243 철도차량용 공기스프링 시험방법 • EN 13913 Rubber suspension components – Elastomer-based mechanical parts • EN 13802 Suspension components – Hydraulic damper • 스프링시험기 – 시험하중 : 수직 40톤, 수평: 10톤 – 액추에이터 변위 : 수직 150mm, 수평 130mm – 동적성능 : 수직 2Hz, 25mm, 수평 2Hz, 50mm 이상 – 피시험체 : 코일/고무 축상 스프링, 공기스프링, 부쉬 및 스프링류 • 댐퍼시험기 – 시험하중 : 3톤 – 최대변위 : 최대 200mm – 동적성능 : 10Hz, 10mm – 피시험체 : 1차/2차 오일댐퍼, 요댐퍼, 차체간댐퍼 등
한국철도기술연구원	 <팬터그래프시험기>	팬터그래프 압상력 시험, 동작시험, 내구성 시험, 동적시험 등.	팬터그래프 정적시험기 • 근접센서 : 20mm, 100Hz • Load sell : 0~490 N • Distance Guage : 4000mm, 0~10V RS-232 • Servo Motor : AC220V, 800W • Lead Screw : Ball Screw, BNF4010-5 • Electric Cylinder : 40kgf-m • 이동대차 자동고정설치 : 유압 CLAMP 방식 팬터그래프 내구성시험기 • 근접센서 : 20mm, 100Hz • Servo Mortor : AC220V, 800W • Lead Screw : Ball Screw, BNF4010-5 • 이동대차 자동고정설치 : 유압 CLAMP 방식 팬터그래프 동적시험기 • 유압가진기 : 용량-20kN, 최대진폭-1mm, 최대주파수-50Hz • 가속도센서 : 최대가속도-50G • 변위센서 : AML/E±100 • 이동대차 자동고정설치 : 유압 CLAMP 방식 • Service Block : Hi/Low System, Accumulator, Filter • 모터구동장치 : 형식-Stepping Motor, 제어방식-Pulse 제어, 좌우이동-±400mm
한국철도기술연구원	 <추진장치성능시험설비>	시험대상 : DC 1.5KV, DC 750KV, AC 22KV-차량 추진장치	• 장비 주요 성능 – 정격용량 : 1대 단독운전 660kW, 3500N.m / 2대 연결운전 1320kW, 7000N.m – 최대 시험속도 : 최대 5000rpm – 최대 토크시험 : 10000N.m • 장비 주요 사양 – 교류전원설비 : 정격 3000kVA, 25kVA 단상 AC, 2500kW 상평형 장치 – 직류전원설비 : 정격전압 750V/1500V, 제어범위 450V~1000V, 900V~2000V – 부하설비 : 660kW 4대 유도전동기, 인버터제어방식, 4상한토크/속도제어 – 제어 및 DAS 설비 : Rackmount PC with Windows OS, Local Control System, Data Report/저장기록

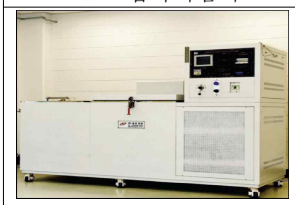
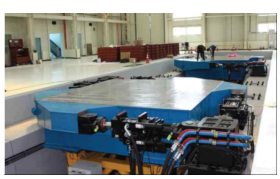
한국철도기술연구원	 <견인전동기성능시험기>	• 무부하 특성시험 • 구속시험 • 부하특성시험 • 연속정격온도상승시험	• 6.6Kv, 정격용량 22,000kVA • 6.6Kv, 3상 500kVA, 주파수변환방식, 정격용량 22,000kVA • 정격전압 3,000V, 1,500V, 750V • 부하발전기 : 660kW 농형유도전동기 2대 • 제어장치 : 백터제어 인버터 • 제어방식 : 토크/속도제어 • 최대시험속도 : 5,000rpm • 토크시험검출용량 : 3,000N·m, 10,000N·m • 정격용량 : 1대 단독운전 660kW, 3,500N·m / 2대 연결운전 1,320kW, 7,000N·m • Rack Mount PC with Windows OS • PLC Base Local Control System • Data Report / 저장기록
한국철도기술연구원	 <ATC시험기>	철도신호설비 운용환경 시험 • 온도/진동 등의 운용환경 시험으로 활용(한국형 고속전철 시제품 시험, 로템 신호설비 시험 등 수행) ATC 차상장치 운전모드 및 기능분석에 활용 • ATC 차상장치의 주요 기능 분석 및 동작 메커니즘 분석 용도로 활용(도시철도 및 고속철도용 차상장치 동작메커니즘 분석하는 등 다수 연구과제에서 활용 중)	진동시험기 24kN, 5~2500Hz ATC 차상기능시험설비 • VXI MainFrame, Embedded Controller, Switch Matrix • Digital Oscilloscope, Multi Function Synthesizer, Pulse Generator, Dynamic Signal Analyzer, Frequency Response Analyzer ATC 차상기능시험설비 제어기 • Pentium-III Dual CPU 1GHz, 256M RAM 온습도 진동복합 시험기 • 온습도 챔버 : +200c~-73c • 진동시험기 : 24kN, 5~2500Hz
한국철도기술연구원	 <레일체결장치 다축 피로시험장비>	• 레일체결장치 성능시험관련 - 정적/동적 수직스프링계수시험 - 초기체결력시험 - 종방향저항력시험 - 비틀림저항력시험 - 반복하중재하시험 - 인발저항시험 • 일반적인 피로시험 • 일반적인 강도시험	• Static force rating : ±250kN, ±100kN, ±50kN, ±25kN • Dynamic force rating : ±200kN, ±80kN, ±40kN, ±20kN or more • Dynamic displacement : 150mm or more • Hydraulic performance : minimum ±1.5mm at 20Hz of 200kN dynamic load • LVDT : Internally mounted in cylinder rod, Non-linearity < 0.25% of full range • Loadcell : Nominal load limit capacity≧150% of full range • Non-linearity≦ ±0.05% of full scale or better • Hysteresis≦ ±0.05% of full scale or better • Repeatability≦ ±0.02%
한국철도기술연구원	 <대형 삼축압축시험기>	정적삼축압축시험(UU, CU, CKoU, CD), 정적삼축인장시험, 삼축투수, Ko압밀, 이방압밀, 온도제어(동결/융해) 시험, 대형 오이도미터(1차원 압축) 시험,동적삼축압축시험(Liquefaction Test, Shear Modulus, Damping Ratio, Resilient Modulus), 평면변형률(중간주응력) 제어 시험, 최대전단탄성계수(G max) 시험	• Main Frame : 4800(kN) Hydraulic Clamp Cylinder, 400(kN) Hydraulic Up/Down Cylinder • Static Actuator : 2000kN, Stroke ±200mm, Hydraulic performance maximum test speed 500mm/min & Minimum test speed 0.01mm/min • Dynamic Actuator : 200kN, Stroke ±200mm, Hydraulic performance minimum ±10mm at 10Hz on 160kN dynamic load • Load cell : 2000kN, 200kN, 내압 방수형 • Triaxial cell : Confining pressure : 2MPa - 500Ø×900H (1set) : Specimen size : 150Ø×300H - 1 set for general triaxial test - 700Ø×1200H (2 set) : Specimen size : 300Ø×600H : 1 set for general triaxial test & 1 set for frozen soil & gravel triaxial test specimen size - 900Ø×1650H (2 set) : Specimen size : 500Ø×1000H : 1 set for general triaxial test - 1 set for intermediate principal stress control test • Oedometer Cell 1000Ø×600H (1set), 600Ø×600H (1set)

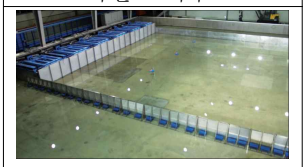
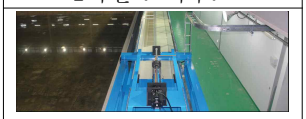
한국철도기술연구원	 <철도구조물 성능시험기>	• 휨/전단/압축/인장 시험 • 2축 동시재하 동적 시험 • 피로시험	250톤, Actuator 외 • 재하 프레임 : 허용 수직최대하중 250kN, 허용 수평최대하중 500kN • 500kN 동적액츄에이터 : 1기 (stroke 100mm, ±10mm at 5Hz) • 2500kN 동적액츄에이터 : 1기 (stroke 150mm, ±3mm at 5Hz) • Hydraulic Pump : 680lpm • Hydraulic Service Manifold : 2개 • Controller • DAQ : 64Ch (EDX-2000A) • 그외, 하드라인, 제어용 PC 등
한국철도기술연구원	 <실대형 통합성능시험 시스템>	• 정적 재하 및 파괴시험 • 고사양(High Frequency & Long Stroke) 동적가진 시험 • 피로시험 • Quasi-Static & Pseudo-Dynamic 시험 • 실시간 하이브리드 (Real Time Hybrid 시험) • 이 외 실대형 구조물에 대한 성능시험	• 45.5m(L)×14.4m(W)×1.2m(T) 외 • 반력벽 : (13.5+10)m(L)8m(W)2m(T) • 반력상 : 45.5m(L)14.4m(W)1.2m(T) • 재하용 이동프레임 : 자주식 이동, 허용 수직최대하중 250kN×6ea, 허용 수평최대하중 250kN×3ea • 250kN 동적액츄에이터 : 12기 (stroke 250mm, ±12mm at 5Hz/250kN) • 250kN 동적액츄에이터 : 4기 (stroke 250mm, ±5mm at 50Hz/250kN) • 250kN 동적액츄에이터 : 4기 (stroke 750mm, ±80mm at 5Hz/250kN) • 500kN 동적액츄에이터 : 4기 (stroke 250mm, ±10mm at 5Hz/500kN) • 2000kN 정적액츄에이터 : 2기 (stroke 750mm) • 5000kN 정적액츄에이터 : 1기 (stroke 750mm) • 500kN Material Tester 1기 • 2500kN Rock & Concrete Tester 1기 • Hydraulic Pump : 180gpm×6=1080gpm • Hydraulic Service Manifold : 250gpm 12개, 100gpm 19개, 50gpm 1개 • Controller : 4ch 4기, 18ch 1기 • DAQ : 64Ch (National Instruments) • 그 외 하드라인, 제어용 PC 등
한국철도기술연구원	 <고속 레일-차륜 접촉 시험기>	• 레일-차륜 회전 접촉 시험 (Rolling Contact Fatigue Test) • 레일, 차륜 마모 시험 • 레일, 차륜 마찰계수 측정 시험 • 레일, 차륜 점착계수 측정 시험 등	• SSpecimen : Wheel & Rail 300~1000mm (diameter) • Driving Motor : 355KW Servo Motor, • Radial Loader : Max. 180kN, ±2.5mm @ 20Hz • Thrust Loader : Max. 100kN, ±7.5mm @ 20Hz • Test speed : 0~2470RPM @ 1000mm (445km/h) • Slip rate : -10~+100% • Contact angle range : 0~3° • Attack angle range : -3°~+3° • Environment Control : Dry, Wet, Sand, Oil, Temperature, Humidity
한국철도기술연구원	 <6-자유도 진동대>	토목/건축 (비)구조체의 내진성능 실험 및 기계구성품 진동실험	• 진동대 평면 : 4.1m×4.1m • 최대(공칭)시편중량 : 30톤(20톤) • 구동 주파수대역 : 0.1~60Hz • 부상식 면진 콘크리트 기초 (1,440톤) • 300~320kN 동적 엑츄에이터 : 8기 (수평4, 수직4) • 주요 주파수대역(1~2.0Hz) 최대가속도 : ± 0.8~1.7g • 최대 스트로크 : ± 200~300mm • 최대 수평 전도저항모멘트(무게중심 2.5m기준) : 1,200 kNm • 수평 부가질량 모사장비 : Hydrostatic방식의 저마찰 Mass-Rig • Sabio 계열 6자유도 제어시스템 및 소프트웨어

한국철도기술연구원	 <전차선로/집전계 주행특성 시험기>	• 전차선로-팬터그래프 사이의 집전 악조건 모의 시험 • 팬터그래프 동특성 평가 시험 • 전차선로 및 금구류 특성 평가 및 신뢰성 평가 시험 • 이선 아크 계측기, 텔레메트리 등 전차선로 장비 성능 검증 시험	• 주행로 길이 : 400m(단선, 단방향 주행, 1435mm 표준 궤간 레일로) • 속도 : 최대 약 100km/h • 주행대차(집전대차) 무게 : 약 6톤 • 주행대차(집전대차) 추진 방식 : LIM • 250km/h 급 전차선로 및 250km/h 급 가동브래킷 • DST(컨테이너 2단 적재 열차)를 위한 터널 브래킷 • 전차선로 진동 발생용 가진 설비 • 300km/h급 싱글암 팬터그래프 • EN50317에 따른 전차선로 이선 아크 계측기 • 활선 전차선로 온라인 계측용 텔레메트리 장치 • 20톤급 전철 모터카(최대 속도 : 50km/h)
한국해양과학기술원(안산)	 <수조실>	• 파동기초연구, • 방파제 모형실험	• 2D 수조 • 52x1.0x1.2 • 불규칙 파랑, 흐름
한국해양과학기술원(안산)	해양시뮬레이터센터동 (건설중)		• 3D 수조 • 30x30x1.0 • 일방향 불규칙, 조석
한국건설기술연구원	 <방파제실험동>	• 방파제 모형실험 • 항만 모형실험	• 2D 수조, 56x1.0x2.0, 불규칙 • 2D 수조, 50x1.2x2.0, 불규칙 • 3D 수조, 48x48x1.2, 일방향 불규칙
한국건설기술연구원	 <조파수조실>	• 항만 모형실험	• 3D 수조 • 42x36x1.0 • 다방향 불규칙
한국건설기술연구원	옥외 수조	• 항만 모형실험	• 3D 수조 • 42x36x1.0 • 일방향 불규칙
농어촌연구원	 <모형실험실>	• 수리 모형실험	• 2D 수조 • 60x1.5x2.5 • 풍파
농어촌연구원	 <옥외수조>	• 항만 모형실험	• 3D 수조 • 일방향 불규칙
한국해양과학기술원(대전)	 <수조동>	• 해양 구조물 모형실험	• 3D 수조 • 69x37x4.5 • 다방향 불규칙
울산대학교		• 해양 구조물 모형실험	• 3D 수조 • 30x20x2.5 • 다방향 불규칙

	<수조>		
창원대학교	 <수조>	• 해양 구조물 모형실험	• 3D 수조 • 20x15x1.8 • 일방향 불규칙
부경대학교	수조 (건설중)		• 3D 수조
한국건설기술연구원	 <Large Cone Calorimeter (10MW)>  <Room Corner Tester(3MW)> <Single Burning Items(1MW)>	• 구조적 안전성, 열응력, 건축물 용도/형태/크기별 화재하중 평가	
한국건설기술연구원	 <Column Testing Furnace>  <Slab Testing Furnace> <Wall Testing Furnace>	• 고성능 기둥(1000ton)/보·바닥(10m) 등 구조부재의 내화특성 평가	
한국건설기술연구원	<건축재료 화염전파특성 측정장비> <건축재료 가스성분 분석 장비>	• 구성자재 화염전파속도, 유독가스, 발열량 및 불연성능 측정	

	<건축재료 불연성능 측정장비>		
한국건설기술연구원	<건축구조재료 고온 압축·인장강도 측정 장비> <건축구조재료 열전도율 측정 장비> <건축구조재료 열팽창율 측정장비>	• 건축구조재료의 고온(1,000℃ 이상)시 압축·인장·열전도율·열팽창율·비열 성능 측정	
한국건설기술연구원	 <제연배연 실험동>	• 건축물 연기 제어 시스템 평가 및 피난 안전성 분석	
명지대학교 하이브리드 구조실험센터	 <구조실험동>	• 최대 80m 장경간 거더 교량 구조실험 • 대규모의 야적장을 활용한 대형시험체 제작 및 현장실험 • 최대 3층 규모의 건축물 구조실험 • 최대 12m 높이 교각 구조실험 • 케이블 인장 및 피로강도 실험 • 실물 기둥 압축강도 실험 • UTM을 활용한 소형 구조부재 실험 • 각종 부재 및 부속장치의 내진성능 실험 • 의사정적실험(Quasi-Static Test), 유사동적실험(Pseudo-Dynamic Test) • 실시간 하이브리드구조실험(Real-Time Hybrid Test)	• 반력바닥(Strong Floor) Main Reaction Floor : 48.9m(L)×12.8m(W) • Outdoor Extended Strong Floor : 6m×6m×3ea • 조립식 교각 : 2m(L)×2m(W)×1m(H)@4EA • 반력벽 (Strong Wall) Solid type [24+8]m(L)×[12+9+6]m(H) Multi-direction System • 20kN Dynamic Actuator • 250kN Dynamic Actuator • 500kN Dynamic Actuator • 1000kN Dynamic Actuator • 2000kN Dynamic Actuator • 5000kN Static Actuator
KAIST 지오센트리퓨지실험센터	 <지오센트리퓨지>	• 대형 지반구조물 거동 평가 • 홍수 및 지진 등의 자연재해 모사 • 지반-기초-구조물 상호작용 규명 • 모형지반 내 전단파속도 영상화 • 해양 기초 설치 및 성능 평가 • Piled-raft 기초시스템 성능평가 • 댐 변형 및 침투 성능 평가 • 장대교량 충돌방지공의 성능 검증	• 회전 반경 5.0m • 최대 용량 240g-tons • 최대 하중 2,400kg up to 100g • 모델 적재 공간규모 1.2m(L)×1.2m(W)×1.2m(H) • 최대 가속도 130g @ 1,300kg payload

계명대학교 첨단건설재료실험센터	 <5MN 대형구조 재료시험기>	• 5MN 용량의 자체 반력구조형 구조/재료, 보/기둥, 암거 등의 제품 실험	• Capacity : 5MN • Main Size : 8,200 (H : Max) • 휨압축 시험높이 : 5,000mm • Actuator Stroke : 500mm • Force Range : 6 steps (×1, ×2, ×5, ×10, ×20, ×50) • Column to Column : 3,000mm • Bending Span : 23,000mm
	 <500kN 피로시험기>	• 500kN 용량의 철근, 강재 등의 인장, 휨, 피로 특성/성능 실험	• Capacity : 500kN • Stroke between Grips : 950mm • Load Accuracy : 6 ~ 600kN • Strain Measurement Accuracy : 0.5% of indicated value • Test Space : Width between Columns -762mm Maximum Vertical Test Space - 2,057mm • Overall Height : 3,677mm • Position Transducer Stroke : 250mm
	 <5MN 압축시험기>	5MN 용량의 콘크리트 및 아스팔트 등의 재료특성 실험	• Capacity : 5MN • Pressure Plates : 380×520 mm • Actuator Stroke : 100mm • Load Measuring Range : 100 ~ 5000kN • Piston Stroke : 100 mm • Deformation at Max. Load : 1.2 mm
	 <동결융해시험기>	• 급속동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 방법에 따라 상대동탄성 계수 측정	• Chamber Size (W×D×H) : 700×500×740 mm • Temp Range : −30 ~ 80 ℃ • Accuracy : 1 ℃ • Regulator : SSR Type • Temp Thermocouple : PT−100Ω • Water Bath : 800×700×900 mm
부산대학교 지진방재연구센터	 <고정식 6DOF 진동대>	• 최대 2경간의 실물교량 다지점 가진실험 • 초고층건물 및 원자력발전설비 내진실험 • 지반진동 및 유체진동실험 • LNG저장탱크, 화학설비 등의 플랜트설비 내진성능조사 • 각종 면진·제진장치의 성능실험 • 전기, 전자, 통신, 기계, 조선, 항공, 철도분야의 각종 진동내구성 실험	• 자유도 : 6DOF • 면적 : 4m×4m • 최대적재중량 : 30톤 • 최대가속도 : 3g 이하 (Z축만 5g 이하) • 최대주파수 : 0.1~60Hz
	 <이동식 3DOF 진동대>		• 자유도 : 3DOF 2기 • 면적 : 5m×5m • 최대적재중량 : 30톤, 60톤 • 최대가속도 : 2g, 3g 이하 • 최대주파수 : 0.1~60Hz

		• Hybrid Structure Test • General Shake Table Test • Quasi-static and Pseudo-dynamic Test	
전남대학교 해안항만실험센터	 <3차원 조파수조>	• 연안/항만/해양 구조물의 안정성 실험 • 표사실험 : 해빈변형, 침식대책 등 • 해양 재생에너지 개발 : 조류발전시스템, 조파발전시스템 등 • 확산실험(오염물질 등) • 쓰나미 실험 • 파랑실험 : 파랑, 항내정온도, 파의 처오름 높이, 월파, 구조물 안정, 해빈류 등	• 50m(L)×50m(W)×1.5m(H) • 최대규칙파고 : 60cm • 주기 : 0.5~4초 • 작업대차 구동속도 최대 : 0.5m/s
	 <3차원 조파수조>		• 40m(L)×30m(W)×1.4m(H) • 최대규칙파고 : 60cm • 주기 : 0.5~4초
	 <2차원 조파수조 (파-흐름-조석 복합수조)>		• 100m(L)×2m(B)×3m(H) • 최대규칙파고 : 120cm • 주기 : 0.5~8초 • 최대유속 : 수심 2.0m에서 1.0m/s • 최대수위 상승속도 : 1.2m/min
	 <2차원 조파수조>		• 50m(L)×1m(B)×1.3m(H) • 최대규칙파고 : 60cm • 주기 : 0.5~8.0초
	 <2차원 조파수조>		• 50m(L)×1.4m(B)×1.5m(H) • 최대규칙파고 : 60cm • 주기 : 0.5~5.0초

3. 해중고속철도 관련 해외기관 현황

연구기관	연구기관 기술 현황
Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences	• 해양구조물의 동수력학 해석 및 설계 • 해양 지반조사 및 해저지반 지지력 평가 • 해양구조물의 유지관리
University of Naples Federico II	• 해중터널 설계 및 해석, 구조 상세, 기초 설계
Norwegian Public Roads Administration	• 지능형 수송 시스템 연구 • 친환경형 도시 수송 시스템 연구 • 교통 안전, 위험도, 취약성 연구 • 도로 터널 연구

4. 해중고속철도 관련 전문가 현황 및 활용 분야

성 명	소속	기술 현황	관련 세부과제	참여방안
곽 대 진	에드벡트	석션파일, EAS(embedded suction anchor) 설계 및 시공 기술 보유	해중고속철도 테더링 시공기술 개발	전문가 자문
곽 종 원	한국건설기술연구원	수중교량 동적 거동 해석	해중고속철도 시공기술 개발	세부과제 책임자
구 정 서	서울과학기술대학교	철도차량 구조역학, 충돌 및 시스템안전	해중고속철도시스템 안전성 관리 기술 개발	위탁과제 참여
김 문 영	성균관대학교	해중터널-차량 상호작용 해석	해중고속철도 와력 및 거동시뮬레이션 기술 개발	위탁과제 참여
김 재 관	서울대학교	유체-구조물-지반 상호작용을 고려한 해양구조물 동해석	해중고속철도고 외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발	위탁과제 참여
문 형 석	한국철도기술연구원	해중철도 운항 고속열차의 탈선 해석	해중고속철도시스템 평가	세부과제 책임자
박 래 영	포스코엔지니어링	침매터널 설계 기술 보유	해중고속철도 설계 기술 개발	전문가 자문
박 영 환	한국건설기술연구원	수중교량 시공	해중고속철도 구조체 시공기술 개발	참여연구원
박 우 선	한국해양과학기술원	해중터널 성능 시뮬레이션	해중고속철도 해석 및 설계기술 개발	세부과제 책임자
박 정 일	해양인프라연구소	함체의 수중연속압출공법(한국건설기술연구원과 공통) 보유	해중고속철도 구조체 시공기술 개발	위탁과제 책임자
사 공 명	한국철도기술연구원	해중철도 내진 및 안전성 검증	해중고속철도시스템 평가	세부과제 책임자
서 승 일	한국철도기술연구원	해중철도 설계 및 비상 상황 시뮬레이션	해중고속철도시스템 RAM기술 개발	세부과제 책임자
오 상 호	한국해양과학기술원	해중터널 수중 거동 시험	해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발	참여연구원
원 덕 희	한국해양과학기술원	해중터널 함체 설계	해중고속철도 설계 기술 개발	참여연구원
이 광 섭	한국철도기술연구원	해중철도 교통 시스템 계획	해중고속철도 시스템 설계	참여연구원
이 윤	대전대학교	해양구조물 충돌하중	해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발	위탁과제 참여
이 정 상	대우건설	침매터널 설계 및 시공	해중고속철도 구조체 시공기술 개발	위탁과제 참여
이 정 석	한국가설협회	해양구조물 유지보수	해중고속철도 유지보수 및 교체 기술 개발	위탁과제 참여
이 주 형	한국건설기술연구원	해양구조물 기초 설계	해중고속철도 테더린 시공기술 개발	참여연구원
이 진 호	한국철도기술연구원	유체-구조물-지반 상호작용을 고려한 해양구조물 동해석	해중고속철도 시스템 평가	참여연구원

이 필 승	KAIST	지진/파랑/해류에 의한 해중터널의 유탄성거동 해석기술	해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발	위탁과제 참여
장 승 필	서울대학교	부유식 수중교량 구조해석	해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발	위탁과제 참여
전 인 식	건국대학교	수중 터널에 영향을 미치는 파랑 및 흐름하중에 대한 해석 기술 연구	해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발	위탁과제 참여
정 현	오션스페이스	계류해석/설계 기술 보유	해중고속철도 설계 기술 개발	위탁과제 참여
조 재 열	서울대학교	부유식 수중교량 구조 응답	해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발	위탁과제 참여
한 상 훈	한국해양과학기술원	해중터널 수중 거동 시험	해중고속철도 거동 제어기술 개발	세부과제 책임자

5. 해중고속철도 관련 해외전문가 현황

성 명	소속	기술 현황
Youshi Hong	Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences	파랑, 해류, 지진, 충돌에 의한 해중터널 동적 거동 해석 해중터널 계류선의 vortex-induced vibration & slack 해석 해중터널 구조재료의 피로 해석
Federico M. Mazzolani	University of Naples Federico II	해중터널 설계 및 해석, 구조 상세, 기초 설계
Fuping Gao	Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences	해중터널 부지 조사 및 파일 기초 설계
Håvard Østlid	Norwegian Public Roads Administration	해중터널 계획
Shunji Kanie	Hokkaido University	해중터널 계획
Christian Ingerslev	Parsons Brinckerhoff	해중터널 설계
Bernt Jakobsen	Cowi AS	해중터널 설계
Lidvard Skorpa	Norwegian Public Roads Administration	해중터널 계획, 안전 관리
Federico Perotti	Politecnico di Milano	해중터널 동적 해석
Yiqiang Xiang	Zhejiang University	해중터널 위험도 분석, 관리, 평가 해중터널 구조물 상세 설계
Per Tveit	Agder University	해중터널 설계
Weimin Chen	Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences	케이블의 와류 유발 진동 해석

Rolf Magne Larssen	Dr. Ing. A. Aas-Jakobsen AS	해중터널 설계 및 해석
Shuangyin Zhang	Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences	해중터널의 구조 해석과 안전성 평가 해중터널의 충돌 해석
Youliang Xu	Hunan International Economics University	해중터널 설계 및 시공
Guojun Huang	Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences	해중터널 지진 해석
Mian Lin	Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences	해중터널의 동수력학 해석
Fei Ge	Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences	해중터널의 유체-구조물 상호작용 해석
Luca Martinelli	Politecnico di Milano	다지점 지반운동에 의한 해중터널의 지진 해석
Ian Markey	Norwegian Public Roads Administration	해중터널 유지관리
Mansheng Dong	Shanghai Jiaotong University	해중터널 안전

3장. 기술 수요 및 예측

1절. 기술수요조사 및 결과

1. 기술수요조사의 개요

가. 기술수요조사의 목적

○ 동 기획연구의 기술수요조사 목적은 미래에 국가 및 기업에서 필요성이 높을 것으로 예상되는 기술을 세부기술과제 수준에서 도출하는 것임
○ 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발과제간의 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 사전 조사에 해당함

나. 기술수요조사 절차

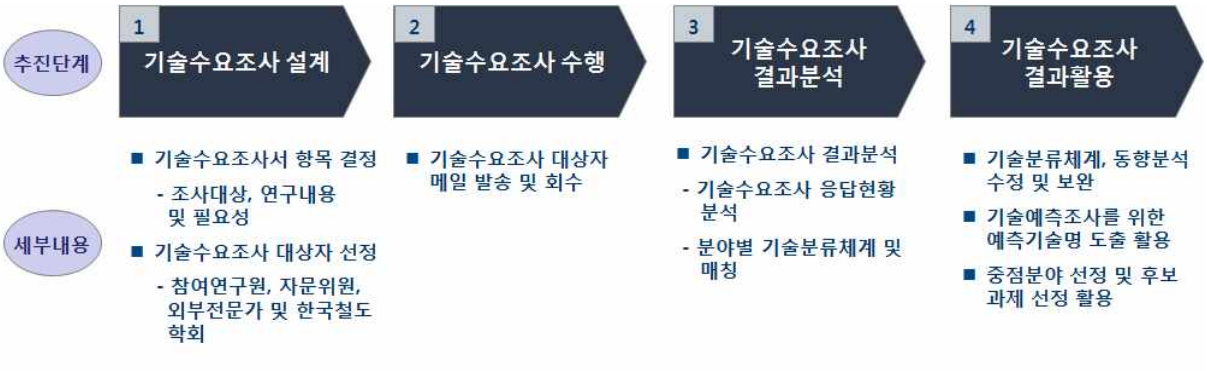


그림 3.1 기술수요조사 프로세스

다. 기술수요조사 활용

○ 기술수요조사결과를 활용한 기술분류체계, 동향 및 환경분석 보완
○ 기술예측조사를 위한 예측기술명 도출에 활용
○ 향후 중점분야 선정 및 수행과제 선정에 활용
○ 중점분야별 후보기술 발굴의 자료로 활용

라. 기술수요조사 발송 및 응답 결과

○ 기술수요조사 대상은 기획 참여연구원, 외부전문가와 한국철도학회 회원을 대상으로 메일 발송을 통해 조사함

표 3.1 기술수요조사 내용 및 응답 결과

구분	내 용
조사기간	- 2013년 6월 13일(목) ~ 6월 20일(목)
조사대상	- 조사대상 : 참여연구원, 외부전문가 및 한국철도학회
조사방법	- 이메일을 통한 설문조사
응답자 수	- 21명 응답 (기업 5명, 연구기관 7명, 대학 8명, 기타(해외) 1명)
기술수요조사 응답 건수	- 시스템 엔지니어링 기술 : 7건 - 해석 및 설계 기술 : 17건 - 시공기술 : 6건 - 방재안전 및 유지보수 기술 : 3건

2. 기술수요조사 결과 분석

가. 기술수요조사 결과 분류

○ 회신된 기술수요조사서를 중점분야별/연구수행기관별로 조사 응답 현황을 분석함

표 3.2 중점분야별/연구수행기관별 기술수요조사 결과

구분		중점분야				계
		시스템 엔지니어링 기술	해석 및 설계 기술	시공기술	방재안전 및 유지보수 기술	
연구 수행 기관	기업	2	3	5	-	10
	대학	3	6	1	2	12
	연구기관	2	7	-	1	10
	기타(해외)	-	1	-	-	1
	계	7	17	6	3	33

○ 연구수행기관별로는 대학(37%%), 연구기관 및 대학(30%)의 기술수요조사 응답이 가장 높음

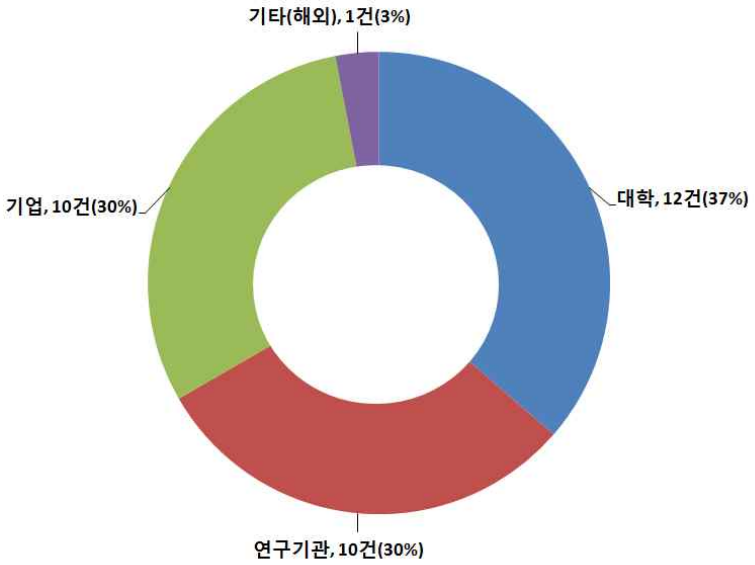


그림 3.2 기관별 기술수요조사 제안과제 결과

○ 중점분야별 기술수요조사는 해석 및 설계 기술(52%), 시스템 엔지니어링 기술(21%), 시공기술(18%), 방재안전 및 유지보수 기술(9%) 순으로 응답함

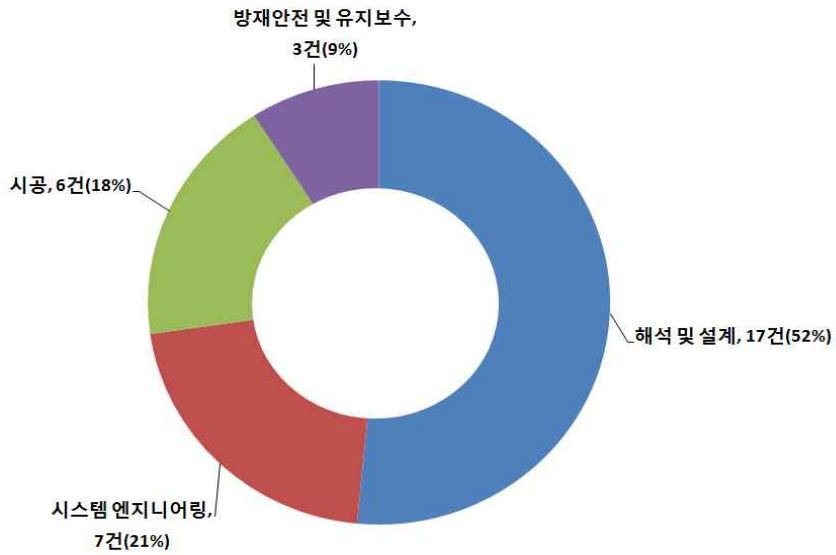


그림 3.3 중점분야별 기술수요조사 제안과제 결과

○ 대분류(중점분야)별 기술분류체계 내에 기술수요조사 제안과제명을 매칭함
○ 기술분류체계 내의 기술수요조사 제안과제명 매칭 결과는 다음과 같음

표 3.3 중점분야별 기술분류체계 기술수요조사 제안과제명 매칭

대분류 (중점분야)	중분류	소분류	기술수요조사 제안과제명
1. 시스템 엔지니어링 기술	1-1. 요구조건 분석	1-1-1. 타당성 분석	해중철도의 경제적 효과분석*(기획범위에 미포함되어 제외)*
			기존의 해저터널과 비교하여 해중고속철도의 장점 연구*(기획범위에 미포함되어 제외)*
		1-1-2. 해양환경 분석	국내 해안별 지리적 특성 및 중국간 해중 철도 개발 타당성 연구*(기획범위에 미포함되어 제외)*
		1-1-3. 기본요구 사양서 작성	-
		1-1-4. 관광자원 개발	해중 고속철도 시스템을 고부가 가치 산업으로의 개발*(기획범위에 미포함되어 제외)*
	1-2. 시스템 분석 및 조합	1-2-1. 해중고속철도 설계 기준	-
		1-2-2. 해중고속철도 시스템 기능 분석	해중고속철도 시스템 개념 설계 및 핵심 기능별 요구사항 도출
		1-2-3. 시스템 설계 조합 및 최적화	-
		1-2-4. 시스템 인터페이스 성능 검증	-
		1-2-5. Life Cycle Cost 분석 및 평가	-
	1-3. RAMS 기술	1-3-1. 해중고속철도 RAMS 요구조건 분석 및 목표 배분	-
		1-3-2. RAMS 성능 해석	-
		1-3-3. RAMS 관리 및 평가	-
	1-4. 시험평가 및 운영	1-4-1. 성능 및 평가 기준	-
		1-4-2. 성능 계측 기술	-
		1-4-3. 해중 터널내 고속철도 운영 기술	-
	1-5. 안전성 관리	1-5-1안전성 관리 체계	해중철도 시스템 안전성 관리 체계 구축
			해중철도 시스템에 대한 독립 안전성 평가(ISA)
2. 해석 및 설계 기술	2-1. 외력 및 거동평가 기술	2-1-1. 파랑, 해류, 해저지진, 쓰나미 등의 외력 평가/정량화/조합 기술	파랑-해류 공존 시 유체력 결정을 위한 수치해석

대분류 (중점분야)	중분류	소분류	기술수요조사 제안과제명
			해저환경에서의 지진지반운동의 특성 평가 및 정량화
			우리나라의 해저지진환경 규명을 위한 해저지진관측망 구성
		2-1-2. 파랑 및 해류에 의한 거동 평가 기술	해류에 의한 구조체 진동 안전성 연구
			해중 구조물에 작용하는 외력 저감 연구
			해중터널 구조체의 동수역학적 수리성능 평가 기술
		2-1-3. 지진에 의한 거동 평가 기술	유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 해저 구조물의 지진응답 해석 기술 개발
			유체-구조물-지반의 상호작용을 고려한 해중 터널의 지진응답 해석기법 개발
		2-1-4. 충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술	해중 터널의 수중운항체에 의한 충돌 안전성 해석
			수중폭발하중에 대한 해중터널의 거동 평가
		2-1-5. 화재에 대한 구조체 내화성능 평가 기술	해중 터널 구조체 내화 성능 확보 기술
		2-1-6. 유체-구조체-지반-차량 상호 거동 평가 기술	고속철도의 주행안전성 확보를 위한 수중부유구조물의 해석/설계기법 개발
			자기부상열차와 해중 터널의 상호작용을 고려한 동적응답 해석기법 개발
			부유식 해중 고속 철도 시스템의 비선형 동적 상호 해석 기법 개발
	2-2. 거동제어 기술	2-2-1. 구조체 횡방향 변위 저감 기술(텐션레그 또는 폰툰 최적화 관련)	
		2-2-2. 구조체 지진하중 저감 기술	
		2-2-3. 열차 주행중 구조체의 진동/소음 저감 기술(수동 구조 감쇠 시스템 등)	
	2-3. 설계 기술	2-3-1. 리스크 분석 및 저감 설계 기술	
		2-3-2. 환경영향 평가 및 저감 설계 기술	
		2-3-3. 터널튜브 구조체 설계 기술	터널튜브 구조체 설계 절차 수립 및 대표 단면 제시
		2-3-4. 계류시스템 설계 기술	
		2-3-5. 구조체 모듈 접합부 및 계류 접합부 설계 기술	구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로설계기술
		2-3-6. 기초 및 지반 해	

대분류 (중점분야)	중분류	소분류	기술수요조사 제안과제명
		석 및 설계 기술	
		2-3-7. 환기탑 및 정차역 설계 기술	
		2-3-8. 궤도 시스템 설계 기술	
		2-3-9. 전력시스템 설계 기술	
		2-3-10. 신호시스템 설계 기술	
		2-3-11. 차량시스템(차체 및 주행추진장치) 설계 기술	
		2-3-12. 설계기술 자립화를 위한 국제적 설계기준 개발	설계기술 자립화를 위한 국제적 설계기준 개발(기술수요조사 제안자 분류체계 추가)
3. 시공 기술	3-1. 구조체 시공 기술	3-1-1. 보강형의 모듈화 시공 기술	보강형 모듈화 시공 기술 개발
		3-1-2. 보강형의 연속 시공 기술	
		3-1-3. 모듈 및 타구조물 연결을 위한 시공 기술	
		3-1-4. 해중 부유체에 의한 충돌방지 시스템의 시공 기술	
		3-1-5. 시공중 구조물의 안정성 확보 기술	
		3-1-6. 신소재를 이용한 구조체의 제작 및 시공 기술	
		3-1-7. 터널함체의 수중 시공기술	터널 함체의 해상운반 기술 및 SINKING 기술(기술수요조사 제안자 분류체계 추가)
	3-2. 테더링 시공 기술	3-2-1. 중력식 앵커 시스템의 시공 기술	중력식 앵커시스테의 설치를 위한 해저지반 준비, 앵커시스템의 해저지반 설치기술, 필용 텐션 및 수평지지력 확보 방안
		3-2-2. 지중 고정식 앵커 시스템의 시공 기술	해중항타 파일에 의한 고정식 앵커시스템의 시공기술
		3-2-3. 테더링을 위한 케이블의 시공 기술	
		3-2-4. 연결부 시공 기술	
		3-2-5. 신소재를 이용한 테더링 시스템의 제작 및 시공 기술	
	3-3. 지원시설 시공 기	3-3-1. 전력 공급용 해상변전소의 시공 기술	

대분류 (중점분야)	중분류	소분류	기술수요조사 제안과제명
	술	3-3-2. 해상 피난시설의 시공 기술(환기탑 포함)	
		3-3-3. 에너지 하베스팅 시스템 및 시공 기술	
	3-4. 시공관리기술	3-4-1. 정보화기반 시공관리기술	ICT기반 해저 장대터널공사의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템 (Virtual Construction System) 개발(기술수요조사 제안자 분류체계 추가)
		3-4-2. 시공 위험관리기술	(기술수요조사 제안자 분류체계 추가)
		3-4-3 해저 터널 시공품질확보 기술	(기술수요조사 제안자 분류체계 추가)
	3-5. 공사중 Risk 분석 및 대응기술 개발	3-4-1. Critical Activity를 고려한 Contingency Plan 기술 개발	터널 함체 시공중 나쁜 해상조건에 의하여 발생 가능한 공사중지 리스크 분석 및 저감설계 기술(기술수요조사 제안자 분류체계 추가)
		3-4-2 Abandonment & Recovery 기술 개발	(기술수요조사 제안자 분류체계 추가)
4. 방재안전 및 유지보수 기술	4-1. 방재안전기술	4-1-1. 안전도 요구 조건 분석 및 해석	
		4-1-2. 위험도 저감 및 안전도 관리	
		4-1-3. 안전 모니터링	
		4-1-4. 심해 부유식 구조체의 비상시 대처 기술	
		4-1-5. 재난시 응급피난 메뉴얼 및 시스템 기술	
		4-1-6. 해수에 의한 누수 급속 차단 및 대피 기술	
		4-1-7. 화재시 터널 제연 시스템 설계 기술	장거리 부유식 해중 고속철도시스템의 화재감지 및 지능형 제연시스템 개발
			해중 터널 비상환기 및 인공지능 제연시스템 기술 개발
	4-2. 건전성 평가 및 진단	4-2-1. 건전성 및 내구성 평가	
		4-2-2. 해상 기상예보 시스템 기술	
		4-2-3. 사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템	부유식 해중 고속철도터널 시스템의 건전도 모니터링 개발
	4-3. 유지관리	4-3-1. 구조체 유지보수 기술	
		4-3-2. 궤도 및 전력인프라 유지보수	
		4-3-3. 계류장치 및 기초 유지보수 기술	
		4-3-4. 원격 제어 로봇	

대분류 (중점분야)	중분류	소분류	기술수요조사 제안과제명
		활용 기술	
5. Test bed 구축	5-1. 시제품 제작	5-1-1. Test bed 입지 선정 및 타당성 검토	
		5-1-2. Test bed 설계	
		5-1-3. Test bed 시공	
	5-2. 시운전	5-2-1. Test bed 시운전 및 성능 평가	

나. 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구내용 분류

○ 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구내용은 다음과 같음

표 3.4 중점분야별 기술수요조사 제안과제명 및 연구개발내용

중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
시스템 엔지니어링 기술	기존의 해저터널과 비교하여 해중고속철도의 장점 연구	▪ 기존(한일, 한중)의 해저터널과 비교하여 해중고속철도의 장점 연구
	해중철도의 경제적 효과분석	▪ 이용자 통행특성조사 및 유발수요 분석 ▪ 국내 해중고속철도 여객 및 화물 수요예측 ▪ 경제적 효과분석 ▪ 국내효과 뿐만 아니라 핵심기술의 해외시장진출에 따른 효과분석
	국내 해안별 지리적 특성 및 중국간 해중철도 개발 타당성 연구	▪ 해중에 설치되는 해심철도의 계류시스템의 규모와 조위와 지반조건, 파랑 등 분석을 통해 TUBE 단면의 안정성을 검토
	해중 고속철도 시스템을 고부가 가치 산업으로의 개발	▪ 터널을 단순히 구조물이 아닌 하나의 관광자원으로 개발하기 위한 방안과 이를 하기 위한 여러 요소 기술 도출
	해중고속철도 시스템 개념 설계 및 핵심 기능별 요구사항 도출	▪ 해중고속철도 시스템 주요 sub 시스템 도출 및 운영조건 결정 ▪ 주요 sub 시스템 핵심 기능 도출 ▪ 해중고속철도 시스템 요구조건에 따른 수중 모듈 배치설계(안) 도출 ▪ 해중 시스템 최적 철도차량, 궤도 시스템 도출
	해중철도 시스템 안전성 관리 체계 구축	▪ 시스템 안전성 기준 및 규격 조사 ▪ 시스템 확인(Verification) 및 검증(Validation) 체계 수립 ▪ 안전성 관리 체계 수립
	해중철도 시스템에 대한 독립 안전성 평가(ISA)	▪ 안전성 평가 계획 수립 ▪ 안전성 평가 기준 수립(철도, 해양 포함) ▪ 안전성 평가 주요 항목

중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
		▪ 안전성 평가 보고서
해석 및 설계 기술 시공기술	파랑-해류 공존 시 유체력 결정을 위한 수치해석	▪ 해중터널에 작용하는 파력의 선형파 해석 (속도포텐셜을 이용한 경계요소법의 적용) ▪ Navier-Stokes 방정식 CFD를 이용한 파랑-흐름 복합수조의 수치적 재현 ▪ 파랑-흐름 공존장에서의 유체력 계산 및 거동해석
	해저환경에서의 지진지반운동의 특성 평가 및 정량화	▪ 해저환경에서의 지진지반운동의 특성 연구 ▪ 해저 토사층의 발달 상태와 매질 특성이 해저에서의 지진지반운동에 미치는 영향의 평가 및 정량화 ▪ SCR과 ATR에서의 Near Fault ground motion의 특성의 평가 및 정량화 ▪ Far fault ground motion과 near fault ground motion의 psd 함수로의 표현 방법 개발
	우리나라의 해저지진 환경 규명을 위한 해저지진관측망 구성	▪ 관측망으로부터 수십년간의 해저지진 데이터를 확보하여 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중을 규정
	해류에 의한 구조체 진동 안전성 연구 (중복 제외)	▪ 해류에 의한 구조체 진동 안전성 분석 ▪ 구조체 공진 현상 회피 및 분쇄 기술 개발 ▪ 실험용 mock-up 제작 및 유체 실험 ▪ 시뮬레이션 기법을 이용한 진동 안전성 해석
	해중 구조물에 작용하는 외력 저감 연구 (중복 제외)	▪ 해중에 설치된 구조물의 거동 안정성은 파력, 조력 및 해류에 의해 영향을 받는 이유로 이에 대한 영향을 저감 시키는 형상 및 안정성 확보 방안을 연구 ▪ 구조물 제작에 사용되는 재료의 안정성 및 경제성을 고려하여 연구
	해중터널 구조체의 동수역학적 수리성능 평가 기술 (중복 제외)	▪ 해중터널 구조체의 파랑 및 흐름에 대한 안정성 평가(수리 및 수치모형실험) ▪ 수리 및 수치모형실험 결과에 기반한 해중터널 구조체의 세부제원 개량 및 업그레이드
	유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 해저 구조물의 지진응답 해석 기술 개발	▪ 한쪽 방향으로 길이가 무한한 3차원 구조물의 유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동 해석 모델 개발
	유체-구조물-지반의 상호작용을 고려한 해중 터널의 지진응답 해석기법 개발	▪ 유체와 지반을 통해 일어나는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 정확히 고려한 해석기법을 개발
	해중 터널의 수중운항체에 의한 충돌안전성 해석	▪ 시스템의 모델링 ▪ 수중운항체에 의한 외력정의 ▪ 유체와의 연계를 고려한 구조시스템의 모델링 ▪ 충돌조건의 설정 ▪ 비선형동적해석을 통한 충돌시 시스템의 안정성 및 거동 평가 ▪ 충돌시 단면의 거동 평가 및 안전성 증진방안

중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
	수중폭발하중에 대한 해중터널의 거동평가	▪ 시스템의 모델링 ▪ 수중폭발에 대한 하중정의 ▪ 유체와의 연계를 고려한 구조시스템의 모델링 ▪ 충돌조건의 설정 ▪ 비선형동적해석을 통한 충돌시 시스템의 안정성 및 거동 평가 ▪ 충돌시 단면의 거동 평가 및 안전성 증진방안
	해중 터널 구조체 내화 성능 확보 기술	▪ 제안된 해중 터널 구조체의 화재시 거동 분석 ▪ 구조체의 피해 방지를 위한 화재열 차단 방법 연구 ▪ 내화 재료 연구 ▪ 화재 후 구조 보강 방법 연구
	고속철도의 주행안전성 확보를 위한 수중부유구조물의 해석/설계기법 개발	▪ 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도하중 등의 확률적 변동특성 분석 ▪ 파랑 및 해류에 의한 수중부유구조물의 동적거동 특성 분석 ▪ 고속철도차량 주행에 의한 수중부유구조물의 동적 거동특성 분석기법 (유체-부유구조물-고속철도 상호거동 분석) ▪ 고속철도 주행안전성을 확보하기 위한 부유구조물의 허용변위 결정기법 ▪ 적정 허용변위 확보를 위한 계류시스템 및 계류력 분석/결정기법 ▪ 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도하중 등과 부유구조물 거동 등을 반영하는 신뢰성 기반 설계기술의 개발
	자기부상열차와 해중터널의 상호작용을 고려한 동적응답 해석기법 개발	▪ 해중 터널 내를 운행하는 자기부상열차와 해중 터널의 상호작용을 고려한 동적응답 해석기법을 개발 ▪ 유체에 의한 부가질량의 효과와 유연한 지반의 효과 고려
	부유식 해중 고속 철도 시스템의 비선형 동적 상호 해석 기법 개발	▪ Hydrodynamics를 고려한 고속 철도 차량 - 구조체 (해중 터널 구조 등) - 계류선 (Mooring lines) - 지반 (Linear/non-linear springs) 상호 작용 주요 지배 미분 방정식 및 동적 해석 기술 도출 ▪ (regular/irregular) wind, wave, current 등 주요 환경 하중 산정 모듈 개발 ▪ 차량 - 구조체 - 계류선 - 지반 간 상호 작용을 고려한 (Frequency domain/Time domain) 동적 해석 모듈 개발 ▪ 구조체, 도상, 계류선, 계류선 앵커 시스템 등의 설계를 위한 하중 및 변위 성분 획득을 위한 포스트 프로세싱 모듈 개발
	설계기술 자립화를 위한 국제적 설계기준 개발	▪ 해중환경 외력 설계기준 ▪ 터널튜브 구조체 설계기준 ▪ 계류시스템 설계기준 ▪ 구조체 모듈 및 계류 접합부 설계기준 ▪ 해중 고속철도 설계기준

중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
	터널튜브 구조체 설계 절차 수립 및 대표 단면 제시	▪ 터널튜브 구조체 설계의 가이드라인 제시를 위한 표준 설계 절차 수립
	구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로설계기술	▪ 구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성을 평가하고, 피로수명 증대를 위한 피로설계기술 개발
	보강형 모듈화 시공 기술 개발	▪ 보강형 모듈화의 표준 시공 공법 / 순서 정립 및 제시 ▪ 수심 별 보강형 포지셔닝 공법 및 선형 관리 방법 제시 ▪ 보강형 모듈 간 연결 공법 제시 ▪ 수심 별, 지반 조건 별 최적의 앵커 시스템 및 정착 방법 제시 ▪ 앵커 케이블, 모듈 연결부 등의 방수, 방식 방법 및 시공 방법 제시 ▪ 환기 구조물 모듈화 시공 방법 및 안정화 방법 제시
시공기술	터널 함체의 해상운반 기술 및 SINKING 기술	▪ 해상환경을 고려한 함체의 운반, 대기, Sinking 중의 Engineering Analysis터널 Section의 해상 운반 및 대기 중 발생되는 거동과 그에 따른 응력해석 ▪ 설치위치에 위치시키는 기술과 그에 따른 해석 ▪ 터널 함체를 설계 깊이까지 내리는 과정 및 해석 2) Engineering Analysis에 필요한 해석
	중력식 앵커시스테의 설치를 위한 해저지반 준비, 앵커시스템의 해저지반 설치기술, 필용 텐션 및 수평지지력 확보방안	▪ 중력식 앵커 시스템의 설치를 위한 해저지반 준비 ▪ 중력식 앵커 시스템의 해저지반 설치 기술 ▪ 중력식 앵커 시스템의 필요 텐션 및 수평지지력 확보방안
	해중항타 파일에 의한 고정식 앵커시스템의 시공기술	▪ 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술 ▪ 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술
	ICT기반 해저 장대터널공사의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템 (Virtual Construction System) 개발	▪ 해저터널 공종 시공상황의 가상 시뮬레이션시스템 구축기술 ▪ Augment Reality (AR, 증강현실)기법의 해저터널 적용기술 ▪ 해저터널 영상정보 취득에 의한 Telepresence 구축 기술
	터널 함체 시공중 나쁜 해상조건에 의하여 발생 가능한 공사중지 리스크 분석 및 저감 설계 기술	▪ 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공 방안 ▪ 위치부표 및 위치추적 송수신 장치

중점분야	기술수요조사 제안과제명	연구개발내용
방재안전 및 유지보수 기술	장거리 부유식 해중 고속철도시스템의 화재감지 및 지능형 제연시스템 개발	▪ 장거리 부유식 해중 고속철도시스템 구조 및 재해 특성 분석 ▪ 해중 고속철도 터널 내 화재 등 이상기류 감지시스템 개발 ▪ 장거리 부유식 해중 고속철도시스템의 지능형 제연시스템 개발
	해중 터널 비상환기 및 인공지능 제연 시스템 기술 개발	▪ 해중 터널 비상환기구 최적 설계 기술 개발 ▪ 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어 시스템 개발 ▪ 비상 환기구 및 제연 시스템 제작 및 살험 ▪ 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술 개발
	부유식 해중 고속철도 터널 시스템의 건전도 모니터링 개발	▪ 터널을 단순히 구조물이 아닌 하나의 관광자원으로 개발하기 위한 방안과 이를 하기 위한 여러 요소 기술 도출

2절. 기술예측조사

1. 기술예측조사 개요

가. 기술예측조사 목적

○ 기술의 실현시기, 기술수준 등 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여 본 기획의 기술개발 추진전략을 수립하기 위한 기초자료로 활용함

나. 기술예측조사 절차

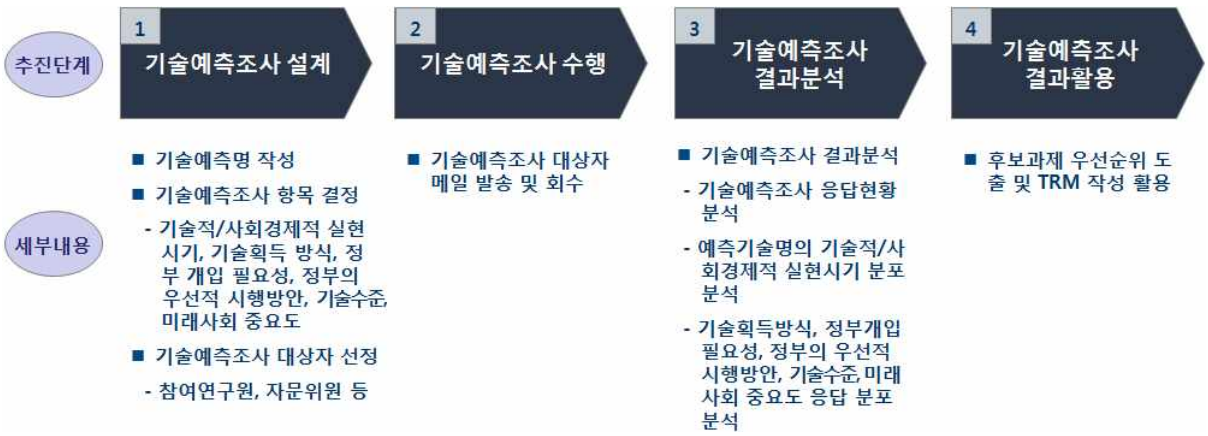


그림 3.4 기술예측조사 프로세스

다. 기술예측조사 조사방법

○ 조사기간
- 1차 조사기간 : 2013. 7. 15 ~ 7. 21
- 2차 조사기간 : 2013. 7. 24 ~ 7. 28

○ 조사대상 : 산학연 관련 전문가

○ 조사방법 : e-mail 조사

○ 조사항목
- 기술적 실현시기, 사회/경제적 실현시기, 기술획득 방식, 정부개입 필요성, 기술적 실현을 위한 정부의 우선적 시행해야할 방안, 기술수준, 미래사회에서의 중요도

라. 기술예측조사 조사항목

○ **'기술적 실현시기'** 는 2013년 기준, 해당 예측기술명이 기술적인 문제가 해결되어 기술이 적용된 최초의 시작품 등이 실험실 수준에서 완료되는 예상시점(Single Point Time) 임

○ **'사회경제적 실현시기'** 는 2013년 기준, 해당 예측기술명이 경제성이 확보되어 기술을 적용한 제품 등이 상업화되거나 해당기술이 사회적으로 널리 활용되는 예상시점(Single Point Time) 임
- '기술적 실현시기' 에 대한 세계 시기와 국내 시기와의 격차는 기술수준에 대한 격차로 해석할 수 있으며, 이는 해당과제에 대한 추진전략 설정에 활용
- '기술적 실현시기' 와 '사회경제적 실현시기' 와의 격차는 실용화 능력 혹은 사회적 수용성에 대한 대리지표로 활용할 수 있음

○ **'기술획득방식'** 은 해당 예측기술명의 기술개발을 위한 적합한 연구 주체를 조사함
- 예측기술명에 대해 아래의 4개의 조사 항목 중 적합한 연구 주체를 선택함

표 3.5 기술획득방식 조사항목

조사항목		내용
자체개발	민간주도	기술이 사업에 직접 적용될 수 있거나 민간의 역량이 우수하여 민간이 주도하는 것이 적합
	정부주도	기술의 공공성이 강하거나 민간의 역량이 부족하고 기초 단계 연구개발이 필요하여 정부출연 또는 기관을 중심으로 정부가 주도하는 것이 적합
	정부민간주도	정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직
기술도입 및 공동연구		국내 개발 역량이 미흡하거나 해외 우수 기술의 도입을 통하여 비용을 크게 절감

○ **‘정부개입 필요성’** 은 해당 예측기술명의 개발과 경쟁력 확보를 위해 정부가 개입할 필요성 정도를 조사함

- “정부개입 필요성” 은 5점 척도(매우높음 : 5점, 높음 : 4점, 보통 : 3점, 낮음 : 2점, 매우낮음 : 1점)로 조사함

○ **‘기술적 실현을 위한 정부의 우선적 시행해야할 방안’** 은 해당 예측기술명의 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야할 정책을 조사함

- 해당 예측기술명에 대해 아래의 5개의 조사 항목 중 정부가 우선적으로 시행해야할 정책을 선택함

표 3.6 기술적 실현을 위한 정부시행방안 조사항목

조사항목	내용
인력양성	해당기술에 인력이 절실히 부족하여 인력양성을 위한 정책적 지원 필요
협력교류활성화	기술의 성격상 다학제적 연구 또는 산학연 및 국제공동연구가 필요하며 협력교류 활성화를 위한 정책적 지원 필요
인프라 구축	기술 개발을 위해 설비투자 등의 인프라구축이 필요
연구비 확대	기술 개발을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 필요
제도 개선	규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화 지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선이 필요

○ **‘기술수준’** 은 해당 예측기술명의 특정시점에서의 최고기술보유국 대비 우리나라의 기술수준을 조사함

- 해당 예측기술명의 최고기술 보유국과 최고기술 보유국 대비 우리나라 기술수준(%) 작성함

표 3.7 기술수준 조사항목

조사항목	내용
최고기술 보유국	해당기술 분야에서 가장 높은 기술수준을 보유한 국가
우리나라 기술수준	현재시점에서 최고기술보유국의 기술수준을 100%라고 했을 때 우리나라의 기술수준

○ **“미래사회에서의 중요도”** 는 해당 예측기술명에 대해 다음의 3가지 항목에 대해 5점 척도로 조사함

- 5점 척도(매우높음 : 5점, 높음 : 4점, 보통 : 3점, 낮음 : 2점, 매우낮음 : 1점)로 조사함

표 3.8 미래사회 중요도 조사항목

조사항목	내용
과학기술적 중요도	과학기술적 혁신이나 새로운 지식의 창출 측면의 중요도
사회공공적 중요도	사회문제의 해결 및 공익 측면의 중요도
경제산업적 중요도	경제산업적 부가가치 창출 측면의 중요도

2. 기술예측조사 명 작성

가. 중점분야별 기술예측명 작성

○ 기술예측명은 수요조사 및 국내외 동향조사 결과를 기초로 43개의 기술예측명을 작성함

- 기획연구진은 33건의 기술수요조사서 검토를 통하여 분할 및 제외 등 기획연구 범위에 포함되지 않는 기술 및 중복되는 기술은 기술예측조사에서 제외함
  - ✓ 기술예측조사에서 제외된 기술수요조사서는 7건임
- 국내외 동향 및 환경 분석을 통하여 7개의 기술예측명을 추가함

표 3.9 중점분야별 예측기술명

No.	중점분야	예측기술명
A1	시스템 엔지니어링	해중철도 시스템 안전성 기준을 설정하고, 안전관리 지침을 작성하며, 시스템 확인 및 검증 체계를 수립하여 안전성 관리 체계를 수립한다.
A2		해중철도 시스템의 위험도를 분석하고 안전성을 평가하는 체계를 구축한다.
A3		해중고속철도 sub시스템 및 핵심기능 도출에 따른 모듈배치설계(안), 해중시스템 최적철도차량 및 궤도시스템 기술을 개발한다.
B1	해석 및 설계	해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준을 개발한다.
B2		차량과 구조체의 상호작용을 고려하여 고속철도의 안전 운행을 위한 설계 기준을 개발한다.
B3		해중고속철도 구조체의 계류시스템 설계기준과 수심 및 지반에 따른 앵커링설계 기준을 개발한다.
B4		구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성을 평가하고 피로수명 증대를 위한 피로설계 기술을 개발한다.
B5		해상 변전소의 배치 및 설계, 내구성능 향상기술을 개발한다.
B6		유체-구조 상호작용을 고려하여 파랑과 해류가 공존하는 SFT(SubmergedFloatingTunnel)의 거동을 해석하고 평가할 수 있는 기술을 개발한다.
B7		고속열차 주행시의 SFT의 거동을 분석하고 안전성을 검증하는 기술을 개발한다.
B8		유체동력학적 특성을 고려하여 SFT의 최적 형상을 설계하는 기술을 개발한다.
B9		파랑과 해류 조건에서 SFT 거동을 재현할 수 있는 상사모형시험 기술을 개발한다.

No.	중점분야	예측기술명
B10		해중철도 구조체의 수중운항체에 대한 유체와의 연계를 고려한 구조시스템 모델링 및 충돌시 단면의 거동 평가 및 안전성 향상 기술을 개발한다.
B11		해중철도 구조체의 수중운항체 충돌을 방지하기 위한 신호시스템 및 방호시스템을 개발한다.
B12		SFT의 외부 폭발하중에 대한 정의, 시스템 및 단면의 거동을 평가하는 기술을 개발한다.
B13		우리나라의 해저지진환경 규명을 위해 우리나라의 수십년 동안 해저지진 데이터를 확보하여 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중을 규정하는 해저지진관측망 기술을 개발한다.
B14		해저환경에서 지진파가 해수층에서 반사되고 회절 및 굴절되는 과정에 대해 지반운동의 특성평가 및 정량화할 수 있는 기술을 개발한다.
B15		유체와 지반을 통해 발생하는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 고려한 SFT의 지진응답 해석기법을 개발한다.
B16		SFT의 지진에 대한 거동을 평가하기 위해 유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동 해석 모델을 개발한다.
B17		SFT의 지진시 거동과 내진성능 검증을 위해 상사 모형시험 기술을 개발한다.
B18		SFT의 육상 접합부의 내진성능 향상을 위한 보강 또는 유연구조 기술을 개발한다.
B19		고속철도의 주행안전성 확보를 위한 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도 하중 및 주행을 고려한 뷰유구조물 거동을 반영한 해석/설계기법을 개발한다.
B20		SFT를 운행하는 자기부상열차의 구조체와 상호작용, 구조체 거동에 의한 동적 응답 특성을 해석하는 기술을 개발한다
B21		SFT 구조체 내화 성능 확보를 위한 구조체 거동 분석, 화재열 차단 방법, 내화 재료 기술을 개발한다.
B22		SFT의 거동에 따른 차량과 인프라의 상호작용을 시뮬레이션하고 고속열차의 주행안전성과 운행조건 확보를 위한 기술을 개발한다.
B23		SFT를 주행하는 고속열차의 진동 및 소음 특성을 시뮬레이션하고 방진 및 방음 기술을 개발한다.
C1	시공	수심별/지반조건별 계류시스템의 설치 및 앵커링 시공공법을 개발한다.
C2		사용년도별 해중철도 구조체 및 계류시스템의 방수 및 방식 시공방법을 개발한다.
C3		환기구조물 및 철도인프라의 모듈화 시공 기술을 개발한다.
C4		SFT 구조체 모듈의 제작 및 해상조립 표준시공법을 개발한다.
C5		해상 환경을 고려한 구조체 모듈의 운반 및 대기 과정, 수중 sinking된 구조체의 거동을 시뮬레이션하고 검증하는 기술을 개발한다.
C6		다양한 앵커링 방법(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공을 위해 해저지반 준비, 설치 방법, 지지력 확보, 요구 장력 확보 등 시공 기술을 개발한다.
C7		설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/HorizontalCapacityAnchor)에따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술 및 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술을 개발한다.
C8		Contigency plan에 포함될 Abandonment and Recovery Plan을 작성하기 위해 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공방안, 위치부표 및 위치추적 송수신 장치 기술을 개발한다.
C9		ICT기반 SFT의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템 (Virtual Construction System)을 개발한다.
C10		해양 환경에서 고속철도시스템의 고정모드를 분석하고 신뢰성 평가 및 향상 기술을 개발한다.

No.	중점분야	예측기술명
C11		내염해성이 특화된 고성능 경량 콘크리트를 활용한 해중 부유체용 구조부재를 개발한다.
D1	방재안전 및 유지보수	SFT의 건전도 향상을 위해 구조물 계측 센서 및 장비개발, 앵커 케이블의 건전도 모니터링, 터널 본체의 취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술을 개발한다.
D2		장거리 부유시 해중 고속철도시스템의 구조 및 재해특성 분석, 터널 내 화재 등 이상기류 감지 시스템 개발, 지능형 제연시스템을 개발한다.
D3		SFT 비상환기구 최적 설계 기술, 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어시스템, 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술을 개발한다.
D4		비상시 화재 및 침수의 급속 차단과 승객 대피 기술을 개발한다.
D5		SFT 구조체 및 계류시스템의 유지보수를 위한 수중작업 기술을 개발한다.
D6		SFT를 주행하는 고속열차의 탈선 방지 기술을 개발한다.

3. 기술예측조사 결과

가. 기술적/사회경제적 실현시기

○ 기술예측조사결과 세계 기술적/사회경제적 실현시기는 국내 기술적/사회경제적 실현시기보다 1년가량 앞서있는 것으로 나타남

- 세계의 기술적 실현시기는 2017년(74%), 국내는 2018년(81%)에 집중되어 있음
- 세계의 사회경제적 실현시기는 2020(86%), 2021년(67%)에 집중되어 있으며, 기술적 실현 후 사회경제적으로 실현되기까지 약 3년가량 소요되는 것으로 나타남

표 3.10 기술적/사회경제적 실현시기 분포결과

구분			2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024 이상	합계
기술적 실현 시기	세계	과제수	0	0	0	0	1	*32*	10	0	0	0	0	0	0	43
		비중(%)	0%	0%	0%	0%	2%	*74%*	23%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
	국내	과제수	0	0	0	0	0	6	*35*	2	0	0	0	0	0	43
		비중(%)	0%	0%	0%	0%	0%	14%	*81%*	5%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
사회/ 경제적 실현 시기	세계	과제수	0	0	0	0	0	0	0	1	*37*	3	2	0	0	43
		비중(%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	*86%*	7%	5%	0%	0%	100%
	국내	과제수	0	0	0	0	0	0	0	0	10	*29*	4	0	0	43
		비중(%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%	*67%*	9%	0%	0%	100%

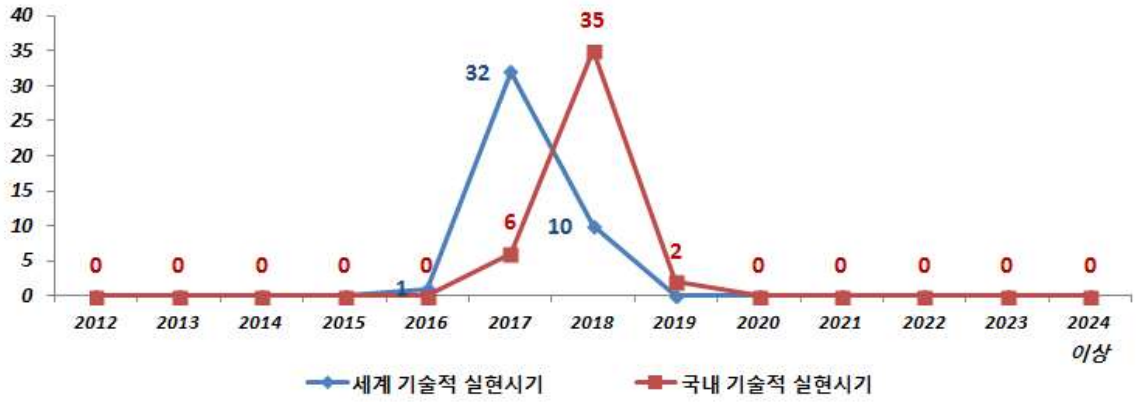


그림 3.5 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포



그림 3.6 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포

○ 시스템 엔지니어링 분야의 기술적 실현시기는 세계가 국내보다 약 1년 앞서지만 사회경제적 실현시기는 유사한 것으로 나타남

- 세계, 국내 기술적 실현시기는 각각 2018년, 2019년에 집중되는 것으로 나타났으나 사회경제적 실현시기는 2022년으로 유사하게 나타남

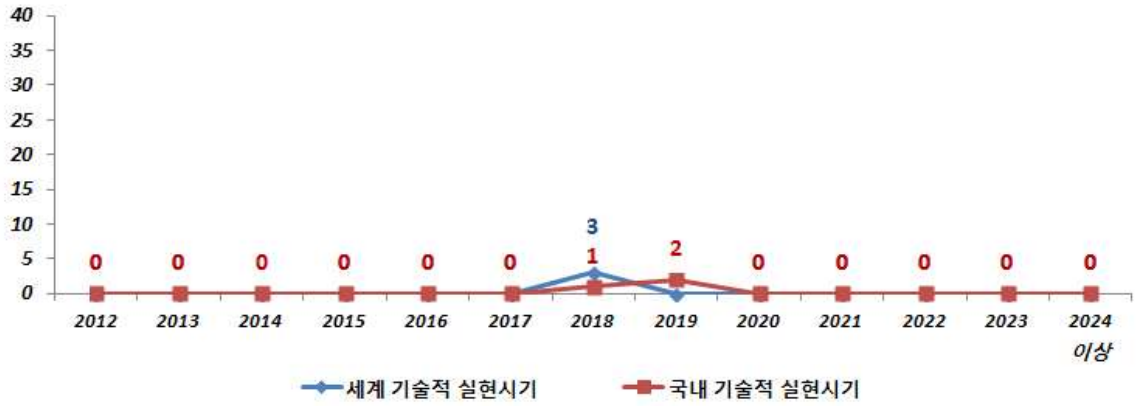


그림 3.7 시스템 엔지니어링 분야 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포



그림 3.8 시스템 엔지니어링 분야 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포

표 3.11 시스템 엔지니어링 분야 기술적/사회경제적 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
A1	해중철도 시스템 안전성 기준을 설정하고, 안전관리 지침을 작성하며, 시스템 확인 및 검증 체계를 수립하여 안전성 관리 체계를 수립한다.	18	19	22	22
A2	해중철도 시스템의 위험도를 분석하고 안전성을 평가하는 체계를 구축한다.	18	19	21	22
A3	해중고속철도 sub시스템 및 핵심기능 도출에 따른 모듈배치설계(안), 해중시스템 최적 철도차량 및 궤도시스템 기술을 개발한다.	18	18	22	22

○ 해석 및 설계 분야의 세계 기술적/사회적경제적 실현시기는 국내보다 약 1년가량 앞선 것으로 나타남

- 세계 기술적 실현시기는 2017년에 집중되어 있으며, 국내는 2017년~2018년에 집중되어 있으나 대부분의 기술이 2018년에 실현될 것으로 나타남
- 세계 사회경제적 실현시기는 기술적 실현 3년 후인 2020년에, 국내는 2020년~2021년

사이에 실현될 것으로 나타남



그림 3.9 해석 및 설계 분야 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포



그림 3.10 해석 및 설계 분야 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포

표 3.12 해석 및 설계 분야 기술적/사회경제적 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
B1	해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준을 개발한다.	17	18	20	20
B2	차량과 구조체의 상호작용을 고려하여 고속철도의 안전 운행을 위한 설계 기준을 개발한다.	17	18	20	21
B3	해중고속철도 구조체의 계류시스템 설계기준과 수심 및 지반에 따른 앵커링설계 기준을 개발한다.	17	18	20	20
B4	구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성을 평가하고 피로수명 증대를 위한 피로설계 기술을 개발한다.	17	18	20	21
B5	해상 변전소의 배치 및 설계, 내구성능 향상기술을 개발한다.	17	18	20	21
B6	유체-구조 상호작용을 고려하여 파랑과 해류가 공존하는 SFT(SubmergedFloatingTunnel)의	17	18	20	20

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
	거동을 해석하고 평가할 수 있는 기술을 개발한다.				
B7	고속열차 주행시의 SFT의 거동을 분석하고 안전성을 검증하는 기술을 개발한다.	17	17	20	21
B8	유체동력학적 특성을 고려하여 SFT의 최적 형상을 설계하는 기술을 개발한다.	17	18	20	21
B9	파랑과 해류 조건에서 SFT 거동을 재현할 수 있는 상사모형시험 기술을 개발한다.	17	17	20	21
B10	해중철도 구조체의 수중운항체에 대한 유체와의 연계를 고려한 구조시스템 모델링 및 충돌시 단면의 거동 평가 및 안전성 향상 기술을 개발한다.	17	18	20	21
B11	해중철도 구조체의 수중운항체 충돌을 방지하기 위한 신호시스템 및 방호시스템을 개발한다.	17	18	20	21
B12	SFT의 외부 폭발하중에 대한 정의, 시스템 및 단면의 거동을 평가하는 기술을 개발한다.	17	18	20	21
B13	우리나라의 해저지진환경 규명을 위해 우리나라의 수십년 동안 해저지진 데이터를 확보하여 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중을 규정하는 해저지진관측망 기술을 개발한다.	17	17	20	21
B14	해저환경에서 지진파가 해수층에서 반사되고 회절 및 굴절되는 과정에대해 지반운동의 특성평가 및 정량화 할 수 있는 기술을 개발한다.	17	17	20	20
B15	유체와 지반을 통해 발생하는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 고려한 SFT의 지진응답 해석기법을 개발한다.	17	18	20	21
B16	SFT의 지진에 대한 거동을 평가하기 위해 유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동해석 모델을 개발한다.	17	17	19	20
B17	SFT의 지진시 거동과 내진성능 검증을 위해 상사 모형시험 기술을 개발한다.	17	18	20	20
B18	SFT의 육상 접합부의 내진성능 향상을 위한 보강 또는 유연구조 기술을 개발한다.	17	18	20	21
B19	고속철도의 주행안전성 확보를 위한 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도 하중 및 주행을 고려한 뷰유구조물 거동을 반영한 해석/설계기법을 개발한다.	17	18	20	20
B20	SFT를 운행하는 자기부상열차의 구조체와 상호작용, 구조체 거동에 의한 동적 응답 특성을 해석하는 기술을 개발한다	17	18	20	20
B21	SFT 구조체 내화 성능 확보를 위한 구조체 거동 분석, 화재열 차단 방법, 내화 재료 기술을 개발한다.	17	17	20	21
B22	SFT의 거동에 따른 차량과 인프라의 상호작용을 시뮬레이션하고 고속열차의 주행안전성과 운행조건 확보를 위한 기술을 개발한다.	17	18	20	21
B23	SFT를 주행하는 고속열차의 진동 및 소음 특성을 시뮬레이션하고 방진 및 방음 기술을 개발한다.	17	18	20	20

○ 시공분야의 세계 기술적/사회적경제적 실현시기는 국내보다 약 1년가량 앞선 것으로 나타남

- 세계 기술적 실현시기는 2017년~2018년 사이에 고르게 분포하며 국내는 2018년에 집중된 것으로 나타남
- 세계 사회경제적 실현시기는 2020년에 집중되어있으며 국내는 1년뒤인 2021년에 집중된 것으로 나타남



그림 3.11 시공분야 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포



그림 3.12 시공분야 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포

표 3.13 시공 분야 기술적/사회경제적 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
C1	수심별/지반조건별 계류시스템의 설치 및 앵커링 시공공법을 개발한다.	17	18	20	20
C2	사용년도별 해중철도 구조체 및 계류시스템의 방수 및 방식 시공방법을 개발한다.	18	18	20	21
C3	환기구조물 및 철도인프라의 모듈화 시공 기술을 개발한다.	18	18	20	21
C4	SFT 구조체 모듈의 제작 및 해상조립 표준시공법을 개발한다.	18	18	20	21
C5	해상 환경을 고려한 구조체 모듈의 운반 및 대기 과정, 수중 sinking된 구조체의 거동을 시뮬레이션하고 검증하는 기술을 개발한다.	18	18	20	21
C6	다양한 앵커링 방법(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공을 위해 해저지반 준비, 설치 방법, 지지력 확보, 요구 장력 확보 등 시공 기술을 개발한다.	16	18	20	21

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
C7	설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/HorizontalCapacityAnchor)에따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술 및 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술을 개발한다.	17	18	20	21
C8	Contigency plan에 포함될 Abandonment and Recovery Plan을 작성하기 위해 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공방안, 위치부표 및 위치추적 송수신 장치 기술을 개발한다.	17	18	20	21
C9	ICT기반 SFT의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템(Virtual Construction System)을 개발한다.	17	18	20	21
C10	해양 환경에서 고속철도시스템의 고정모드를 분석하고 신뢰성 평가 및 향상 기술을 개발한다.	17	18	21	21
C11	내염해성이 특화된 고성능 경량 콘크리트를 활용한 해중 부유체용 구조부재를 개발한다.	18	18	20	21

○ 방재안전 및 유지보수 분야의 세계 기술적/사회적경제적 실현시기는 국내보다 약 1년가량 앞선 것으로 나타남

- 타분야와 유사하게 세계 및 국내 기술적 실현시기는 각각 2017년, 2018년이며 약 3년 후 사회경제적으로 기술이 실현 될것으로 나타남



그림 3.13 방재안전 및 유지보수 분야 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포



그림 3.14 방재안전 및 유지보수 분야 예측기술명 세계/국내 사회경제적 실현시기 분포

표 3.14 방재안전 및 유지보수 분야 기술적/사회경제적 실현시기

번호	예측기술명	기술적 실현시기		사회/경제적실현시기	
		세계	국내	세계	국내
D1	SFT의 건전도 향상을 위해 구조물 계측 센서 및 장비개발, 앵커 케이블의 건전도 모니터링, 터널 본체의 취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술을 개발한다.	17	18	20	21
D2	장거리 부유시 해중 고속철도시스템의 구조 및 재해특성 분석, 터널 내 화재 등 이상기류 감지시스템 개발, 지능형 제연시스템을 개발한다.	17	18	20	21
D3	SFT 비상환기구 최적 설계 기술, 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어시스템, 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술을 개발한다.	18	18	20	21
D4	비상시 화재 및 침수의 급속 차단과 승객 대피 기술을 개발한다.	17	18	20	21
D5	SFT 구조체 및 계류시스템의 유지보수를 위한 수중작업 기술을 개발한다.	17	18	20	21
D6	SFT를 주행하는 고속열차의 탈선 방지 기술을 개발한다.	18	18	21	22

나. 기술획득 방식 및 정부개입의 필요성

○ 기술획득 방식은 대체적으로 정부/민간 공동연구(54.5%)가 바람직 한 것으로 나타났으며, 정부개입의 필요성은 3.6으로 비교적 높은 편으로 나타남

- 시스템 엔지니어링 분야는 타분야에 비해 정부개입의 필요성이 가장 높게 나타났으며, 정부/민간 공동연구 뿐만아니라 정부주도 연구를 통한 기술획득이 필요한 것으로 나타남
- 해석 및 설계, 방재안전 및 유지보수 분야의 정부개입의 필요성은 3.7로 비교적 높은

편으로 정부/민간 공동연구를 통한 기술획득이 필요한 것으로 나타남

- 시공분야는 정부개입 필요성이 타 중점분야에 비해 낮은 편으로 민간주도를 통한 기술획득이 필요하다는 의견이 타분야에 비해 가장 높게 나타남

표 3.15 기술획득 방식 및 정부개입의 필요성

구분	기술획득 방식				정부개입의 필요성 평균*
	민간주도	정부주도	정부/민간 공동	기술도입 및 국제협력	
전체	10.7%	27.4%	***54.5%***	7.4%	3.6
중점분야1 (시스템 엔지니어링)	7.4%	***41.0%***	***44.2%***	7.3%	4.2
중점분야2 (해석 및 설계)	8.8%	30.4%	***54.4%***	6.4%	3.7
중점분야3 (시공)	***15.5%***	22.1%	***53.4%***	9.0%	3.4
중점분야4 (방재안전 및 유지보수)	11.1%	18.9%	***62.0%***	8.0%	3.7

* : 5점 척도 (5 : 매우 높음 / 4 : 높음 / 3 : 보통 / 2 : 낮음 / 1 : 매우 낮음)

○ 시스템 엔지니어링 분야의 기술획득 방식은 정부/민간 공동(44.2%), 정부주도(41.0%)가 높게 나타났으며, 정부개입의 필요성은 4.2로 높게 나타남

- A1(해중철도 시스템 안전성 기준/지침/관리체계)의 경우 정부주도의 연구를 통한 기술획득이 필요한 것으로 나타났으며, 정부개입 필요성은 4.7로 동 분야에서 가장 높게 나타남
- A2(해중철도 시스템 위험도분석 및 안전성 평가), A3(모듈배치설계, 차량 및 궤도 시스템 설계)는 정부/민간 공동연구를 통한 기술획득이 필요한 것으로 나타났음

표 3.16 시스템 엔지니어링 분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성

번호	예측기술명	기숙획득방식 비중(%)				정부 개입의 필요성
		민간 주도	정부 주도	정부/ 민간 공동	기술 도입 및 국제 협력	
A1	해중철도 시스템 안전성 기준을 설정하고, 안전관리 지침을 작성하며, 시스템 확인 및 검증 체계를 수립하여 안전성 관리 체계를 수립한다.	0.0%	***56.5%***	34.8%	8.7%	4.7
A2	해중철도 시스템의 위험도를 분석하고 안전성을 평가하는 체계를 구축한다.	8.7%	34.8%	***47.8%***	8.7%	4.3
A3	해중고속철도 sub시스템 및 핵심기능 도출에 따른 모듈배치설계(안), 해중시스템 최적철도차량 및 궤도시스템 기술을 개발한다.	13.6%	31.8%	***50.0%***	4.5%	3.8
합계		7.4%	41.0%	44.2%	7.3%	4.2

○ 해석 및 설계 분야의 기술획득 방식은 정부/민간 공동(54.4%)이 높게 나타났으며, 정부 개입의 필요성은 3.7로 비교적 높게 나타남

- B1(설계하중기준, 접합부 설계기준), B2(안전운행 설계기준) 등의 설계기준 개발 및 B13(해저지진 관측망 기술) 등 DB구축을 통한 분석기술개발은 정부주도의 연구를 통해 기술개발이 필요한 것으로 나타남
- B3(계류시스템 및 앵커링 설계), B6(SFT 거동해석 및 평가기술), B11(신호 및 방호 시스템), B13(해저지진 관측망 기술)은 기술도입 및 국제협력을 통한 기술획득방식 비중이 13% 이상으로 타 기술에 비해 높게 나타남
- 대다수의 기술이 정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직한 것으로 나타남

표 3.17 해석 및 설계 분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성

번호	예측기술명	기숙획득방식 비중(%)				정부 개입의 필요성
		민간 주도	정부 주도	정부/ 민간 공동	기술 도입 및 국제 협력	
B1	해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준을 개발한다.	8.3%	***41.7%***	***45.8%***	4.2%	3.7
B2	차량과 구조체의 상호작용을 고려하여 고속철도의 안전 운행을 위한 설계 기준을 개발한다.	0.0%	***63.6%***	31.8%	4.5%	4.2
B3	해중고속철도 구조체의 계류시스템 설계기준과 수심 및 지반에 따른 앵커링설계 기준을 개발한다.	8.7%	34.8%	***43.5%***	13.0%	3.8

B4	구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성을 평가하고 피로수명 증대를 위한 피로설계 기술을 개발한다.	13.6%	18.2%	***63.6%***	4.5%	3.4
B5	해상 변전소의 배치 및 설계, 내구성능 향상기술을 개발한다.	13.6%	36.4%	***45.5%***	4.5%	3.6
B6	유체-구조 상호작용을 고려하여 파랑과 해류가 공존하는 SFT(SubmergedFloatingTunnel)의 거동을 해석하고 평가할 수 있는 기술을 개발한다.	8.7%	30.4%	***47.8%***	13.0%	3.6
B7	고속열차 주행시의 SFT의 거동을 분석하고 안전성을 검증하는 기술을 개발한다.	4.5%	36.4%	***54.5%***	4.5%	3.9
B8	유체동력학적 특성을 고려하여 SFT의 최적 형상을 설계하는 기술을 개발한다.	12.5%	25.0%	***58.3%***	4.2%	3.7
B9	파랑과 해류 조건에서 SFT 거동을 재현할 수 있는 상사모형시험 기술을 개발한다.	12.5%	29.2%	***54.2%***	4.2%	3.7
B10	해중철도 구조체의 수중운항체에 대한 유체와의 연계를 고려한 구조시스템 모델링 및 충돌시 단면의 거동 평가 및 안전성 향상 기술을 개발한다.	9.1%	22.7%	***59.1%***	9.1%	3.6
B11	해중철도 구조체의 수중운항체 충돌을 방지하기 위한 신호시스템 및 방호시스템을 개발한다.	4.5%	22.7%	***59.1%***	13.6%	3.7
B12	SFT의 외부 폭발하중에 대한 정의, 시스템 및 단면의 거동을 평가하는 기술을 개발한다.	9.1%	27.3%	***54.5%***	9.1%	3.6
B13	우리나라의 해저지진환경 규명을 위해 우리나라의 수십년 동안 해저지진 데이터를 확보하여 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중을 규정하는 해저지진관측망 기술을 개발한다.	0.0%	***50.0%***	36.4%	13.6%	4.4
B14	해저환경에서 지진파가 해수층에서 반사되고 회절 및 굴절되는 과정에 대해 지반운동의 특성평가 및 정량화 할 수 있는 기술을 개발한다.	4.3%	34.8%	***56.5%***	4.3%	3.8
B15	유체와 지반을 통해 발생하는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 고려한 SFT의 지진응답 해석기법을 개발한다.	4.5%	27.3%	***63.6%***	4.5%	3.7
B16	SFT의 지진에 대한 거동을 평가하기 위해 유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동해석 모델을 개발한다.	12.5%	29.2%	***54.2%***	4.2%	3.5
B17	SFT의 지진시 거동과 내진성능 검증을 위해 상사 모형시험 기술을 개발한다.	13.0%	26.1%	***56.5%***	4.3%	3.6
B18	SFT의 육상 접합부의 내진성능 향상을 위한 보강 또는 유연구조 기술을 개발한다.	9.1%	22.7%	***63.6%***	4.5%	3.4
B19	고속철도의 주행안전성 확보를 위한 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도 하중 및 주행을 고려한 뷰유구조물 거동을 반영한 해석/설계기법을 개발한다.	4.3%	34.8%	***56.5%***	4.3%	3.8
B20	SFT를 운행하는 자기부상열차의 구조체와 상호작용, 구조체 거동에 의한 동적 응답 특성을 해석하는 기술을 개발한다	4.3%	26.1%	***65.2%***	4.3%	3.6
B21	SFT 구조체 내화 성능 확보를 위한 구조체 거동 분석, 화재열 차단 방법, 내화 재료 기술을 개발한다.	13.6%	18.2%	***63.6%***	4.5%	3.4
B22	SFT의 거동에 따른 차량과 인프라의 상호작용을 시뮬레이션하고 고속열차의 주행안전성과 운행조건 확보를 위한 기술을 개발한다.	13.6%	22.7%	***59.1%***	4.5%	3.5
B23	SFT를 주행하는 고속열차의 진동 및 소음 특성을 시뮬레이션하고 방진 및 방음 기술을 개발한다.	18.2%	18.2%	***59.1%***	4.5%	3.3
합계		8.8%	30.4%	***54.4%***	6.4%	3.7

○ 시공 분야의 기술획득 방식은 정부/민간 공동(53.4%)이 높게 나타났으며, 정부개입의 필요성은 3.4로 중점분야중 가장 낮게 나타남

- C1(조건별 계류시스템, 앵커링 시공), C2(구조체 및 계류시스템 방수/방식 시공), C3(모듈화 시공)는 타 기술에 비해 사업에 직접 적용 될 가능성이 크거나 민간 역량이 비교적 우수한 것으로 나타남
- C5(구조체 거동 시뮬레이션), C8(Fixing용 Anchor Spread 시공 및 위치추적 송수신 장치 기술)은 타 기술에 비해 민간의 역량이 부족하거나 기초단계 연구개발이 필요하여 정부가 연구를 주도하는 것이 바람직 한 것으로 나타남
- 대다수의 기술이 정부와 민간이 매칭펀드 또는 역할분담을 통하여 공동으로 개발을 추진하는 것이 바람직한 것으로 나타났으나 타 중점분야에 비해 민간주도 연구비중이 높게 나타남

표 3.18 시공 분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성

번호	예측기술명	기술획득방식 비중(%)				정부 개입의 필요성
		민간 주도	정부 주도	정부/민간 공동	기술 도입 및 국제 협력	
C1	수심별/지반조건별 계류시스템의 설치 및 앵커링 시공공법을 개발한다.	***21.7%***	21.7%	***39.1%***	17.4%	3.0
C2	사용년도별 해중철도 구조체 및 계류시스템의 방수 및 방식 시공방법을 개발한다.	***22.7%***	18.2%	***54.5%***	4.5%	3.0
C3	환기구조물 및 철도인프라의 모듈화 시공 기술을 개발한다.	***22.7%***	18.2%	***54.5%***	4.5%	3.0
C4	SFT 구조체 모듈의 제작 및 해상조립 표준시공법을 개발한다.	9.1%	22.7%	***63.6%***	4.5%	3.6
C5	해상 환경을 고려한 구조체 모듈의 운반 및 대기 과정, 수중 sinking된 구조체의 거동을 시뮬레이션하고 검증하는 기술을 개발한다.	12.5%	***29.2%***	***50.0%***	8.3%	3.4
C6	다양한 앵커링 방법(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공을 위해 해저지반 준비, 설치 방법, 지지력 확보, 요구 장력 확보 등 시공 기술을 개발한다.	20.8%	20.8%	***41.7%***	16.7%	3.3
C7	설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/HorizontalCapacityAnchor)에 따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술 및 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술을 개발한다.	16.7%	20.8%	***50.0%***	12.5%	3.4
C8	Contigency plan에 포함될 Abandonment and Recovery Plan을 작성하기 위해 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공방안, 위치부표 및 위치추적 송수신 장치 기술을 개발한다.	12.5%	***29.2%***	***50.0%***	8.3%	3.3
C9	ICT기반 SFT의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템 (Virtual Construction System)을 개발한다.	9.1%	22.7%	***59.1%***	9.1%	3.6
C10	해양 환경에서 고속철도시스템의 고정모드를 분석하고 신뢰성 평가 및 향상 기술을 개발한다.	4.3%	21.7%	***65.2%***	8.7%	3.9

C11	내염해성이 특화된 고성능 경량 콘크리트를 활용한 해중 부유체용 구조부재를 개발한다.	18.2%	18.2%	***59.1%***	4.5%	3.5
합계		15.5%	22.1%	***53.4%***	9.0%	3.4

○ 방재안전 및 유지보수 분야의 기술획득 방식은 정부/민간 공동(62.0%)이 높게 나타났으며, 정부개입의 필요성은 3.7로 비교적 높게 나타남

- D4(비상차단 및 대피기술)는 기술의 공공성이 강한 분야로 정부주도의 연구개발 비중이 비교적 높게 나타남
- 타분야에 비해 정부/민간 공동연구 비중이 가장 높게 나타남

표 3.19 방재안전 및 유지보수 분야 기술획득 방식 및 정부개입 필요성

번호	예측기술명	기숙획득방식 비중(%)				정부 개입의 필요성
		민간 주도	정부 주도	정부/ 민간 공동	기술 도입 및 국제 협력	
D1	SFT의 건전도 향상을 위해 구조물 계측 센서 및 장비개발, 앵커 케이블의 건전도 모니터링, 터널 본체의 취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술을 개발한다.	18.2%	13.6%	***63.6%***	4.5%	3.5
D2	장거리 부유시 해중 고속철도시스템의 구조 및 재해특성 분석, 터널 내 화재 등 이상기류 감지시스템 개발, 지능형 제연시스템을 개발한다.	8.3%	20.8%	***66.7%***	4.2%	3.8
D3	SFT 비상환기구 최적 설계 기술, 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어시스템, 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술을 개발한다.	4.2%	20.8%	***62.5%***	12.5%	3.8
D4	비상시 화재 및 침수의 급속 차단과 승객 대피 기술을 개발한다.	8.7%	***26.1%***	***56.5%***	8.7%	3.9
D5	SFT 구조체 및 계류시스템의 유지보수를 위한 수중작업 기술을 개발한다.	18.2%	18.2%	***54.5%***	9.1%	3.7
D6	SFT를 주행하는 고속열차의 탈선 방지 기술을 개발한다.	9.1%	13.6%	***68.2%***	9.1%	3.9
합계		11.1%	18.9%	***62.0%***	8.0%	3.7

다. 정부시행방안

○ 기술적 실현을 위해 정부가 우선적으로 시행해야 하는 것은 연구비 확대로 나타남

- 4개 중점분야 공통적으로 연구비 확대가 시급한 것으로 나타남
- 시스템 엔지니어링 분야는 연구비 확대 외에 규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화

지원 등 연구개발을 촉진하기 위한 제도의 수립 또는 개선이 필요한 것으로 나타남

- 해석 및 설계분야는 연구비 확대 외에 인력양성을 위한 정책적 지원이 필요한 것으로 나타남
- 시공, 방재안전 및 유지보수 분야는 연구비 확대 외에 기술개발을 위한 설비투자 등의 인프라 구축이 필요한 것으로 나타남

표 3.20 정부시행방안 결과

구분	인력양성	협력교류 활성화	인프라구축	연구비 확대	제도개선	합계
전체	16.6%	10.7%	18.3%	***51.5%***	2.8%	100.0%
중점분야1 (시스템 엔지니어링)	16.6%	10.1%	12.0%	***43.2%***	***18.1%***	100.0%
중점분야2 (해석 및 설계)	***20.0%***	9.6%	15.0%	***53.2%***	2.2%	100.0%
중점분야3 (시공)	11.5%	12.8%	***25.7%***	***49.3%***	0.8%	100.0%
중점분야4 (방재안전 및 유지보수)	12.8%	11.9%	***20.9%***	***53.2%***	1.3%	100.0%

○ 시스템 엔지니어링 분야는 기술적 실현을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 가장 필요한 것으로 나타남

- 타 중점분야에 비해 인력양성, 협력교류 활성화, 인프라구축, 연구비 확대, 제도개선 등의 필요성이 비교적 고르게 나타남
- A1(해중철도 시스템 안전성 기준/지침/관리체계), A2(해중철도 시스템 위험도분석 및 안전성 평가) 등 안전성 관련 기술은 연구비 확대 외에 규제 완화/정책 수립/법규 제정/표준화 지원 등 제도개선이 필요한 것으로 나타남
- A3(모듈배치설계, 차량 및 궤도 시스템 설계)는 연구비 확대 외에 인력양성을 위한 정책적 지원이 필요한 것으로 나타남

표 3.21 시스템 엔지니어링 분야 정부시행방안 결과

구분	예측기술명	인력양성	협력교류활성화	인프라구축	연구비확대	제도개선	합계
A1	해중철도 시스템 안전성 기준을 설정하고, 안전관리 지침을 작성하며, 시스템 확인 및 검증 체계를 수립하여 안전성 관리 체계를 수립한다.	13.5%	10.8%	5.4%	***43.2%***	***27.0%***	100.0%
A2	해중철도 시스템의 위험도를 분석하고 안전성을 평가하는 체계를 구축한다.	13.5%	10.8%	16.2%	***37.8%***	***21.6%***	100.0%
A3	해중고속철도 sub시스템 및 핵심기능 도출에 따른 모듈배치설계(안), 해중시스템 최적철도차량 및 궤도시스템 기술을 개발한다.	***22.9%***	8.6%	14.3%	***48.6%***	5.7%	100.0%
합계		16.6%	10.1%	12.0%	***43.2%***	18.1%	100.0%

○ 해석 및 설계 분야는 기술적 실현을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 가장 필요한 것으로 나타남

- 기술적 실현을 위해 연구비 확대 외에 인력양성을 위한 정책적 지원의 필요성이 두 번째로 높게 나타남
- B14(지반운동의 특성평가 및 정량화기술), B19(부유구조물 거동반영 해석/설계기법), B20(자기부상열차의 구조체와 상호작용, 구조체 거동 동적 응답 특성 해석 기술)은 인력양성 비중이 25% 이상으로 타기술에 비해 높게 나타남
- B11(신호 및 방호 시스템), B17(지진 거동, 내진성능 검증을 위한 상사 모형시험 기술)은 기술적 실현을 위해 연구비 확대 외에 설비투자 등의 인프라구축이 필요한 것으로 나타남

표 3.22 해석 및 설계 분야 정부시행방안 결과

구분	예측기술명	인력양성	협력교류활성화	인프라구축	연구비확대	제도개선	합계
B1	해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준을 개발한다.	21.6%	5.4%	18.9%	***51.4%***	2.7%	100.0%
B2	차량과 구조체의 상호작용을 고려하여 고속철도의 안전 운행을 위한 설계 기준을 개발한다.	20.0%	11.4%	11.4%	***54.3%***	2.9%	100.0%
B3	해중고속철도 구조체의 계류시스템 설계기준과 수심 및 지반에 따른 앵커링설계 기준을 개발한다.	16.7%	13.9%	8.3%	***58.3%***	2.8%	100.0%
B4	구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성을 평가하고 피로수명 증대	***25.7%***	5.7%	11.4%	***54.3%***	2.9%	100.0%

	를 위한 피로설계 기술을 개발한다.						
B5	해상 변전소의 배치 및 설계, 내구성능 향상기술을 개발한다.	11.4%	11.4%	20.0%	**48.6%**	8.6%	100.0%
B6	유체-구조 상호작용을 고려하여 파랑과 해류가 공존하는 SFT(SubmergedFloatingTunnel)의 거동을 해석하고 평가할 수 있는 기술을 개발한다.	21.1%	10.5%	13.2%	**55.3%**	0.0%	100.0%
B7	고속열차 주행시의 SFT의 거동을 분석하고 안전성을 검증하는 기술을 개발한다.	21.2%	6.1%	9.1%	**60.6%**	3.0%	100.0%
B8	유체동력학적 특성을 고려하여 SFT의 최적 형상을 설계하는 기술을 개발한다.	**22.9%**	8.6%	14.3%	**51.4%**	2.9%	100.0%
B9	파랑과 해류 조건에서 SFT 거동을 재현할 수 있는 상사모형시험 기술을 개발한다.	14.3%	5.7%	28.6%	**51.4%**	0.0%	100.0%
B10	해중철도 구조체의 수중운항체에 대한 유체와의 연계를 고려한 구조 시스템 모델링 및 충돌시 단면의 거동 평가 및 안전성 향상 기술을 개발한다.	**25.7%**	5.7%	17.1%	**51.4%**	0.0%	100.0%
B11	해중철도 구조체의 수중운항체 충돌을 방지하기 위한 신호시스템 및 방호시스템을 개발한다.	11.4%	11.4%	**25.7%**	**48.6%**	2.9%	100.0%
B12	SFT의 외부 폭발하중에 대한 정의, 시스템 및 단면의 거동을 평가하는 기술을 개발한다.	20.0%	8.6%	17.1%	**54.3%**	0.0%	100.0%
B13	우리나라의 해저지진환경 규명을 위해 우리나라의 수십년 동안 해저지진 데이터를 확보하여 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중을 규정하는 해저지진관측망 기술을 개발한다.	17.1%	14.3%	**22.9%**	**45.7%**	0.0%	100.0%
B14	해저환경에서 지진파가 해수층에서 반사되고 회절 및 굴절되는 과정에대해 지반운동의 특성평가 및 정량화할 수 있는 기술을 개발한다.	**30.6%**	5.6%	8.3%	**55.6%**	0.0%	100.0%
B15	유체와 지반을 통해 발생하는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 고려한 SFT의 지진응답 해석기법을 개발한다.	20.0%	11.4%	11.4%	**57.1%**	0.0%	100.0%
B16	SFT의 지진에 대한 거동을 평가하기 위해 유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동해석 모델을 개발한다.	16.2%	13.5%	10.8%	**56.8%**	2.7%	100.0%
B17	SFT의 지진시 거동과 내진성능 검증을 위해 상사 모형시험 기술을 개발한다.	11.1%	8.3%	**25.0%**	**52.8%**	2.8%	100.0%
B18	SFT의 육상 접합부의 내진성능 향상을 위한 보강 또는 유연구조 기술을 개발한다.	20.0%	11.4%	14.3%	**51.4%**	2.9%	100.0%
B19	고속철도의 주행안전성 확보를 위한 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도 하중 및 주행을 고려한 뷰유구조물 거동을 반영한 해석/설계 기법을 개발한다.	**30.6%**	5.6%	8.3%	**55.6%**	0.0%	100.0%
B20	SFT를 운행하는 자기부상열차의 구조체와 상호작용, 구조체 거동에 의한 동적 응답 특성을 해석하는 기술을 개발한다	**27.8%**	8.3%	8.3%	**55.6%**	0.0%	100.0%
B21	SFT 구조체 내화 성능 확보를 위한 구조체 거동 분석, 화재열 차단 방법, 내화 재료 기술을 개발한다.	14.3%	14.3%	14.3%	**51.4%**	5.7%	100.0%
B22	SFT의 거동에 따른 차량과 인프라의 상호작용을 시뮬레이션하고 고	20.0%	11.4%	14.3%	**51.4%**	2.9%	100.0%

	속열차의 주행안전성과 운행조건 확보를 위한 기술을 개발한다.						
B23	SFT를 주행하는 고속열차의 진동 및 소음 특성을 시뮬레이션하고 방진 및 방음 기술을 개발한다.	20.0%	11.4%	11.4%	***51.4%***	5.7%	100.0%
합계		20.0%	9.6%	15.0%	***53.2%***	2.2%	100.0%

○ 시공 분야는 기술적 실현을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 가장 필요한 것으로 나타남

- 기술적 실현을 위해 연구비 확대 외에 설비투자 등의 인프라 구축의 필요성이 25% 이상으로 타 중점분야에 비해 높게 나타남
- 시공분야의 기술개발을 위한 제도개선의 필요성은 거의 없는 것으로 나타남

표 3.23 시공 분야 정부시행방안 결과

구분	예측기술명	인력 양성	협력 교류 활성화	인프라 구축	연구비 확대	제도 개선	합계
C1	수심별/지반조건별 계류시스템의 설치 및 앵커링 시공공법을 개발한다.	10.8%	18.9%	18.9%	***48.6%***	2.7%	100.0%
C2	사용년도별 해중철도 구조체 및 계류시스템의 방수 및 방식 시공방법을 개발한다.	8.6%	17.1%	22.9%	***48.6%***	2.9%	100.0%
C3	환기구조물 및 철도인프라의 모듈화 시공 기술을 개발한다.	5.7%	17.1%	***25.7%***	***48.6%***	2.9%	100.0%
C4	SFT 구조체 모듈의 제작 및 해상조립 표준시공법을 개발한다.	11.4%	11.4%	***28.6%***	***48.6%***	0.0%	100.0%
C5	해상 환경을 고려한 구조체 모듈의 운반 및 대기 과정, 수중 sinking 된 구조체의 거동을 시뮬레이션하고 검증하는 기술을 개발한다.	10.5%	15.8%	23.7%	***50.0%***	0.0%	100.0%
C6	다양한 앵커링 방법(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공을 위해 해저지반 준비, 설치 방법, 지지력 확보, 요구 장력 확보 등 시공 기술을 개발한다.	13.2%	7.9%	***28.9%***	***50.0%***	0.0%	100.0%
C7	설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/HorizontalCapacityAnchor)에 따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술 및 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술을 개발한다.	13.2%	7.9%	***28.9%***	***50.0%***	0.0%	100.0%
C8	Contigency plan에 포함될 Abandonment and Recovery Plan을 작성하기 위해 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공방안, 위치부표 및 위치추적 송수신 장치 기술을 개발한다.	7.9%	15.8%	***26.3%***	***50.0%***	0.0%	100.0%
C9	ICT기반 SFT의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템 (Virtual Construction System)을 개발한다.	8.6%	14.3%	***28.6%***	***48.6%***	0.0%	100.0%

C10	해양 환경에서 고속철도시스템의 고정모드를 분석하고 신뢰성 평가 및 향상 기술을 개발한다.	18.9%	8.1%	***27.0%***	***45.9%***	0.0%	100.0%
C11	내염해성이 특화된 고성능 경량 콘크리트를 활용한 해중 부유체용 구조부재를 개발한다.	17.6%	5.9%	23.5%	***52.9%***	0.0%	100.0%
합계		11.5%	12.8%	***25.7%***	***49.3%***	0.8%	100.0%

○ 방재안전 및 유지보수 기술적 실현을 위해 연구개발비 확대 및 신규 투자가 가장 필요한 것으로 나타남

- 기술적 실현을 위해 연구비 확대 외에 설비투자 등의 인프라 구축이 필요한 것으로 나타남

표 3.24 방재안전 및 유지보수 분야 정부시행방안 결과

구분	예측기술명	인력양성	협력교류활성화	인프라구축	연구비확대	제도개선	합계
D1	SFT의 건전도 향상을 위해 구조물 계측 센서 및 장비개발, 앵커 케이블의 건전도 모니터링, 터널 본체의 취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술을 개발한다.	14.3%	11.4%	22.9%	***51.4%***	0.0%	100.0%
D2	장거리 부유시 해중 고속철도시스템의 구조 및 재해특성 분석, 터널 내 화재 등 이상기류 감지시스템 개발, 지능형 제연시스템을 개발한다.	12.8%	10.3%	20.5%	***53.8%***	2.6%	100.0%
D3	SFT 비상환기구 최적 설계 기술, 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어시스템, 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술을 개발한다.	10.3%	10.3%	23.1%	***53.8%***	2.6%	100.0%
D4	비상시 화재 및 침수의 급속 차단과 승객 대피 기술을 개발한다.	13.5%	10.8%	21.6%	***51.4%***	2.7%	100.0%
D5	SFT 구조체 및 계류시스템의 유지보수를 위한 수중작업 기술을 개발한다.	11.4%	20.0%	17.1%	***51.4%***	0.0%	100.0%
D6	SFT를 주행하는 고속열차의 탈선 방지 기술을 개발한다.	14.3%	8.6%	20.0%	***57.1%***	0.0%	100.0%
합계		12.8%	11.9%	20.9%	***53.2%***	1.3%	100.0%

라. 기술수준조사 결과

(1) 최고기술보유국

○ 43개 예측기술명별 최고기술보유국을 조사한 결과 노르웨이가 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타남

- 노르웨이 257건(35%), 일본 163건(22%), 미국 102건(14%), 이탈리아 100건(13%) 순으로 나타남
- 한국은 24건(3%)로 중국 40건(5%)에 조금 뒤쳐져 있음

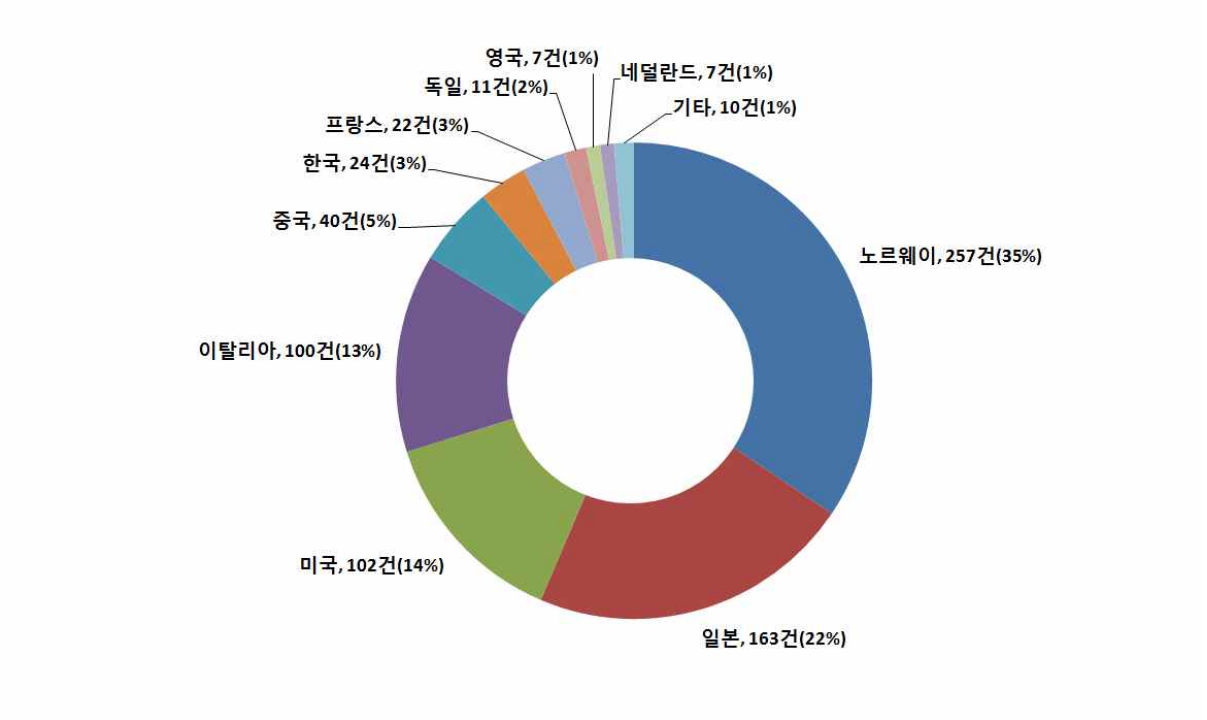


그림 3.15 최고기술보유국 현황

(2) 우리나라 기술수준

○ 최고기술보유국 대비 국내 기술수준은 62.3%로 조사됨

- 해석 및 설계, 시공분야는 전체 기술수준 평균보다 약 0.3~0.4% 높으며, 방재안전 및 유지보수 분야는 0.6% 낮은 수준으로 나타남
- 시스템 엔지니어링 분야는 전체 기술수준 평균보다 5.3% 낮아 중점분야 중 가장 낮은 수준으로 나타남

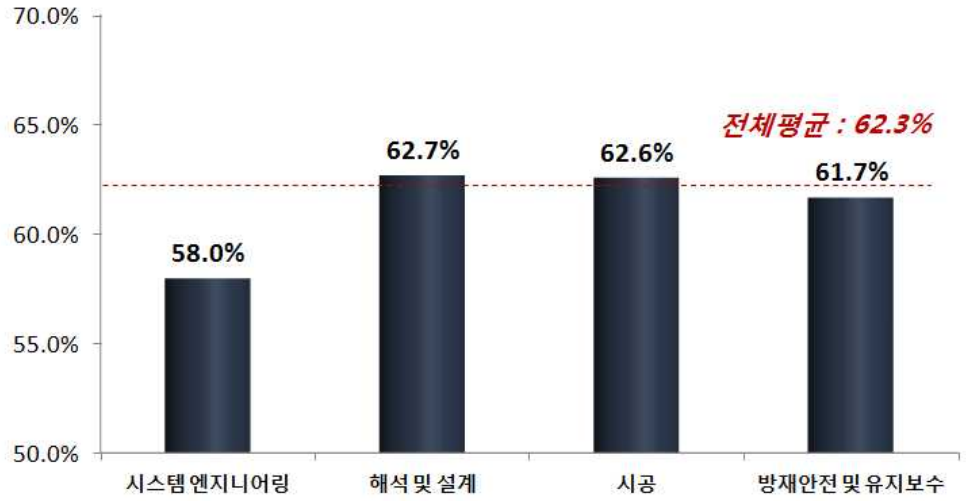


그림 3.16 중점분야별 기술수준

○ 시스템 엔지니어링 분야의 기술수준(58.0%)은 전체평균(62.3%)보다 낮은 수준인 것으로 나타남

- 타 중점분야에 비해 해당기술간의 기술격차가 가장 큰 것으로 나타남(11.2%)
- A3(모듈배치설계, 차량 및 궤도 시스템 설계)의 기술수준은 52.1%로 전체 43개 예측기술 중 가장 낮은 기술수준을 보유하고 있는 것으로 나타남

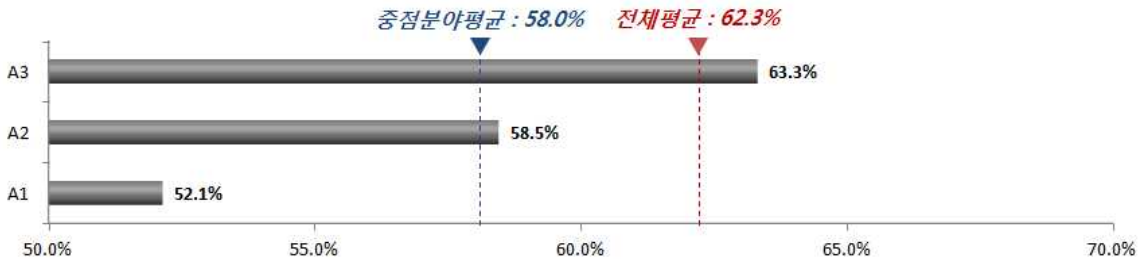


그림 3.17 시스템 엔지니어링 분야 기술수준

- 시스템 엔지니어링 분야 최고기술 보유국은 노르웨이, 일본으로 나타남

표 3.25 시스템 엔지니어링 분야 최고기술보유국

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)										
		한국	노르웨이	일본	미국	이탈리아	중국	프랑스	독일	영국	네덜란드	기타
A1	해중철도 시스템 안전성 기준을 설정하고, 안전관리 지침을 작성하며, 시스템 확인 및 검증 체계를 수립하여 안전성 관리 체계를 수립한다	0.0%	42.1%	10.5%	0.0%	10.5%	5.3%	10.5%	10.5%	10.5%	0.0%	0.0%

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)										
		한국	노르웨이	일본	미국	이탈리아	중국	프랑스	독일	영국	네덜란드	기타
A2	해중철도 시스템의 위험도를 분석하고 안전성을 평가하는 체계를 구축한다.	0.0%	*41.2%*	23.5%	0.0%	11.8%	5.9%	5.9%	11.8%	0.0%	0.0%	0.0%
A3	해중고속철도 sub시스템 및 핵심기능 도출에 따른 모듈배치설계(안), 해중시스템 최적철도차량 및 궤도시스템 기술을 개발한다.	0.0%	29.4%	*35.3%*	0.0%	11.8%	5.9%	5.9%	5.9%	5.9%	0.0%	0.0%
평 균		0.0%	*37.6%*	23.1%	0.0%	11.4%	5.7%	7.4%	9.4%	5.5%	0.0%	0.0%

○ 해석 및 설계 분야의 기술수준(평균 62.7%)은 전체평균(62.3%) 보다 높은 것으로 나타남

- B2(안전운행 설계기준)의 기술수준은 66.4%로 동 중점분야에서 가장 높은 기술수준을 보유한 것으로 나타남
- B12(외부 폭발하중 정의, 시스템 및 단면 거동 평가 기술)의 기술수준은 57.7%로 동 중점분야에서 가장 낮은 기술수준을 보유한 것으로 나타남

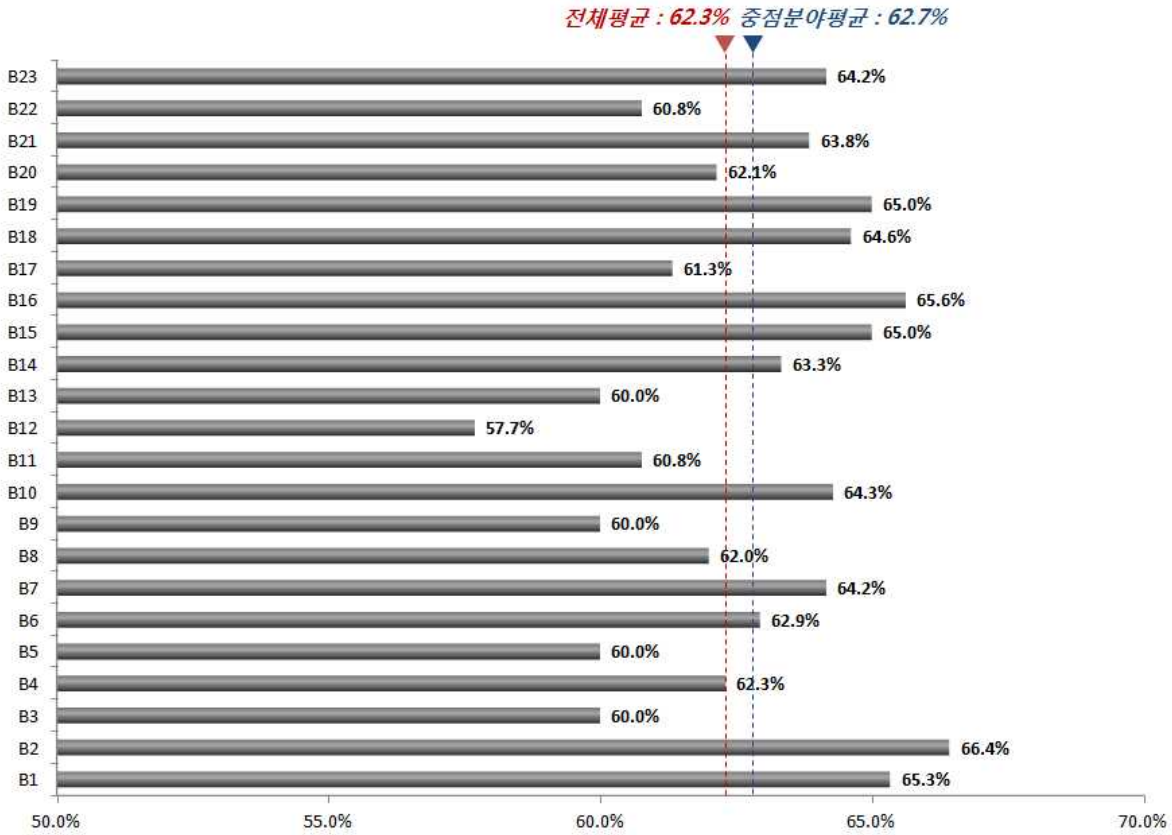


그림 3.18 해석 및 설계 분야 기술수준

• 해석 및 설계시공 분야 최고기술 보유국은 노르웨이, 일본, 이탈리아로 나타남

표 3.26 해석 및 설계 분야 최고기술보유국

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)										
		한국	노르웨이	일본	미국	이탈리아	중국	프랑스	독일	영국	네덜란드	기타
B1	해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준을 개발한다.	0.0%	***36.4%***	27.3%	9.1%	4.5%	4.5%	9.1%	0.0%	4.5%	0.0%	4.5%
B2	차량과 구조체의 상호작용을 고려하여 고속철도의 안전 운행을 위한 설계 기준을 개발한다.	0.0%	***38.9%***	22.2%	5.6%	16.7%	5.6%	11.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B3	해중고속철도 구조체의 계류시스템 설계기준과 수심 및 지반에 따른 앵커링설계 기준을 개발한다.	0.0%	***63.2%***	15.8%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B4	구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성을 평가하고 피로수명 증대를 위한 피로설계 기술을 개발한다.	0.0%	***56.3%***	12.5%	25.0%	6.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B5	해상 변전소의 배치 및 설계, 내구성능 향상기술을 개발한다.	0.0%	***57.1%***	28.6%	7.1%	7.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B6	유체-구조 상호작용을 고려하여 파랑과 해류가 공존하는 SFT(SubmergedFloatingTunnel)의 거동을 해석하고 평가할 수 있는 기술을 개발한다.	0.0%	***40.0%***	10.0%	15.0%	20.0%	5.0%	5.0%	0.0%	5.0%	0.0%	0.0%
B7	고속열차 주행시의 SFT의 거동을 분석하고 안전성을 검증하는 기술을 개발한다.	0.0%	***29.4%***	23.5%	5.9%	23.5%	5.9%	11.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B8	유체동력학적 특성을 고려하여 SFT의 최적 형상을 설계하는 기술을 개발한다.	0.0%	***38.9%***	11.1%	16.7%	27.8%	5.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B9	파랑과 해류 조건에서 SFT 거동을 재현할 수 있는 상사모형시험 기술을 개발한다.	0.0%	***38.9%***	11.1%	16.7%	16.7%	11.1%	0.0%	0.0%	0.0%	5.6%	0.0%
B10	해중철도 구조체의 수중운항체에 대한 유체와의 연계를 고려한 구조시스템 모델링 및 충돌시 단면의 거동 평가 및 안전성 향상 기술을 개발한다.	0.0%	***33.3%***	22.2%	22.2%	16.7%	5.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B11	해중철도 구조체의 수중운항체 충돌을 방지하기 위한 신호시스템 및 방호시스템을 개발한다.	0.0%	***47.1%***	11.8%	11.8%	17.6%	5.9%	0.0%	0.0%	0.0%	5.9%	0.0%
B12	SFT의 외부 폭발하중에 대한 정의, 시스템 및 단면의 거동을 평가하는 기술을 개발한다.	0.0%	***50.0%***	11.1%	16.7%	16.7%	5.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B13	우리나라의 해저지진환경 규명을 위해 우리나라의 수십년 동안 해저지진 데이터를 확보하여 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중을 규정하는 해저지진관측망 기술을 개발한다.	0.0%	21.1%	***57.9%***	15.8%	5.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B14	해저환경에서 지진파가 해수층에서 반사되고 회절 및 굴절되는 과정에대해 지반운동의 특성평가 및 정량화할 수 있는 기술을 개발한다.	0.0%	21.1%	***52.6%***	21.1%	5.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B15	유체와 지반을 통해 발생하는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 고려한 SFT의 지진응답 해석기법을 개발한다.	0.0%	***35.3%***	17.6%	11.8%	29.4%	5.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)										
		한국	노르웨이	일본	미국	이탈리아	중국	프랑스	독일	영국	네덜란드	기타
B16	SFT의 지진에 대한 거동을 평가하기 위해 유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동해석 모델을 개발한다.	11.1%	22.2%	16.7%	16.7%	***27.8%***	5.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B17	SFT의 지진시 거동과 내진성능 검증을 위해 상사 모형시험 기술을 개발한다.	0.0%	23.5%	***35.3%***	11.8%	17.6%	5.9%	0.0%	0.0%	0.0%	5.9%	0.0%
B18	SFT의 육상 접합부의 내진성능 향상을 위한 보강 또는 유연구조 기술을 개발한다.	0.0%	23.5%	***29.4%***	11.8%	11.8%	5.9%	0.0%	0.0%	0.0%	5.9%	11.8%
B19	고속철도의 주행안전성 확보를 위한 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도 하중 및 주행을 고려한 뷰유구조물 거동을 반영한 해석/설계기법을 개발한다.	12.5%	***31.3%***	25.0%	12.5%	12.5%	6.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B20	SFT를 운행하는 자기부상열차의 구조체와 상호작용, 구조체 거동에 의한 동적 응답 특성을 해석하는 기술을 개발한다	0.0%	23.5%	***41.2%***	5.9%	11.8%	5.9%	0.0%	11.8%	0.0%	0.0%	0.0%
B21	SFT 구조체 내화 성능 확보를 위한 구조체 거동 분석, 화재열 차단 방법, 내화 재료 기술을 개발한다.	0.0%	***50.0%***	12.5%	6.3%	12.5%	6.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%
B22	SFT의 거동에 따른 차량과 인프라의 상호작용을 시뮬레이션하고 고속열차의 주행안전성과 운행조건 확보를 위한 기술을 개발한다.	0.0%	25.0%	***31.3%***	6.3%	18.8%	6.3%	12.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
B23	SFT를 주행하는 고속열차의 진동 및 소음 특성을 시뮬레이션하고 방진 및 방음 기술을 개발한다.	0.0%	25.0%	***31.3%***	6.3%	18.8%	6.3%	12.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
평균		1.0%	***36.1%***	24.3%	12.3%	15.2%	5.0%	2.9%	0.5%	0.4%	1.0%	1.3%

○ 시공 분야의 기술수준(평균 62.6%)은 전체평균(62.3%) 보다 약간 높은 것으로 나타남

- C9(ICT기반 가상건설시스템)의 기술수준은 67.7%로 동 중점분야에서 가장 높은 기술수준을 보유한 것으로 나타남
- C2(구조체, 계류시스템의 방수 및 방식 시공기술)의 기술수준은 60.0%로 동 중점분야에서 가장 낮은 기술수준을 보유한 것으로 나타남

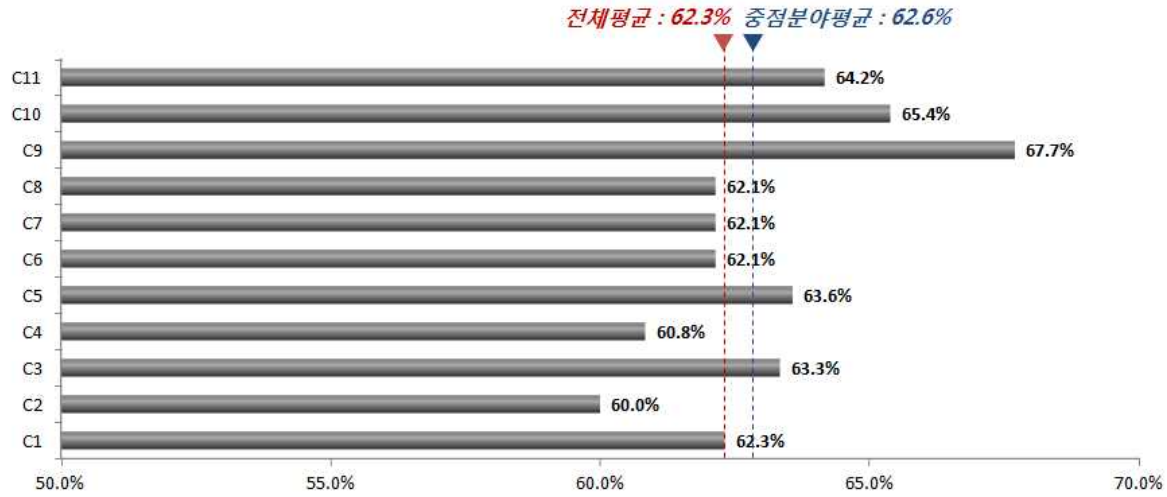


그림 3.19 시공 분야 기술수준

- 시공 분야 최고기술 보유국은 노르웨이, 일본, 미국으로 나타남

표 3.27 시공 분야 최고기술보유국

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)										
		한국	노르웨이	일본	미국	이탈리아	중국	프랑스	독일	영국	네덜란드	기타
C1	수심별/지반조건별 계류시스템의 설치 및 앵커링 시공공법을 개발한다.	0.0%	***35.3%***	23.5%	11.8%	11.8%	5.9%	5.9%	0.0%	0.0%	5.9%	0.0%
C2	사용년도별 해중철도 구조체 및 계류시스템의 방수 및 방식 시공방법을 개발한다.	0.0%	***43.8%***	18.8%	6.3%	12.5%	6.3%	0.0%	0.0%	0.0%	12.5%	0.0%
C3	환기구조물 및 철도인프라의 모듈화 시공 기술을 개발한다.	0.0%	26.7%	***40.0%***	6.7%	13.3%	6.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	6.7%
C4	SFT 구조체 모듈의 제작 및 해상조립 표준시공법을 개발한다.	0.0%	***50.0%***	18.8%	12.5%	12.5%	6.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C5	해상 환경을 고려한 구조체 모듈의 운반 및 대기 과정, 수중 sinking된 구조체의 거동을 시뮬레이션하고 검증하는 기술을 개발한다.	0.0%	***41.2%***	17.6%	11.8%	11.8%	5.9%	5.9%	0.0%	0.0%	0.0%	5.9%
C6	다양한 앵커링 방법(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공을 위해 해저지반 준비, 설치 방법, 지지력 확보, 요구 장력 확보 등 시공 기술을 개발한다.	0.0%	***35.3%***	17.6%	23.5%	11.8%	5.9%	5.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C7	설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/HorizontalCapacityAnchor)에따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술 및 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술을 개발한다.	0.0%	***35.3%***	17.6%	23.5%	11.8%	5.9%	5.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
C8	Contigency plan에 포함될 Abandonment and Recovery Plan을 작성하기 위해 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공방안, 위치부표 및 위치추적 송수신 장치 기술을 개발한다.	0.0%	***35.3%***	11.8%	35.3%	11.8%	5.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)										
		한국	노르웨이	일본	미국	이탈리아	중국	프랑스	독일	영국	네덜란드	기타
C9	ICT기반 SFT의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템 (Virtual Construction System)을 개발한다.	11.8%	***29.4%***	11.8%	23.5%	11.8%	5.9%	0.0%	0.0%	5.9%	0.0%	0.0%
C10	해양 환경에서 고속철도시스템의 고정모드를 분석하고 신뢰성 평가 및 향상 기술을 개발한다.	0.0%	26.7%	***33.3%***	6.7%	13.3%	6.7%	0.0%	6.7%	0.0%	0.0%	6.7%
C11	내염해성이 특화된 고성능 경량 콘크리트를 활용한 해중 부유체용 구조부재를 개발한다.	13.3%	20.0%	20.0%	***33.3%***	6.7%	6.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
평균		2.3%	***34.4%***	21.0%	17.7%	11.7%	6.2%	2.1%	0.6%	0.5%	1.7%	1.7%

○ 방재안전 및 유지보수 분야의 기술수준(평균 61.7%)은 전체평균(62.3%)에 조금 못미치는 것으로 나타남

- D4(비상차단 및 승객대피 기술)의 기술수준은 63.1%로 동 중점분야에서 가장 높은 기술수준을 보유한 것으로 나타남

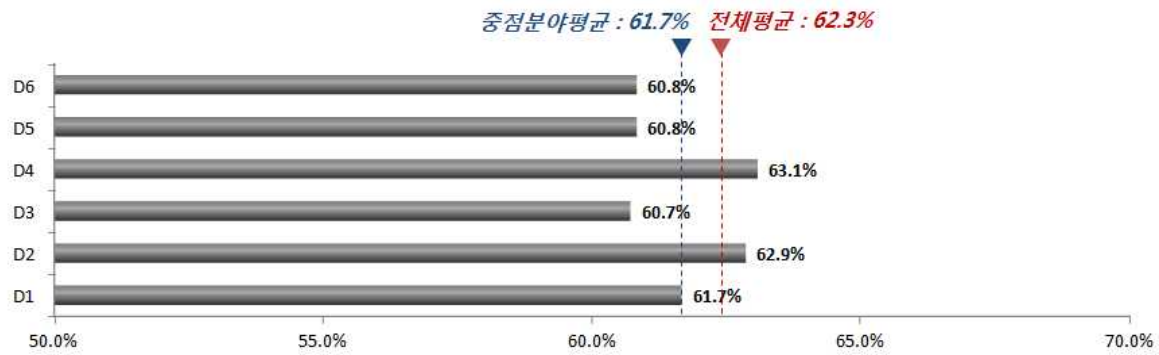


그림 3.20 방재안전 및 유지보수 분야 기술수준

- 방재안전 및 유지보수 분야 최고기술 보유국은 노르웨이, 미국, 일본으로 나타남

표 3.28 방재안전 및 유지보수 분야 최고기술보유국

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)										
		한국	노르웨이	일본	미국	이탈리아	중국	프랑스	독일	영국	네덜란드	기타
D1	SFT의 건전도 향상을 위해 구조물 계측 센서 및 장비개발, 앵커 케이블의 건전도 모니터링, 터널 본체의 취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술을 개발한다.	0.0%	***40.0%***	6.7%	33.3%	13.3%	6.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
D2	장거리 부유식 해중 고속철도시스템의 구조 및 재해특성 분석, 터널 내 화재 등 이상기류 감지시스템 개발, 자능형 제연시스템을 개발한다.	0.0%	18.8%	***25.0%***	***25.0%***	12.5%	6.3%	0.0%	6.3%	0.0%	0.0%	6.3%

구분	예측기술명	최고기술보유국(비중)										
		한국	노르웨이	일본	미국	이탈리아	중국	프랑스	독일	영국	네덜란드	기타
D3	SFT 바닥환기구 최적 설계 기술, 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어시스템, 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술을 개발한다.	0.0%	***25.0%***	18.8%	***25.0%***	12.5%	6.3%	0.0%	6.3%	0.0%	0.0%	6.3%
D4	비상시 화재 및 참수의 급속 차단과 승객 대피 기술을 개발한다.	13.3%	***33.3%***	6.7%	20.0%	13.3%	6.7%	0.0%	0.0%	6.7%	0.0%	0.0%
D5	SFT 구조체 및 계류시스템의 유지보수를 위한 수중작업 기술을 개발한다.	0.0%	***46.7%***	13.3%	20.0%	13.3%	6.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
D6	SFT를 주행하는 고속열차의 탈선 방지 기술을 개발한다.	0.0%	20.0%	***33.3%***	6.7%	13.3%	6.7%	13.3%	6.7%	0.0%	0.0%	0.0%
평균		2.2%	***30.6%***	17.3%	21.7%	13.1%	6.5%	2.2%	3.2%	1.1%	0.0%	2.1%

마. 미래사회에서의 중요도

○ 미래사회의 중요도 평균은 3.9로 높은 수준이며 각 중점분야별로 유사한 수준으로 나타났음

- 시스템 엔지니어링, 방재안전 및 유지보수 분야는 사회문제 해결 및 공익측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남
- 해석 및 설계분야는 과학기술적 혁신, 새로운 지식의 창출 측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남
- 시공분야는 경제산업적 부가가치 창출 측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남

표 3.29 중점분야별 미래사회의 중요도

예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)			
	과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균
전체	*4.1*	3.9	3.8	3.9
중점분야1 (시스템 엔지니어링)	4.1	*4.2*	3.7	4.0
중점분야2 (해석 및 설계)	*4.2*	3.9	3.7	3.9
중점분야3 (시공)	3.9	3.6	*4.0*	3.9
중점분야4 (방재안전 및 유지보수)	4.1	*4.2*	3.9	4.0

* : 5점 척도 (5 : 매우 높음 / 4 : 높음 / 3 : 보통 / 2 : 낮음 / 1 : 매우 낮음)

○ 시스템 엔지니어링 분야는 사회공공적(사회문제 해결 및 공익측면) 중요도가 4.2로 가장 높게 나타남

- A1(해중철도 시스템 안전성 기준/지침/관리체계)은 해당 중점분야 중 가장 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남
- A3(모듈배치설계, 차량 및 궤도 시스템 설계)는 해당 중점분야의 타 기술과 달리 과학기술적(혁신, 새로운 지식의 창출 측면)의 중요도가 가장 높게 나타남

표 3.30 시스템 엔지니어링 분야의 미래사회에서의 중요도

구분	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)				
		과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균	순위
A1	해중철도 시스템 안전성 기준을 설정하고, 안전관리 지침을 작성하며, 시스템 확인 및 검증 체계를 수립하여 안전성 관리 체계를 수립한다.	4.1	*4.3*	3.8	4.1	1
A2	해중철도 시스템의 위험도를 분석하고 안전성을 평가하는 체계를 구축한다.	4.0	*4.3*	3.6	4.0	2
A3	해중고속철도 sub시스템 및 핵심기능 도출에 따른 모듈배치설계(안), 해중시스템 최적철도차량 및 궤도시스템 기술을 개발한다.	*4.2*	4.0	3.8	4.0	3
평균		4.1	*4.2*	3.7	4.0	-

○ 해석 및 설계 분야는 기술의 특성상 과학기술적(혁신, 새로운 지식의 창출 측면) 중요도가 4.2로 가장 높게 나타남

- 해석 및 설계분야는 기초원천 성격이 강하며, 기술적 파급효과가 큰 분야로 타 중점분야에 비해 과학기술적 중요도가 높게 나타남
- B12(폭발하중 정의, 시스템 및 단면 거동 평가 기술)은 해당 중점분야 중 가장 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남

표 3.31 해석 및 설계 분야의 미래사회에서의 중요도

구분	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)				
		과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균	순위
B1	해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준을 개발한다.	*4.5*	3.8	4.0	4.1	3
B2	차량과 구조체의 상호작용을 고려하여 고속철도의 안전 운행을 위한 설계 기준을 개발한다.	*4.3*	3.8	3.7	3.9	9
B3	해중고속철도 구조체의 계류시스템 설계기준과 수심 및 지반에 따른 앵커링설계 기준을 개발한다.	*4.1*	3.8	3.7	3.9	15
B4	구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성을 평가하고 피로수명 증대를 위한 피로설계 기술을 개발한다.	*4.2*	3.8	3.7	3.9	13
B5	해상 변전소의 배치 및 설계, 내구성능 향상기술을 개발한다.	3.7	*3.8*	*3.8*	3.8	22

B6	유체-구조 상호작용을 고려하여 파랑과 해류가 공존하는 SFT(SubmergedFloatingTunnel)의 거동을 해석하고 평가할 수 있는 기술을 개발한다.	***4.4***	3.8	3.8	4.0	7
B7	고속열차 주행시의 SFT의 거동을 분석하고 안전성을 검증하는 기술을 개발한다.	***4.4***	3.9	3.9	4.0	4
B8	유체동력학적 특성을 고려하여 SFT의 최적 형상을 설계하는 기술을 개발한다.	***4.3***	3.7	3.9	4.0	7
B9	파랑과 해류 조건에서 SFT 거동을 재현할 수 있는 상사모형시험 기술을 개발한다.	***4.2***	3.6	3.7	3.8	19
B10	해중철도 구조체의 수중운항체에 대한 유체와의 연계를 고려한 구조 시스템 모델링 및 충돌시 단면의 거동 평가 및 안전성 향상 기술을 개발한다.	***4.3***	4.0	3.7	4.0	6
B11	해중철도 구조체의 수중운항체 충돌을 방지하기 위한 신호시스템 및 방호시스템을 개발한다.	***4.1***	***4.1***	3.6	3.9	10
B12	SFT의 외부 폭발하중에 대한 정의, 시스템 및 단면의 거동을 평가하는 기술을 개발한다.	***4.5***	4.1	3.8	4.1	1
B13	우리나라의 해저지진환경 규명을 위해 우리나라의 수십년 동안 해저지진 데이터를 확보하여 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중을 규정하는 해저지진관측망 기술을 개발한다.	4.0	***4.1***	3.4	3.8	20
B14	해저환경에서 지진파가 해수층에서 반사되고 회절 및 굴절되는 과정에대해 지반운동의 특성평가 및 정량화할 수 있는 기술을 개발한다.	***4.0***	3.8	3.4	3.7	23
B15	유체와 지반을 통해 발생하는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 고려한 SFT의 지진응답 해석기법을 개발한다.	***4.1***	3.8	3.5	3.8	21
B16	SFT의 지진에 대한 거동을 평가하기 위해 유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동해석 모델을 개발한다.	***4.2***	3.8	3.6	3.9	14
B17	SFT의 지진시 거동과 내진성능 검증을 위해 상사 모형시험 기술을 개발한다.	***4.2***	3.7	3.6	3.8	18
B18	SFT의 육상 접합부의 내진성능 향상을 위한 보강 또는 유연구조 기술을 개발한다.	***4.1***	3.8	3.7	3.9	16
B19	고속철도의 주행안전성 확보를 위한 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도 하중 및 주행을 고려한 뷰유구조물 거동을 반영한 해석/설계 기법을 개발한다.	***4.4***	3.8	4.0	4.0	5
B20	SFT를 운행하는 자기부상열차의 구조체와 상호작용, 구조체 거동에 의한 동적 응답 특성을 해석하는 기술을 개발한다	***4.2***	3.5	3.8	3.8	17
B21	SFT 구조체 내화 성능 확보를 위한 구조체 거동 분석, 화재열 차단 방법, 내화 재료 기술을 개발한다.	4.2	***4.3***	3.9	4.1	2
B22	SFT의 거동에 따른 차량과 인프라의 상호작용을 시뮬레이션하고 고속열차의 주행안전성과 운행조건 확보를 위한 기술을 개발한다.	***4.2***	3.9	3.7	3.9	10
B23	SFT를 주행하는 고속열차의 진동 및 소음 특성을 시뮬레이션하고 방진 및 방음 기술을 개발한다.	***4.1***	4.0	3.6	3.9	12

평균	*4.2*	3.9	3.7	3.9	-

○ 시공 분야는 기술의 특성상 경제산업적(경제산업적 부가가치 창출 측면) 중요도가 4.0으로 가장 높게 나타남

- 시공 분야는 개발되는 기술이 사업에 직접 적용될 가능성이 가장 높은 분야로 민간 기업의 활용이 가장 높은 분야임
- C3(모듈화 시공)은 비용절감 및 공기단축에 직접적인 영향을 미치는 기술로 해당 중점분야 중 가장 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남

표 3.32 시공 분야의 미래사회에서의 중요도

구분	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)				
		과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균	순위
C1	수심별/지반조건별 계류시스템의 설치 및 앵커링 시공공법을 개발한다.	*4.0*	3.5	*4.0*	3.9	4
C2	사용년도별 해중철도 구조체 및 계류시스템의 방수 및 방식 시공방법을 개발한다.	3.9	3.6	*4.0*	3.8	9
C3	환기구조물 및 철도인프라의 모듈화 시공 기술을 개발한다.	4.0	3.8	*4.1*	4.0	1
C4	SFT 구조체 모듈의 제작 및 해상조립 표준시공법을 개발한다.	*4.1*	3.6	*4.1*	4.0	2
C5	해상 환경을 고려한 구조체 모듈의 운반 및 대기 과정, 수중 sinking 된 구조체의 거동을 시뮬레이션하고 검증하는 기술을 개발한다.	3.8	3.7	*4.2*	3.9	3
C6	다양한 앵커링 방법(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공을 위해 해저지반 준비, 설치 방법, 지지력 확보, 요구 장력 확보 등 시공 기술을 개발한다.	*4.0*	3.7	*4.0*	3.9	5
C7	설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/HorizontalCapacityAnchor)에 따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술 및 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술을 개발한다.	*4.0*	3.6	*4.0*	3.9	6
C8	Contigency plan에 포함될 Abandonment and Recovery Plan을 작성하기 위해 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공방안, 위치부표 및 위치추적 송수신 장치 기술을 개발한다.	*3.8*	3.6	*3.8*	3.7	11
C9	ICT기반 SFT의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템 (Virtual Construction System)을 개발한다.	3.9	3.6	*4.1*	3.8	7
C10	해양 환경에서 고속철도시스템의 고정모드를 분석하고 신뢰성 평가 및 향상 기술을 개발한다.	*4.0*	3.7	3.8	3.8	10
C11	내염해성이 특화된 고성능 경량 콘크리트를 활용한 해중 부유체용	*4.0*	3.7	3.9	3.8	8

	구조부재를 개발한다.					
평균		3.9	3.6	***4.0***	3.9	-

○ 방재안전 및 유지보수 분야는 기술의 특성상 사회공공적(사회문제의 해결 및 공익 측면) 중요도가 4.2로 가장 높게 나타남

- 방재안전 및 유지보수 분야는 개발되는 기술이 승객 안전과 차량사고에 직접적인 영향을 미치는 분야로 사회공공적 중요도가 타 중점분야에 비해 높게 나타남
- D4(비상차단 및 대피기술)은 안전성과 직결되는 기술로 해당 중점분야 중 가장 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남

표 3.33 방재안전 및 유지보수분야의 미래사회에서의 중요도

구분	예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)				
		과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균	순위
D1	SFT의 건전도 향상을 위해 구조물 계측 센서 및 장비개발, 앵커 케이블의 건전도 모니터링, 터널 본체의 취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술을 개발한다.	3.8	***3.9***	3.5	3.7	6
D2	장거리 부유시 해중 고속철도시스템의 구조 및 재해특성 분석, 터널 내 화재 등 이상기류 감지시스템 개발, 지능형 제연시스템을 개발한다.	***4.1***	4.3	3.8	4.1	4
D3	SFT 비상환기구 최적 설계 기술, 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어시스템, 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술을 개발한다.	4.2	***4.3***	4.0	4.1	2
D4	비상시 화재 및 침수의 급속 차단과 승객 대피 기술을 개발한다.	4.1	***4.6***	4.0	4.3	1
D5	SFT 구조체 및 계류시스템의 유지보수를 위한 수중작업 기술을 개발한다.	***4.0***	3.9	3.9	3.9	5
D6	SFT를 주행하는 고속열차의 탈선 방지 기술을 개발한다.	***4.2***	4.1	4.0	4.1	3
평균		4.1	***4.2***	3.9	4.0	-

바. 기술수준-중요도 포트폴리오 분석

○ 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 개념은 다음과 같음

- R&D 프로젝트의 전략적 방향설정 및 성과극대화의 도구로서, R&D 프로젝트 전체를 시장성, 기술성, 전략성 등 다양한 관점에서 분석하고 전체 프로젝트의 가치가 극대화될 수 있도록 유망 프로젝트에 자원을 배분하는 관리도구[1]임
- 기술수준-기술중요도 포트폴리오는 Booz-Allen & Hamilton의 R&D 포트폴리오를 차용한 것임

○ 4분면별 전략은 기술 수준과 평균 중요도를 축으로 함

- Draw(1사분면) : 연구개발 재원의 확보여부에 따라 해당되는 기술에 대해 적극적 투자를 통해 Bet 영역으로 이동을 검토해야하는 영역
- Bet(2사분면) : 현재 시장이 형성중인 기술로서 해당되는 기술에 대한 투자/육성을 통해 포지션을 유지하는 것이 요구되는 영역
- Fold(3사분면) : 기술개발의 포기 또는 감축을 고려해야 되는 영역
- Cash In(4사분면) : 해당되는 기술은 현금화(기술이전, 판매) 또는 다른 영역과의 연계성을 전략적으로 고려하여 투자/지원을 결정해야하는 영역

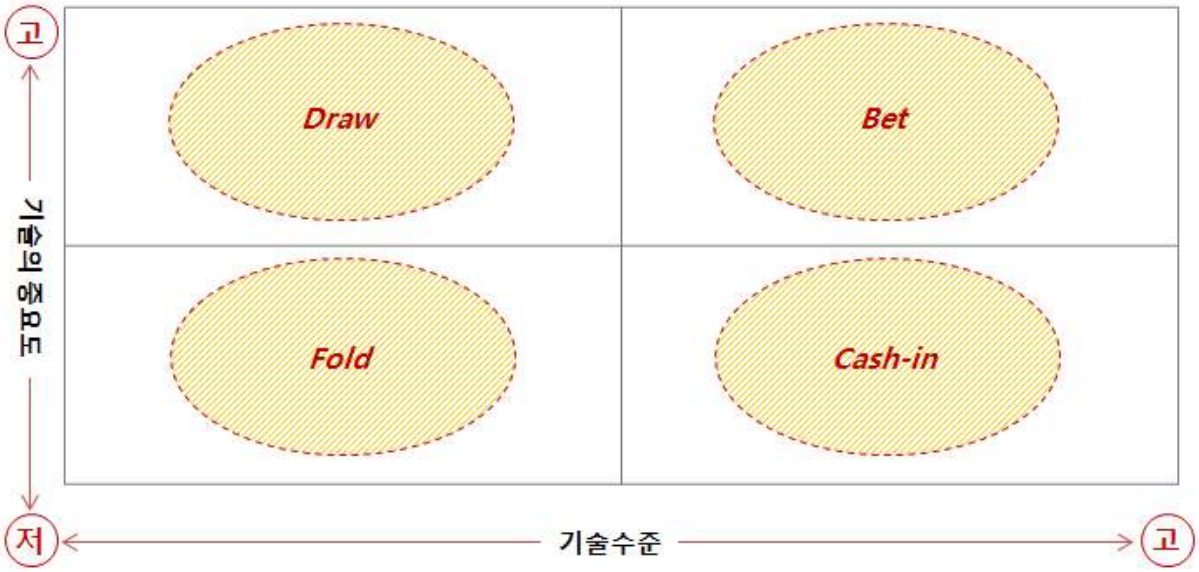


그림 3.21 기술수준-중요도 포트폴리오

1) R&D Strategy And Organisation(Vittorio Chiesa), ADL 제3세대 R&D

○ 시스템 엔지니어링, 방재안전 유지보수 분야는 1사분면(Draw), 해석 및 설계 분야는 2사분면(Bet), 시공 분야는 4사분면(Cash-in) 영역에 포함되는 것으로 나타남

- 시스템 엔지니어링 및 방재안전 유지보수 분야가 속한 1사분면(Draw)은 새로이 중요시 되지만 기술개발에 대한 위험성이 큰 영역임
- 해석 및 설계 분야가 속한 2사분면(Bet)은 기술혁신을 통해 더 넓은 시장창출이 가능한 유망한 영역임
- 시공분야가 속한 4사분면(Cash-in)은 기술의 부가가가치는 비교적 높지 않으나 수익성이 양호한 분야로 다른 핵심기술과의 연계성을 전략적으로 고려해야하는 영역임



그림 3.22 중점분야별 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

○ 시스템 엔지니어링 분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과 Draw, Bet영역에 포함되는 것으로 나타남

- A1(해중철도 시스템 안전성 기준/지침/관리체계), A2(해중철도 시스템 위험도분석 및 안전성 평가)는 시장수요 및 수명주기가 불확실 하나 도전적인 개발이 필요한 기술로 나타남
- A3(모듈배치설계, 차량 및 궤도 시스템 설계)는 적극적인 투자/ 지원이 필요한 기술로 나타남

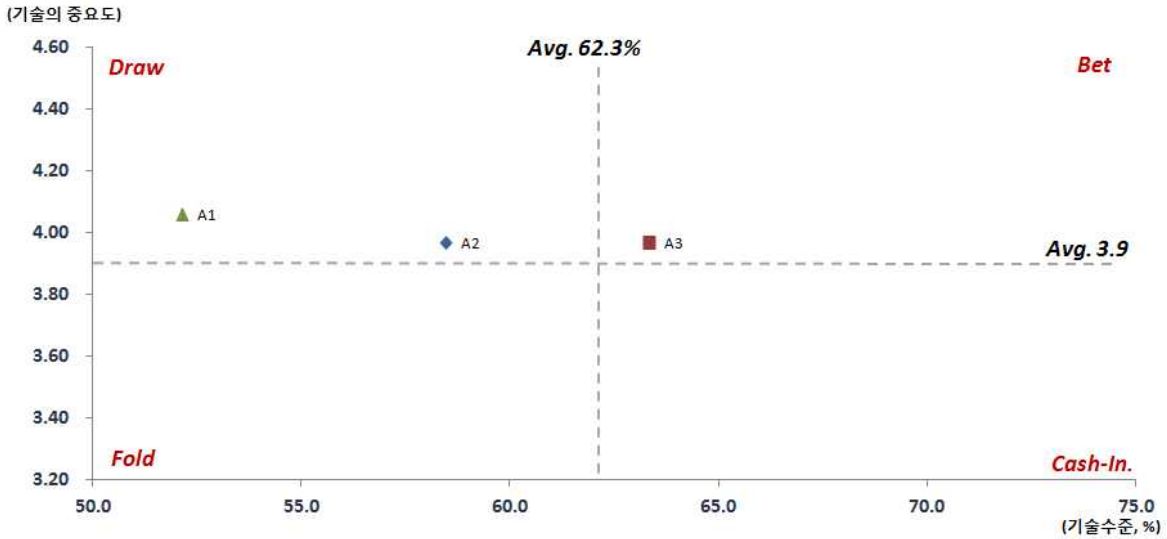


그림 3.23 시스템 엔지니어링 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

A1 : 해중철도 시스템 안전성 기준을 설정하고, 안전관리 지침을 작성하며, 시스템 확인 및 검증 체계를 수립하여 안전성 관리 체계를 수립한다.
A2 : 해중철도 시스템의 위험도를 분석하고 안전성을 평가하는 체계를 구축한다.
A3 : 해중고속철도 sub시스템 및 핵심기능 도출에 따른 모듈배치설계(안), 해중시스템 최적철도차량 및 궤도시스템 기술을 개발한다.

○ 해석 및 설계 분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과는 대부분 Bet 영역에 포함되는 것으로 나타남

- B3(계류시스템 및 앵커링 설계기준), B9(파랑 및 해류조건 내 상사거동모형시험 기술), B13(해저지진 관측망 기술), B17(내진성능검증을 위한 상사모형시험기술), B20(동적응답특성 해석기술)은 Fold 영역에 포함되나 해당기술의 과학기술적 중요도가 높음에 따라(4.0이상) 투자를 긍정적으로 고려할 수 있음(Draw 전략 검토)

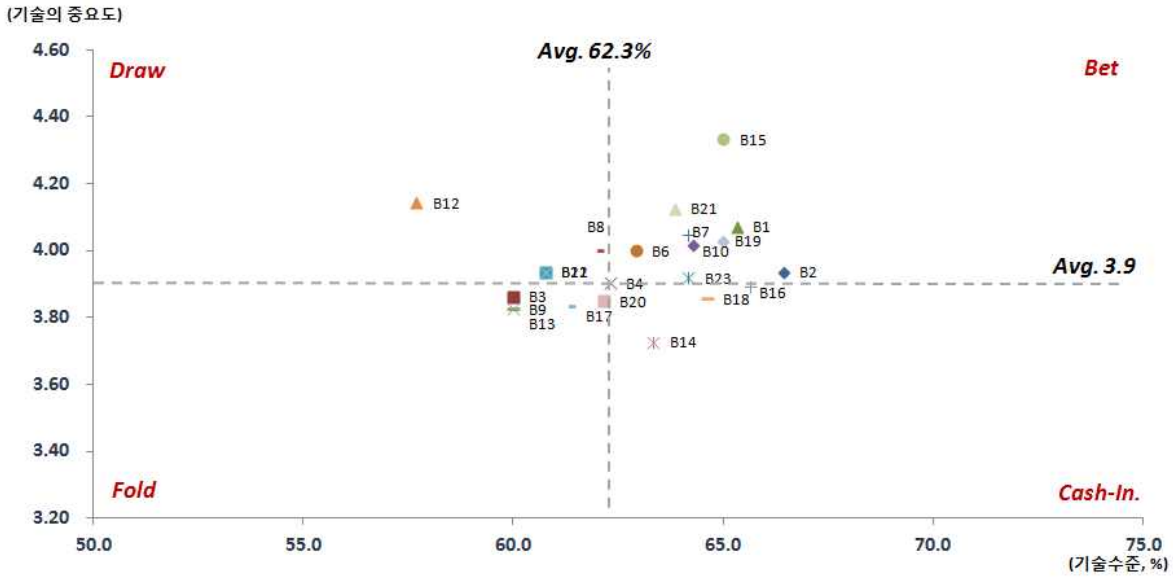


그림 3.24 해석 및 설계 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

B1 : 해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준을 개발한다.

B2 : 차량과 구조체의 상호작용을 고려하여 고속철도의 안전 운행을 위한 설계 기준을 개발한다.

B3 : 해중고속철도 구조체의 계류시스템 설계기준과 수심 및 지반에 따른 앵커링설계 기준을 개발한다.

B4 : 구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성을 평가하고 피로수명 증대를 위한 피로설계 기술을 개발한다.

B5 : 해상 변전소의 배치 및 설계, 내구성능 향상기술을 개발한다.

B6 : 유체-구조 상호작용을 고려하여 파랑과 해류가 공존하는 SFT(SubmergedFloatingTunnel)의 거동을 해석하고 평가할 수 있는 기술을 개발한다.

B7 : 고속열차 주행시의 SFT의 거동을 분석하고 안전성을 검증하는 기술을 개발한다.

B8 : 유체동력학적 특성을 고려하여 SFT의 최적 형상을 설계하는 기술을 개발한다.

B9 : 파랑과 해류 조건에서 SFT 거동을 재현할 수 있는 상사모형시험 기술을 개발한다.

B10 : 해중철도 구조체의 수중운항체에 대한 유체와의 연계를 고려한 구조시스템 모델링 및 충돌시 단면의 거동 평가 및 안전성 향상 기술을 개발한다.

B11 : 해중철도 구조체의 수중운항체 충돌을 방지하기 위한 신호시스템 및 방호시스템을 개발한다.

B12 : SFT의 외부 폭발하중에 대한 정의, 시스템 및 단면의 거동을 평가하는 기술을 개발한다.

B13 : 우리나라의 해저지진환경 규명을 위해 우리나라의 수십년 동안 해저지진 데이터를 확보하여 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중을 규정하는 해저지진 관측망 기술을 개발한다.

B14 : 해저환경에서 지진파가 해수층에서 반사되고 회절 및 굴절되는 과정에 대해 지반운동의 특성 평가 및 정량화 할 수 있는 기술을 개발한다.

B15 : 유체와 지반을 통해 발생하는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 고려한 SFT의 지진응답 해석기법을 개발한다.

B16 : SFT의 지진에 대한 거동을 평가하기 위해 유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동해석 모델을 개발한다.

B17 : SFT의 지진시 거동과 내진성능 검증을 위해 상사 모형시험 기술을 개발한다.

B18 : SFT의 육상 접합부의 내진성능 향상을 위한 보강 또는 유연구조 기술을 개발한다.
B19 : 고속철도의 주행안전성 확보를 위한 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도 하중 및 주행을 고려한 뷰유구조물 거동을 반영한 해석/설계기법을 개발한다.
B20 : SFT를 운행하는 자기부상열차의 구조체와 상호작용, 구조체 거동에 의한 동적 응답 특성을 해석하는 기술을 개발한다
B21 : SFT 구조체 내화 성능 확보를 위한 구조체 거동 분석, 화재열 차단 방법, 내화 재료 기술을 개발한다.
B22 : SFT의 거동에 따른 차량과 인프라의 상호작용을 시뮬레이션하고 고속열차의 주행안전성과 운행조건 확보를 위한 기술을 개발한다.
B23 : SFT를 주행하는 고속열차의 진동 및 소음 특성을 시뮬레이션하고 방진 및 방음 기술을 개발한다.

○ 시공 분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과는 대부분 Cash-in 영역에 포함되는 것으로 나타남

- C1(계류시스템 및 앵커링 시공기술), C6(다양한 앵커링 시공기술), C7(Bucket, 항타파일 시공기술), C8(ICT 기반 가상건설시스템)은 적극적인 투자로 기술수준을 조금 더 향상시킨다면 Cash-in 전략 검토가 가능함
- C2(구조체 및 계류시스템 방수 및 방식 시공기술)은 기술수준/기술 중요도를 축으로 하는 2 x 2 매트릭스 포트폴리오에서 기술의 상대적 수준 및 기술의 중요도가 낮으나 예산 확보시 기술개발 추진을 고려할 수 있음

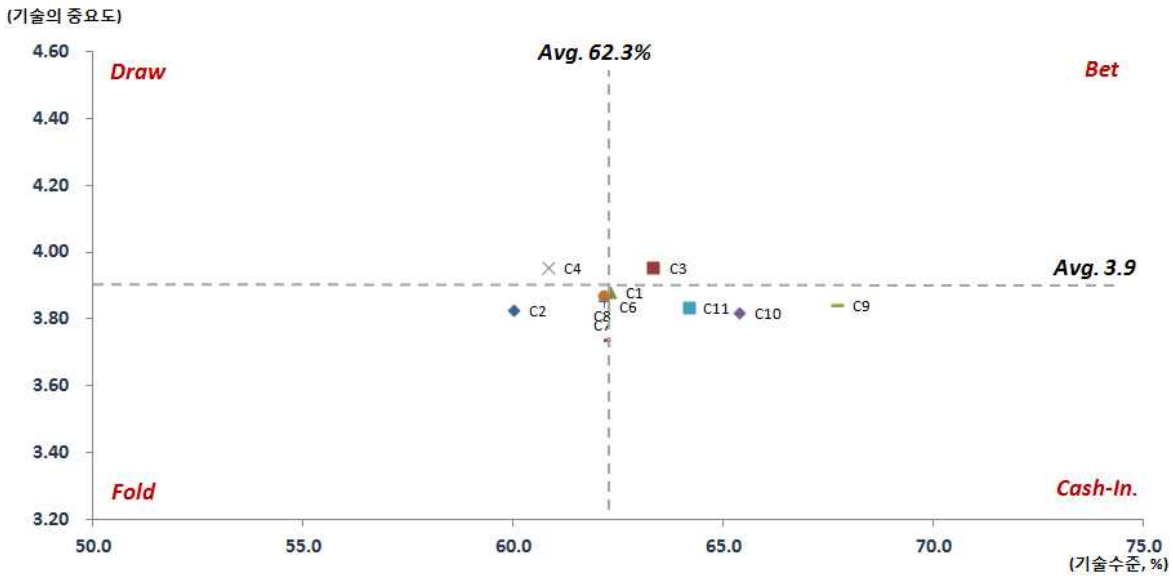


그림 3.25 시공 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

C1 : 수심별/지반조건별 계류시스템의 설치 및 앵커링 시공공법을 개발한다.
C2 : 사용년도별 해중철도 구조체 및 계류시스템의 방수 및 방식 시공방법을 개발한다.
C3 : 환기구조물 및 철도인프라의 모듈화 시공 기술을 개발한다.
C4 : SFT 구조체 모듈의 제작 및 해상조립 표준시공법을 개발한다.
C5 : 해상 환경을 고려한 구조체 모듈의 운반 및 대기 과정, 수중 sinking된 구조체의 거동을 시뮬레이션

하고 검증하는 기술을 개발한다.

C6 : 다양한 앵커링 방법(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공을 위해 해저지반 준비, 설치 방법, 지지력 확보, 요구 장력 확보 등 시공 기술을 개발한다.

C7 : 설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/HorizontalCapacityAnchor)에따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술 및 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술을 개발한다.

C8 : Contigency plan에 포함될 Abandonment and Recovery Plan을 작성하기 위해 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공방안, 위치부표 및 위치추적 송수신 장치 기술을 개발한다.

C9 : ICT기반 SFT의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템 (Virtual Construction System)을 개발한다.

C10 : 해양 환경에서 고속철도시스템의 고정모드를 분석하고 신뢰성 평가 및 향상 기술을 개발한다.

C11 : 내염해성이 특화된 고성능 경량 콘크리트를 활용한 해중 부유체용 구조부재를 개발한다.

○ 방재안전 및 유지보수 분야의 기술수준-중요도 포트폴리오 분석 결과는 대부분 Draw, Bet 영역에 포함되는 것으로 나타남

- D1(취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술)은 기술수준/기술 중요도를 축으로 하는 2 x 2 매트릭스 포트폴리오에서 기술의 상대적 수준 및 기술의 중요도가 낮으나 Fold 전략을 추진하는것이 바람직하나 기술의 사회공공적 중요도를 감안하여 예산확보시 기술개발을 추진하는것을 고려할 수 있음

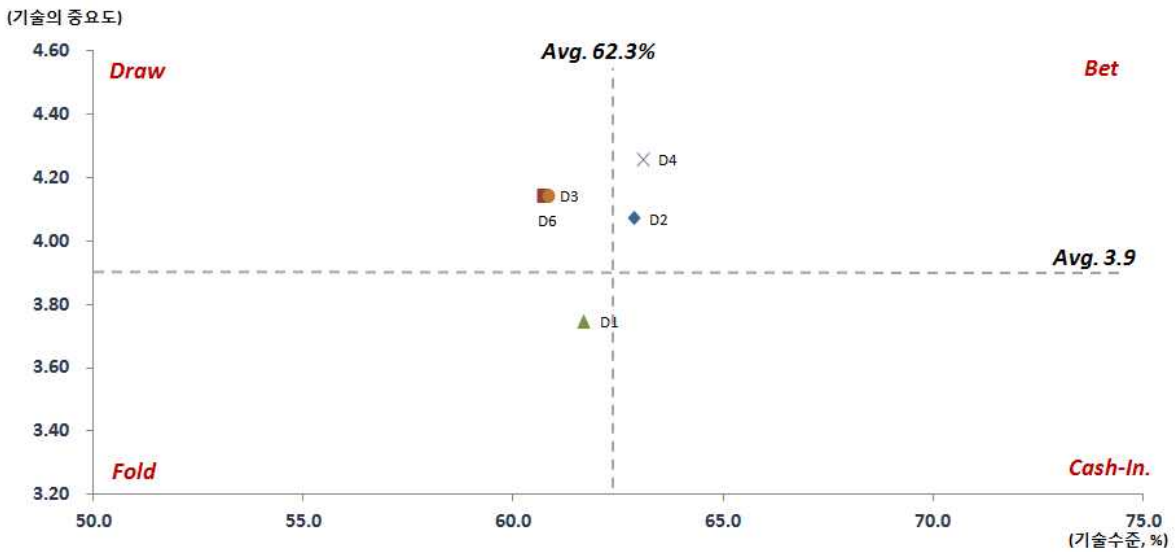


그림 3.26 방재안전 및 유지보수 분야 기술수준-중요도 포트폴리오 분포결과

D1 : SFT의 건전도 향상을 위해 구조물 계측 센서 및 장비개발, 앵커 케이블의 건전도 모니터링, 터널 본체의 취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술을 개발한다.

D2 : 장거리 부유시 해중 고속철도시스템의 구조 및 재해특성 분석, 터널 내 화재 등 이상기류 감지시스템 개발, 지능형 제연시스템을 개발한다.

D3 : SFT 비상환기구 최적 설계 기술, 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어시스템, 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술을 개발한다.
D4 : 비상시 화재 및 침수의 급속 차단과 승객 대피 기술을 개발한다.
D5 : SFT 구조체 및 계류시스템의 유지보수를 위한 수중작업 기술을 개발한다.
D6 : SFT를 주행하는 고속열차의 탈선 방지 기술을 개발한다.

4장. 연구개발 비전 및 목표 수립

1절. 환경 분석

1. 외부 환경 분석

가. 기회 요인

- ○ 국내 호남~제주 구간의 고속철도 건설 수요가 지속적으로 제기되고 있으며, 한중 및 한일 고속철도 건설 등 대형 해상연결 프로젝트 계획이 수립되고 있음
- ○ 동북아 지역은 미국과 유럽에 버금가는 경제권으로서 물류 및 경제교류가 지속적으로 증가하고 있으므로, 육상 교통 수단에 의해 거점 지역이 연결된다면 이동 편의성과 안전성, 신속성이 획기적으로 증대되어 교역 활성화와 경제성장에 기여할 수 있을 것임
- ○ 해중고속철도 기술이 아직 실현된 사례가 없고 개념설계와 이론적인 연구만 수행하고 있으므로 선진국과 개발도상국의 기술 격차가 크지 않아서 지속적인 투자와 연구개발 노력을 기울인다면 기술 선점이 가능함
- ○ 국내 건설 시장이 장기적으로 침체 상태에 있으므로 유휴 인력이 많고 활용 가능한 고급 인력이 풍부한 상황임
- ○ 해중으로 건설되는 고속철도는 앵커링을 위한 기초 작업이 최소화되고 지상으로 돌출된 구조물도 없으므로 환경 회손이 최소화되는 친환경 교통 인프라임
- ○ 활발하게 개발되고 있는 내부식성과 강도가 획기적으로 증대된 고성능 신재료를 해중고속철도 구조체에 적용할 수 있는 기회가 형성됨
- ○ 섬이나 피요르드 지역이 많은 노르웨이, 중국, 인도네시아, 일본 등 여러 나라에서 해중터널에 대한 수요가 제기되고 있어 개발된 기술을 적용할 수 있는 해외 건설 시장이 확대되고 있음

나. 위협 요인

- ○ 해중고속철도는 전세계적으로 건설 사례가 아직 없기 때문에 폐쇄된 물속을 고속으로 주행하는 교통수단에 대해 승객들은 안전성에 대해 심리적인 불안감을 느낌
- ○ 쓰나미나 태풍과 같은 대규모 자연재해가 발생할 시에 해중에 부유된 구조물의 동요가 발생할 수 있으며, 구조적인 손상이 일어날 가능성이 있음
- ○ 세계 최초의 모험적 기술로서 경험이 축적되어 있지 않아 운영상의 다양한 문제에 대한 대응책이 미비할 수 있음
- ○ 사회주의 국가로서 다양한 위험을 떠안을 수 있는 중국은 선도적인 기술을 개발하고자 적극적인 기술개발 의지를 갖고 있으며 모험적으로 테스트 베드 건설을 추진할 수 있

음

- ○ 해양을 통해 장거리 대륙을 연결하려는 건설 프로젝트는 아직 경제성 확보가 어렵기 때문에 실제 건설까지는 많은 시간이 소요되고 현실화에 장애 요인이 존재함
- ○ 노르웨이와 이태리 등 선진국들은 다양한 기술적 경험을 토대로 해중터널에 대한 기본 설계와 성능 검증을 마친 상태이므로 기술 선점이 우려됨
- ○ 고속철도는 교통시스템이므로 시스템엔지니어링 분야에서 강력한 능력을 가진 해외 선진업체와의 기술 교류가 필수적이며 기술종속이 심화될 수 있음

2. 내부 환경 분석

가. 장 점

- ○ 국내 건설기술로 세계최심도의 부산-거제 침매터널을 완공한 경험을 보유하고 있음
- ○ 국내 해양, 조선, 건설 업계 및 관련 연구기관은 기술과 연구 경험이 풍부한 다수의 우수 인력을 보유하고 있음
- ○ 국내의 교통 관련 연구기관에서 호남-제주, 한일, 한중 구간의 고속철도 건설의 타당성을 분석한 사례가 있으며, 해중고속철도를 적용할 경우의 경제성 비교 검토가 가능하기 때문에 연구 결과를 바로 검증해 보고 시뮬레이션할 수 있는 여건이 마련되어 있음
- ○ 국내 건설 기술은 세계적 수준에 올라와 있으며, 국내 중공업체는 세계 최고의 조선 및 해양플랜트 설계 및 제작 기술을 보유하고 있고, Tension Leg Platform 등 유사한 해양 구조물의 설계 및 시공 경험을 보유하고 있음
- ○ 3면이 바다로 둘러쌓여 있고, 북으로도 통행이 불가한 북한과 경계를 이루고 있으므로 지정학적으로 대륙 연결을 위한 교통 수단이 필요하며, 다수의 국민들이 공감하고 있음
- ○ 해중고속철도 기술이 기간과 비용이 절감될 수 있는 혁신적인 기술이므로 예산 당국을 설득할 수 있는 정점이 있음

나. 약 점

- ○ 해중고속철도는 세계적으로 운영 사례가 존재하지 않으므로 안전성이 아직 검증되지 않았다는 약점이 있음
- ○ 해중고속철도의 시공 사례가 없으므로 경험이 축적되지 않아 정확한 비용과 기간의 산정이 어려움
- ○ 해중에서 고속철도를 운영한 경험이 부족하므로 비상사태시의 대처 방안이 명확히 수립되어 있지 않음
- ○ 해양플랜트의 기본설계 및 시스템엔지니어링 능력이 미흡함
- ○ 해중 환경하에서 대규모 승객의 수송이 가능한 고속철도의 운행을 위해 관련 법령이 제정되어 있지 않고 안전성과 신뢰성을 확보할 수 있는 설계기준이 없음

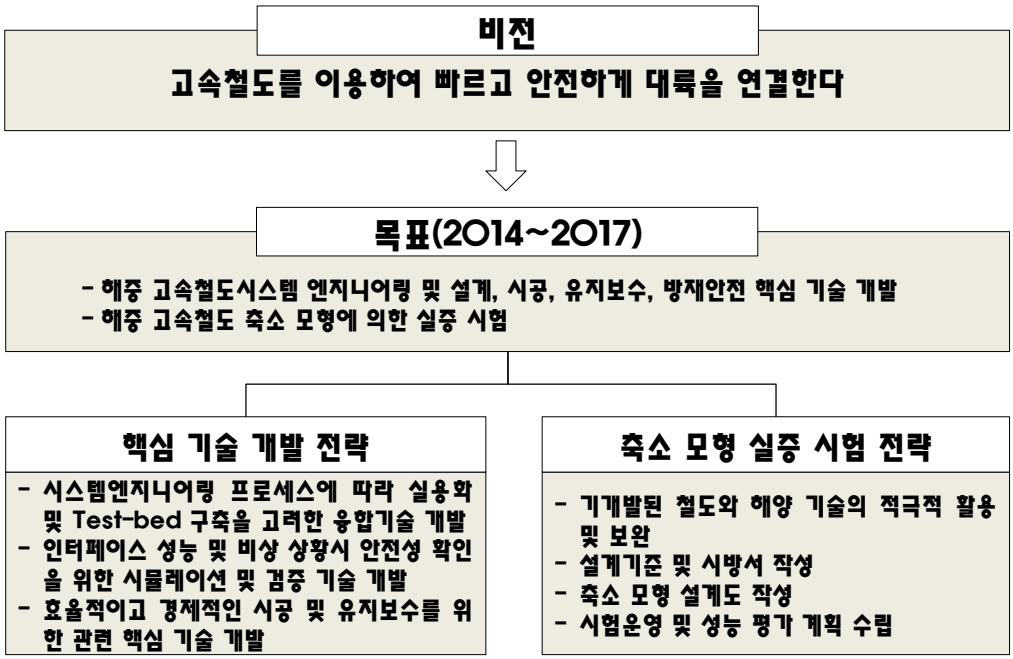
○ 차량-해중구조물 상화 작용, 유체-구조 상호 작용 등 기초요소기술의 개발이 미흡하며, 해저 시공을 위한 시방 기준이 없음

2절. SWOT 분석

SWOT 분석	강점(S) 1.세계최심도 침매터널 건설경험 2.연구경험이 풍부한 다수의 우수 연구인력 보유 3.연구결과의 적용이 가능한 다수 사업 계획 중 4.세계적 수준의 건설 및 조선 기술 보유 5.개발될 기술을 적용할 수 있는 지리적인 대상 후보지 다수 보유 6,건설기간과 비용이 절감될 수 있는 혁신적인 기술	약점(W) 1.해중고속철도의 안전성 미확인 2.시공 사례 전무 3.운영 경험 부족 4.해양구조물 관련 설계기술 미흡 5.관련 법령 및 설계기준 미비 6.기초요소기술의 개발 미흡 및 시방기준 전무
기회(O) 1.해저고속철도 수요(호남~제주, 한·일, 한·중) 2.동북아 물류 및 교류 활성화 3.대형 해상연결 프로젝트의 계획 수립 4.미소한 선발 기술개발 국가와의 시간격차 5.건설시장의 침체에 따른 활용가능한 고급인력 풍부 6.환경 회손 최소화가 가능한 친환경 연결방안 필요 7.고성능 신재료의 개발이 활발함 8.개발될 기술을 적용할 수 있는 해외 건설 시장이 확대되고 있음	SO 전략 1.계획된 대형 프로젝트의 실현을 위해서 경제적인 시공기술의 도입 2.선도 개발국가와 미소한 시간격차 해소를 위해서 발전된 조선과 건설 시공기술의 융복합 3.풍부한 고급인력과 침매터널 시공경험을 활용하여 경제성 있는 해중고속철도 설계 및 시공 가능 4.우수한 연구인력과 시공사를 활용한 세계적 수준의 연구결과 도출 5.개발될 기술의 국내현장 적용을 통한 검증을 통한 해외 건설시장 진출을 위한 기술력 확보	WO 전략 1.풍부한 고급설계인력의 적극적 활용을 통해서 해양구조물 관련 설계기술 향상과 관련 기준 정비 2.기술개발에 있어서 후발이지만 그 차이가 미소할 뿐아니라 대형프로젝트에 적용할 수 있는 실증적 연구가 가능함 3.대형 해상연결 프로젝트에 고급인력이 적극적으로 참여하여 관련 기술의 실용화와 이를 위한 관련기준의 정비가 가능 4.국가적인 R&D 사업 추진을 통한 관련 기초기술 확보 5.고성능 재료를 적용한 고내구성 시설물 개발로 기술 차별화 및 경쟁력 확보

위협(T)	ST 전략	WT 전략
1.사례가 없는 교통수단에 대한 승객들의 심리적 불안감 2.대규모 자연재해 발생 가능성 3.실현된 적이 없는 세계최초의 모험적 기술 4.중국의 적극적인 기술개발 의지 5.경제성 확보의 어려움으로 인한 대형 연결 프로젝트의 실현 가능성 약화 6.선진국 및 인접경쟁국의 기술선점 우려 7.시스템엔지니어링 분야 해외 선진국 의존성 심화	1.테스트 베드 구축을 통한 안전성 검증 및 불안감 해소 2.조선과 건설 시공기술을 바탕으로 모험적 기술을 적용한 대형프로젝트의 실현 3.발전된 시공기술과 침매터널의 건설경험을 활용하여 세계 최초의 신공법 개발 4.신재료와 신공법을 적용하여 경제성이 확보되는 프로젝트의 실현 5.요소기술별 기술 검증을 통한 안전성 확보 6.우수한 연구인력과 풍부한 시공경험을 통해 시스템엔지니어링 기술 보완	1.후발기술 개발국의 약점을 융복합기술력과 경험을 통해서 극복하고 세계최초의 모험적 기술을 실현시킴 2.관련기준을 확실하게 정비하여 안전성 확보에 최선의 노력 3.테스트 베드의 운영을 통한 해중고속철도 운영 경험 확보 및 노하우 측적 4.적용한 경제성이 우수하면서 안전성이 확보될 수 있는 연결방안 도출 5.기 개발된 기술을 적극 활용하고 실용화 기술 개발에 초점을 맞추어 세계최초 해중고속철도 실현 추진

3절. 비전 및 목표



○ 장거리 대륙을 해상을 통해 육상교통 수단인 고속철도를 이용하여 빠르고, 안전하게 정확이 연결하는 것을 본 연구의 비전으로 삼음

○ 장거리 대륙 연결 해중고속철도를 구현하고자 하는 비전을 실현하기 위해 해중고속철도 시스템엔지니어링 과정을 정립하고 설계 및 시공, 유지보수, 방재안전 핵심기술 개발을 목표로 함

- 핵심기술 개발을 위한 전략으로서, 실용화 및 테스트 베드 구축을 고려하여 시스템엔지니어링 프로세스에 따른 해양, 건설, 철도의 융합기술을 개발하고자 함
- 해중고속철도를 구성하는 하위시스템의 인터페이스 성능을 검증하고 안전성 확보를 위해 시뮬레이션 기술을 개발하고자 함
- 해중고속철도를 경제적이고 효율적으로 건설하기 위한 시공 핵심 기술과 유지보수 핵심기술을 개발하고자 함

○ 세계적인 사례가 없는 해중고속철도의 안전성 검증을 위해 축소 모형을 건설하고 실증시험을 실시하는 것을 또 하나의 목표로 함

- 축소 모형 구축 전략으로서 조선해양, 철도, 건설 분야에서 이미 개발된 기술을 적극적으로 보완·활용하고자 함
- 해중고속철도의 실제 설계를 위한 기준 및 시공을 위한 시방서를 작성함
- 축소 모형 구축을 위한 설계도를 작성하고 시공하여 완성함
- 축소 실증 모형을 운영하면서 시험평가를 실시하여 검증하고, 향후 실용화 모델의 시험평가 계획을 수립함

4절. 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

1. 핵심기술요소(CTE) 도출

가. 핵심기술요소의 식별

항목번호	항목 내용
1	이 기술이 사용요구조건, 비용, 일정 등에 직접적으로 영향을 미치는가?
2	해당기술을 개발하거나 시연하는데 중대한 (실패)위험이 예상되는가?
3	해당기술이 새롭거나 독창적인가
4	기존에 성공적으로 적용된 이후에, 이번에 개발시 변경된 기술인가?
5	해당기술이 유사환경에서 실현되도록 재개발되는가?
6	이 기술이 임의의 환경에서 작동할 것으로 기대되거나 당초의 설계 의도 혹은 규정된 성능을 뛰어넘는 성능을 달성할 것으로 기대되는가?

세부 과제	연구내용	1	2	3	4	5	6	CTE선 정여부
1. 해중고속철도시스템 엔지니어링 기술 개발	해중고속철도 시스템엔지니어링 계획	○						
	해중고속철도시스템 통합 및 기술 관리	○						
	해중고속철도시스템 요구조건 분석 및 기준 개발	○						
	해중고속철도 시스템 기능 분석	○						
	해중고속철도 시스템 인터페이스 성능 연구	○			○			○
	해중고속철도 시스템 절충연구	○						
	해중고속철도 시스템 설계	○						
	해중고속철도시스템 성능 및 검증 기준	○						
	해중고속철도시스템 시험 및 평가, 운영 기술 개발	○						
	해중고속철도 Life Cycle Cost 평가	○						
	해중고속철도 축소 모형 설계 및 건설	○	○					○
	해중고속철도 축소 모형 성능 검증 및 확인	○						
	해중고속철도시스템 RAM 성능 해석	○						
	RAM 관리 및 평가	○			○			○
	안전성 분석	○						
	안전성 평가 및 확보	○			○			○
2. 해중고속철도 해석 및 설계 기술 개발	파랑, 해류, 해저지진, 쓰나미 등의 외력 평가/정량화/조합 기술	○						
	외력에 의한 해중 구조체 거동 평가 기술	○			○			○
	충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술	○			○			○
	화재에 대한 구조체 내화성능 평가 기술	○						
	차량-인프라 상호 거동 평가 기술	○			○			○
	구조체 횡방향 변위 저감 기술	○						
	구조체 지진하중 저감 기술	○						
	열차 주행중 구조체의 진동/소음 저감 기술	○						
	환경영향 평가 및 저감 설계 기술	○						
	터널 튜브 구조체 설계 기술	○				○		○
	계류시스템 설계 기술	○				○		○
	구조체 모듈 접합부 및 계류 접합부 설계 기술	○						
	기초 및 지반 설계 기술	○						
	환기탑 및 정차역 설계 기술	○						
	해중고속철도 궤도 시스템 설계 기술	○						
	해중 전력시스템 설계 기술	○						
	해중고속철도 신호시스템 설계 기술	○						
	신소재 적용 구조요소의 설계 및 해석	○						

	기술							
3. 해중고속 철도 시공 기술 개발	보강형의 모듈화 시공 기술	○						
	보강형의 연속 시공 기술	○				○		○
	모듈 및 타구조물 연결을 위한 시공 기술	○						
	시공중 구조물의 안정성 확보 기술	○						
	신소재를 이용한 구조체의 제작 및 시공 기술	○						
	터널 구조체의 수중 시공기술	○				○		○
	중력식 앵커 시스템의 시공 기술	○						
	지중 고정식 앵커 시스템의 시공 기술	○						
	테더링을 위한 케이블의 시공 기술	○				○		○
	신소재를 이용한 테더링 시스템의 제작 및 시공 기술	○						
	전력 공급용 해상변전소의 시공 기술	○						
	해상 피난시설의 시공 기술(환기탑 포함)	○						
	에너지 하베스팅 시스템 및 시공 기술	○						
	정보화기반 시공관리기술	○						
	시공 위험관리기술	○						
	해저 터널 시공품질확보 기술	○						
4. 해중고속 철도 방재안전 및 유지보수 기술 개발	충돌 방지시스템 기술	○		○				○
	안전 모니터링	○						
	심해 부유식 구조체의 비상시 대처 기술	○						
	재난시 응급피난 메뉴얼 및 시스템 기술	○						
	해수에 의한 누수 급속 차단 및 대피 기술	○		○				○
	화재시 터널 제연 시스템 설계 기술	○						
	건전성 및 내구성 평가	○						
	사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템	○			○			○
	구조체 유지보수 기술	○						
	철도 인프라 유지보수 기술	○						
	계류장치 및 기초 유지보수 기술	○						
	원격 제어 로봇 활용 기술	○		○				○
비고		반드시 충족	하나 이상 충족					

2. 핵심기술요소(CTE) 개발 목표

CTE	유형	현TRL	목표TRL
해중고속철도 시스템 인터페이스 성능 연구	공법·기법	2	5
해중고속철도 축소 모형 설계 및 건설	시스템	2	5
RAM 관리 및 평가	공법·기법	3	5
안전성 평가 및 확보	공법·기법	3	5
외력에 의한 해중 구조체 거동 평가 기술	공법·기법	3	6
충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술	공법·기법	3	6
차량-인프라 상호 거동 평가 기술	공법·기법	3	6
터널 튜브 구조체 설계 기술	공법·기법	2	5
계류시스템 설계 기술	공법·기법	2	5
보강형의 연속 시공 기술	공법·기법	2	5
터널 구조체의 수중 시공기술	공법·기법	2	5
테더링을 위한 케이블의 시공 기술	공법·기법	2	5
충돌 방지시스템 기술	장치	2	5
사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템	장치	3	5
원격 제어 로봇 활용 기술	장치	3	5

3. 연차별 기술로드맵

CTE	1차년도TRL	2차년도TRL	3차년도TRL	4차년도TRL
해중고속철도 시스템 인터페이스 성능 연구	2	3	4	5
해중고속철도 축소 모형 설계 및 건설	2	3	4	5
RAM 관리 및 평가	3	4	5	5
안전성 평가 및 확보	3	4	5	5
외력에 의한 해중 구조체 거동 평가 기술	3	4	5	6
충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술	3	4	5	6
차량-인프라 상호 거동 평가 기술	3	4	5	6
터널 튜브 구조체 설계 기술	2	3	4	5
계류시스템 설계 기술	2	3	4	5
보강형의 연속 시공 기술	2	3	4	5
터널 구조체의 수중 시공기술	2	3	4	5
테더링을 위한 케이블의 시공 기술	2	3	4	5
충돌 방지시스템 기술	2	3	4	5
사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템	3	4	5	5
원격 제어 로봇 활용 기술	3	4	5	5

4. 핵심기술요소(CTE) 평가 방안

CTE 연차별 TRL성과목표	평가방법
해중고속철도 시스템 인터페이스 성능 연구	관련 전문가 평가
해중고속철도 축소 모형 설계 및 건설	시험평가에 의한 성능 충족 여부 검증
RAM 관리 및 평가	관련 전문가 평가
안전성 평가 및 확보	관련 전문가 평가
외력에 의한 해중 구조체 거동 평가 기술	-관련 전문가 평가 -모형시험결과 비교
충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술	-관련 전문가 평가 -모형시험결과 비교
차량-인프라 상호 거동 평가 기술	-관련 전문가 평가 -모형시험결과 비교
터널 튜브 구조체 설계 기술	-관련 전문가 평가
계류시스템 설계 기술	-관련 전문가 평가
보강형의 연속 시공 기술	-관련 전문가 평가 -시작품 시험평가 미 검증
터널 구조체의 수중 시공기술	-관련 전문가 평가
테더링을 위한 케이블의 시공 기술	-관련 전문가 평가
충돌 방지시스템 기술	-시작품 시험평가 미 검증
사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템	-시작품 시험평가 미 검증
원격 제어 로봇 활용 기술	-시작품 시험평가 미 검증

5절. 기술개발에 따른 미래상

1. 해중고속철도시스템 기술의 과거·현재·미래

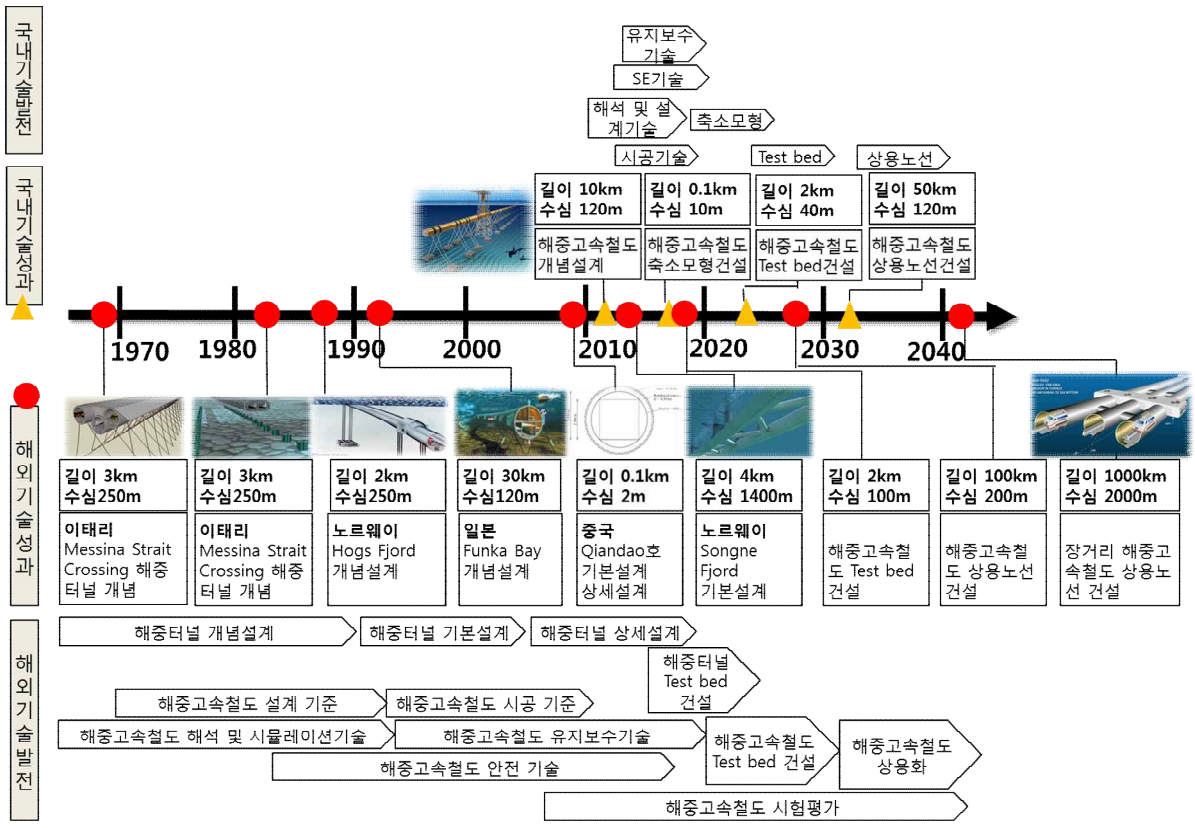
가. 해외 기술의 과거·현재·미래

- 1969년 이태리 Messina 해협을 통과하는 해중터널의 개념이 제시된 이후 1984년 Messina 해협 횡단 해중터널의 개념설계안이 제시되었고, 1987년 노르웨이에서 Hogs Fjord의 해중터널 개념설계안이 제시되었음
- 일본은 1991년 Funka만에 해중터널 도로와 철도를 겸용할 수 있는 해중터널 개념설계안을 제시하고 관련 모형 시험 등 연구를 수행하였으며, 중국은 2010년 Qinadao호에 단거리 수중터널 건설을 추진하였고 기본 및 상세 설계를 완료하였음
- 노르웨이는 Songne Fjord에 해중터널 건설을 추진하고 있으며 2012년 기본설계를 수행하였음

○ 노르웨이는 Kristiansand와 Tronheim 구간의 피요르드 지역을 통과하는 고속도로 건설을 위해 2018년경에 해중터널 테스트베드의 건설을 추진할 것으로 예상됨
○ 해중터널의 안전성이 검증되면 2028년 50km 이상 장거리 해중고속철도의 건설이 추진될 것으로 전망됨
○ 50km 장거리 해중고속철도의 안전성이 검증되면 대륙을 연결할 수 있는 1,000km 이상의 초장거리 부유식 해중고속철도의 건설이 2040년 이후 추진될 것으로 전망됨

나. 국내 기술의 과거·현재·미래

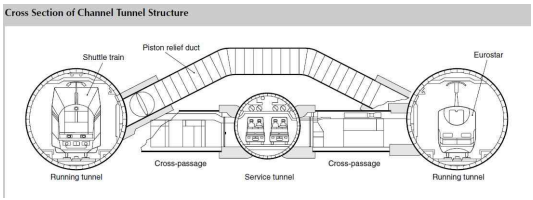
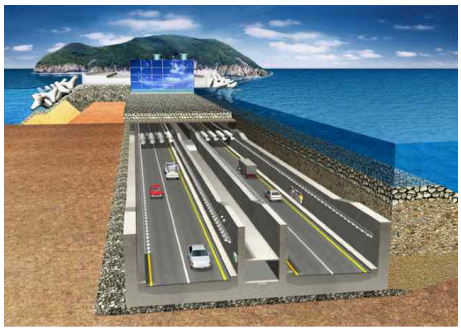
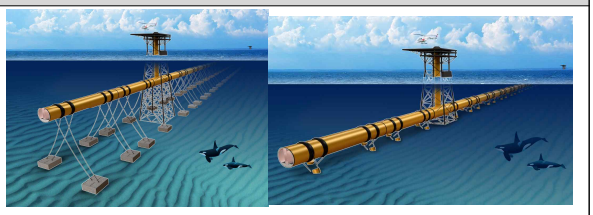
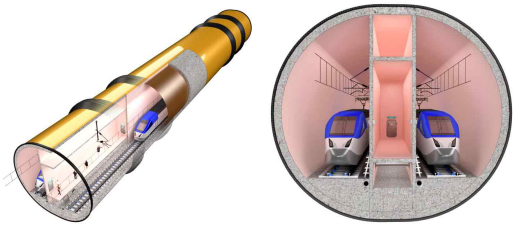
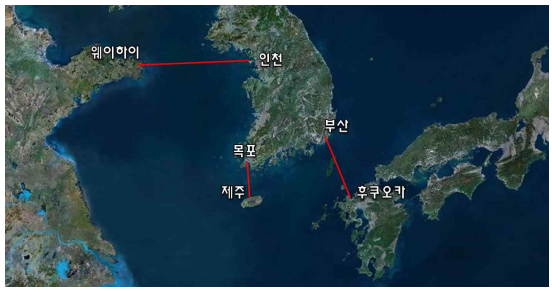
○ 2010년 해중터널 관련 요소 기술 연구가 수행되었으며 2011년 해중고속철도 개념설계안이 제시되었음
○ 2013년 해중고속철도 시스템 기술 개발을 위해 기획 연구가 수행되었음
○ 2015년 이후 4년간 해중고속철도시스템 핵심 기술을 개발하고 2018년까지 직경 2m, 길이 100m 내외의 단거리 소형 실증시험용 해중철도 테스트베드 건설을 추진함
○ 축소 모형에 대한 실증시험을 거쳐 2019년 이후 5년간 직경 5m, 길이 1km 내외로 경전철 규모의 차량이 운행할 수 있는 해중고속철도 테스트베드 건설을 추진하여 안전성 및 실증시험을 실시함
○ 2024년 이후 호남-제주 구간을 잇는 고속철도의 심해저 구간을 해중고속철도로 건설하는 방안을 추진함



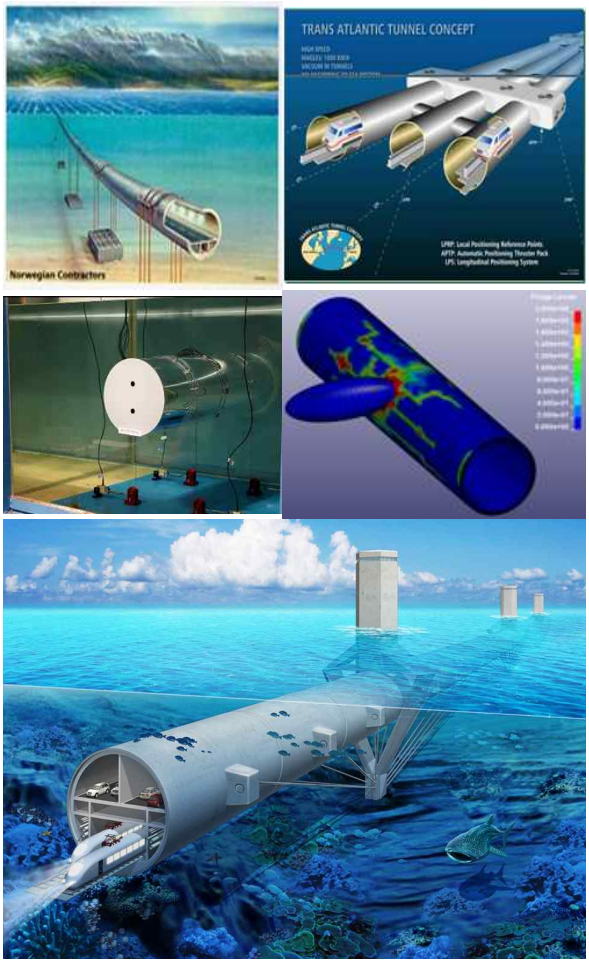
다. 기술 개발의 단계

항목	1단계 (핵심기술개발)	2단계 (테스트베드구축)	3단계 (테스트베드운영)	최종목표 (실용화)
기간	2015 ~ 2018(4년)	2019 ~ 2021(3년)	2022 ~ 2023(2년)	2024 ~
연구목표	-장거리부유식 해중철도고속철도시스템엔지니어링 기술개발 -해중고속철도 해석 및 설계 핵심기술개발 -해중고속철도 시공 핵심기술개발 -해중고속철도 방재안전 및 유지보수 핵심기술 개발 -해중고속철도 축소 실증모형 제작 및 검증	-해중고속철도시스템 테스트베드 설계 및 건설 -테스트베드 시험평가 및 검증	-해중고속철도시스템 테스트베드 운영 및 신뢰성 평가 -테스트베드 안전성 검증 -해중고속철도 운영을 위한 법령 보완	-호남-제주 구간 해중고속철도 건설 착수
목표사양	-5m 수심, 2m 직경, 100m 내외 실증모형 -소형 무인	-20m 수심, 5m 직경, 2km 내외 -경전철 규모 차량 운행	-1만km 신뢰성 시험 -안전성 검증	-40m 수심, 50km 이상 -300km/h KTX운행
소요예산	290억원	2,000억원	300억원	12조원

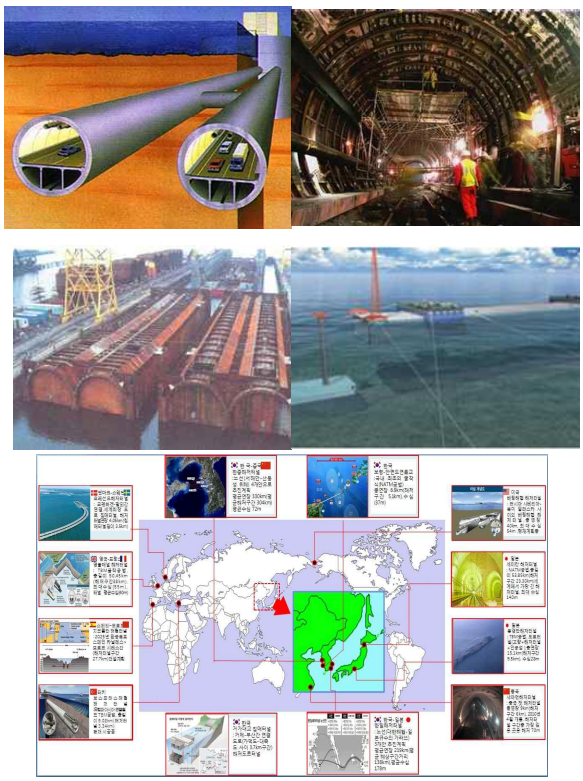
2. 해중고속철도시스템 분야 미래상

AS-IS	TO-BE
   -장거리 대륙을 연결하기 위해 영불터널, 세이칸 터널 등 해저터널이 건설되었고, 유러스타, 신간선 등이 운행하고 있음 -해저터널을 건설하기 위해 10년 이상의 건설 기간과 km당 3,000억원 이상이 소요되어 특별한 수요가 없는 한 경제성 측면에서 신규 노선 건설이 곤란하였음 -해저 굴착이 아닌 침하후 해저 고정 방식의 침매터널이 건설되어 도로 교통 인프라로서 활용되고 있음	   -장거리 대륙을 연결하기 위한 부유식 해중철도가 건설되어 고속열차가 운행할 것임 -해중고속철도는 육상에서 제작한후 해상 조립 방식을 채택함으로 건설비용 및 기간이 단축되어 장거리 대륙 연결 교통수단으로 경제성이 획기적으로 증가할 것으로 기대됨 -호남-제주는 물론, 한일, 한중 구간이 고속철도로 연결되어 동북아 교역과 물류활성화 및 경제 성장에 기여할 것임

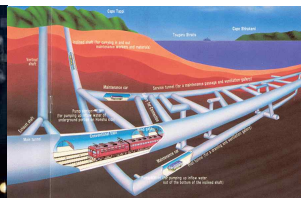
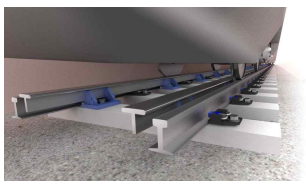
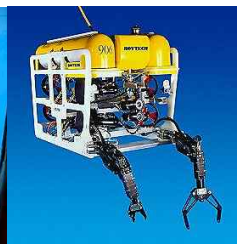
3. 해중고속철도 해석 및 설계 분야 미래상

AS-IS	TO-BE
 	
-해양수로를 연결하는 것은 해저터널과 교량을 주요한 역할을 담당함 -장경간 해저터널 또는 교량의 해석 및 설계 기술이 발전되어 왔으며, 시공 사례도 존재함 -초장대 연결사업의 경우에는 비용의 과다와 환경적인 제약조건으로 신형식의 해양연결 시스템의 개발이 필요한 상황임	-해중고속철도는 해저터널과 교량의 단점을 보완할 수 있는 혁신적인 시스템임 -장경간의 연결사업에서 경제성과 안전성을 함께 추구할 수 있는 구조형식임 -안전하고 신뢰성이 있는 해중고속철도의 건설을 위해서 외력 및 거동 시뮬레이션 기술, 거동제어기술, 설계기술 등의 발전이 필요함

4. 해중고속철도 시공 분야 미래상

AS-IS	TO-BE
	
-국내외에서 다수의 지중터널을 이용한 장경간 연결이 계획되고 있으나, 경제적, 정치적, 기술적 이유 등으로 실현되지 못하고 있음 -경제적이면서 기술적 난관 극복이 가능한 신공법이 필요한 시점이 도래하여 국외적으로 다양한 공법이 연구개발되고 있음 -국내적으로는 거가대교침매너터널의 완공, 보령-태안의 착공, 보스포러스 해저터널의 설계 등으로 설계와 시공에서 기술자립에 기틀이 마련되기 시작하였으나 신공법에 대한 기술개발은 이루어지고 있지 않음	-경제적, 기술적 난관에 부딪쳐서 실현되지 못했던 장거리 해상연결이 가능하게 되고, 특히 기후적인 악조건과 해저지형의 제약 때문에 건설의 경제성이 확보되지 못했던 해상연결을 시공법의 개선을 통해서 가능하게됨 -이러한 시공법의 개발은 장거리 심해 해상연결 뿐 아니라 해저도시 개발과 정거리 심해 취배수구의 건설 분야로 즉각적인 적용이 가능하므로 해양구조물의 경제적 건설 기술수준이 획기적으로 향상되고 해외 건설시장에서 도보적인 기술 경쟁력의 확보가 가능함

5. 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 분야 미래상

AS-IS	TO-BE
      -터널 화재 발생시 배연하기 위한 환기시스템이 구축되어야 함 -해저터널 이용 승객이 비상시 수면으로 대피하기 위해 인공섬이 필요함 -해저터널이 완전 방수가 되지 않아 유입되는 해수를 배수하기 위한 시설이 갖추어짐 -터널 구조물 건전성 평가를 위해 작업자가 직접 상태를 검사하고 모니터링함	      -비상시 승객 대피를 위한 중앙통로와 수면으로 상승하기 위한 계단 및 엘리베이터가 설치됨 -수밀 구조의 금속재료 외판을 적용하므로 누수의 위험이 없음 -해중구조체의 과도한 동요에 의한 고속열차 탈선을 막기 위해 가드레일을 설치함 -고정식 구조물인 인공섬에 배연 및 신성공기 유입을 위한 환기 시설과 비상 대피 승객 구조를 위한 헬리콥터 갑판이 설치됨 -해중에서 구조체의 유지보수 및 교체 작업을 위해 심해잠수부 및 ROV(Remote Operated Vehicle)가 투입됨

5장. 사전 타당성 검토

1절. 사전 타당성 분석 개요

1. 사전 타당성 분석의 기준

가. 예비타당성 조사

(1) 국가연구개발사업의 예비타당성 조사 흐름

○ 국가재정법 제38조 및 관련 규정에 따라 KISTEP에서 제시한 국가연구개발사업 예비타당성 조사 항목 및 절차는 다음 그림 5.1과 같음

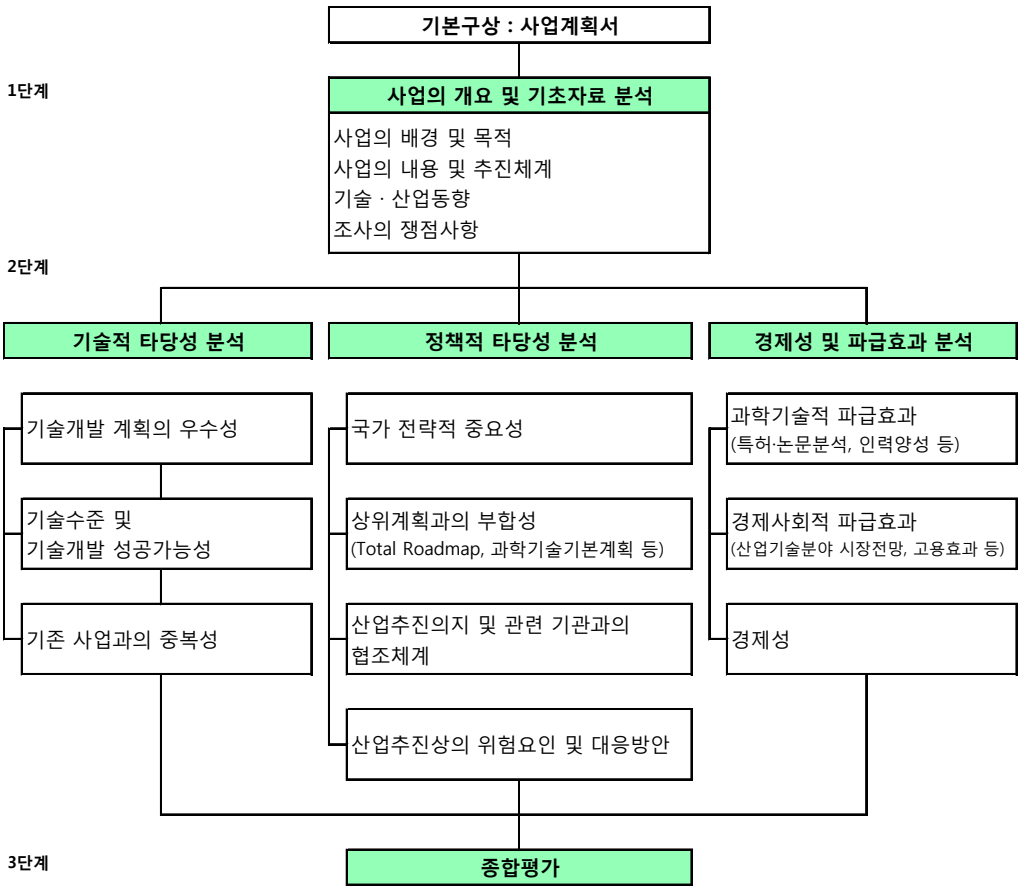


그림 5.1 국가연구개발사업 예비타당성 항목 및 절차

(2) 예비타당성 조사의 틀

○ 본사업의 타당성을 검토하기 위한 조사 항목은 다음의 표 5.1과 같음

표 5.1 국가연구개발사업 타당성 분석 항목 및 내용

대분류	중분류	소분류	세부분류
기술적 타당성	기술개발 계획의 적절성	사업목표와 내용의 구체성	사업목표와 구체성
			사업내용의 논리성 및 적절성
		사업추진 전략의 적절성	사업추진 전략의 구체성 및 도출근거
			사업추진 체계의 적절성
			성과평가 및 관리체계의 적절성
		기술개발로드맵의 우수성	연구개발계획의 완성도
	기술수준 및 성공가능성	기술수준 및 역량분석	보유기술수준 및 기술개발의 기대수준
			기술개발 역량 및 잠재력
		기술개발의 성공가능성	기술적 위험요인
			기술개발 성공가능성
	기존사업과의 중복성	기존사업과의 중복성 검토	기존사업과의 중복성 검토 절차 및 내용의 적절성
정책적 타당성	국가전략적 중요성	국가전략적 중요성	산업정책적/국토개발정책적 중요성
			사회문화적 기여도와 중요성
			정부지원의 타당성
	상위계획과의 부합성	정책적일관성	상위 유관 계획과의 부합성
	사업추진의지와 관련 기관협조체계	정책적 추진의지분석	본과제와 관련한 국토해양부의 관련 사업추진의지
	사업추진상의 위험 요인 및 대응방안	사업추진상의 위험요인 및 대응방안 분석	사업추진상의 위험요인
			사업추진상의 위험요인에 대한 대응방안
경제적 타당성	경제성 분석	예산의 적정성 분석	예산계획 수립체계 및 과정의 적절성
			과제별 예산작성 및 배분의 합리성
		경제성 분석 (비용-편익 분석)	경제성 분석방법(비용-편익 분석)
			경제성 분석결과
	과학기술 및 사회적 파급효과	과학기술적 파급효과	
		사회적 파급효과	

2절. 기술적 타당성 분석

1. 기술개발 계획의 적절성

가. 사업목표와 내용의 구체성

(1) 사업목표의 구체성

○ “고속철도를 이용하여 빠르고 안전하게 대륙을 연결한다”는 비전하에 “해중 고속철도시스템 엔지니어링 및 설계, 시공, 유지보수 핵심 기술 개발”과 “해중 고속철도 축소모형 실증시험”을 사업목표로 설정하였음
○ 해중고속철도시스템의 건설을 위한 핵심기술을 전문가들의 자문 및 설문을 통해 선정하였고 해중고속철도의 구현을 위한 축소모형 실증시험을 최종목표로 설정하였으므로 사업목표가 구체적임
○ 세부과제별로 연구목표를 설정하고 구체적인 최종성과물을 제시하였으므로 세부과제별 사업목표가 구체적이고 분명하다고 분석됨

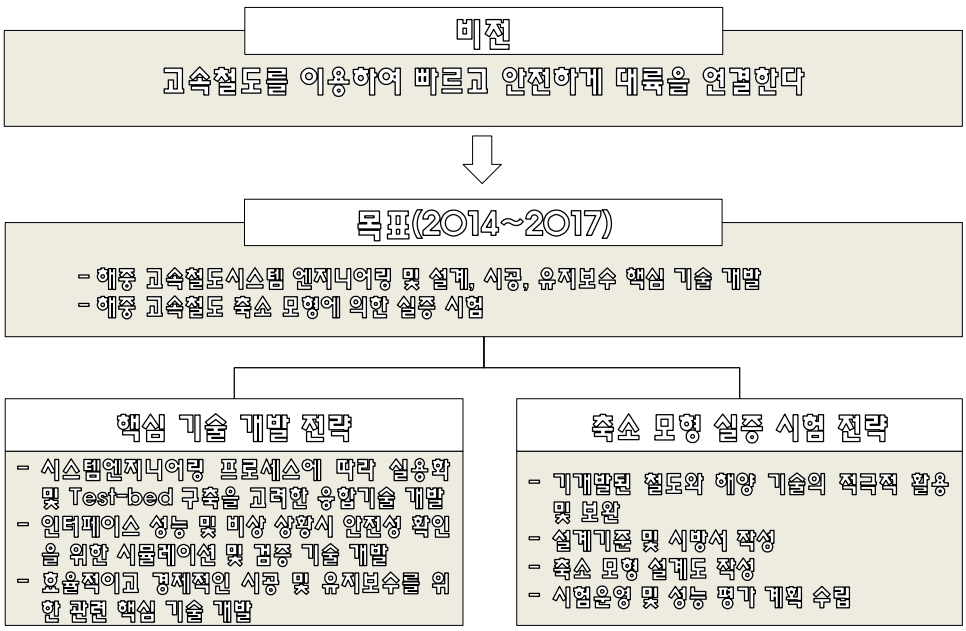


그림 5.2 사업의 비전 및 목표

(2) 사업 내용의 논리성 및 적절성

(가) 사업 내용의 논리성

○ 세계적으로 해중고속철도의 건설 사례가 아직 존재하지 않는 가장 큰 이유가 해중환경하에서 부유식 구조물을 통과하는 이용객의 심리적인 불안감이라는 점을 감안하여 비상상황 발생시 안전성에 대한 검증을 하고 축소모형을 통해 실증하겠다는 사업

목표는 현실적인 문제 해결을 위한 논리적인 귀결이라고 할 수 있음

표 5.2 사업의 구성 및 세부 내용

항목	제1세부과제	제2세부과제	제3세부과제	제4세부과제
과제명	해중고속철도 시스템엔지니어링 기술 개발	해중고속철도 해석 및 설계 기술 개발	해중고속철도 시공 기술개발	해중고속철도 방재 안전 및 유지보수 기술 개발
과제목표	장거리 해중고속철도 시스템 구현을 위한 시스템엔지니어링 기술 개발 및 축소 모형을 통한 검증	장거리 (최소연장 50 km), 대수심 (최대수심 200 m) 해중고속철도 설계 기술 개발	장거리 부유식 해중고속철도의 경제적 시공기술 확보	장거리(최소연장 50km, 수심 200m) 해중고속철도의 안전성 확보를 위한 핵심기술 및 효율적 유지보수 기술 개발
과제내용	-해중고속철도시스템 관리 -시스템 분석 -시스템 설계 -시스템 평가 및 실증 모형 검증 -RAM 기술 -안전성 관리	-해중터널 외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발 -거동제어 기술 개발 -해중고속철도 설계 핵심 기술 개발	-터널함체의 시공 기술 개발 -지지 및 계류 시스템의 시공기술 개발 -철도인프라 시공 기술 개발 -시공관리 기술 개발	-해중고속철도시스템 방재안전 기술 개발 -건전성 평가 및 진단 기술 개발 -효율적 유지보수 및 교체 기술 개발

○ 해중고속철도의 구현이라는 비전하에 건설에 소요되는 핵심기술을 선정하여 기술을 개발하고 설계기준 및 시방서, 설계도면을 작성한 후, 시뮬레이션 및 실험을 통해 성능 및 안전성을 검증하려는 본사업의 내용은 논리적으로 적절하다고 판단됨

(나) 사업 내용의 적절성

○ 융복합 기술이 적용되는 해중고속철도라는 대형 교통시스템의 개발을 사업목표로 설정하였고 “개념→설계→생산→운영→폐기”의 시스템 수명주기에 걸친 시스템엔지니어링 프로세스에 입각하여 세부과제를 구성하였으므로 세부과제의 선정은 적절하다고 판단됨

○ 제1세부과제 “해중고속철도 시스템엔지니어링 기술 개발”은 시스템엔지니어링 프로세스의 핵심내용인 “요구조건 분석→기능분석 및 할당→설계조합→시뮬레이션→시스템분석 및 통제”를 모두 포함하고 있어 다분야의 기술이 융복합된 해중고속철도시스템의 성공적인 구축을 위해 개발의 틀이 적절하게 사업내용에 반영되었다고 분석되며, 시스템요구사양과 설계 및 시공 기준을 개발함으로써 향후 상용 해중고속철도시스템의 건설을 위해 필수적인 과업이 포함되어 있다고 판단됨

○ 해중고속철도시스템의 실용화를 위해 이용객의 불안감을 해소할 수 있는 신뢰성 및 안전성 확보가 최대 현안임을 고려하여 “RAM(Reliability, Availability, Maintainability)

관리 기술”과 “안전성 관리 기술”을 제1세부과제에 포함시켰으므로 사업내용은 현안 해결을 위해 적절하게 구성되었음

- 제2세부과제 “해중고속철도 해석 및 설계 기술 개발”은 설계에 필요한 해양환경하의 외력을 평가하고 외력하의 해중터널의 거동을 이론 및 실험을 통해 시뮬레이션하여 설계에 반영하고 외력하에 거동을 제어할 수 있는 기술도 개발함으로써, 설계 변경을 용이하게 하며, 실제 적용 설계 개발을 목표로 하고 있어 사업내용이 논리적인 일관성이 있고, 설계에 필요한 핵심 내용이 반영되어 있어 적절하다고 분석됨
- 제3세부과제 “해중고속철도의 시공 기술 개발”은 기존 터널이나 교량 등의 시공 기술과는 달리 육상에서 제작한 후에 해상에서 신속하게 해중터널(SFT, Submerged FLoating Tunnel)을 조립할 수 있는 “모듈화 시공 기술”과 SFT에 고유한 “테더링 기술” 개발을 포함하고 있으므로 본 과제를 통해 해중고속철도시스템의 건설을 위해 필요한 핵심시공 기술을 확보할 수 있게 되어 사업내용이 적절하다고 분석됨
- 제4세부과제 “해중고속철도 방재 안전 및 유지보수 기술 개발”은 시스템의 운영 단계에서 필요한 기술로서, 잠수함 등의 해중 운행 물체와 충돌 방지 및 침수와 같은 재난 시의 방재 대책으로서 필수적인 기술이며, 해중고속철도의 약점으로 지적되는 유지보수 비용 증가를 해소하기 위한 유지보수 효율화 기술은 해중고속철도시스템의 실용화를 위해 필수적인 기술로서 사업내용에 적절하게 포함되었다고 분석됨

나. 사업 추진 전략의 적절성

(1) 사업 추진 전략의 구체성 및 도출근거

(가) 사업 추진 전략의 구체성

- 사업 추진 전략으로서 핵심기술 개발 전략과 축소모형에 의한 실증 전략을 수립하였는데 전문가 설문 조사와 자문회의를 거쳐 시스템엔지니어링 분야와 설계, 시공, 방재안전, 유지보수 분야의 핵심기술을 선정하였으며, 기술수준과 중요도 측면에서 우선순위를 정하고 핵심기술로 선정하였으므로 핵심기술 개발 전략은 구체적이라고 할 수 있음
- 해중고속철도시스템의 건설과 실용화를 위해 축소모형 실증 전략을 제시하였으며, 축소모형 구축은 사업목표의 구체성과 함께 추진 전략 측면에서도 실용화의 현안을 해결하고자 하는 구체적인 방법론을 제시하고 있으므로 전략의 구체성을 보여주고 있음
- 해중고속철도의 건설을 위해 해양플랜트와 초장대교 분야에서 이미 개발된 기술을 충분히 활용하고자 하는 전략은 예산 집행의 효율성과 함께 불필요한 사업을 최소화하고 해중고속철도시스템에 고유한 현안 기술을 해결하는 데에 연구 자원을 집중화할 수 있는 구체적인 전략이라고 분석됨

○ 해중고속철도의 건설을 위한 1단계로서 본사업을 통해 해중고속철도시스템의 설계기준서과 시방서를 작성하고 테스트베드의 설계도면을 작성하겠다는 전략은 최종목표의 달성을 위한 구체적인 추진 전략으로 분석됨
○ 철도건설을 위한 설계기준과 해양플랜트의 건설을 위한 선급규정을 활용하여 해중고속철도의 설계기준과 설계도 작성에 활용하려는 전략은 시행착오와 중복 개발을 피할 수 있는 구체적이고 효율적인 전략으로 분석됨

(나) 사업 추진 전략의 도출근거

○ 해중고속철도시스템 핵심 기술 개발 전략은 전문가의 설문 및 자문에 근거하여 기술수준과 중요도 측면에서 선정한 핵심기술에 대한 개발 전략임
○ 해중고속철도시스템의 인터페이스 성능 및 비상시 안전성 확보 시뮬레이션 기술 개발 전략은 기존 다수의 철도시스템에서 나타난 문제점(예를 들면, 월미 은하레일의 차량과 궤도 구조물의 인터페이스 성능 미비에 따른 운행 불가, 의정부 경전철의 동절기 운행 불가 사태, 경부고속철도에서 터널 주행시 이명 현상과 소음 증가 현상 등)을 고려하여 사전에 충분히 대응책을 마련하기 위한 전략으로서 전략 설정의 근거가 분명함
○ 축소모형 실증 전략은 기존 발표된 문헌(H. Østlid, When is SFT competitive?, Procedia Engineering, Vol. 4, 2010)에서 해중고속철도시스템의 실용화를 저해하는 가장 큰 원인으로 지목된 승객들의 불안감 해소를 위해 필수적인 실증 사업으로서 설정 근거가 분명하고 중요성이 큰 전략임
○ 시험운행 및 성능 평가 계획 수립 전략도 해중고속철도의 건설 및 운영을 위해 필수적인 전략으로서 기존 자기부상열차의 실용화를 위한 “도시형 자기부상열차 기술개발” 사업 등의 사례에서 근거를 찾아 볼 수 있음

(2) 사업 추진 체계의 적절성

○ 해중고속철도시스템의 개발을 위해 총괄 연구단과 제1세부과제 “해중고속철도시스템 엔지니어링 기술개발”, 제2세부과제 “해중고속철도 해석 및 설계기술 개발”, 제3세부과제 “해중고속철도 시공기술 개발”, 제4세부과제 “해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술 개발”의 구성은 시스템의 수명주기 관점과 세부 핵심기술과 종합 시스템기술을 모두 포괄할 수 있는 과제 구성으로 평가됨
○ 연구기관이 강점을 갖고 있는 시스템 기술과 시뮬레이션 기술, 대형 설비를 이용한 시험 기술, 대학에서 강점을 갖고 있는 요소 기술, 산업체에서 강점을 갖고 있는 설계기술을 포함하고 있는 세부과제 구성으로 산학연 협동연구 연구가 가능한 사업 추진체계를 구축하였음
○ 철도시스템엔지니어링을 담당할 수 있는 연구기관, 해양 환경과 해중구조물의 시뮬레

이션 및 시험이 가능한 연구기관, 건설과 시공 기술을 담당하는 연구기관, 방재 안전을 담당할 수 있는 연구기관이 각 세부과제를 주관할 수 있도록 사업체계가 구성되었으며, 설계를 담당하는 엔지니어링업체 및 요소기술 개발을 담당할 수 있는 대학이 참여기관으로 사업추진체계에 포함될 수 있어서 적절한 사업 추진 체계의 구축이 가능할 것으로 분석됨

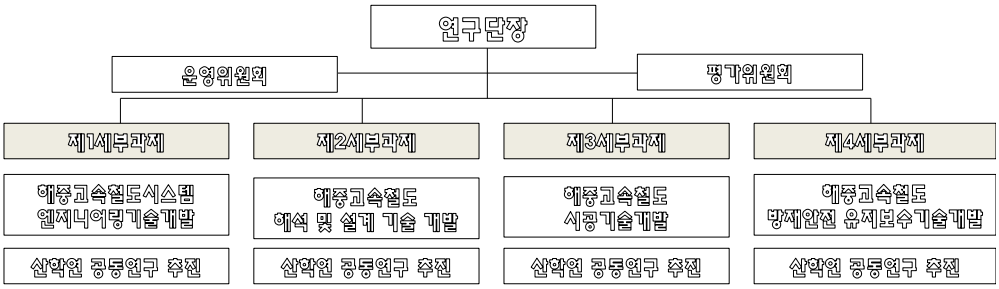


그림 5.3 사업추진체계

(3) 성과평가 및 관리체계의 적절성

(가) 성과평가의 적절성

- 과제별로 최종성과물을 제시하고 성과목표와 성과지표, 측정방법, 목표치, 도출근거를 제시하였으므로 성과를 평가할 수 있는 적절한 틀을 제시하고 있음
- 세부과제 세세부과제의 성과목표를 측정 가능하도록 정량적이며 구체적으로 제시하였으며, 성과지표는 공통지표(학술적 성과와 지식재산권)와 특성지표(설계도면 및 설계기준서, 시방서 작성과 같은 실용화 및 표준화 성과, 시뮬레이션 및 시험 성과, 공사비 절감 효과 등)로 구분하여 세부과제별 목표에 부합하도록 지표를 설정하고 이에 따른 측정방법 및 설정근거를 적절하게 제시하였음

표 5.3 제1세부과제 성과 및 성과지표

세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
해중 고속철도 시스템 엔지니어링 기술	논문	학술지 게재 논문 건수	국내외 학술지 논문 게재 건수	건	2	연구비 규모 따른 학술적 성과
		학술회의 발표 논문건수(국내/국외)	국내외 학술회의에서 발표한 논문 건수	건	4	연구비 규모 따른 학술적 성과
	지적재산권 보유	특허출원 건수	특허출원 여부	건	10	예산대비 요구 실적
		특허등록 건수	특허등록 여부	건	5	출원 대비 적정 등록 실적
	표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	해중고속철도시스템 설계기준서	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
	시험 및 조사 관측 역량	시험/조사/관측 개발 실적	축소 실증모델 시험 평가 시스템 구축여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
	계획 설계 기술	설계도면 및 사양서 개발	설계도면	건	10	사업수행을 위한 필요 실적
			시스템사양서 및 RAM사양서 작성 여부	건	2	사업수행을 위한 필요 실적
	연구 시설 장비 구축 실적	연구시설 구축	축소 실증모델 구축 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
	연구 성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구성과 언론 홍보	건	1	시업 성과 홍보를 위한 필요 실적

표 5.4 제2세부과제 성과 및 성과지표

세부과제	세세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
해중고속철도 해석 및 설계 기술 개발	해중철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	15	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	30	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	7	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	5	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	설계지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		기술이전/거래	기술이전 건수	사업화를 위한 기술이전 건수	건	3	실시기업 확보 필요
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	3	연구개발 홍보 통한 기술력 홍보 필요
	외력 및 거동 제어 기술	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	5	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	10	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	8	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		비용절감 효과	공사비용 절감효과	현장적용에 의한 비용절감 효과	%	5	사업화 가능성 타진
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	1	연구개발 홍보 통한 기술력 홍보 필요
	해중고속철도 설계 기술 개발	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	15	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	20	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	5	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	설계지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	3	연구개발 홍보 통한 기술력 홍보 필요

표 5.5 제3세부과제 성과 및 성과지표

세부과제	세세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
해중고속철도 시공기술 개발	터널함체의 시공기술 개발	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	4	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	8	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	제작 및 시공 지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	4	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	4	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	4	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		비용절감 효과	공사비용 절감효과	현장적용에 의한 비용절감 효과	%	20	사업화 가능성 타진(타공법 적용대비)
		기술이전/거래	기술이전 건수	사업화를 위한 기술이전 건수	건	3	실시기업 확보 필요
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	4	연구개발 홍보를 통한 기술력 홍보 필요
	지지 및 계류 시스템의 시공기술 개발	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	4	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	8	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	제작 및 시공 지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	3	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	2	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	3	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		비용절감 효과	공사비용 절감효과	현장적용에 의한 비용절감 효과	%	10	사업화 가능성 타진(타공법 적용대비)
		기술이전/거래	기술이전 건수	사업화를 위한 기술이전 건수	건	3	실시기업 확보 필요
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	4	연구개발 홍보를 통한 기술력 홍보 필요
	철도인프라 시공기술 개발	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	2	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	4	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	제작 및 시공 지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	2	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	2	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	2	기술선점을 통한 사업화 기

세부과제	세세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
							반 획득
		비용절감 효과	공사비용 절감효과	현장적용에 의한 비용절감 효과	%	20	사업화 가능성 타진(타공법 적용대비)
		기술이전/거래	기술이전 건수	사업화를 위한 기술이전 건수	건	2	실시기업 확보 필요
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	2	연구개발 홍보를 통한 기술력 홍보 필요
	시공관리 기술 개발	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	2	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	4	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	시공 지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	4	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		기술이전/거래	기술이전 건수	사업화를 위한 기술이전 건수	건	1	실시기업 확보 필요
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	1	연구개발 홍보를 통한 기술력 홍보 필요

표 5.6 제4세부과제 성과 및 성과지표

세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
해중 고속철도 시스템 엔지니어링 기술	학술적 성과	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	8	예산 대비 필요 실적
		학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	10	예산 대비 필요 실적
	지적재산권 보유	특허출원 건수	특허출원 여부	건	10	예산 대비 필요 실적
		특허등록 건수	특허등록 여부	건	5	예산 대비 필요 실적
	표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	유지보수 지침의 작성	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
	계획 설계 기술	설계도면 및 사양서 개발	유지보수 검사 장비 설계도면 작성 여부	매	10	사업수행을 위한 필요 실적
	연구시설 장비 구축	연구장비 구축	유지보수 검사 장비 구축 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
			안전모니터링시스템 구축 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
			건전성 진단 시스템 구축 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
			충돌방지 신호시스템 구축 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
	지침/매뉴얼	지침/매뉴얼의 개발 및 보급	구조체 비상시 대처 매뉴얼 작성 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
			재난 대피 매뉴얼 작성 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적

(나) 관리체계의 적절성

○ 국가R&D사업으로서 연구단 과제로 구성되면 운영위원회와 평가위원회가 구성되고 국토교통과학기술진흥원의 관리체계에 따라 사업이 추진될 것임

다. 기술개발 로드맵의 우수성

(1) 연구개발 계획의 완성도

○ 총괄 기술개발 로드맵과 세부과제별 로드맵이 “해중고속철도시스템 핵심요소 기술개발”과 “축소모형을 이용한 실증 시험”라는 최종 목표에 맞추어져 기술개발 일정 및 내용이 수립되어 있으므로 연구개발의 완성도가 높은 것으로 분석됨

○ 기술개발의 선후관계와 시종점이 분명히 제시되어 있으며, 단계별 검증 성과에 대한 검증 계획도 수립되어 있어 기술개발 로드맵이 적절히 작성되어 있는 것으로 분석됨

○ 축소모형 구축을 위해 사전에 필요한 핵심기술의 개발과 설계기준 작성과 성능 시뮬레이션이 개발되는 것으로 일정계획이 수립되어 있고 시스템엔지니어링 프로세스를 고려하여 요구조건 및 기능분석, 설계조합, 시뮬레이션의 과정을 거치는 연구개발 계획이 수립되어 있어 기술개발 로드맵이 우수한 것으로 분석됨

2. 기술수준 및 성공 가능성

가. 기술수준 및 역량 분석

(1) 보유기술 및 기술 개발의 기대 수준

(가) 보유기술 수준

○ 43개 예측기술명별 최고기술보유국을 조사한 결과 노르웨이가 가장 많은 최고기술을 보유한 것으로 나타났음

○ 최고기술 보유수는 노르웨이 257건(35%), 일본 163건(22%), 미국 102건(14%), 이탈리아 100건(13%) 순으로 나타났고, 한국은 24건(3%)로 중국 40건(5%)에 조금 뒤쳐져 있음

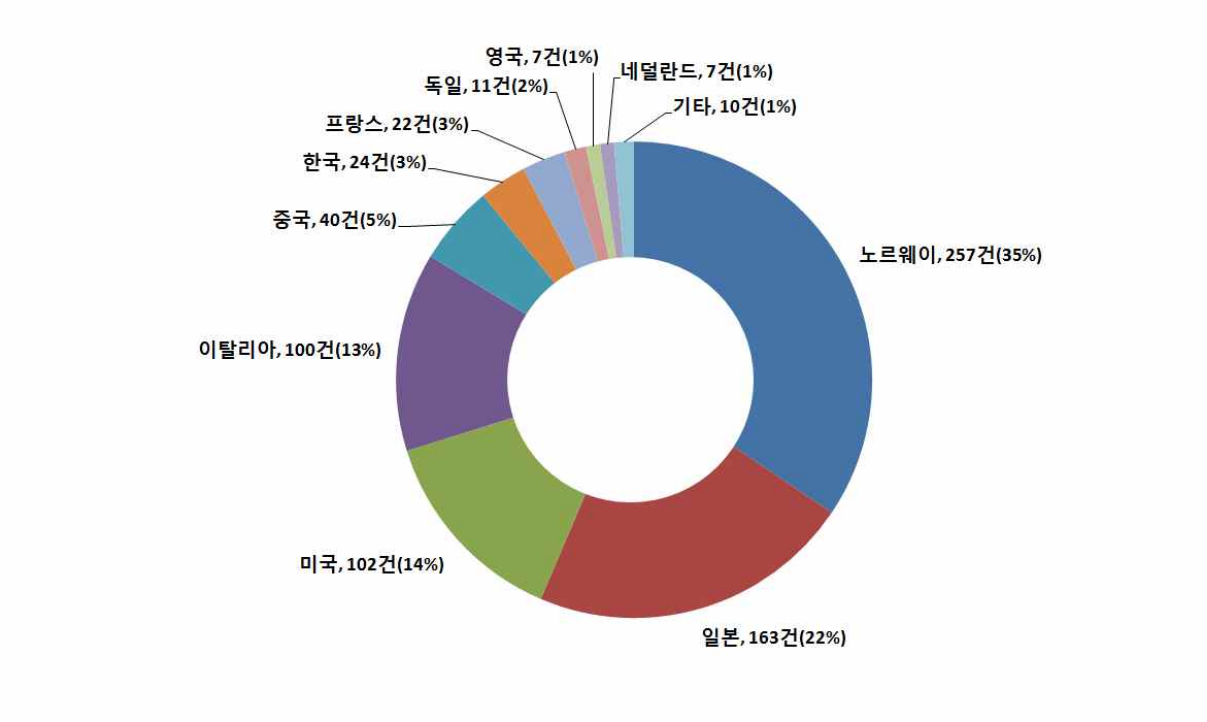


그림 5.4 최고기술보유국 현황

○ 최고기술보유국 대비 국내 기술수준은 62.3%로 조사되었으며, 해석 및 설계, 시공분야는 전체 기술수준 평균보다 약 0.3~0.4% 높으며, 방재안전 및 유지보수 분야는 0.6% 낮은 수준으로 나타났음
○ 해중고속철도 시스템 엔지니어링 분야는 전체 기술수준 평균보다 5.3% 낮아 중점분야 중 가장 낮은 수준으로 나타남

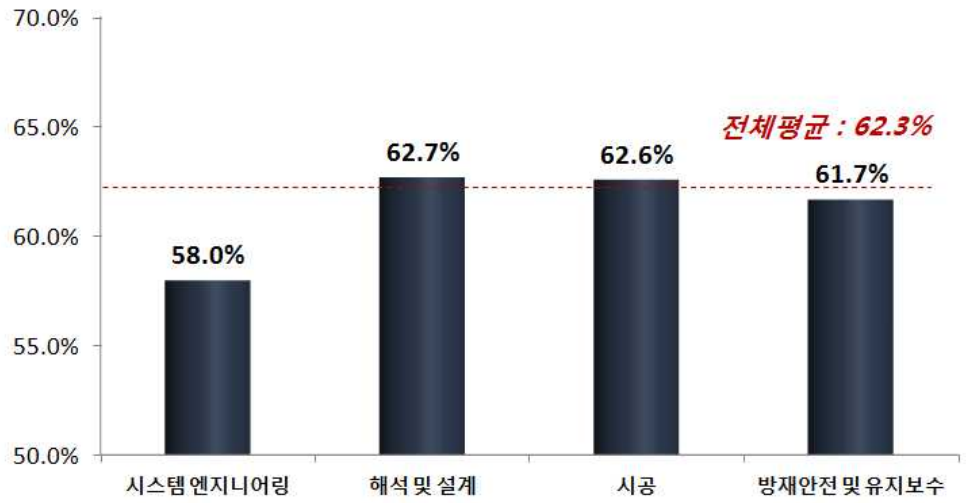


그림 5.5 중점분야별 기술수준

(나) 기술의 중요도

○ 미래사회의 중요도 평균은 3.9로 높은 수준이며 각 중점분야별로 유사한 수준으로 나타났음
○ 시스템 엔지니어링, 방재안전 및 유지보수 분야는 사회문제 해결 및 공익측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남
○ 해석 및 설계분야는 과학기술적 혁신, 새로운 지식의 창출 측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남
○ 시공분야는 경제산업적 부가가치 창출 측면에서 높은 중요도를 가지고 있는 것으로 나타남

표 5.7 중점분야별 미래사회의 중요도

예측기술명	미래사회에서의 중요도(5점척도)			
	과학 기술적	사회 공공적	경제 산업적	평균
전체	***4.1***	3.9	3.8	3.9
중점분야1 (시스템 엔지니어링)	4.1	***4.2***	3.7	4.0
중점분야2 (해석 및 설계)	***4.2***	3.9	3.7	3.9
중점분야3 (시공)	3.9	3.6	***4.0***	3.9
중점분야4 (방재안전 및 유지보수)	4.1	***4.2***	3.9	4.0

(다) 기술의 기대수준

○ 기술예측조사결과 세계 기술적/사회경제적 실현시기는 국내 기술적/사회경제적 실현시기보다 1년가량 앞서있는 것으로 나타남

○ 세계의 기술적 실현시기는 2017년(74%), 국내는 2018년(81%)에 집중되어 있음

○ 세계의 사회경제적 실현시기는 2020(86%), 2021년(67%)에 집중되어 있으며, 기술적 실현 후 사회경제적으로 실현되기까지 약 3년가량 소요되는 것으로 나타남



그림 5.6 예측기술명 세계/국내 기술적 실현시기 분포

○ 표 5.8의 전문가 설문조사에 따르면 본사업이 완료되는 시점에서 기술기대수준은 최고기술 보유국의 기술 수준의 85.7%에 접근할 것으로 기대됨

표 5.8 기술개발 기대수준 전문가 설문 조사

세부 과제	세세부 과제	평균(%)
해중고속철도 시스템 엔지니어링 기술	시스템 관리	85.0
	시스템 분석	85.5
	시스템 평가	84.6
	RAM 기술	83.2
	안전성 관리	85.0
해중고속철도 해석 및 설계 기술	해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술	89.1
	거동 제어 기술	85.5
	해중고속철도 설계 핵심 기술	88.9
해중고속철도 시공 기술	터널함체 시공 기술	87.6
	테더링 시공 기술	84.6
	철도인프라 시공 기술	87.7
	시공관리기술	82.7
해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술	해중고속철도 방재안전 기술	86.8
	해중고속철도 건전성 평가 및 진단 기술 개발	87.7
	해중고속철도 유지보수 기술	81.4
평 균		**85.7**

(2) 기술개발 및 역량 잠재력

- 국내 조선 및 해양플랜트의 설계 및 생산 기술을 세계최고 수준으로서 방수, 해상기초 시공, 계류장치 설계 및 시공 등 관련 기술을 해중고속철도시스템의 구축을 위한 부유식 구조물 설계 및 시공에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 기대됨
- 국내에서 시공되어 운영되고 있는 부산~거제 구간의 침매터널은 해저터널과 해중터널의 중간 단계로서 축적된 시공 기술 및 방수기술, 설계 기준 등은 해중터널 기술 개발에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 분석됨
- 국내의 연구기관은 대형 해양구조물의 파랑중 거동 시험 설비(한국해양과학기술원 대덕분소 보유), 내진 시험 설비(한국철도기술연구원 보유), 대형구조물 구조시험 설비(한국철도기술연구원, 한국건설기술연구원 등 보유) 등을 보유하고 있어서 부유식 해중구조물이 성능 시뮬레이션 및 검증을 충분히 수행할 수 있을 것으로 분석됨
- 국내 고속철도시스템 기술 수준은 430km/h급 HEMU를 개발한 수준으로서, 최고기술보유국 대비 90% 이상이므로 해중고속철도시스템의 설계 및 시공을 위한 잠재력을 충분히 보유하고 있음
- 국내 10km 이상 장대터널의 시공 사례가 풍부하며 화재안전성 확보를 위한 기술을 보유하고 있어 해중고속철도시스템 기술 개발 시에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대됨

나. 기술개발의 성공 가능성

(1) 기술적 위험 요인

- ○ 해중고속철도시스템의 위험요인으로서 충돌, 지진, 수중폭발 등의 비상상황과 장주기 파도에 의한 과도한 횡동요 및 계류장치의 슬랙에 의한 SFT 구조체의 변형을 들 수 있는데, 각 위험요인에 대비하기 위한 핵심기술 개발 계획을 수립하였으므로 위험 요인을 적절히 감소시킬 수 있다고 분석됨
- ○ SFT 구조체의 과도한 동요에 의한 고속열차의 탈선 위험이 존재하나, 탈선 방지용 가드레일 설치 등을 추진하면 탈선을 방지할 수 있을 것으로 분석됨
- ○ 해중고속철도시스템의 원활하지 못한 인터페이스 성능이 위험을 초래할 수 있는데, 개발 단계에서부터 인터페이스 성능 시뮬레이션을 충분히 검토하여 위험요인을 제거할 수 있음
- ○ 각종 위험요인은 Preliminary Hazard List 및 Preliminary Hazard Analysis를 통해 개발 초기부터 분석하고 위험도를 허용 범위 이내로 줄이는 노력을 지속적으로 수행함으로서 위험요인이 최소화된 해중고속철도시스템의 구축이 가능할 것으로 분석됨
- ○ 해중고속철도시스템의 설계기준 및 설계결과에 대해서는 이론적으로, 실험적으로 시뮬레이션을 수행하고 성능을 평가함으로써 설계 결과의 신뢰성 및 안전성 향상에 기여할 수 있을 것으로 분석됨
- ○ 해중고속철도시스템의 세계적인 구현사례가 없는 세계최초의 선도적인 기술이므로 경험해 보지 않은 다양한 위험요인이 존재할 수 있으나 성능 시뮬레이션과 테스트베드 구축 및 운영 과정을 거쳐서 해중고속철도시스템을 실용화하는 것을 목표로 하고 있으므로 위험요인이 개발 과정을 통해 발굴되고 대책이 마련될 수 있을 것으로 분석됨

(2) 기술 개발의 성공 가능성

- ○ 세계최고 수준의 조선 및 해양플랜트 기술과 침매터널 시공 실적을 감안하여 해중고속철도시스템 기술개발을 위한 국내 기술수준과 역량은 충분하다고 판단되며 기술개발을 성공할 수 있을 것을 분석됨
- ○ 현재 국내 연구기관은 자체 연구사업을 통해 2~3년간 기초연구를 수행하였으며 논문 및 지적재산권 출원 실적을 내고 있으므로 해중고속철도시스템 기술개발을 위한 기초가 갖추어져 있다고 판단되며 최종 목표를 달성할 수 있는 가능성이 매우 높음
- ○ 국내 연구기관은 해중고속철도시스템의 성능 시뮬레이션을 위한 다양한 시험 설비를 갖추고 있으므로 관련 기술과 설계결과의 검증을 적절하게 수행할 수 있어 기술개발의 성공 가능성이 높다고 분석됨
- ○ 국내 기술수준이 상대적으로 저조한 시스템엔지니어링 분야는 해외 기관과의 협력 연구를 통해 보완할 수 있을 것으로 판단되어 기술개발 성공에 큰 장애요인이 되지 않

을 것으로 분석됨

3. 기존사업과의 중복성

가. 기존사업과의 중복성 검토

(1) 기존사업과의 중복성 검토 절차 및 적절성

(가) 기존사업과의 중복성 검토 절차

- ○ 기존사업과의 중복성 검토를 위해 NTIS 자료 및 각 부처의 R&D 계획 자료를 이용하여 중복 가능성이 있는 사업과 과제를 스크리닝하였음
- ○ 2차의 전문가 워크샵을 통해 세부과제별 내용에 대해 중복성 여부를 검토하였음
- ○ 3P 분석을 수행하면서 기존 논문 및 특허 성과에 대해 중복성 여부를 검토하였음

(나) 기존사업과의 중복성 검토

- ○ 기존사업과 중복 가능성이 있는 사업으로서 다음의 사업들이 조사되었음
- ○ 국토교통부 건설기술연구사업 “고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발” 과제
- ○ 국토해양부 첨단도시개발사업 “해저시설물 차폐기술 개발” 과제
- ○ 국토해양부 건설기술연구사업 “미래형 초장대 터널의 최적화 건설기술 시스템 개발 연구” 과제

(다) “고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발” 과제와의 중복성 검토

- ○ 세부과제 내용은 다음의 표와 같음

표 5.9 해저터널 기술개발 세부과제

세부과제명	연구내용	
【세부과제 1】 초장대 해저터널 계획을 위한 최적 지질/지반조사 기술 개발	(1-1)	인공섬을 고려한 가상 해저터널 설계
	(1-2)	대심도 해저지반 및 지질정보 해석 기법 개발
	(1-3)	초장대 해저터널 설계 정수 도출을 위한 평가 기술 개발
【세부과제 2】 해저터널 설계/시공을 위한 핵심 요소 기술 개발	(2-1)	해저터널 자동화 설계/시공 및 리스크 평가 기술 개발
	(2-2)	고수압 조건의 해저터널 시공 중 차수 및 보강 기술과 버력처리 기술 개발
	(2-3)	유입수 제어 및 관리 시스템 개발
	(2-4)	내염해성 해저터널 지보재 개발
【세부과제 3】 해저터널 설계/시공 시 안정성 평가 기술 개발	(3-1)	고수압 해저터널의 안정성 해석 및 내진 설계 기술
	(3-2)	TBM 시공을 위한 고수압 굴진면 안정화 기술
	(3-3)	NATM 시공을 위한 고수압 굴진면 지보 설계 기술
	(3-4)	고수압하에서 세그먼트 이음부 방수 기술
【세부과제 4】 초장대 해저터널의 화재 및 유지관리 기술	(3-1)	인공섬 최소화를 위한 30km급 환기 및 공기압 제어기술
	(3-2)	100MW급 화재 대응 시스템 밑 내화시스템 개발
	(3-3)	해저터널 대피환경 확보를 위한 연기확산 방지기술 개발

○ 해저터널과 SFT는 지지방식(고정식과 부유식)과 시공방식(TBM시공과 모듈화 시공)이 방수 정도(배수 고려와 완전 수밀), 주변 환경(해저 지하와 해중) 등이 상이하므로 전반적인 기술의 중복 가능성은 없는 것으로 분석됨

표 5.10 해저터널과 해중고속철도의 차이

항목	해저터널	해중고속철도
지지방식	토압에 의한 고정식	부유식
시공방식	TBM 시공	육상 모듈화 시공 및 해상 조립
방수	일부 허용	완전 방수
주변 환경	해저	해중

○ “해저터널 기술 개발” 사업의 제4세부과제 “초장대 해저터널의 화재 및 유지관리 기술” 은 동일한 초장대 터널에서 화재 발생 시 대응이라는 측면에서 중복성이 있으나 해저터널에서는 자동차와 연계된 도로 터널 배연설비를 고려하는 데에 비하여 해중고속철도에서는 대량 수송시스템인 고속열차가 운행하고 전차선 등 전력설비가 설치되어 있는 상황에서 차이가 있음

(라) “해저시설물 차폐기술 개발” 과제와의 중복성 검토

○ 연구내용 및 범위는 다음과 같음
- 해저지반 사전조사 및 정밀조사를 위한 탐사기법 정립
- 시추공을 이용한 3차원 초기응력 측정기술 개발
- IT 기반형 해저터널 자동화 계측 시스템 개발 및 계측자료의 관리, 해석, 평가
- 해저터널 주변의 손상영역 평가기술 개발 및 차수, 지수를 위한 그라우팅 설계기술 개발
- 해저시설물 설계에 직접 적용할 수 있는 수준의 결과 도출 및 설계기술의 메뉴얼 구축
- 대용량 배수재료 및 고수압하의 라이닝 수밀장치 개발
- 해저시설물 시공시 지질학적 불확실성 해저 환경하 적용 보강공법, 국착공법, 위험요인을 통합한 리스크 분석 및 공기/공사비 예측 프로그램 개발을 통한 최적 시공법의 도출

○ SFT는 완전 방수를 요구하므로 해저터널 또는 해저시설물을 대상으로 개발된 방배수 기술과의 중복 가능성은 없는 것으로 분석됨

(마) “미래형 초장대 터널의 최적화 건설기술 시스템 개발 연구” 과제와의 중복성 검토

○ 연구내용 및 범위는 다음과 같음
- 최적의 곡면형상을 위한 발파패턴 개발
- 보강/보조공법에 따른 지보패턴 변경기술개발
- 고성능 신기술 지보 시스템 개발(지보재료개발)

- 초장대 터널 작업 여건 개선을 위한 오염물질 배출 효율 극대화-> 새로운 방식의 환기 방안 마련
- 초장대터널의 구배차 및 사갱의 고도차에 의한 자연 환기력 이용 방안 검토
- 계절별 터널 내외부의 온도차에 의한 자연 환기력의 열역학적 해석
- 시설별 설계기준
- 터널과 방재시설물간 구조적, 기능적 상관성
- 시공중 터널막장 주변의 안정성평가를 위한 비파괴시스템 완성
- 신개념 배수시스템 개발및 초장대 터널의 배수설계및 시공지침 마련

○ SFT는 육상에서 모듈을 제작한 후 해상에서 조립하므로 굴착을 기반으로 한 기존의 터널 공법과는 중복 가능성은 없는 것으로 분석됨

4. 기술적 타당성 전문가 평가

가. 기술적 타당성 평가 설문 항목

○ 기술적 타당성 분석 결과에 대해 각 항목별로 전문가의 설문 조사를 위한 설문은 다음의 표와 같음

표 5.11 기술적 타당성 분석 평가 항목

평가 항목	평가 내용	평가 결과(5점 척도)				
기술개발 계획의 적절성	1. 사업목표가 구체적인가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]
	2. 사업내용이 논리적이고 적절한가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]
	3. 사업추진 전략이 구체적이고 도출근거가 제시되었는가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]
	4. 사업추진 체계가 적절한가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]
	5. 성과평가 및 관리체계가 적절한가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]
	6. 연구개발 계획이 완전하게 수립되었는가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]
기술수준 및 성공 가능성	7. 보유기술 수준이 적절히 평가되었고 기술개발 기대수준이 적절한가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]
	8. 기술개발 역량 및 잠재력이 충분한가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]
	9. 기술적 위험요인은 충분히 대비되어 있는가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]
	10. 기술개발이 성공할 것으로 예상되는가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]
기존사업과의 중복성	11. 기존사업과의 중복성이 적절히 검토되었고 중복 가능성은 없는가?	매우 그렇다 [5]	그렇다 [4]	보통 [3]	그렇지않다 [2]	매우 그렇지않다 [1]

나. 기술적 타당성 평가 설문 결과

○ 기술적 타당성 평가 설문 결과는 다음의 표와 같음
○ 전문가의 기술적 타당성 평가 결과에 따르면 각 항목별로 모두 5점 척도중 평균 4점 이상으로서 기술적 타당성이 있는 것으로 분석됨

표 5.12 기술적 타당성 분석 전문가 평가 결과

문항	A위원	B위원	C위원	DA위원	E위원	F위원	G위원	H위원	I위원	J위원	K위원	L위원	평균
문항1	5	4	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	**4.75**
문항2	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	**4.83**
문항3	4	5	3	4	5	3	4	5	5	3	3	4	**4.00**
문항4	5	5	2	5	5	3	5	5	5	5	5	4	**4.50**
문항5	4	4	2	5	5	3	5	4	5	4	5	3	**4.08**
문항6	5	4	3	4	4	3	4	4	4	4	5	4	**4.00**
문항7	4	4	2	5	5	4	5	4	5	5	4	5	**4.33**
문항8	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	**4.83**
문항9	5	4	4	4	4	4	4	5	5	3	4	4	**4.17**
문항10	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	**4.83**
문항11	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	**4.83**

3절. 경제적 타당성 분석

1. 경제성 분석

가. 경제성 분석 방법

(1) 비용 분석

○ 각 세부과제의 향후 3년간 예산으로 정부출연금과 기업부담금을 합한 금액을 우선 고려하면 향후 해중고속철도시스템이 실용화하는 데에 필수적인 테스트베드 예산까지를 비용으로 고려함
○ 1단계 사업을 위한 정부출연금은 200억원이고 기업부담금은 67억원을 고려하여 267억원을 1차의 비용으로 정함
○ 2단계 사업으로 테스트베드 구축을 추진하면, 2km 해중고속철도 시험노선 건설을 계획하여 1770억원(885억원/km×2km)을 2차의 비용으로 정함
○ 1단계와 2단계 사업을 모두 추진한다면 1970억을 총비용으로 고려함

(2) 편익 분석

(가) 편익 추정 방법

○ KISTEP의 예비타당성조사 표준지침(2011)에 따르면 R&D사업 편익 추정방법의 분류는 다음의 표 와 같음

표 5.13 R&D 사업 편익 추정방법 분류

대분류	세부분류	비고
가치 창출	시장수요 접근법	미래 시장 또는 수요에 의해 발생하는 부가가치중 해당 R&D에 따른 비율을 적용
	로열티 수입 접근법	로열티로 인하여 발생하는 편익 계산
비용감소	생산비용 접근법	생산(내수, 수출)과 관련된 모든 과정에서 투입되는 비용의 절감액
	피해비용 접근법	R&D에 따른 효과로 사회적 피해비용 절감액 추정

○ 해중고속철도는 장거리 대륙연결 고속철도 시장에서 해저고속철도와 비교하여 비용절감 효과가 있기 때문에 생산비용 접근법에 따라 비용 절감액을 편익으로 추정하는 것이 적절함

나. 비용 및 편익 분석

(1) 편익 분석

(가) 국내 해저고속철도 건설 시장

○ 국내에서 유력한 해저고속철도 건설 시장은 호남-제주 해저고속철도와 한·중 해저고속철도, 한·일 해저고속철도를 꼽을 수 있음
○ 호남-제주 해저고속철도는 건설비가 14조6천억원으로 발표되었음(교통 133권, 2009)

표 5.14 해저고속철도 건설비

구간	형식	단가(억원/km)	건설비(억원)
목포-해남(66km)	육상	424.2	28,000
해남-보길도(28km)	해상교량	1071.4	30,000
보길도-추자도-제주도(73km)	해저터널	1205.5	88,000
총건설비(167km)			146,000

○ 한·일 해저터널 부산~후쿠오카 구간(215km)의 건설비는 7년간 92조원의 공사비가 소요되는 것으로 추정되었음(교통 133권, 2009)
○ 한·중 해저터널 인천~웨이하이 구간(362km)의 건설비는 115조원의 공사비가 소요되는 것으로 추정되었음(교통133권, 2009)

(나) 해중고속철도 건설비

○ 한국철도기술연구원에서 수행한 해중고속철도의 개념설계 결과를 근거로 km당 건설비를 추정해 보면 다음 표 와 같음

표 5.15 해중고속철도 건설 단가

비 목		금액(억원, km당)	비고
직접 재료비	구조체 제작	148.9	강재, 콘크리트 등 재료비
	구조체 설치	11.6	
	계류부 제작	138.4	
	계류부 설치	37.8	
	Jacket 제작	27.1	10km당 1기 설치 기준
	Jacket 설치	5.7	10km당 1기 설치 기준
	철도인프라	79.5	고속철도 인프라 기준
직접노무비		168.4	
간접노무비		20.2	직접노무비의12%
경비		196.4	
부가세		80.5	총공사비의10%
합계		**885**	

○ 해중고속철도 km당 단가를 기준으로 호남~제주 구간의 해중고속철도 건설비를 구해보면 다음 표 같음

표 5.16 호남-제주 해중고속철도 건설비

구간	형식	단가(억원/km)	건설비(억원)
목포-해남(66km)	육상	424.2	28,000
해남-보길도(28km)	해상교량	1071.4	30,000
보길도-추자도-제주도(73km)	해중터널	885	84,605
총건설비(167km)			122,605

○ 한·일, 한·중 고속철도의 건설비를 구해보면 다음의 표와 같음

표 5.17 고속철도 건설비 비교

노 선	길 이(km)	해저터널	해중고속철도	저감액
호남-제주	167	14조 6천억원	12조 3천억원	2조 3천억원
부산-후쿠오카	215	92조원	16조 5천억원	75조 5천억원
인천-웨이하이	341	110조원	30조 2천억원	79조 8천억원
합계		216조 6천억원	59조원	157조 6천억원

(2) B/C 계산

(가) 편익 계산

○ 표에 따르면 비용감소는 직접적인 편익이 되므로 해저고속철도를 해중고속철도로 전환하는 경우 비용 절감은 다음 식과 같이 기술개발 편익이 됨

기술개발 편익 = 비용절감액×R&D사업화 성공률×R&D기여율

○ R&D사업화 성공률은 산업기술개발 분야의 평균 성공률 25%를 적용하고 R&D율은 보수적으로 10.9%를 적용함(KISTEP 예타지침, 2011 참고)
○ 표에 따른 비용절감액을 고려하여 기술개발 편익을 개산하면 다음과 같음

기술개발 편익 = 1,576,000억원×0.25×0.109=42,946억원

(나) B/C 비율 계산

○ 해중고속철도 기술개발을 위해 1단계 200억원과 테스트베드 건설비 1,770억원을 비용으로 고려하면 B/C는 다음 식과 같이 계산됨

B/C = 42,946억원/1,970억원 = 21.8

○ 해중고속철도 기술개발로 얻어지는 편익이 비용에 비해 20배 이상이 되므로 해중고

속철도 기술개발의 경제적 타당성이 충분하다고 분석됨

다. 예산 적정성 분석

(1) 예산계획 수립체계 및 과정의 적절성

- ○ 세부과제별 기획위원회를 구성, 최소연구 단위인 세세부과제를 수행하는데 소요되는 적정 비용을 분석하고 상향식 방법으로 예산을 산출함
- ○ 세부과제별 기획위원회를 구성하여 예산을 산출함
- ○ 최소 연구단위인 구성기술을 수행하는데 소요되는 적정비용을 산정하고, 이를 토대로 세부과제의 연구비를 산정하여 사업예산 규모를 확정
- ○ 인건비는 '2011년 학술연구용역 인건비기준단가'를 기준으로 작성
- ○ 각 구성기술별 특성을 고려하여 민간기업의 참여가능성을 예측하고 이를 바탕으로 정부출연금과 기업부담금을 구분함
- ○ 정부출연금 및 기업부담금의 배분비율은 '국토해양부소관 연구개발사업 운영영규정'의 '별표1 중앙행정기관 및 참여기업의 연구개발비 출연·부담 기준'을 작성기준으로 활용
- ○ 항목별 예산은 '국토해양부소관 연구개발사업 운영규정'의 '별표2 연구개발비 비목별 계상기준'을 작성기준으로 활용

(2) 과제별 예산 작성 및 배분의 합리성

- ○ 각 세부과제의 구성기술별 정부지원 및 민간 예산을 연차별로 구분하여 제시함
- ○ 각 세부과제의 공동과제별 인건비, 직·간접비를 연차별로 구분하여 제시함
- ○ 인건비는 연구원을 4단계로 구분하여 참여율을 감안하여 산정함
- ○ 직접비는 연구장비, 재료비, 연구활동비, 연구수당으로 구분하여 산정함

2. 과학기술 파급효과

가. 논문, 특허 등의 과학기술적 성과 및 공공기여 성과

- ○ 각 세부과제별 성과목표에 도달 할 경우 논문, 지적재산권, 시제품, 기술이전, 설계기준 및 표준 등의 과학기술 및 공익적 성과가 기대됨

나. 기술적 활용 및 연계

- ○ 세계 최초로 해중고속철도 테스트베드를 실현함으로 기술 진보의 새로운 이정표를 세

울 수 있을 것으로 기대됨

○ 해중고속철도라는 새로운 시장의 발굴 및 기술 선점, 대외 기술력 홍보 등의 효과가 기대됨

○ 세계 최고수준의 조선, 해양플랜트 기술과의 시너지 효과를 개대할 수 있으며, 해양플랜트 분야의 지속 성장의 계기가 될 수 있음

○ 해중고속철도 관련 연구인력 양성, 기술혁신 기반 확충 등 원천특허 선점을 통한 핵심기술 조기 확보 및 대외 경쟁력 강화 등이 예상됨

3. 사회·경제적 파급효과

○ 해중 고속철도는 남해안 선벨트와 제주도를 연결해 줌으로서 기존항만·항공으로 운행되는 여객·물류비용을 감소시켜 산업들의 발전을 촉진시킬 것으로 전망됨

- 교통 접근성 향상 및 지역간 통행비용이 절감되어 관련 산업의 발전을 향상시킬 것으로 예상됨
- 기존 여객철도로 운송할 수 있는 주로 1차산업의 생산품인 소화물(축산업, 농업, 양식업)은 운송비용의 감소로 생산량 증가와 지역경제 활성화에 긍정적 효과가 예상됨
- 정부정책 ‘KTX 고속철도망 구축전략(2010. 9. 1)”에 호남과 제주를 있는 고속철도 추가노선이 구축된다면, 경부축과 균형을 이룰 성장축을 이루어 지역경제성장 및 국가성정거점화로 도모할 수 있음

○ 본 장에서는 호남-제주 구간 해중철도 건설시 발생될 것으로 예상되는 지역경제 파급효과를 분석함

가. 지역경제 파급효과 분석

○ 지역경제 파급효과란 해당 사업의 시행으로 인하여 발생하는 생산량, 부가가치, 고용 등의 증가를 계량화한 수치로 나타낸 것임

○ 지역경제 파급효과는 1936년 레온티에프(W. Leontief)에 의해 처음 발표되었던 투입산출모형이 발전되어, 현재 우리나라에서 가장 널리 사용되는 것은 다지역투입산출모형(MRIO; Multi-Regional Input-Output Model)임

○ 공공교통시설 투자사업의 파급효과를 추정하기 위해 본 연구에서는 다지역산업연관모형을 활용하며 세분화되어 있지 않은 산업연관모형을 개선하여 교통시설 투자에 따른 교통시설(도로, 철도, 공항, 항만)별 생산, 고용, 임금효과 등의 파급효과를 분석한「교통시설투자의 지역경제 파급효과 추정을 위한 다지역 산업연관 모형구축 및 분석(교통개발연구원, 2004)」의 모형 결과(철도시설 유발계수)를 활용함

- 다지역산업연관 모형의 구축과정은 다음과 같음
- 먼저 전국 산업연관표의 전국 투입구조와 지역간 산업 산출액을 이용하여 기술계수를 도출한 후 지역간 교역계수를 산출함

- 도출된 교역계수와 기술계수를 곱하여 지역간 산업별 산업연관 관계를 알 수 있는 지역간 투입계수를 추정함
- 추정된 투입계수에 지역간 산업별 산출액을 곱하여 지역간 산업의 투입 배분액을 나타내는 중간재 투입산출표를 작성하고 지역간 산업별 최종수요와 부가가치를 도출하여 다지역 투입표를 작성함

나. 유발효과

○ 각 지역에서 1단위의 수요가 증가하는데 따라 생산량, 소득 및 고용을 증가시키는 양이 얼마나 되는가를 추정하기 위해서는 생산유발계수(output multiplier), 소득유발승수(income multiplier), 고용유발계수(employment multiplier)의 산출이 필요함

○ 생산유발효과는 지역 R의 교통시설 투자가 지역의 생산에 미치는 효과를 나타낸 것으로, 예를 들어 지역 R의 1 단위 교통투자시설 투자로 인한 전국의 생산에 미치는 영향을 추정함

- 생산유발효과는 교역계수와 기술계수를 이용하여 도출한 승수 행렬(multiplier matrix)과 교통시설투자액을 곱하여 추정함
- 생산유발계수는 다음식과 같음

  생산유발계수=$(I-CA)^{-1}$
  여기서 I는 사업, C는 지역교역계수, A는 지역기술계수

○ 임금유발효과는 각 산업의 제품에 대한 외부수요의 증가로 인해 가계에서 발생하는 소득변화를 나타내며, 교통시설 투자로 인한 최종수요 변화는 고용증가를 가져오고 이는 다시 가계부문의 소득변화를 가져오게 됨

- 임금유발효과는 임금투입계수(H)와 생산유발계수를 곱하여 임금유발계수를 산출하고 여기에 교통시설투자액을 곱하여 추정함
- 임금유발계수는 다음식과 같음

  임금유발계수=$H \times (I-CA)^{-1}$

○ 고용유발효과는 교통시설투자로 인해 지역내 또는 다른 지역으로부터 투입되는 중간재와 자본, 그리고 노동을 필요로 하며 지역의 건설수요가 증가할 경우 중간재뿐만 아니라 고용수요도 증가를 의미함

- 고용유발효과는 고용자 투입계수(E)와 생산유발계수를 곱하여 추정한 고용유발계수와 교통시설투자액을 곱하여 지역별 산업별로 증가되는 고용자 수를 분석함
- 고용유발계수는 일정기간동안 생산활동에 투입된 노동량을 총생산액으로 나눈 계수로서, 임금유발계수와 동일한 방법으로 생산유발계수와 고용계수(E)를 결합하여 산출

됨

고용유발계수=E × $(I-CA)^{-1}$

다. 지역경제 파급효과 결과

○ 본 연구에서는 호남-제주 해중철도 사업비(약 12조 6천억원)을 전남과 제주도에 50%씩 투입할 경우의 유발효과를 산정함

(1) 생산유발효과

○ 분석결과, 약 25조 8천 8백억원의 생산유발효과가 예측됨

표 5.18 생산유발효과(철도시설부문) (억원)

철도시설	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	합계
전남	5,088	5,885	2,329	5,578	9,624	2,452	4,230	4,904	2,207	3,433	2,452	4,965	106,357	4,965	6,682	4,781	175,933
제주	245	490	368	245	1,226	368	429	245	184	307	307	613	1,778	368	613	75,093	82,879
합계	5,333	6,375	2,697	5,824	10,850	2,820	4,659	5,149	2,391	3,739	2,759	5,578	108,134	5,333	7,295	79,875	258,812

(2) 임금유발효과

○ 분석결과, 약 4조 5천 3백억원의 임금유발효과가 예측됨

표 5.19 임금유발효과(철도시설부문) (억원)

철도시설	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	합계
전남	368	552	184	552	674	184	368	368	184	245	184	490	15,264	429	613	797	21,455
제주	61	123	123	61	368	123	123	61	61	61	123	184	490	123	184	21,578	23,846
합계	429	674	307	613	1,042	307	490	429	245	307	307	674	15,754	552	797	22,375	45,301

(3) 고용유발효과

○ 분석결과, 약 19만 6천명의 고용유발효과가 예측됨

표 5.20 임금유발효과(철도시설부문) (단위:인)

철도시설	서울	부산	대구	인천	광주	대전	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	합계
전남	6,130	6,130	-	6,130	6,130	-	-	6,130	-	-	-	6,130	67,431	6,130	6,130	6,130	122,601
제주	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	6,130	-	-	67,431	73,561
합계	6,130	6,130	-	6,130	6,130	-	-	6,130	-	-	-	6,130	73,561	6,130	6,130	73,561	196,162

(4) 종합분석결과

○ 지역경제 파급효과 분석결과, 약 30조원의 생산유발 및 임금유발효과가 발생하며, 약 19만 6천명의 고용효과가 발생하는 것으로 추정됨

표 5.21 지역경제 파급효과

구분	생산유발 (백만원)	임금유발 (백만원)	고용유발 (명)
유발효과	25,881,156	4,530,122	196,162

4절. 정책적 타당성 분석

1. 국가전략적 중요성

○ 동 연구단은 '초국경적 국토경영 기반구축'을 지원하는 기술로서 한반도의 지정학적 이점을 활용한 글로벌 교통거점 개발에 기여 가능함

- 「제4차 국토종합계획수정계획(2011~2020)」은 추진전략으로 '초국경적 국토경영기반 구축'을 제시하여 남북분단으로 제한된 대륙과의 육상교통망을 개선, 항공/해상교통망 확충 등 우리나라를 글로벌 교통거점으로 개발하기 위한 지원을 추진하고자 함
- 연구단 기술개발 완료 시 글로벌 교통거점 개발의 방편으로 남북한과의 협력, 항공/해상 교통망 확충과 더불어 해중고속철도 터널을 고려할 수 있음
- 최근 수요가 제기되고 있는 한중, 한일 해저터널 건설과 관련하여 보다 경제적인 해중교통망 건설을 가능하게 함
  - ✓ 한국, 중국, 일본 등 동북아 3국 국가간 교역량 급증, 지리적 접근성, 효율적 물류시스템 구축의 필요성에 따라 통합운송망에 대한 관심이 고조되고 있으며 이에 따라 국가간 해저터널건설이 해상/항공교통수단의 한계 극복 수단으로 고려되어 왔음
  - ✓ 심해를 장경간으로 연결하여야 하는 지형의 특성상 기존 장대교량 및 지중터널은 경제성 및 기술적 실현에 있어서 어려움이 존재했고 이에 따라 해저터널이 대안으로 제시되었음

✓ 해저터널의 경우, 실요화 기술이 확립되어 있으나, 연약지반, 단층지반 건설비용, 장거리구간 적용 미흡 등 단점이 지적되고 있으며, 침매터널 방식의 경우에도 적용수심과 길이에 한계가 있음

✓ 경제성, 적용수심, 길이에 대한 제약이 저감되는 해중고속철도 기술은 타 교통수단 및 해저터널의 한계를 극복하는 미래형 신흥 기술임



그림 5.7 동북아 고속철도망 연결 기본구상

○ 호남-제주간 연결 및 도서간 연결 교통수단으로 고려 가능한 기술로서 국가교통망 개선, 지역균형발전, 건설비용 절감에 기여가능함

- 고속철도 운행을 위한 호남~제주 해저터널(101km) 건설요구가 제기되고 있으나 해저고속철도 건설비 조달 문제로 건설이 지체
- 2008.12.17일 “녹색성장과 철도 세미나”에서 해저고속철도 건설 구상안 발표(교통연구원, 대한상공회의소)
- 2009. 4.15 “국가균형발전포럼”에서 호남˜제주 해저고속철도 건설정책토론회 개최(이용섭 의원)
- 2009.12.19일 ’10년도 국회 예산심의에서 호남˜제주 해저고속철도 타당성 연구용역비 반영(10억원)되어 현재 타당성 조사용역 중임(연장 167km, 사업비 약14조6천억원, 사업기간 11년 소요시간 서울-제주 2시간 26분)
- 문화·관광 등 연계산업육성계획을 통해 경부 축에 비해 상대적으로 낙후된 호남-제주지역 발전 유도 가능함
- 해저고속철도 대신 저렴한 해중고속철도 터널 건설이 가능함

✓ 해중터널 건설공사비는 해저터널 대비 25% 수준임

표 5.22 프로젝트별 고속철도 건설비 비교

노 선	길 이(km)	해저터널	해중고속철도	저감액
호남-제주	167	14조 6천억원	12조 3천억원	2조 3천억원
부산-후쿠오카	215	92조원	16조 5천억원	75조 5천억원
인천-웨이하이	341	110조원	30조 2천억원	79조 8천억원
합계		216조 6천억원	59조원	157조 6천억원

○ 동 연구단 추진을 통해 해중철도사업 추진은 물론 해외철도건설사업 수주에 기여할 수 있는 핵심기술을 확보할 수 있을 것으로 예상됨

- 해상교량, 해저터널 건설이 검토된 지역 중 해중터널이 적용가능한 해외 해협/호수 개소가 다수 존재하여 관련 시장 활성화가능성이 높음(ITA)

표 5.23 해중터널 적용가능 해협

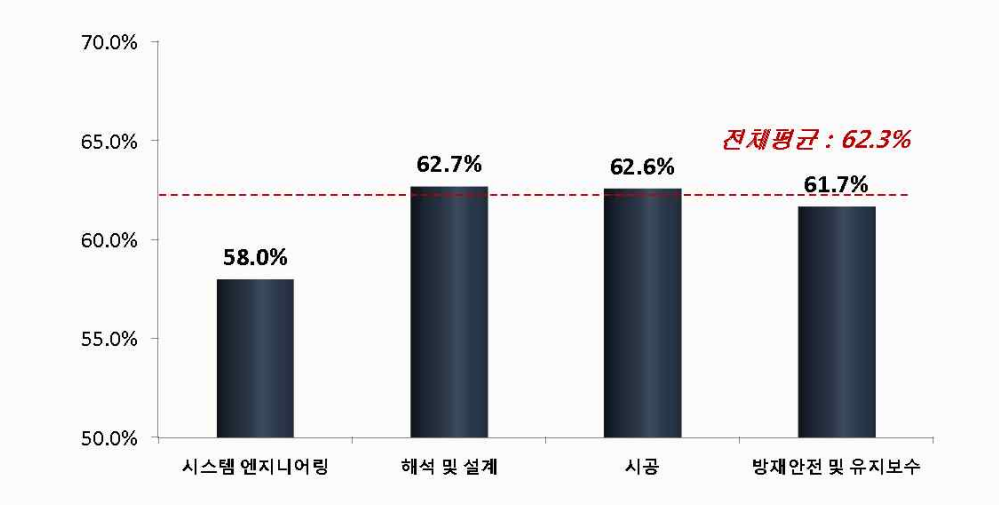
Country	Possible Locations for Coastal SFTs
Norway	Mary Fjords
Italy	Strait of Messina
Greece	Mainland to islands
Turkey	In-between continents: between mainland and island
Spain/Morocco	Strait of Gibraltar
France	Gironde
U.S.A.	Fjords on west coast
Alaska	Bering Strait
Canada	Fjords on west coast
South China Sea	Between Islands
Coast of Southeast Asia	Mainland to Islands
Japan	Mainland to Island : between Islands

표 5.24 해중터널 적용가능 호수

Country	Location of Lake
EUROPE :	
Italy	Como/Lecco
Italy	Maggiore
Italy	Lugano
Italy	Iseo
Italy	Garda
Switzerland	Neuchatel
Switzerland	Vierwaldstettersee Lake Lucerne
Switzerland	Zurichsee
France, Switzerland	Geneve/Leman
Germany, Austria, Switzerland	Bodensee/Constance
Sweden	Vattern
Portugal	Rio Tejo
THE AMERICAS :	
Canada, U.S.A.	Superior
Canada, U.S.A.	Huron
Canada, U.S.A.	Erie
Canada, U.S.A.	Ontario
U.S.A.	Michigan
Nicaragua	Managua
Peru, Bolivia	Titicaca
ASIA :	
Israel, Jordan	Dead Sea
Japan	Biwa Ko
Ukraine	Azov
OCEANIA :	
New Zealand	Taupo
New Zealand	Wakatipu

- 실증 T/B 구축까지 포함하는 연구단의 기술개발범위는 신기술의 즉각적 적용이 어려운 건설사업의 보수적 특성을 극복하고 해외고속철도 사업에 실질적으로 기여할 수 있음

○ 전 세계적으로 실용기술확보가 진행되지 않은 해중터널 기술분야에서 국내 기술수준은 62,3%로 궤도토목분야 전체 기술수준(80.5%) 대비 저조하며, 해중고속철도터널 기술의 기술적/사회경제적 실현시기를 고려할 때 조속한 기술확보를 추진할 필요성이 있음



자료: 연구진 전문가 Survey

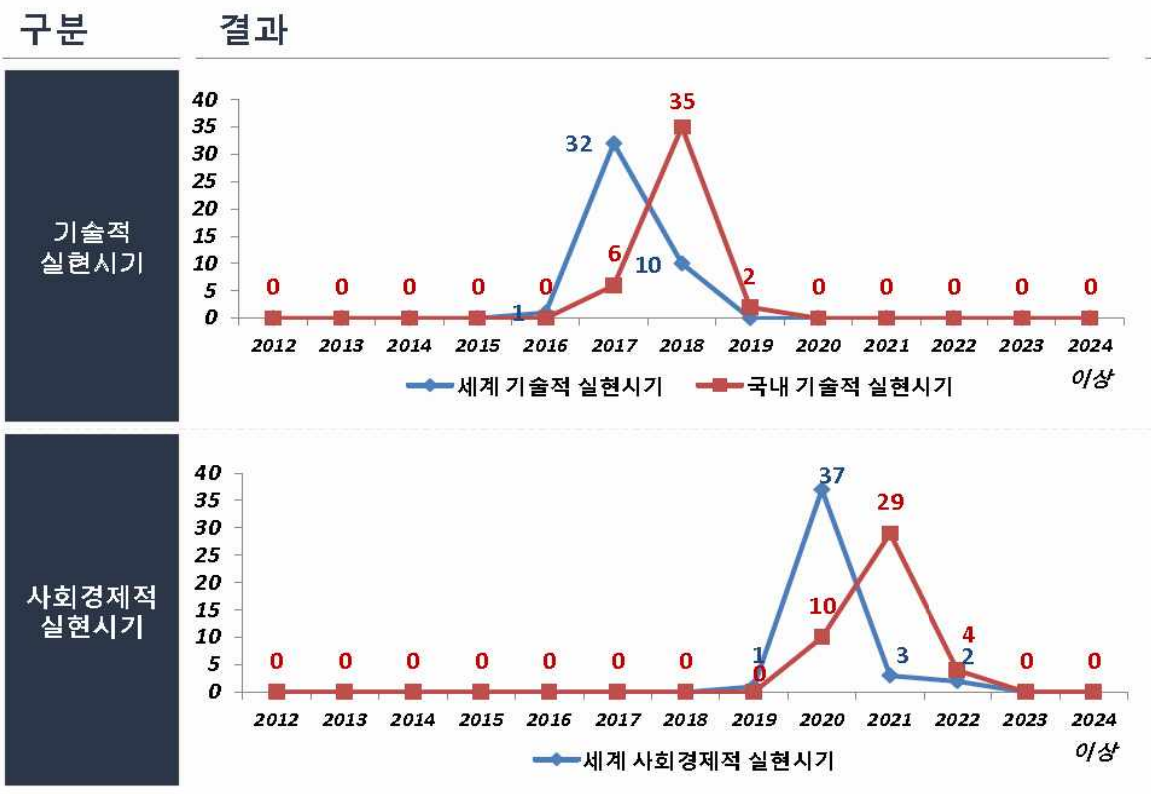
그림 5.8 해중터널분야 최고기술국(100%) 대비 국내기술수준('13)

표 5.25 국내 철도기술수준(단위: %)

구분	시스템 엔지니어링	운영 관리	궤도 토목	전철 전력	신호 통신	안전 방재	역무 자동화	차량
선진국 대비	75.9	72.3	80.5	77.0	70.5	64.7	76.8	76.8

자료 : 건설교통기술평가원('09)

- 기술적/사회경제적 실현시기의 국내외 격차는 1~2년 차이인 것으로 나타나 적극적 기술개발을 통해 기술선점가능성이 높음
- 세계의 기술적 실현시기는 2017년(74%), 국내는 2018년(81%)에 집중되어 있음
- 세계의 사회경제적 실현시기는 2020(86%), 2021년(67%)에 집중되어 있음



자료: 연구진 전문가 Survey

그림 5.9 해중고속철도 기술예측조사 결과

○ 현재 해중고속철도터널기술이 기초수준에 머물러 있고, 국내 민간기업의 관련 기술확보가 미흡한 점을 고려할 때 정부지원을 통한 산학연 연구추진체계를 구축으로 집중적 연구개발 추진이 요구됨

- 일본, 중국, 이탈리아에서는 해중고속철도의 기본설계/모형시험만 수행되었음
- 국내외적으로 실용화 사례가 전무하여 민간기업의 관련기술 확보가 미흡하며 해외적용 시 실증기술확보가 선행되어야 하는 점을 고려할 때 정부주도의 산학연 연구 추진이 필수적임
  - ✓ T/B 구축을 통한 실증기술확보는 중장기 · 대규모 예산을 투입하여 신뢰성을 검증하는 것이 필요

2. 정책적 일관성을 기준으로 검토한 상위계획과의 부합성

가. 정부/부처의 상위유관계획과의 부합성

○ 동 연구단은 전 세계적으로 시험설계와 모형제작 및 시험 수준인 부유식 해중고속철도 핵심기술의 실용화 역량 선점을 추진하여 세계시장 선도형 성장과 미래선도 창의형 연

구개발을 도모하는「박근혜정부 국정목표 및 국정과제(‘13)」’ 방향성에 부합함[1)]

- 「박근혜정부 국정목표 및 국정과제(‘13)’」 국정기조는 기존 ‘선진국 추격형 경제성장’에서 ‘세계시장 선도형 성장’으로의 패러다임 변화를 포함
- 「박근혜정부 국정목표 및 국정과제(‘13)’」는 국정목표인 ‘일자리 중심의 창조경제’ 달성을 위해 ‘창의와 혁신을 통한 과학기술발전’을 추진전략으로 설정하고 미래선도형 창의형 연구개발, 신산업 창출, 사업화지원에 주력할 계획임
- 동 연구단은 부유식 해중고속철도 핵심기술 개발과 T/B구축을 추진하여 이탈리아, 중국에서 기본설계/모형시험만 수행된 해중터널관련 실용화 역량을 선도적으로 확보하고자 함

✓ 기초연구 투자비중(%) : (‘12) 35.2 → (’ 13) 36.0 → (‘16) 39.1

○ 동 연구단은 부유식 해중고속철도 터널의 해석/설계, 시스템분석/RAM/안전성관리 등 기초원천기술확보를 추진하여 ‘12년 발표된 국가재정운용계획의 R&D예산 투자방향에 부합됨[2)]

- 「‘12~‘16 국가재정운용계획(‘12)」은 R&D분야 투자방향으로 ‘창의경제구현 및 성장장재력 확충을 위해 창조·융합·선도적 R&D 투자를 지속적으로 확대’ 제시하고 기초연구 투자비중을 지속 확대하고자 함

✓ 연구단 목표로 ‘2Km 내외 해중고속철도 Test-Bed 구축 및 성능평가’를 설정하고 Test-Bed 구축지에 대한 사전 검토 수행

○ 동 연구단은 침매터널 대비 저렴한 부유식 해중고속철도 원천기술을 확보한다는 점에서 철도건설 및 유지보수 저감기술 등 철도인프라 기술수준 제고를 추진하는 “제 2차 철도산업 발전기본계획”과 방향성이 일치함

- 「제 2차 철도산업발전기본계획(‘11)」은 추진과제로 ’ 철도제조업 육성 및 기술개발 촉진”을 설정하고 미래교통체계혁신을 위한 지속적 원천기술개발, 철도건설 및 유지보수 저감기술 등 인프라 기술수준 제고를 추진함 [3)]

○ 「제4차 국토종합계획수정계획(2011~2020)」은 6대 추진전략에 포함된 ‘자연친화적이고 안전한 국토공간 조성’은 세부추진전략으로 ‘해안도서를 연결하는 통합국토관리체계 구축’을 도모하며 동 연구단의 기술개발결과물은 해당 추진전략에 활용가능함[4)]

1) 박근혜정부 국정비전 및 국정목표, 대통령직인수위원회, 2013
2) ‘12~’16 국가재정운용계획, 기획재정부, 2012
3) ‘제 2차 철도산업발전기본계획, 국토해양부, 2011
4) ‘제 4차 국토종합계획수정계획, 대한민국정부, 2011

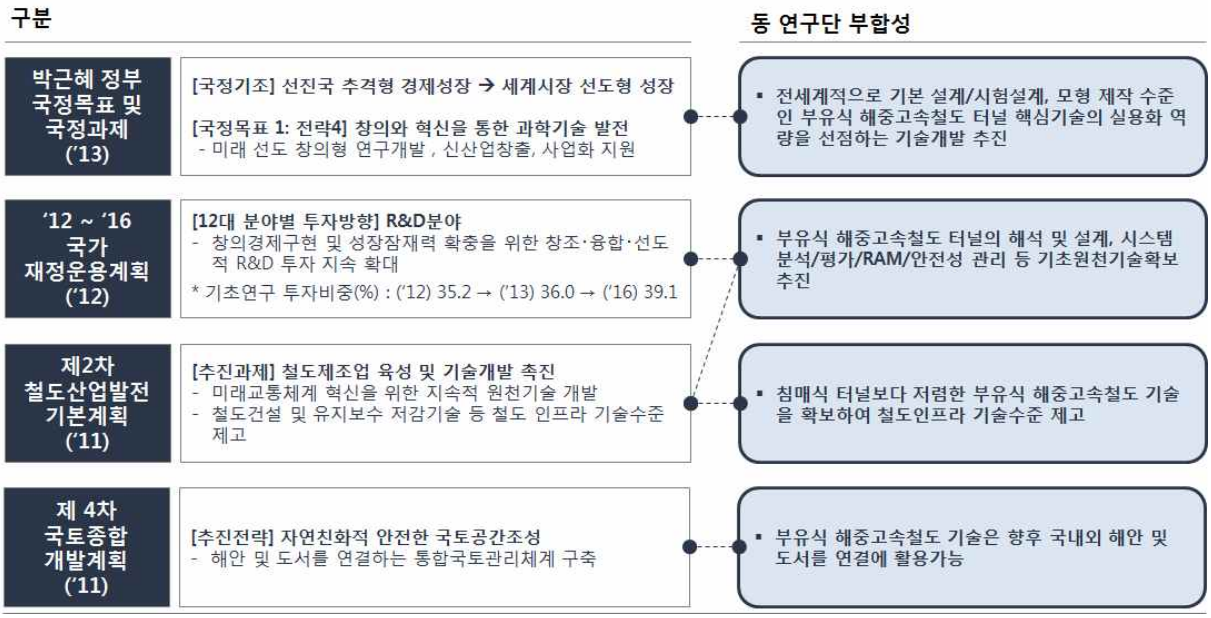


그림 5.10 국가/부처 상위유관계획과 부합성

나. 정부/부처의 중장기 R&D계획과의 부합성

○ 동 연구단은 「제 3차 과학기술기본계획('12)」의 추진전략에 부합하는 부유식 해중고속철도터널기술의 실용화 역량 확보 추진

- 「제 3차 과학기술기본계획('12)」의 '(High 4) 신산업 창출지원' 추진전략에서 사업화 초기장벽극복강화를 위한 실용화/사업화 연구개발을 추진함

○ 동 연구단은 비용절감이 가능한 대륙간 연결기술을 확보하고 기술의 적용을 통해 철도수송분담률 향상 및 국가교통물류체계 효율성제고에 기여 가능하므로 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」의 목표와 하위 사업영역에 부합됨

- 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」의 5대 목표중 하나인 '에너지 자원의 효율적 이용' 은 '국가교통물류체계 수송력/혼잡비용 등 효율성 제고, 철도시스템 성능향상을 통한 수송분담률 24% 향상' 을 세부목표로 설정함[5)]
- 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」의 하위 사업 중 '건설기술연구사' 에는 해중터널 등 '신형식 해상연결을 위한 인프라 구조물 기술개발' 을 포함[6)]
- 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」의 하위 사업 중 철도기술연구사업철도시스템 성능 및 수송력 향상, 운영효율화 및 유지보수비 절감 등을 목적으로 R&D 사업 추진[7)]

5) 건설교통기술중장기계획, 국토교통부, 2012
6) 上同
7) 上同

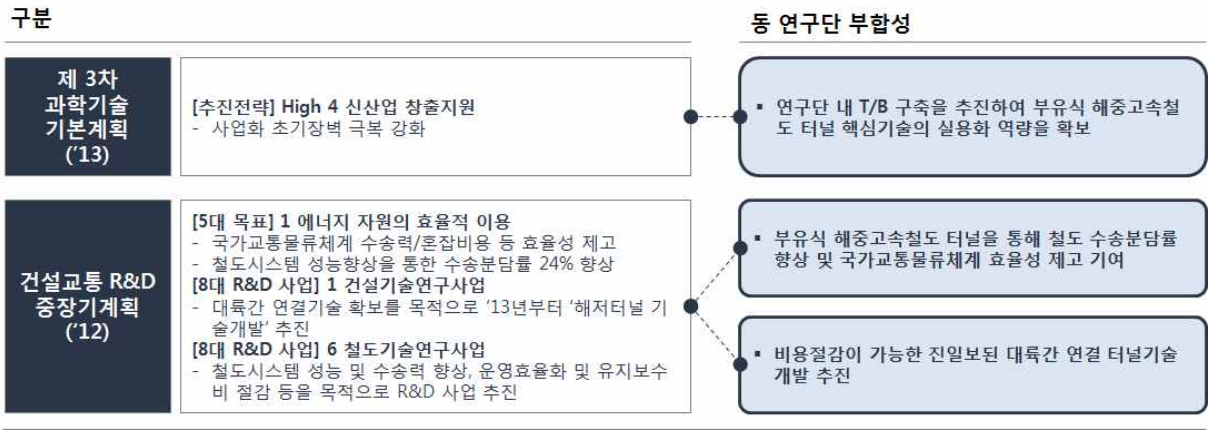


그림 5.11 국가/부처 중장기 R&D 계획과의 부합성

다. 정책적 추진의지

○ 국토교통부는「제4차 국토종합계획수정계획(2011~2020)」을 통해 '해안도서를 연결하는 통합국토관리 체계구축', '초국경적 국토경영기반 구축'을 추진전략으로 제시함으로써 국내 해안도서 및 인접국가와의 교통망 연결에 의지를 보이고 있음

- 현재 '한중 해저고속철도(인천-웨이하이)'[8], '한일 해저고속철도(부산-후쿠오카)'[9], '호남-제주 해저고속철도'[10] 프로젝트가 해안도서 및 인접국가와의 교통망을 연결하는 프로젝트로 검토 중

○ 동 과제는「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」에 반영되어 있어 국토교통부의 사업 추진의지가 높은 것으로 분석됨

- 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」은 2013~2017년간 수행할 건설교통 분야 R&D 사업에 대한 종합계획으로 국토교통 연구개발사업의 상위 계획임
  - ✓ 「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」 수립을 위해 최신 동향으로부터 건설교통 연구개발과제들을 도출하였으며, 예산에 따라 효율적인 투자전략을 수립하였음
- 동 과제는「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」 중 ' SOC연구'의 '해양 횡단 기술' 전략프로젝트의 '신형식 해상연결을 위한 인프라 구조물 기술개발' 중점과제로 포함되어 있음
  - ✓ 신형식 해상연결을 위한 인프라 구조물 기술개발 과제는 2013년에 착수하여 5년간 연구개발을 수행하는 것으로 계획함

8) 경기개발연구원 제안
9) 부산발전연구원 제안
10) 한국교통연구원 제안



그림 5.12「건설교통기술 R&D 중장기계획('12)」중 '해양 횡단 기술' 전략프로젝트 로드맵

라. 연구개발 추진상의 위험요인과 대응 방안

○ 기술 개발 실패에 대응 방안

- 기술개발을 단계별로 시행("핵심기술 개발" → "축소 모형에 의한 실증 시험 및 검증" → "테스트 베드 구축" → "상용화 노선 건설")하여 중간 단계마다 검증함으로 실패에 따른 위험 요인을 최소화함
- 각 단계별로 시스템 성능 검증 및 시험평가를 충분히 실시하여 성능 미달의 위험요인을 최소화함

○ 시스템 구축에 따른 위험요인

- 축소 모형 실증 시험 또는 테스트베드 구축을 위해 실제 해역에서 공사를 수행하는 과정에서 지역주민의 반대 등이 예상되는 경우, 사전 홍보와 해당 지자체의 행정 지원으로 극복

  ✓ 호남-제주 해저고속철도 통과 지역에서 테스트베드 입지를 선정하는 것이 유리

- 실제 해역에서 공사시 사고 등 위험요인이 있으나 안전관리 조직 구성 및 안전관리 지침 준수 등 현장 안전관리 강화로 대응

6장. 과제 도출 및 목표 수립

1절. 세부과제의 도출

1. 새로운 철도시스템 개발을 위한 시스템엔지니어링 과정

- ○ 철도는 구조물, 궤도, 노반, 차량, 전력, 신호, 통신, 역사 등이 종합된 교통시스템으로서 그 목적을 달성하기 위해서는 설계와 시공 및 유지보수 전과정에서 통합 관리가 필요함
- ○ 월미 은하레일의 운영 불가 사례는 프로젝트 초기단계부터 철저한 시스템엔지니어링 프로세스 적용의 필요성을 보여줌
- ○ 해중고속철도는 철도와 해양구조물이 다시 조합된 교통시스템으로서 안전하게 승객을 수송하기 위해서는 시스템엔지니어링이 더욱 필요함
- ○ 시스템의 수명주기는 다음의 그림 과 같으며 개념 정의-설계-제작-운영 및 유지보수-폐기의 단계를 거침

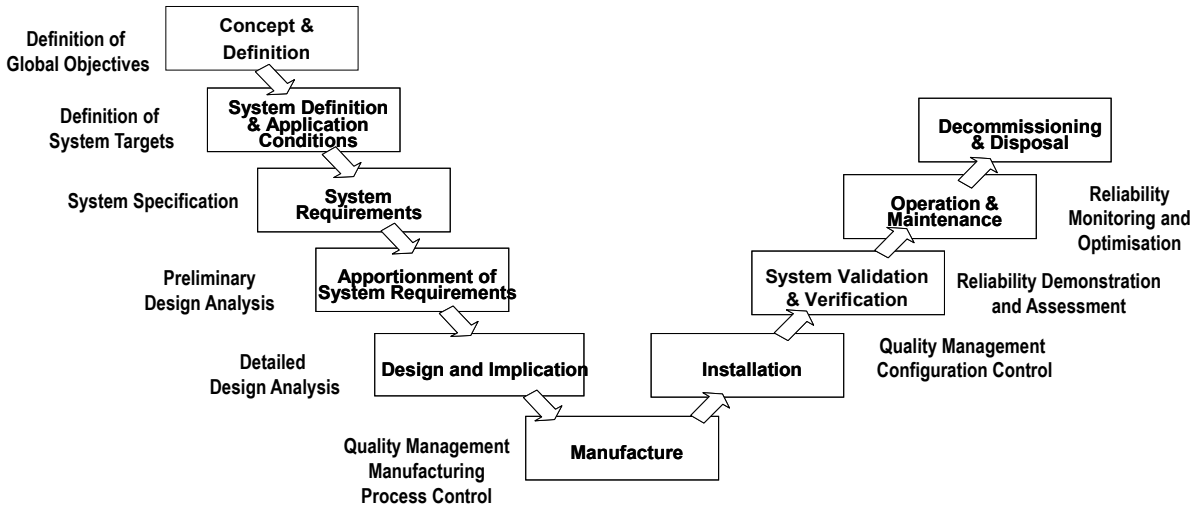


그림 6.1 시스템엔지니어링 수명주기

○ 수명주기에 걸친 시스템엔지니어링 프로세스는 다음의 그림과 같음

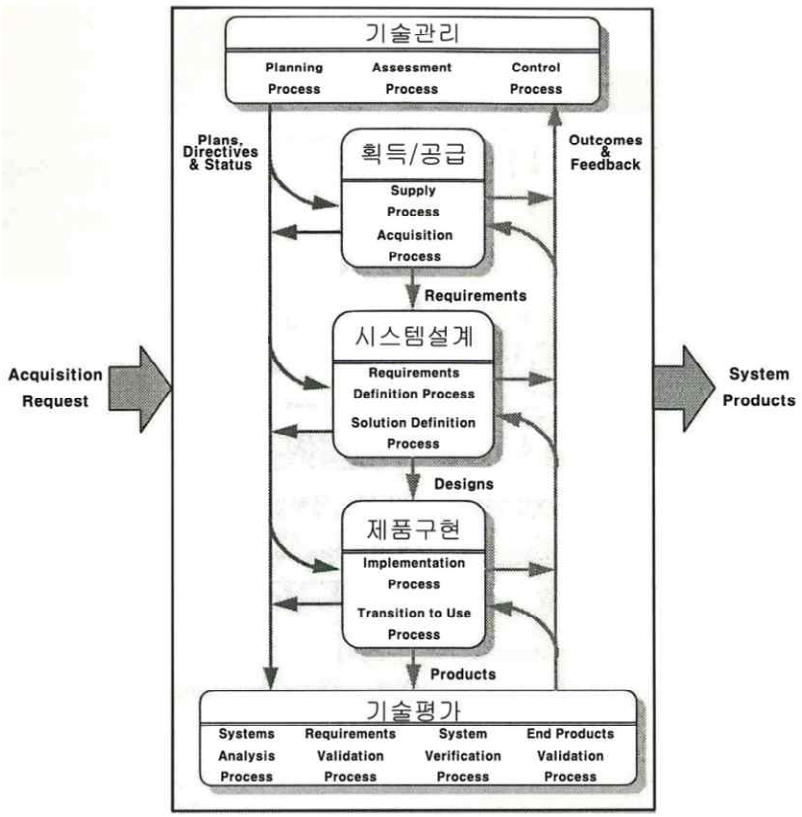


그림 6.2 시스템엔지니어링 과정

○ 시스템엔지니어링 과정의 시스템 설계는 다음 그림과 같은 과정을 거침

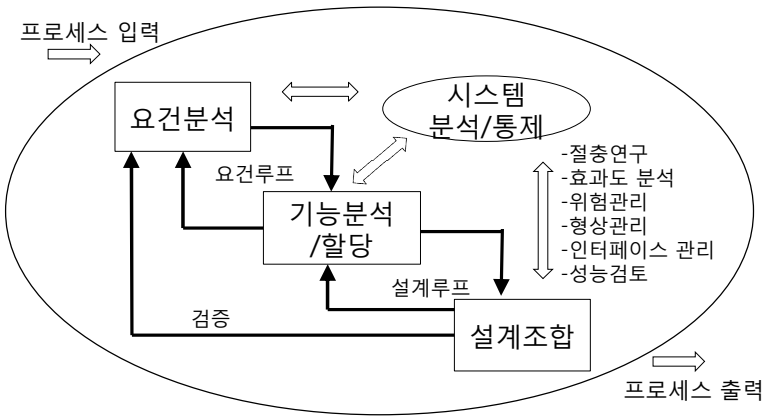


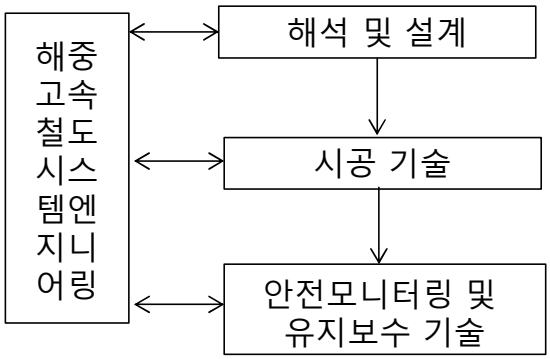
그림 6.3 설계 단계의 시스템엔지니어링 프로세스

2. 해중고속철도시스템 기술 개발을 위한 세부과제

○ 해중고속철도시스템의 수명주기(개념정의-설계-제작·시공-운영·유지보수-폐기)와 시스템

엔지니어링 프로세스(기술관리-자재획득-시스템설계-시스템구현-기술평가)를 고려하여 해중고속철도시스템 기술개발을 위해 세부과제는 다음의 그림과 같이 구성함

- “해중고속철도시스템엔지니어링” 과제는 시스템엔지니어링 관점에서 개념정의 및 요구조건 할당(Concept, System Definition, System Requirement, System Verification & Validation) 과정과 함께 전체 과정을 통합 조정하며, 그림 과 같은 시스템설계 과정을 포함함
- “해석 및 설계” 과제는 시스템엔지니어링 수명주기에서 “설계(Design)” 단계에 해당하는 과제로서 해중고속철도시스템의 설계를 위한 해석 및 시뮬레이션을 위한 요소기술을 개발하고 초기 및 상세설계기술을 개발함
- “시공 기술” 과제는 시스템엔지니어링 수명주기에서 “제작(Manufacturing), 설치(Installation)” 과정에 해당하는 과제로서 시공과 관련한 기술을 개발함
- “안전모니터링 및 유지보수 기술” 과제는 시스템엔지니어링 수명주기에서 “운영·유지보수(Operation & Maintenance)”에 해당하는 과제로서 안전모니터링은 해중고속철도의 안전성 확보를 위해 유지보수를 안전 모니터링에 근거하여 수행하기 위함이며 안전모니터링을 확장하여 “방재안전 및 유지보수 기술”로 과제를 수행할 계획임



과제	세부과제
장거리 부유식 해중고속철도시스템 기술	해중고속철도 시스템엔지니어링 기술
	해중고속철도 해석 및 설계 기술
	해중고속철도 시공 기술
	해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술

2절. 세부과제 우선 순위

1. 세부과제의 기술 수준 조사

- 해중고속철도시스템 기술 개발을 4개 분야의 기술 수준 조사 결과는 최고 기술보유국의 기술 수준을 100%라고 했을 때 다음의 그림 과 같음

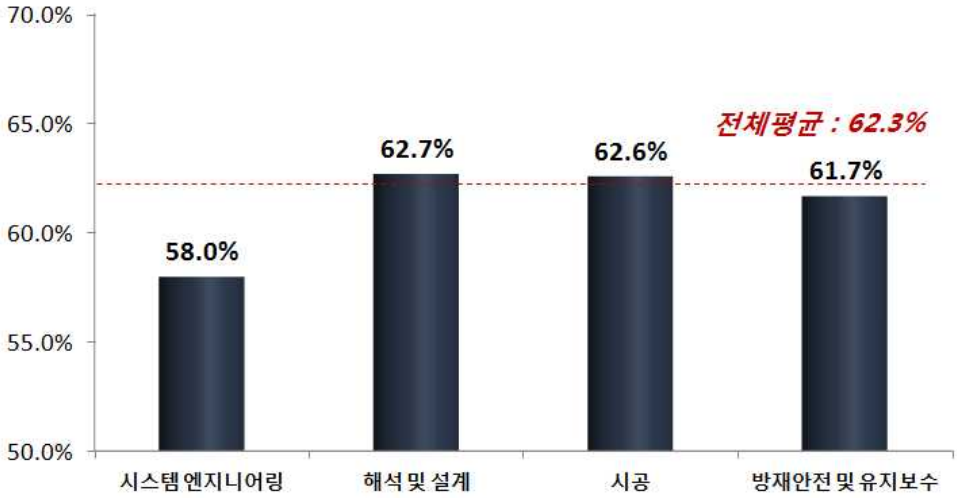


그림 6.4 중점분야별 기술수준

○ 해중고속철도시스템 기술 개발을 수행후 전문가들이 기대한 기술 수준 조사 결과는 다음의 표와 같고, 최고 기술선진국 대비 85.7%에 이를 것으로 전망됨

표 6.1 기술개발 기대수준 전문가 설문 조사

세부 과제	세세부 과제	평균(%)
해중고속철도 시스템 엔지니어링 기술	시스템 관리	85.0
	시스템 분석	85.5
	시스템 평가	84.6
	RAM 기술	83.2
	안전성 관리	85.0
해중고속철도 해석 및 설계 기술	해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술	89.1
	거동 제어 기술	85.5
	해중고속철도 설계 핵심 기술	88.9
해중고속철도 시공 기술	터널구조체 시공 기술	87.6
	테더링 시공 기술	84.6
	철도인프라 시공 기술	87.7
	시공관리기술	82.7
해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술	해중고속철도 방재안전 기술	86.8
	해중고속철도 건전성 평가 및 진단 기술 개발	87.7
	해중고속철도 유지보수 기술	81.4
평 균		**85.7**

2. 해중고속철도시스템엔지니어링 기술개발 주요 내용

가. 요소기술의 기술수준

○ 해중고속철도시스템엔지니어링 분야 요소기술을 수요조사를 통해 도출하고 설문조사를 통해 기술 수준을 파악해 보면 다음 표와 같음

표 6.2 시스템 엔지니어링 분야 요소 기술 수준

구분	요소기술	기술수준(%)
A1	해중철도 시스템 안전성 기준, 안전관리 지침 작성 및 시스템 검증, 안전성 관리 체계 수립	52.1
A2	해중철도 시스템의 위험도를 분석 및 안전성 평가 체계 구축	58.5
A3	해중고속철도 Sub시스템 및 핵심기능 도출, 모듈배치설계(안), 최적 철도시스템 설계 기술	63.3
평 균		58.0

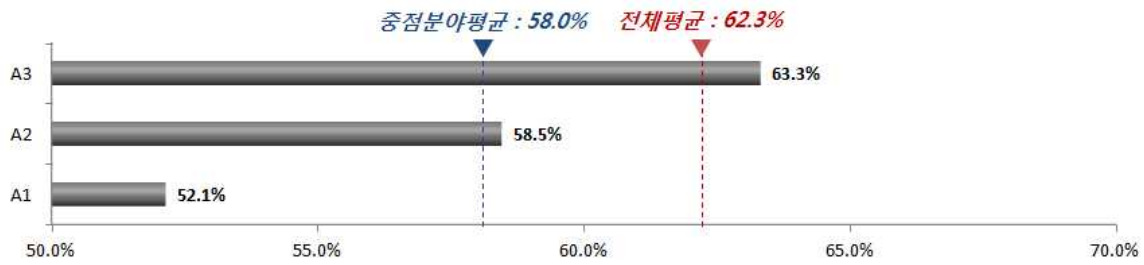


그림 6.5 시스템 엔지니어링 분야 기술수준

나. 정부 지원의 필요성

○ 해중고속철도는 교통인프라로서 사회간접자본이라 할 수 있으므로 정부가 개발과 건설을 주도할 필요가 있음

○ 해중고속철도는 세계적으로 실현된 사례가 없는 신개념의 교통시스템으로서 개발 성공에 대한 위험부담이 크고, 실용화까지는 상당한 시일이 소요되므로 민간에서 개발을 담당하기는 곤란함

○ 해중고속철도의 안전성 확보와 실용화를 위해서 기술개발에 소요되는 예산이 막대하므로 개별 기관이나 기업에서 부담하기는 어려우므로 정부 주도의 연구개발과 실용화 과

정의 추진이 필요함

- ○ 국내에서 호남-제주 구간 고속철도 운행에 대한 소요가 지속적으로 제기되고 있고, 한·중, 한·일 교역 규모가 나날이 증가하는 상황에서 육상 교통수단을 이용하여 대륙을 연결하고자 하는 수요가 꾸준히 제기되고 있음
- ○ 해저터널은 장거리가 될수록 버럭처리 등의 문제로 비용이 가파르게 증가하는 어려움이 있고 공사중에 누수등 사고 위험이 높은 문제가 있으며, 수심이 깊어질수록 시공의 한계가 있음
- ○ 고속철도는 항공기와는 달리 화석 연료를 사용하지 않는 친환경 교통수단이며, 해양을 통과하는 장거리 수송시스템이 되기 위해서는 해저터널이 아닌 경제적인 신 개념의 선로가 필요함
- ○ 심해의 원유 또는 가스를 운송하기 위한 해양 파이프라인은 건설 및 활용 사례가 풍부하여 관련 기술을 해중 고속철도에 적용할 수 있음
- ○ 부유식 해중터널은 해양 환경 하에서 동요의 가능성이 있으므로 고속철도의 운행을 위해서는 각종 안전성 확보 기술이 필요함
- ○ 세계 최고인 우리나라의 조선해양기술과 세계적 수준인 고속철도 기술을 접목하여 세계 선도적으로 부유식 해중고속철도 기술을 개발함으로써 세계 일류 철도 기술을 확보하여 세계시장을 선점할 필요가 있음
- ○ 해중고속철도시스템엔지니어링 분야의 기술 수준은 58%로서 선진국 대비 낙후되어 다분야의 기술수준 보다 상대적으로 낮음으로 정부의 지원에 의한 적극적인 기술 개발이 필요함

다. 세세부과제의 도출

- ○ 해중고속철도시스템의 설계프로세스를 참조하여 세세부과제를 도출하면 다음의 표 와 같음
- ○ 기술수준-중요도 조사결과를 토대로 4분면별 전략을 활용하여 과제 선정에 활용함
  - Draw(1사분면) : 연구개발 재원의 확보여부에 따라 해당되는 기술에 대해 적극적 투자를 통해 Bet 영역으로 이동을 검토해야하는 영역
  - Bet(2사분면) : 현재 시장이 형성중인 기술로서 해당되는 기술에 대한 투자/육성을 통해 포지션을 유지하는 것이 요구되는 영역
  - Fold(3사분면) : 기술개발의 포기 또는 감축을 고려해야 되는 영역
  - Cash In(4사분면) : 해당되는 기술은 현금화(기술이전, 판매) 또는 다른 영역과의 연계성을 전략적으로 고려하여 투자/지원을 결정해야하는 영역

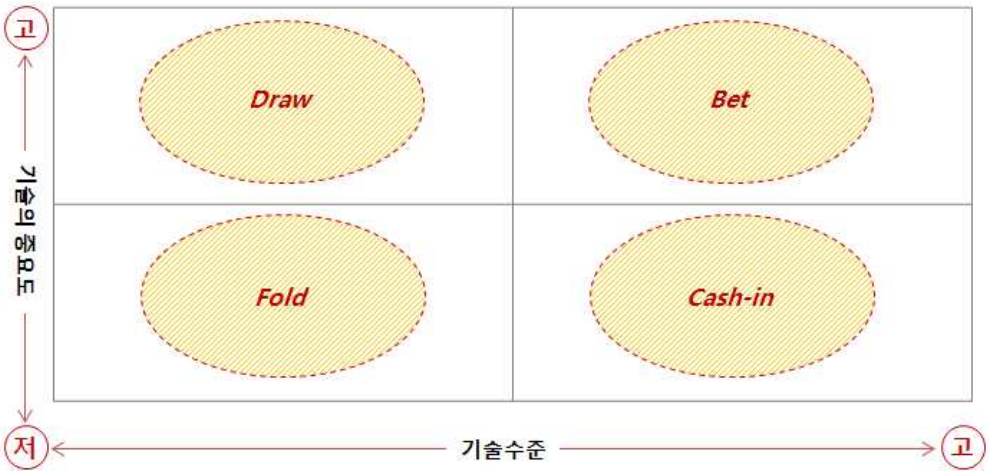


그림 6.6 기술수준-중요도 포트폴리오

○ 해중고속철도시스템엔지니어링 분야에서 기술수요조사 요소기술에 대한 기술수준-중요도 조사 결과는 다음의 표와 같고 Fold 영역은 없음

구분	예측 요소기술명
Draw	A1 : 해중철도 시스템 안전성 기준을 설정하고, 안전관리 지침을 작성하며, 시스템 확인 및 검증 체계를 수립하여 안전성 관리 체계를 수립한다. A2 : 해중철도 시스템의 위험도를 분석하고 안전성을 평가하는 체계를 구축한다.
Bet	A3 : 해중고속철도 sub시스템 및 핵심기능 도출에 따른 모듈배치설계(안), 해중시스템 최적철도차량 및 궤도시스템 기술을 개발한다.
Fold	-
Cash-in	-

○ 해중고속철도시스템엔지니어링 분야의 세세부과제를 도출하고, Fold 영역을 제외한 기술수요조사에 의한 요소기술를 연계시키면 다음의 표와 같음

세부 과제	세세부 과제	연구내용	수요조사
1. 해중고속철도시스템 엔지니어링 기술 개발	1-1 해중고속철도 시스템 관리	해중고속철도 시스템 엔지니어링 계획	
		해중고속철도시스템 통합 및 기술 관리	
	1-2 해중고속철도 시스템 분석	해중고속철도시스템 요구조건 분석 및 기준 개발	A1: 해중철도 시스템 안전성 기준, 안전관리 지침 작성 및 시스템 검증, 안전성 관리 체계 수립
		해중고속철도 시스템 기능 분석	A3: 해중철도 시스템의 위험도를 분석 및 안전성 평가 체계 구축
		해중고속철도 시스템 인터페이스 성능 연구	
	1-3 해중고속철도 시스템 설계	해중고속철도 시스템 절충연구	
		해중고속철도 시스템 설계	A3: 해중철도 시스템의 위험도를 분석 및 안전성 평가 체계 구축
	1-4 해중고속철도 시스템 평가	해중고속철도시스템 성능 및 검증 기준	
		해중고속철도시스템 시험 및 평가, 운영 기술 개발	
		해중고속철도 Life Cycle Cost 평가	
	1-5 해중고속철도 축소 모형 실증 시험	해중고속철도 축소 모형 설계 및 건설	
		해중고속철도 축소 모형 성능 검증 및 확인	
	1-6 해중고속철도 시스템 RAM 기술 개발	해중고속철도시스템 RAM 성능 해석	
		RAM 관리 및 평가	C10: 해양 환경에서 고속철도시스템의 고장모드 분석, 신뢰성 평가 및 향상 기술
	1-7 해중고속철도 시스템 안전성 관리 기술 개발	안전성 분석	A2: 해중철도 시스템의 위험도를 분석 및 안전성 평가 체계 구축
		안전성 평가 및 확보	

라. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

유사과제명	발주처	수행기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화방안
해저터널 기술	국토교통과학기술진흥원	고려대	대륙간, 도서간, 연육간을 연결하는 초장대(연장 50km)이상 고수압(최대 수심 200m)에 대응할 수 있는 해저터널 건설에 필요한 지반조사, 설계, 해석, 시공, 화재안전 및 유지관리 기술 개발	중복 없음	○	-고정식 지하 해저터널과 부유식 해중터널과는 지지방식과 건설 방식이 근본적으로 상이함 -화재안전 관리 분야는 장대터널 화재 안전 연구 결과를 활용할 수 있음
				연계 가능		
				고도화		
				중복 됨		

3. 해중고속철도 해석 및 설계 기술개발 주요 내용

가. 요소기술의 기술수준

○ 해중고속철도 해석 및 설계 분야 요소기술을 수요조사를 통해 도출하고 설문조사를 통해 기술 수준을 파악해 보면 다음 표와 같음

표 6.3 해석 및 설계 분야 요소기술 수준

구분	요소기술	기술수준(%)
B1	해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준 개발	65.3
B2	차량과 구조체의 상호작용을 고려한 고속철도의 안전 운행 설계 기준 개발	66.4
B3	해중고속철도 구조체의 계류시스템 설계기준과 수심 및 지반에 따른 앵커링 설계 기준 개발	60.0
B4	구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성 평가, 피로수명 증대를 위한 피로설계 기술	52.3
B5	해상 변전소의 배치 및 설계, 내구성능 향상기술	60.0
B6	유체-구조 상호작용을 고려하여 파랑과 해류가 공존하는 SFT(SubmergedFloatingTunnel)의 거동 해석 및 평가	62.9
B7	고속열차 주행시의 SFT의 거동을 분석 및 안전성 검증	64.2
B8	유체동력학적 특성을 고려한 SFT의 최적 형상 설계	62.0
B9	파랑과 해류 조건에서 SFT 거동 재현 상사모형시험 기술	60.0
B10	해중철도 구조체와 수중운항체의 유체 효과를 고려한 충돌 해석 및 단면 거동 평가 기술	64.3
B11	해중철도 구조체의 수중운항체 충돌 방지를 위한 신호시스템 및 방호시스템 기술	60.8
B12	수중폭발 하중 정의 및 수중폭발에 의한 SFT 거동 평가 기술	57.7
B13	해저 지진 데이터 확보 및 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중 규정 및 해저지진 관측망 기술	60.0
B14	해저환경에서 지진파의 반사, 회절, 굴절 과정에 대한 지반운동의 특성 평가 및 정량화 기술	63.3
B15	유체와 지반을 통해 발생하는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 고려한 SFT의 지진응답 해석 기법	65.0
B16	유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동해석 모델 개발	65.6
B17	SFT의 지진시 거동과 내진성능 검증을 위한 상사 모형시험 기술	61.3
B18	SFT의 육상 접합부의 내진성능 향상을 위한 보강 또는 유연구조 기술	64.6
B19	파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도 하중 및 주행을 고려하여 뷰유 구조물 거동을 포함한 주행 안전성 해석 및 설계 기술	65.0
B20	자기부상열차와 해중철도 구조체의 상호작용, 구조체 거동에 의한 동적 응답 특성 해석 기술	62.1
B21	SFT 구조체 내화 성능 확보를 위한 구조체 거동 분석, 화재열 차단 방법, 내화 재료 기술	63.8
B22	SFT의 거동에 따른 차량과 인프라의 상호작용을 시뮬레이션하여 고속열차의 주행안전성과 운행조건을 확보하기 위한 기술	60.8
B23	SFT 내 고속열차의 진동 및 소음 특성 시뮬레이션 및 방진 및 방음 설계 기술	64.2
평 균		**62.7**

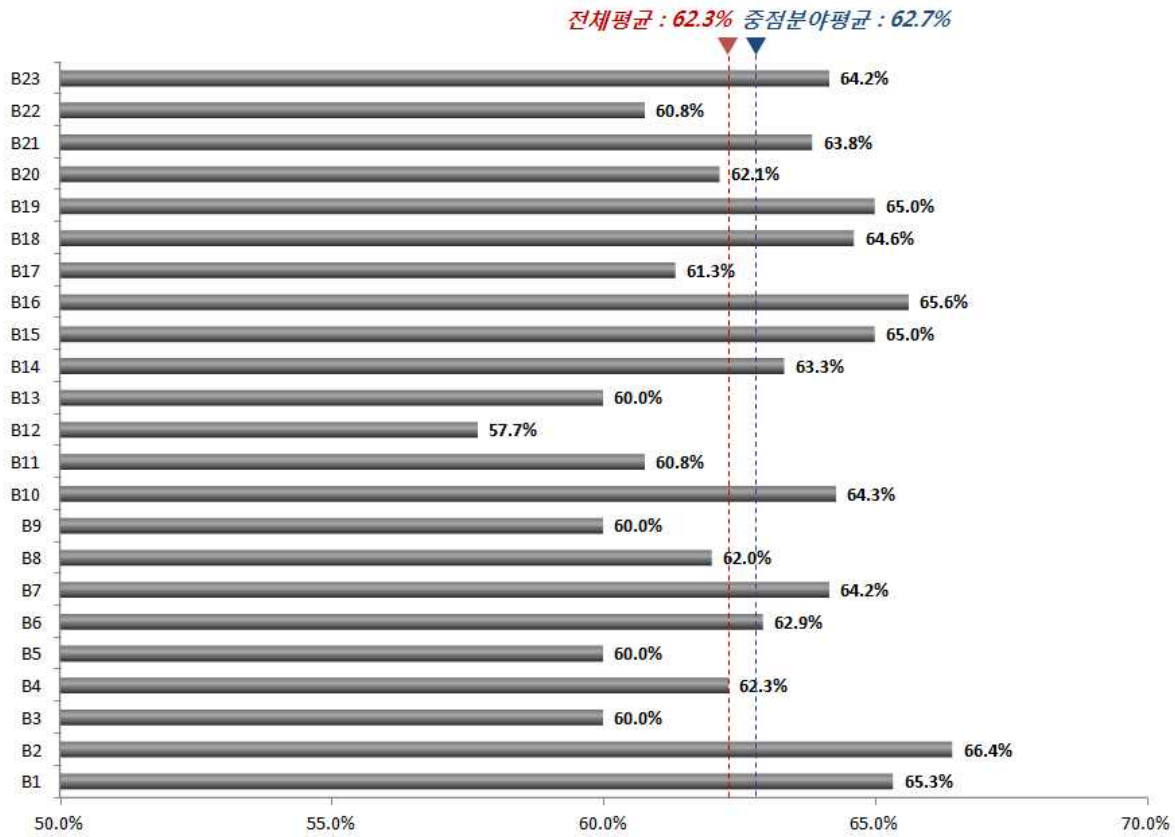


그림 6.7 해석 및 설계 분야 기술수준

나. 정부지원의 필요성

- ○ 해양플랜트기술과 건설기술의 발달에 따라 해중터널에 대한 많은 기술적인 문제를 해결할 수 있지만, 전세계적으로 건설된 사례가 없어 기존 기술에 대한 검증이 필요
- ○ 또한, 수중하중조합, 연결부 (모듈 연결부, 타 지지구조와의 연결부 등) 설계, 충돌해석 등 기존에는 이루어지지 않았던 주요 핵심 해석 및 설계기술들이 필요한 것으로 파악됨
- ○ 본 연구에서는 해중고속철도의 상용화를 위해 기존 조선공학과 토목공학의 기술의 조합과 새로운 핵심요소기술의 개발을 통해서 수중터널의 거동해석과 설계기술을 확보할 수 있음
- ○ 해수면 파도의 영향은 깊이에 따라 지수적으로 감소되므로 해중에서는 구조체가 안정적으로 위치할 수 있는 장점이 있음
- ○ 본 연구에서 개발하는 경제적인 연결 기술은 미래의 먹거리 창출을 위한 것으로 정부가 주도하고 산학연이 연구에 참여하여야만 성공적인 연구개발이 가능하고 이를 통해서 해외시장에서 기술적, 경제적 우위를 점할 수 있을 것으로 판단함
- ○ 본 연구는 필수적으로 토목, 조선, 해양, 기계 등의 다학제 간에 걸친 기술공유와 협업 그리고 산업계, 학계 그리고 연구소에 의한 공동 연구가 이루어져야 하므로 정부 주도

하에 연구개발사업이 진행되어야 성공적인 기술 개발이 가능함

○ 지진, 충돌, 폭발과 같은 비상상황에서 해중고속철도의 안전성을 확보하기 위해서는 설계 단계에서 검증과 평가가 필요하며, 많은 비용이 소요되는 실물 시험보다는 해석과 시뮬레이션에 의한 검증이 더 효과적임

다. 세세부과제의 도출

○ 해중고속철도시스템 해석 및 설계 분야에서 기술수요조사 요소기술에 대한 기술수준-중요도 조사 결과는 다음의 표와 같음

구분	예측기술명
Draw	B8 : 유체동력학적 특성을 고려하여 SFT의 최적 형상을 설계하는 기술을 개발한다. B11 : 해중철도 구조체의 수중운항체 충돌을 방지하기 위한 신호시스템 및 방호시스템을 개발한다. B12 : SFT의 외부 폭발하중에 대한 정의, 시스템 및 단면의 거동을 평가하는 기술을 개발한다. B22 : SFT의 거동에 따른 차량과 인프라의 상호작용을 시뮬레이션하고 고속열차의 주행안전성과 운행조건 확보를 위한 기술을 개발한다.
Bet	B1 : 해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준을 개발한다. B2 : 차량과 구조체의 상호작용을 고려하여 고속철도의 안전 운행을 위한 설계 기준을 개발한다. B4 : 구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성을 평가하고 피로수명 증대를 위한 피로설계 기술을 개발한다. B6 : 유체-구조 상호작용을 고려하여 파랑과 해류가 공존하는 SFT(SubmergedFloatingTunnel)의 거동을 해석하고 평가할 수 있는 기술을 개발한다. B7 : 고속열차 주행시의 SFT의 거동을 분석하고 안전성을 검증하는 기술을 개발한다. B10 : 해중철도 구조체의 수중운항체에 대한 유체와의 연계를 고려한 구조시스템 모델링 및 충돌시 단면의 거동 평가 및 안전성 향상 기술을 개발한다. B15 : 유체와 지반을 통해 발생하는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 고려한 SFT의 지진응답 해석기법을 개발한다. B19 : 고속철도의 주행안전성 확보를 위한 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도 하중 및 주행을 고려한 뷰유구조물 거동을 반영한 해석/설계기법을 개발한다. B21 : SFT 구조체 내화 성능 확보를 위한 구조체 거동 분석, 화재열 차단 방법, 내화 재료 기술을 개발한다. B23 : SFT를 주행하는 고속열차의 진동 및 소음 특성을 시뮬레이션하고 방진 및 방음 기술을 개발한다.
Fold	B3 : 해중고속철도 구조체의 계류시스템 설계기준과 수심 및 지반에 따른 앵커링설계 기준을 개발한다. B5 : 해상 변전소의 배치 및 설계, 내구성능 향상기술을 개발한다. B9 : 파랑과 해류 조건에서 SFT 거동을 재현할 수 있는 상사모형시험 기술을 개발한다.

	B13 : 우리나라의 해저지진환경 규명을 위해 우리나라의 수십년 동안 해저지진 데이터를 확보하여 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중을 규정하는 해저지진 관측망 기술을 개발한다. B17 : SFT의 지진시 거동과 내진성능 검증을 위해 상사 모형시험 기술을 개발한다. B20 : SFT를 운행하는 자기부상열차의 구조체와 상호작용, 구조체 거동에 의한 동적 응답 특성을 해석하는 기술을 개발한다
Cash-in	B14 : 해저환경에서 지진파가 해수층에서 반사되고 회절 및 굴절되는 과정에 대해 지반운동의 특성 평가 및 정량화 할 수 있는 기술을 개발한다. B16 : SFT의 지진에 대한 거동을 평가하기 위해 유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동해석 모델을 개발한다. B18 : SFT의 육상 접합부의 내진성능 향상을 위한 보강 또는 유연구조 기술을 개발한다.

○ 해중고속철도 해석 및 설계 분야 세세부과제를 도출하면 다음의 표 와 같음

○ 기술수요조사에 의한 요소기술은 세세부과제에 다음의 표와 같이 포함되어 있음

세부 과제	세세부 과제	연구내용	수요조사
2. 해중고속철도 해석 및 설계 기술 개발	2-1 해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발	거동 파랑, 해류, 해저지진, 쓰나미 등의 외력 평가/정량화/조합 기술외력에 의한 해중 구조체 거동 평가 기술	B4: 구조체 모듈 및 계류 접합부의 피로내구성 평가, 피로수명 증대를 위한 피로설계 기술 B13: 해저 지진 데이터 확보 및 우리나라 환경에 적합한 해저지진하중 규정 및 해저지진 관측망 기술 B14: 해저환경에서 지진파의 반사, 회절, 굴절 과정에 대한 지반운동의 특성 평가 및 정량화 기술 B15: 유체와 지반을 통해 발생하는 에너지 방사, 유체의 압축성, 해수로 포화된 지반의 영향을 고려한 SFT의 지진응답 해석 기법 B6: 유체-구조 상호작용을 고려하여 파랑과 해류가 공존하는 SFT(SubmergedFloatingTunnel)의 거동 해석 및 평가
		파랑 및 해류에 의한 거동 평가 기술	B9: 파랑과 해류 조건에서 SFT 거동 재현 상사모형시험 기술
		지진에 의한 거동 평가 기술	B16: 유체-구조물-기초-지반 상호작용을 고려한 지진거동해석 모델 개발 B17: SFT의 지진시 거동과 내진성능 검증을 위한 상사 모형시험 기술
		충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술	B10: 해중철도 구조체와 수중운항체의 유체 효과를 고려한 충돌 해석 및 단면 거동 평가 기술 B12: 수중폭발 하중 정의 및 수중폭발에 의한 SFT 거동 평가 기술
		화재에 대한 구조체 내화성능 평가 기술	B21: SFT 구조체 내화 성능 확보를 위한 구조체 거동 분석, 화재열 차단 방법, 내화 재료 기술
		차량-인프라 상호거동 평가 기술	B2: 차량과 구조체의 상호작용을 고려한 고속철도의 안전 운행 설계 기준 개발 B7: 고속열차 주행시의 SFT의 거동을 분석 및 안

			전성 검증 B19: 파랑, 해류, 부유력, 계류력, 고속철도 하중 및 주행을 고려하여 뷰유 구조물 거동을 포함한 주행 안전성 해석 및 설계 기술 B20: 자기부상열차와 해중철도 구조체의 상호작용, 구조체 거동에 의한 동적 응답 특성 해석 기술 B22: SFT의 거동에 따른 차량과 인프라의 상호작용을 시뮬레이션하여 고속열차의 주행안전성과 운행조건을 확보하기 위한 기술
	2-2 해중고속철도 거동 제어 기술 개발	구조체 횡방향 변위 저감 기술	
		구조체 지진하중 저감 기술	B18: SFT의 육상 접합부의 내진성능 향상을 위한 보강 또는 유연구조 기술
		열차 주행중 구조체의 진동/소음 저감 기술	B23: SFT 내 고속열차의 진동 및 소음 특성 시뮬레이션 및 방진 및 방음 설계 기술
	2-3 해중고속철도 설계 기술 개발	환경영향 평가 및 저감 설계 기술	B1: 해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준 개발
		터널 튜브 구조체 설계 기술	B1: 해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준 개발 B8: 유체동력학적 특성을 고려한 SFT의 최적 형상 설계
		계류시스템 설계 기술	B3: 해중고속철도 구조체의 계류시스템 설계기준과 수심 및 지반에 따른 앵커링 설계 기준 개발
		구조체 모듈 접합부 및 계류 접합부 설계 기술	B1: 해양 환경에 따른 설계하중기준, SFT 구조체 설계 기준, 구조체 모듈 접합부 및 구조체와 계류시스템 접합부 설계 기준 개발
		기초 및 지반 설계 기술	
		환기탑 및 정차역 설계 기술	
		해중고속철도 궤도 시스템 설계 기술	
		해중 전력시스템 설계 기술	B5: 해상 변전소의 배치 및 설계, 내구성능 향상기술
		해중고속철도 신호 시스템 설계 기술	B11: 해중철도 구조체의 수중운항체 충돌 방지를 위한 신호시스템 및 방호시스템 기술
		신소재 적용 구조요소의 설계 및 해석 기술	

라. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

유사과제명	발주처	수행기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화 방안
부유식 구조물 안전성 평가 개발	한국산학연협회	한양대학교 산학협력단	수리모형실험을 통한 부유식구조물의 소파성능 분석 파랑변형에 따른 유동장 관계해석 및 항만의 정온도 향상 LDV시스템을 이용한 부유식구조물의 와류강도 및 와의 거동 분석 고정식 부유식구조물 수리모형실험에 따른 다양한 학술적 이론 제시 수리모형실험을 통한 계류식 부유식구조물 에어챔버형 모형제작	중복없음 연계가능 고도화 중복됨	○	파랑, 해류, 해저지진 쓰나미 등의 외력평가/정량화/조합 기술 파랑 및 해류에 의한 거동 평가 기술 지진에 의한 거동 평가 기술
초대형 부유식 해상구조물 기술 개발	한국해양수산기술진흥원	한국해양연구원	구조 및 계류시스템 설계기술 개발 하부구조 설계기법 개발 하부구조 최적화 연구 및 최종강도 평가기법 개발 상부구조 설계기법 개발 상부시설물 안전성 평가기법 개발 및 최적구조시스템 구축연구 돌핀계류시스템 설계해석 기법 개발 구조 및 계류시스템 설계기술의 실증 구조물 설계 적용	중복없음 연계가능 고도화 중복됨	○	화재에 의한 구조체 내화성능 평가 기술 유체-구조체-지반-차량 상호 거동 평가 기술
초대형 컨테이너선용 하이브리드 안벽 기술 개발	한국해양수산기술진흥원	한국해양연구원	안벽 구조물 안정성 분석 장주기 운동에 따른 부유 구조물 안전성 분석 부체식 구조물 모달해석 기술, 균일 및 불균일 강성 구조물 유탄성 해석 기술	중복없음 연계가능 고도화 중복됨	○	구조체 횡방향 변위 저감 기술 구조체 지진하중 저감 기술 열차 주행 중 구조체의 진동/소음 저감 기술
부유구조물 파랑응답 해석기법 개발	과학기술부	한국기계연구원	부유식 해양구조물 안전성 확보를 위하여 파랑응답 해석기술 확보가 요구됨. 대형 복합구조물의 경우 비선형 파랑하중이 중요하며 이의 해석법 확보가 요구됨. 부유구조물 파랑하중/파랑응답 이론 해석기법 개발. 부유 계류구조물 파랑응답 모형시험 및 해석기법 개발. 대형부유구조물 유탄성 동적응답 해석기법 개발	중복없음 연계가능 고도화 중복됨	○	리스크 분석 및 저감 설계기술 터널 튜브 구조체 설계 기술 계류시스템 설계 기술
부유식 해양구조물에 관한 연구	과학기술처	울산대학교	한국근해의 초대형 해양부유구조물의 건설적지 선정 초대형 부유식 해양구조물의 유탄성 해석기법 개발 거대 해양구조물의 응력해석용 유한요소프로그램개발 보강판의 최종강도 추정식 개발 종골재 보강 원통의 충돌강도 실험연구 초대형 부유식 해양구조물의 거동에 대한 실험적 연구	중복없음 연계가능 고도화 중복됨	○	파랑, 해류, 해저지진 쓰나미 등의 외력평가/정량화/조합 기술 구조체 모듈 접합부 및 계류 접합부 설계기술 기초 및 지반 해석 및 설계기술 환기탑 및 정차역 설계 기술

4. 해중고속철도 시공 기술개발 주요 내용

가. 요소기술의 기술수준

○ 해중고속철도 시공 분야 요소기술을 수요조사를 통해 도출하고 설문조사를 통해 기술수준을 파악해 보면 다음 표와 같음

표 6.4 시공 분야 요소기술 수준

구분	요소기술	기술수준(%)
C1	수심별/지반조건별 계류시스템의 설치 및 앵커링 시공 공법	62.3
C2	사용년도별 해중철도 구조체 및 계류시스템의 방수 및 방식 시공 방법	60.0
C3	환기구조물 및 철도인프라의 모듈화 시공 기술	63.3
C4	SFT 구조체 모듈의 제작 및 해상조립 표준시공법	60.8
C5	해상 환경을 고려한 구조체 모듈의 운반 및 대기 과정, 수중 sinking된 구조체의 거동을 시뮬레이션하고 검증하는 기술	63.6
C6	앵커링(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공 기술(해저지반 준비, 설치 방법, 지지력 확보, 요구 장력 확보 등)	62.1
C7	- 설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/ HorizontalCapacityAnchor)에 따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술 -설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술	62.1
C8	Contigency plan에 포함될 Abandonment and Recovery Plan을 작성하기 위해 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공방안, 위치부표 및 위치추적 송수신 장치 기술	62.1
C9	ICT기반 SFT의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템 (Virtual Construction System)	67.7
C10	해양 환경에서 고속철도시스템의 고장모드 분석, 신뢰성 평가 및 향상 기술	65.4
C11	내염해성이 특화된 고성능 경량 콘크리트를 활용한 해중 부유체용 구조부재 제작 기술	64.2
평 균		62.6

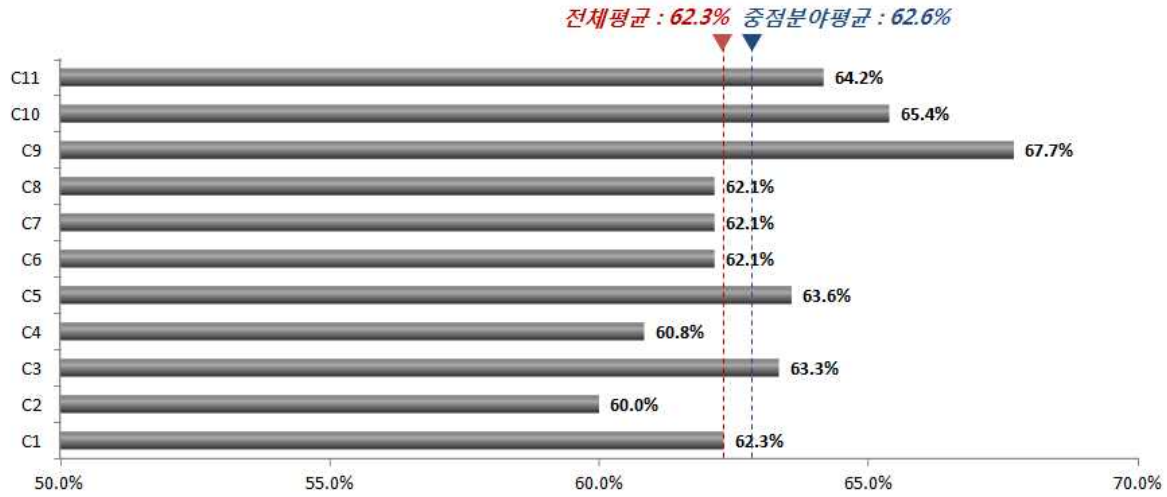


그림 6.8 시공 분야 기술수준

나. 정부지원의 필요성

- 해중고속철도를 이용한 장경간 해상교통로 확보를 위한 해중터널 건설이 실현되기 위해서는 경제성과 안전성의 확보가 우선되어야 하며 이를 위해서는 시공기술이 뒷받침되어야 가능함
- 해중고속철도 시스템은 세계적으로 최초로 개발되는 건설공법으로서 기존의 기술을 복합적으로 활용하고 새로운 재료와 공법을 도입한 기술향상을 통해서 실현이 가능함
- 해상 또는 해중 구조물 건설에 기존의 기술을 적용하는 것이 불가능한 것은 아니나, 건설비용이 과다하여 현실적이지 못하므로 경제적이면서 안전한 해중구조물의 시공기술 개발이 사업의 실현을 위해서 필수적임
- 해중고속철도는 육상에서 모듈형으로 제작하여 해상에서 조립한 후에 정해진 수심에 설치할 수 있으므로 공사기간과 비용이 대폭 감소될 수 있는 장점이 있음
- 본 연구에서 대상으로 하는 해중터널을 이용한 해중고속철도 시스템은 대륙간 또는 장경간을 연결하기 위해서 적용되는 대형 인프라건설 프로젝트에 적용됨
- 해중터널은 매우 혁신적이면서 도전적인 건설기술 분야로서 세계 최초로 개발되는 공법으로 실현에 많은 어려움이 있으나 조선과 건설분야에서 세계적인 강국인 우리나라의 기술의 융복합을 통해서 선점이 가능한 기술분야임
- 이처럼 선도적이면서 융복합이 필요한 세계최초 기술을 민간에서 주도하기에는 한계가 있으므로 정부의 견인에 의해서 신수종분야로 발전시켜 나가는 것이 타당함

다. 세세부과제의 도출

- 해중고속철도 시공 기술 분야에서 기술수요조사 요소기술에 대한 기술수준-중요도 조사 결과는 다음의 표와 같음

구분	예측기술명
Draw	C4 : SFT 구조체 모듈의 제작 및 해상조립 표준시공법을 개발한다.
Bet	C3 : 환기구조물 및 철도인프라의 모듈화 시공 기술을 개발한다. C5 : 해상 환경을 고려한 구조체 모듈의 운반 및 대기 과정, 수중 sinking된 구조체의 거동을 시뮬레이션하고 검증하는 기술을 개발한다.
Fold	C2 : 사용년도별 해중철도 구조체 및 계류시스템의 방수 및 방식 시공방법을 개발한다. C6 : 다양한 앵커링 방법(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공을 위해 해저지반 준비, 설치 방법, 지지력 확보, 요구 장력 확보 등 시공 기술을 개발한다. C7 : 설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/HorizontalCapacityAnchor)에따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술 및 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술을 개발한다. C8 : Contigency plan에 포함될 Abandonment and Recovery Plan을 작성하기 위해 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공방안, 위치부표 및 위치추적 송수신 장치 기술을 개발한다.
Cash-in	C1 : 수심별/지반조건별 계류시스템의 설치 및 앵커링 시공공법을 개발한다. C9 : ICT기반 SFT의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템(Virtual Construction System)을 개발한다. C10 : 해양 환경에서 고속철도시스템의 고정모드를 분석하고 신뢰성 평가 및 향상 기술을 개발한다. C11 : 내염해성이 특화된 고성능 경량 콘크리트를 활용한 해중 부유체용 구조부재를 개발한다.

○ 해중고속철도 기술 기술 분야 세세부과제를 도출하면 다음의 표 와 같음

○ 기술수요조사에 의한 요소기술은 세세부과제에 다음의 표와 같이 포함되어 있음

세부 과제	세세부 과제	연구내용	수요조사
3. 해중고속철도 시공 기술 개발	3-1 터널 구조체 시공 기술 개발	보강형의 모듈화 시공 기술	C3: 환기구조물 및 철도인프라의 모듈화 시공 기술
		보강형의 연속 시공 기술	
		모듈 및 타구조물 연결을 위한 시공 기술	C4: SFT 구조체 모듈의 제작 및 해상조립 표준 시공법
		시공중 구조물의 안정성 확보 기술	C5: 해상 환경을 고려한 구조체 모듈의 운반 및 대기 과정, 수중 sinking된 구조체의 거동을 시뮬레이션하고 검증하는 기술
		신소재를 이용한 구조체의 제작 및 시공 기술	C11: 내염해성이 특화된 고성능 경량 콘크리트를 활용한 해중 부유체용 구조부재 제작 기술
		터널구조체의 수중 시공기술	
	3-2 해중고속철도 테더링 시공 기	중력식 앵커 시스템의 시공 기술	C1: 수심별/지반조건별 계류시스템의 설치 및 앵커링 시공 공법 C6: 앵커링(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공 기술(해저지반 준비, 설치 방법, 지지

	술 개발		력 확보, 요구 장력 확보 등) C7: 설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/ HorizontalCapacityAnchor)에 따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술, 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술
		지중 고정식 앵커 시스템의 시공 기술	C6: 앵커링(중력식, piling, suction anchor 등)의 시공 기술(해저지반 준비, 설치 방법, 지지력 확보, 요구 장력 확보 등) C7: 설계되는 앵커고정 시스템의 크기(Tension/ HorizontalCapacityAnchor)에 따라, 설계된 Bucket이나 항타파일을 정해진 위치에 위치시키는 기술, 설계된 Bucket이나 항타파일을 소정의 관입깊이까지 설치하는 기술
		테더링을 위한 케이블의 시공 기술	C2: 사용년도별 해중철도 구조체 및 계류시스템의 방수 및 방식 시공 방법
		신소재를 이용한 테더링 시스템의 제작 및 시공 기술	
	3-3 해중고속철도 인프라 시공 기술 개발	전력 공급용 해상변전소의 시공 기술	
		해상 피난시설의 시공 기술(환기탑 포함)	
		에너지 하베스팅 시스템 및 시공 기술	
	3-4 해중고속철도 시공관리 기술 개발	정보화기반 시공관리 기술	C9: ICT기반 SFT의 시공 및 공정 저해요소 시각화 및 사전제거를 위한 가상건설시스템(Virtual Construction System)
		시공 위험관리기술	
		해저 터널 시공품질확보 기술	
		Critical Activity를 고려한 Contingency Plan 기술 개발	C8: Contigency plan에 포함될 Abandonment and Recovery Plan을 작성하기 위해 추가적인 Fixing용 Anchor Spread의 준비 및 시공방안, 위치부표 및 위치추적 송수신 장치 기술
		Abandonment & Recovery 기술 개발	

라. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

유사과제명	발주처	수행기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화방안
수중교량 핵심 요소의 설계 시작품 개발	산업기술연구회	한국건설기술연구원	수중교량의 동해석과 시공법에 관한 기초연구로서 기존 해석수단에 의한 간편 동해석이며 수중교량 압출 가능성에 대한 초기연구	중복 없음	○	범용프로그램을 이용하여 수중교량의 동적거동에 대한 기초적인 파악연구이므로 시공방법에 대한 연구로서 차별화 함
				연계 가능		
				고도화		
				중복됨		

5. 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술개발 주요 내용

가. 요소기술의 기술수준

○ 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 분야 요소기술을 수요조사를 통해 도출하고 설문조사를 통해 기술 수준을 파악해 보면 다음 표와 같음

표 6.5 방재안전 및 유지보수 분야 요소기술 수준

구분	요소기술	기술수준(%)
D1	SFT의 건전도 향상을 위한 구조물 계측 센서 및 장비개발, 앵커 케이블의 건전도 모니터링, 터널 본체의 취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술	61.7
D2	장거리 부유시 해중 고속철도시스템의 구조 및 재해특성 분석, 터널 내 화재 등 이상기류 감지시스템 개발, 지능형 제연시스템 기술	62.9
D3	SFT 비상환기구 최적 설계 기술, 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어시스템, 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술	60.7
D4	비상시 화재 및 침수의 급속 차단과 승객 대피 기술	63.1
D5	SFT 구조체 및 계류시스템의 유지보수를 위한 수중작업 기술	60.8
D6	SFT를 주행하는 고속열차의 탈선 방지 기술	60.8
평 균		61.7

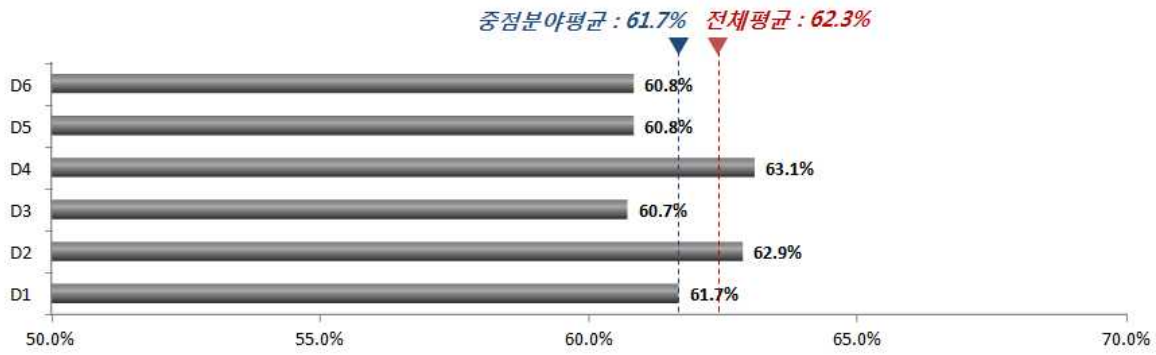


그림 6.9 방재안전 및 유지보수 분야 기술수준

나. 정부지원의 필요성

- ○ 해중고속철도는 일반 국민들이 이용하는 대중교통인프라로서 재난에 대비한 방재 시설과 안전성 확보가 극히 중요하며, 개발 단계부터 방재 안전에 대해 준비하여야 함
- ○ 부유식 해중터널은 파도, 충돌, 지진 등에 의해 횡동요와 이로 인한 탈선 등 사고의 위험이 있으므로 고속철도의 운행을 위해서는 가드레일 등 각종 안전성 확보 기술이 필요함
- ○ 해중에서 운행하는 잠수함 등과의 충돌로 인한 대형 사고의 발생 가능성이 있으므로 충돌 방지를 위한 신호시스템 및 방호 기술 개발이 필요함
- ○ 지진에 의한 해중철도 구조체의 파손 위험이 있으므로 내진 성능 확보와 구조체 진동 흡수 시설과 관련 연구가 필요함
- ○ 해중고속철도의 초기 건설비가 적게 소요된다고 해도, 과도한 유지보수 비용이 소요된다면, 수명주기 비용은 해저터널에 비해 많이 소요될 수 있으므로 유지보수의 효율화를 통한 비용 절감이 필요함
- ○ 해중에서 유지보수를 위해서는 인력으로 불가능한 경우가 많으므로 원격 제어 로봇이나 잠수정으로 작업을 해야 하고 이를 위한 핵심 기술이 개발되어야 함
- ○ 해중고속철도의 안전성 확보와 실용화를 위해서 기술개발에 소요되는 예산이 막대하므로 개별 기관이나 기업에서 부담하기는 어려우므로 정부 주도의 연구개발과 실용화 과정의 추진이 필요함

다. 세세부과제의 도출

○ 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술 분야에서 기술수요조사 요소기술에 대한 기술수준-중요도 조사 결과는 다음의 표와 같음

구분	예측기술명
Draw	D3 : SFT 비상환기구 최적 설계 기술, 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어시스템, 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술을 개발한다. D5 : SFT 구조체 및 계류시스템의 유지보수를 위한 수중작업 기술을 개발한다. D6 : SFT를 주행하는 고속열차의 탈선 방지 기술을 개발한다.
Bet	D2 : 장거리 부유시 해중 고속철도시스템의 구조 및 재해특성 분석, 터널 내 화재 등 이상기류 감지시스템 개발, 지능형 제연시스템을 개발한다. D4 : 비상시 화재 및 침수의 급속 차단과 승객 대피 기술을 개발한다.
Fold	D1 : SFT의 건전도 향상을 위해 구조물 계측 센서 및 장비개발, 앵커 케이블의 건전도 모니터링, 터널 본체의 취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술을 개발한다.
Cash-in	-

○ 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 분야 세세부과제를 도출하면 다음의 표 와 같음

○ 기술수요조사에 의한 요소기술은 세세부과제에 다음의 표와 같이 포함되어 있음

세부 과제	세세부 과제	연구내용	수요조사
4. 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술 개발	4-1 해중고속철도 방재 안전 기술 개발	충돌 방지시스템 기술	D1: SFT의 건전도 향상을 위한 구조물 계측 센서 및 장비개발, 앵커 케이블의 건전도 모니터링, 터널 본체의 취약부위 탐지 및 손상 탐지 모니터링 기술
		안전 모니터링	
		심해 부유식 구조체의 비상시 대처 기술	D6: SFT를 주행하는 고속열차의 탈선 방지 기술
		재난시 응급피난 메뉴얼 및 시스템 기술	
		해수에 의한 누수 급속 차단 및 대피 기술	
		화재시 터널 제연 시스템 설계 기술	D2: 장거리 부유시 해중 고속철도시스템의 구조 및 재해특성 분석, 터널 내 화재 등 이상기류 감지시스템 개발, 지능형 제연시스템 기술 D3: SFT 비상환기구 최적 설계 기술, 인공지능을 이용한 화재 연기 고립 및 연기 제어시스템, 레일 무빙 로봇을 이용한 실시간 화재 진압 기술 D4: 비상시 화재 및 침수의 급속 차단과 승객 대피 기술
	4-2 해중고속철도 건전성 평가 및 진단 기술 개발	건전성 및 내구성 평가	
		사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템	
	4-3 해중고속철도 유지보수 및 교체 기술 개발	구조체 유지보수 기술	
		철도 인프라 유지보수 기술	
		계류장치 및 기초 유지보수 기술	
		원격 제어 로봇 활용 기술	D5: SFT 구조체 및 계류시스템의 유지보수를 위한 수중작업 기술

라. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

유사과제명	발주처	수행기관	내용 및 주요기술	구분		활용 및 차별화방안
철도종합안전기술개발	건설교통평가원	한국철도기술연구원	-장대터널 화재안전설계 기술개발 -철도터널 승객 피난 최적설계 기법 연구 -철도 장대터널/구난역 화재 안전도 평가방	중복없음	○	-철도터널의 화재안전 위주의 연구이므로 화재 이외의 태풍, 충돌, 폭발, 지진 등이 해중에 있는 구조체에 미치는 영향 분석 및 안전 대책을 수립하는 본 연구과 차별성이 있음 -화재 안전 및 환기 시스템 기술은 적극적으로 활용
				연계가능		
				고도화		
				중복됨		

3절. 세부과제 우선순위 도출

1. 세세부과제 내용에 대한 우선 순위 설문 조사

○ 각 세부과제의 연구내용 중에서 Fold로 평가된 요소기술을 제외하고 하위 과제에 대한 우선 순위를 도출하기 위해 전문가들 대상 5점 척도로 필요성에 대해 설문조사를 수행하였음

○ 설문조사 결과 3점이하의 연구내용에 대해서는 필요성이 부족하다고 판단하여 연구내용에서 제외함

세부과제	세세부 과제	연구내용	척도평균
1. 시스템 엔지니어링 기술	1-1 시스템 관리	해중고속철도 시스템엔지니어링 계획	4.15
		해중고속철도시스템 통합 및 기술 관리	4.15
	1-2 시스템 분석	해중고속철도시스템 요구조건 분석 및 기준 개발	4.54
		해중고속철도 시스템 기능 분석 및 설계 조합	4.31
		해중고속철도 시스템 인터페이스 성능 연구	4.23
	1-3 시스템 평가	해중고속철도시스템 성능 및 검증 기준	4.08
		시험 및 평가, 운영 기술	4.15
		Life Cycle Cost 평가	3.69
	1-4 RAM 기술	RAM 성능 해석	4.00
		RAM 관리 및 평가	3.92

	1-5 안전성 관리	안전성 분석	4.69
		안전성 평가 및 확보	4.54
2. 설계 기술	2-1 외력 및 거동 시뮬레이션 기술	거동 파랑, 해류, 해저지진, 쓰나미 등의 외력 평가/정량화/조합 기술외력에 의한 해중 구조체 거동 평가 기술	4.38
		파랑 및 해류에 의한 거동 평가 기술	4.15
		지진에 의한 거동 평가 기술	4.00
		충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술	4.62
		화재에 대한 구조체 내화성능 평가 기술	4.00
		차량-인프라 상호 거동 평가 기술	4.00
	2-2 거동 제어 기술	구조체 횡방향 변위 저감 기술(텐션레그 또는 폰툰 최적화 관련)	4.15
		구조체 지진하중 저감 기술	3.92
		열차 주행중 구조체의 진동/소음 저감 기술(수동 구조 감쇠 시스템 등)	3.15
	2-3 설계 기술	환경영향 평가 및 저감 설계 기술	3.69
		터널 튜브 구조체 설계 기술	4.38
		계류시스템 설계 기술	4.69
		구조체 모듈 접합부 및 계류 접합부 설계 기술	4.69
		기초 및 지반 설계 기술	4.31
		환기탑 및 정차역 설계 기술	3.77
		해중고속철도 궤도 시스템 설계 기술	3.62
		해중 전력시스템 설계 기술	3.31
		해중고속철도 신호시스템 설계 기술	3.23
3. 시공 기술	3-1 구조체 시공 기술	보강형의 모듈화 시공 기술	4.00
		보강형의 연속 시공 기술	4.31
		모듈 및 타구조물 연결을 위한 시공 기술	4.23
		시공중 구조물의 안정성 확보 기술	4.00
		신소재를 이용한 구조체의 제작 및 시공 기술	3.46
		터널구조체의 수중 시공기술	4.31
	3-2 테더링 시공 기술	중력식 앵커 시스템의 시공 기술	3.54
		지중 고정식 앵커 시스템의 시공 기술	3.77
		테더링을 위한 케이블의 시공 기술	4.00
		신소재를 이용한 테더링 시스템의 제작 및 시공 기술	3.15

	3-3 철도인프라 시공 기술	전력 공급용 해상변전소의 시공 기술	3.00
		해상 피난시설의 시공 기술(환기탑 포함)	3.69
		에너지 하베스팅 시스템 및 시공 기술	2.77
	3-4 시공관리 기술	정보화기반 시공관리기술	3.08
		시공 위험관리기술	4.08
		해저 터널 시공품질확보 기술	3.62
		Critical Activity를 고려한 Contingency Plan 기술 개발	2.23
		Abandonment & Recovery 기술 개발	2.62
4. 방재 안전 및 유지보 수 기술	4-1 방재안전 기술	충돌 방지시스템 기술	4.15
		안전 모니터링	4.62
		심해 부유식 구조체의 비상시 대처 기술	4.15
		재난시 응급피난 메뉴얼 및 시스템 기술	4.08
		해수에 의한 누수 급속 차단 및 대피 기술	4.54
		화재시 터널 제연 시스템 설계 기술	3.62
	4-2 건전성 평가 및 진단	건전성 및 내구성 평가	3.85
		사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템	3.77
	4-3 유지보수 기술	구조체 유지보수 기술	4.23
		철도 인프라 유지보수 기술	3.77
		계류장치 및 기초 유지보수 기술	4.31
		원격 제어 로봇 활용 기술	3.23

7장. 세부 실행 계획

1절. 세부과제 기술개발 로드맵

1. 해중고속철도 시스템엔지니어링 기술 개발

가. 연구개발 목표

- ○ 수심 200m, 50km 이상 장거리 해중고속철도 시스템 구현을 위한 시스템엔지니어링 기술 개발
- ○ 200m 내외 해중고속철도 축소 모형 제작 및 기술 검증

나. 연구개발 필요성

- ○ 섬나라인 영국을 유럽 대륙과 육상으로 연결하기 위해 고속철도 유로스타가 영·불 해저터널을 운행하고 있음
- ○ 국내에서 호남-제주 구간 고속철도 운행에 대한 소요가 지속적으로 제기되고 있고, 한·중, 한·일 교역 규모가 나날이 증가하는 상황에서 육상 교통수단을 이용하여 대륙을 연결하고자 하는 수요가 꾸준히 제기되고 있음
- ○ 고속철도의 운행을 위한 해저터널의 건설은 오랜 기간과 막대한 비용을 요구하고 있어 각국 정부 투자의 적극적인 투자를 주저하게 하고 있음
- ○ 해저터널은 장거리가 될수록 버럭처리 등의 문제로 비용이 가파르게 증가하는 어려움이 있고 공사중에 누수등 사고 위험이 높은 문제가 있으며, 수심이 깊어질수록 시공의 한계가 있음
- ○ 해중고속철도는 육상에서 모듈형으로 제작하여 해상에서 조립한 후에 정해진 수심에 설치할 수 있으므로 공사기간과 비용이 대폭 감소될 수 있는 장점이 있음
- ○ 해수면 파도의 영향은 깊이에 따라 지수적으로 감소되므로 해중에서는 구조체가 안정적으로 위치할 수 있는 장점이 있음
- ○ 고속철도는 항공기와는 달리 화석 연료를 사용하지 않는 친환경 교통수단이며, 해양을 통과하는 장거리 수송시스템이 되기 위해서는 해저터널이 아닌 경제적인 신 개념의 선로가 필요함
- ○ 심해의 원유 또는 가스를 운송하기 위한 해양 파이프라인은 건설 및 활용 사례가 풍부하여 관련 기술을 해중 고속철도에 적용할 수 있음
- ○ 부유식 해중터널은 해양 환경 하에서 동요의 가능성이 있으므로 고속철도의 운행을 위해서는 각종 안전성 확보 기술이 필요함
- ○ 세계 최고인 우리나라의 조선해양기술과 세계적 수준인 고속철도 기술을 접목하여 세

계 선도적으로 부유식 해중고속철도 기술을 개발함으로써 세계 일류 철도 기술을 확보하여 세계시장을 선점할 필요가 있음

다. 연구 내용

○ 해중고속철도 시스템 관리
- 해중고속철도 시스템엔지니어링 계획
- 해중고속철도시스템 통합 및 기술 관리

○ 해중고속철도 시스템 분석
- 해중고속철도시스템 환경, 운영, 신뢰성, 안전 요구조건 분석
- 해중고속철도시스템 사양서 작성
- 해중고속철도시스템 구조체, 계류장치, 연결부, 고정식구조물, 궤도 설계기준 개발

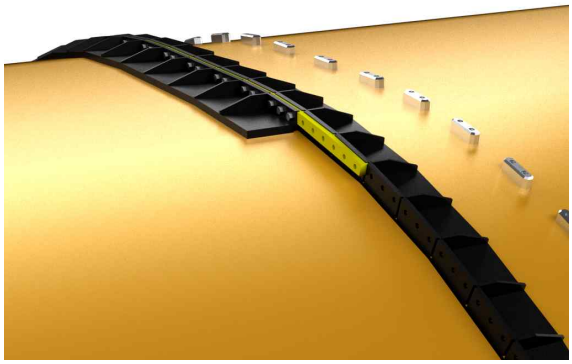


그림 7.1 모듈 연결부

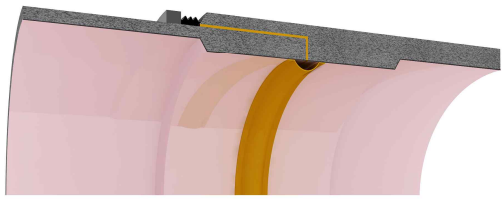
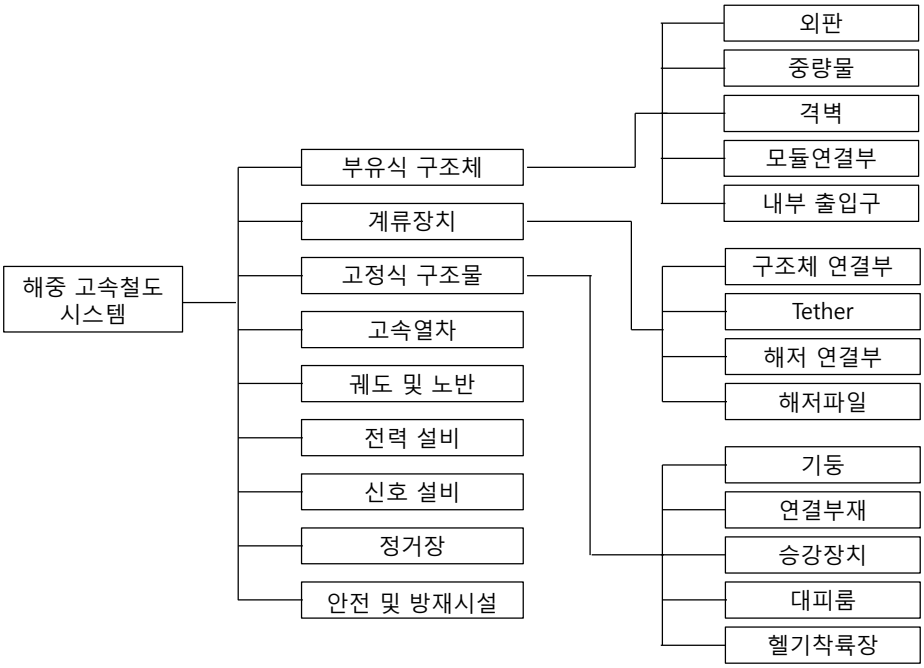


그림 7.2 연결부 방수구조

- 해중고속철도 시스템 분류 및 기능 분석



- 해중고속철도 시스템인터페이스(구조체/궤도/차량/전력) 성능 기준 연구

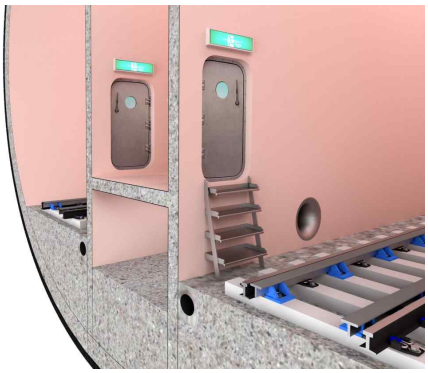


그림 7.3 구조체와 궤도 인터페이스

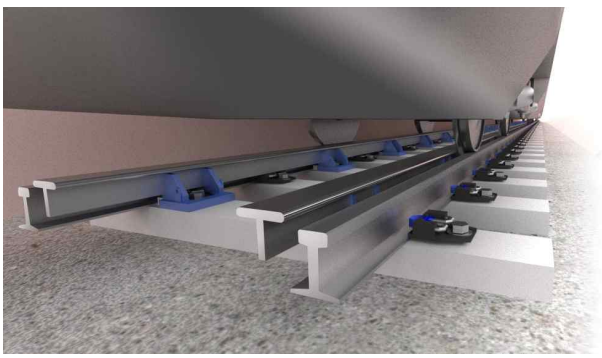


그림 7.4 탈선 방지 궤도

○ 해중고속철도 시스템 설계
- 해중고속철도 시스템 성능 변수 변경에 따른 절충연구
- 후보 노선 운행 가능한 해중고속철도시스템 개념설계

○ 해중고속철도 시스템 평가
- 해중고속철도시스템 성능 및 검증 기준 설정
- 해중고속철도시스템 시험 및 평가, 운영 기술 개발
- 해중고속철도시스템 성능 시험절차서 작성
- 해중고속철도 Life Cycle Cost 평가

○ 해중고속철도 축소 모형 실증 시험

- 해중고속철도 축소 모형 설계 및 건설
- 해중고속철도 축소 모형 성능 검증 및 확인

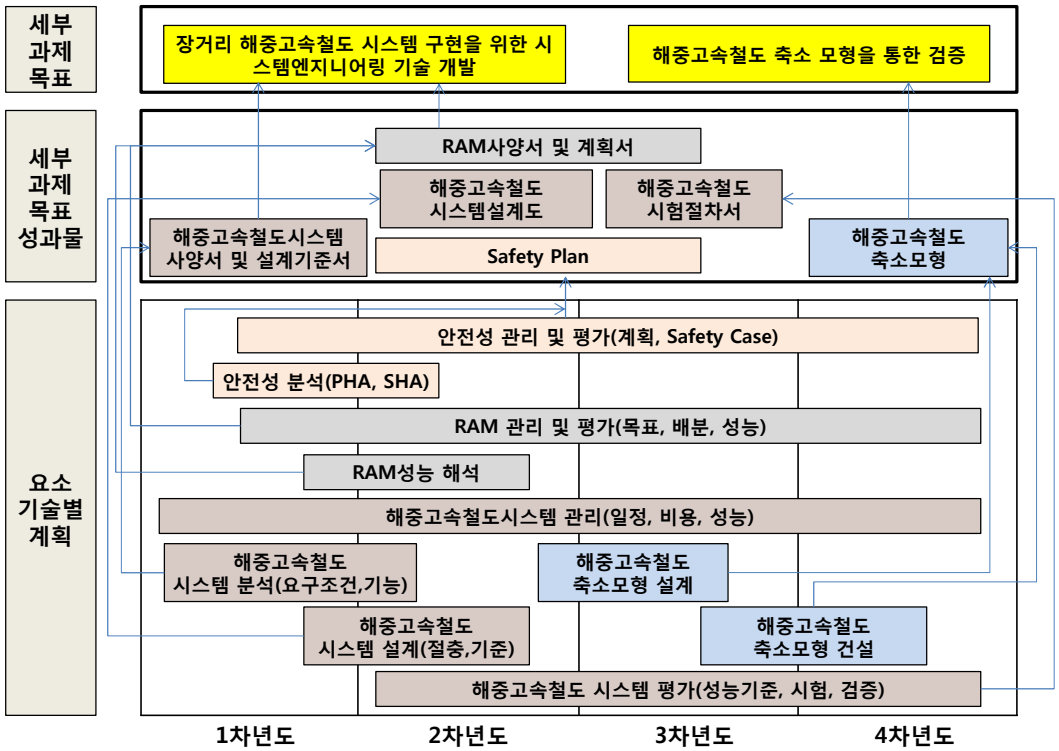
○ 해중고속철도 시스템 RAM(Reliability, Availability, Maintainability) 기술 개발

- 해중고속철도시스템 RAM 목표치 설정 및 배분
- 해중고속철도시스템 RAM 사양서 작성
- RAM 성능 해석
- RAM 관리계획서 작성
- RAM 성능 입증 계획 수립

○ 해중고속철도 시스템 안전성 관리 기술 개발

- 해중고속철도시스템 안전성 관리 계획 수립
- Preliminary Hazard List, Preliminary Hazard Analysis, Failure Mode Effect and Criticality Analysis
- System Hazard Analysis 안전성 분석
- Safety Case 준비

라. 기술개발 로드맵



마. 성과목표 및 지표

표 7.1 제1세부과제 성과 및 성과지표

세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
해중 고속철도 시스템 엔지니어링 기술	논문	학술지 게재 논문 건수	국내외 학술지 논문 게재 건수	건	2	연구비 규모 따른 학술적 성과
		학술회의 발표 논문건수(국내/국외)	국내외 학술회의에서 발표한 논문 건수	건	4	연구비 규모 따른 학술적 성과
	지적재산권 보유	특허출원 건수	특허출원 여부	건	10	예산대비 요구 실적
		특허등록 건수	특허등록 여부	건	5	출원 대비 적정 등록 실적
	표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	해중고속철도시스템 설계기준서	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
	시험 및 조사 관측 역량	시험/조사/관측 개발 실적	축소 실증모델 시험 평가 시스템 구축여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
	계획 설계 기술	설계도면 및 사양서 개발	설계도면	건	10	사업수행을 위한 필요 실적
			시스템사양서 및 RAM사양서 작성 여부	건	2	사업수행을 위한 필요 실적
	연구 시설 장비 구축 실적	연구시설 구축	축소 실증모델 구축 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
	연구 성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구성과 언론 홍보	건	1	시업 성과 홍보를 위한 필요 실적

표 7.2 제1세부과제 연차별 성과물

세부과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
해중고속철도시스템엔지니어링 기술 개발	학술발표 3 국내특허출원 2	국내학술지 게재 2 학술발표 3 국내특허출원 3 국내특허등록 1 설계도면 5 시스템사양서 1 RAM사양서 1	국내학술지 게재 2 학술발표 3 국내특허출원 3 국내특허등록 1 설계도면 5 설계기준서 1 시험평가시스템 1	국내학술지 게재 2 학술발표 3 국내특허출원 2 국내특허등록 2 축소 실증모델 1 연구개발 성과 홍보 1

바. 실용화 방안

세부과제	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
해중고속철도 시스템엔지니어링 기술 개발	해중고속철도시스템	국토해양부 지자체(전남도)	-해중고속철도를 포함한 호남~제주 구간 고속철도 건설에 대한 경제성 분석을 수행함 -경제성 분석 결과를 바탕으로 기획예산처, 국회 등의 협조를 얻어 SOC 투자 예산을 확보함 -호남~제주 구간 고속철도 건설을 추진함 -향후 한중, 한일 구간의 고속철도 건설을 추진함
	해중고속철도시스템 설계기준	설계사, 건설사	해중고속철도 설계 및 건설시 활용
	해중고속철도시스템 사양서	설계사, 건설사	
	해중고속철도 안전관리 지침	건설사, 운영사	해중고속철도 설계 및 건설, 운영시에 활용

사. 실증 축소모형 제작

○ 해중고속철도 실증 시험을 위한 축소모형의 건설을 위한 파이프라인 단면 및 계류시스템 기본계획을 수립하고, 개략 공사비를 산정하였음

○ 후보지로는 전남 진도와 해남 인근 해역을 중심으로 조사하였으며 1차로 총 7곳의 후보지를 선정하였으며, 아래 지도에 표시하였음



그림 7.5 실증시험용 축소모형 후보지

○ 실증시험 후보지의 주변 조건은 다음 표와 같음

표 7.3 실증시험 후보지 조건

후보지	길이	수심	양식장 유무	항로 유무
1	280m	8.0m	×	×
2	300m	8.0~16.8m	○	○
3	210m	5.7m	×	○
4	340m	8.3~13.0m	×	×
5	200m	9.6m	×	×
6	210m	9.6m	○	×
7	180m	4.2~19.2m	×	×

○ 실증모형의 기본 제원은 다음과 같음

- 섬 간 횡단거리 : 200.0m
- 총길이 : 202.4m
- 직경 : 2.0m(외경), 1.8m(내경)
- 자중 : 562톤(강재 350톤, 발라스트용 콘크리트 212톤)

- 부력 : 655톤
- 잉여부력 : 93톤
- 계류방식 : W형 양선 계류
- 앵커링 : 중력식 및 파일식 혼용

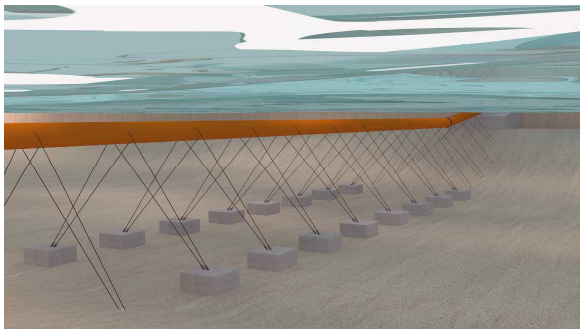


그림 7.6 축소 모형 조감도

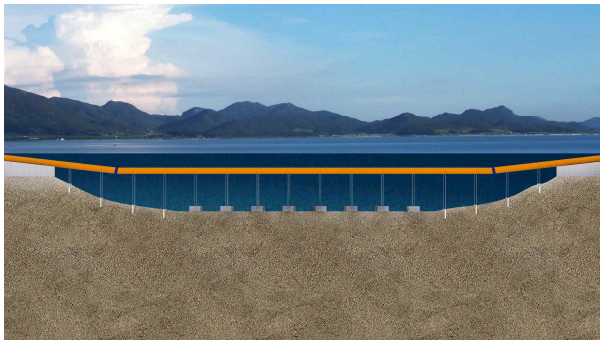


그림 7.7 축소모형 측면도

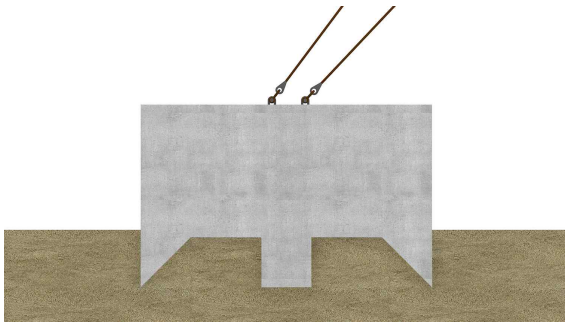


그림 7.8 중력식 기초

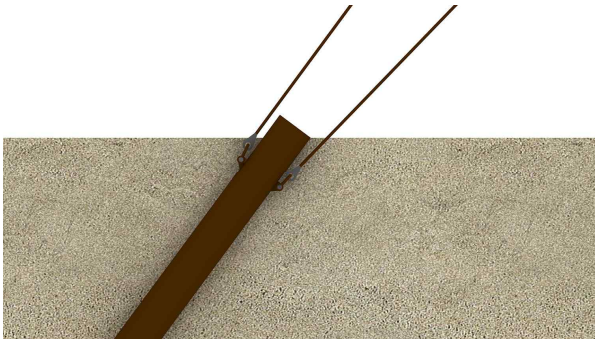


그림 7.9 파일식 기초

○ 실증모형내에는 레일-바이크 규모의 소형 차량이 운행할 수 있으며, 매립형 궤도를 적용하여 철제 차륜과 고무 바퀴가 함께 이동할 수 있게 함

- 차량 폭 : 1.3m
- 차량 높이 : 0.9m

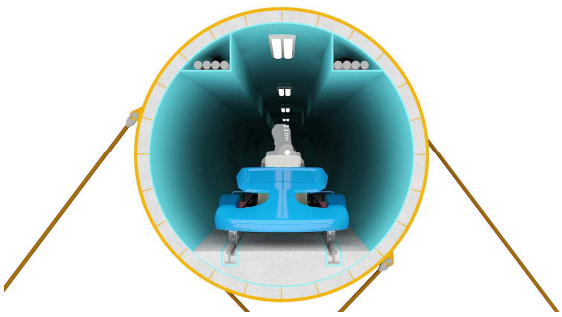


그림 7.10 축소모형 단면



그림 7.11 축소모형 진출입구

○ 터널 출입구에 소형 정거장을 설치하여 레일-바이크가 진출입할 수 있으며 해중철도 모형에 대해 해중 환경에서 성능 및 거동 시험을 할 뿐만 아니라 물자 수송용으로 활용할 수 있음

○ 실증시험용 축소모형을 건설하기 위한 소요 예산은 다음의 표와 같음

구 분		금 액(원)		비고
순공사원가	가설 공사 및 제작장 임대	재료비	1,649,203	
		노무비	1,595,371	
		경비	16,736,408	
		소계	19,981,000	
	터널 제작	재료비	607,936,842	13,556,000/m
		노무비	1,684,435,494	
		경비	486,659,139	
		소계	2,779,031,000	
	연결부공	재료비	93,941,232	
		노무비	4,882,916	
		경비	21,540,613	
		소계	120,365,000	
	부대공사 (터널 기초)	재료비	332,658,442	
		노무비	35,482,351	
		경비	67,457,486	
		소계	435,598,000	
	운반 및 설치공사	재료비	45,313,712	
		노무비	230,777,207	
		경비	353,237,386	
		소계	629,328,000	
	소 계	재료비	1,081,499,431	
		노무비	1,957,173,341	
		경비	909,245,721	
		소계	3,947,918,000	
간접비 및 부가세		894,309,000		
총 공사 및 설계비		4,842,227,000		

아. 법제도 및 하위규정의 개선사항

○ 철도의 건설, 운행과 안전에 관련된 법령은 “철도안전법 시행규칙(국토교통부령 제350호)”, “철도건설규칙(국토교통부령 제163호)”, “철도시설 안전기준에 관한 규칙(국토교통부령 제356호)”에 규정되어 있음

○ “철도건설규칙”에 따르면 “선로”란 차량을 운행하기 위한 궤도와 이를 받치는 노반 또는 인공구조물로 구성된 시설을 말하므로, 해중고속철도는 인공구조물로 구성된 시설로 정의할 수 있음

○ “철도건설규칙”에 따르면 해중고속철도의 구조체는 터널로 간주하여 관련 규칙을 적

용할 수 있음

- “철도시설 안전기준에 관한 규칙 제6조”에 따르면 “선로는 열차가 안전하게 주행할 수 있는 지지기반을 확보하여야 하며, 이를 유지·보수하는 데 지장이 없어야 한다”고 규정하고 있으므로 해중터널의 지지기반 안전성과 유지보수성에 대한 입증이 필요함
- 국내에서 해상에 설치 운영되는 구조물에 대해 효력을 갖는 규정은 한국선급의 “고정식 해양구조물 규칙”이라 할 수 있음
- “고정식 해양구조물 규칙”에 따르면 적용대상 구조물은 해저에 안착되거나 고정된 부양성 또는 비부양성 구조에 한정되는데, 해중철도는 계류삭으로 해저와 고정된 부양성구조물이므로 구조물에 한하여 대상이 될 수 있음
- 해중고속철도 구조체는 여객의 운송을 목적으로 설치된 구조물이므로 화재, 탈출, 안전 등의 규정이 보완되어야 함

2. 해중고속철도 해석 및 설계 기술 개발

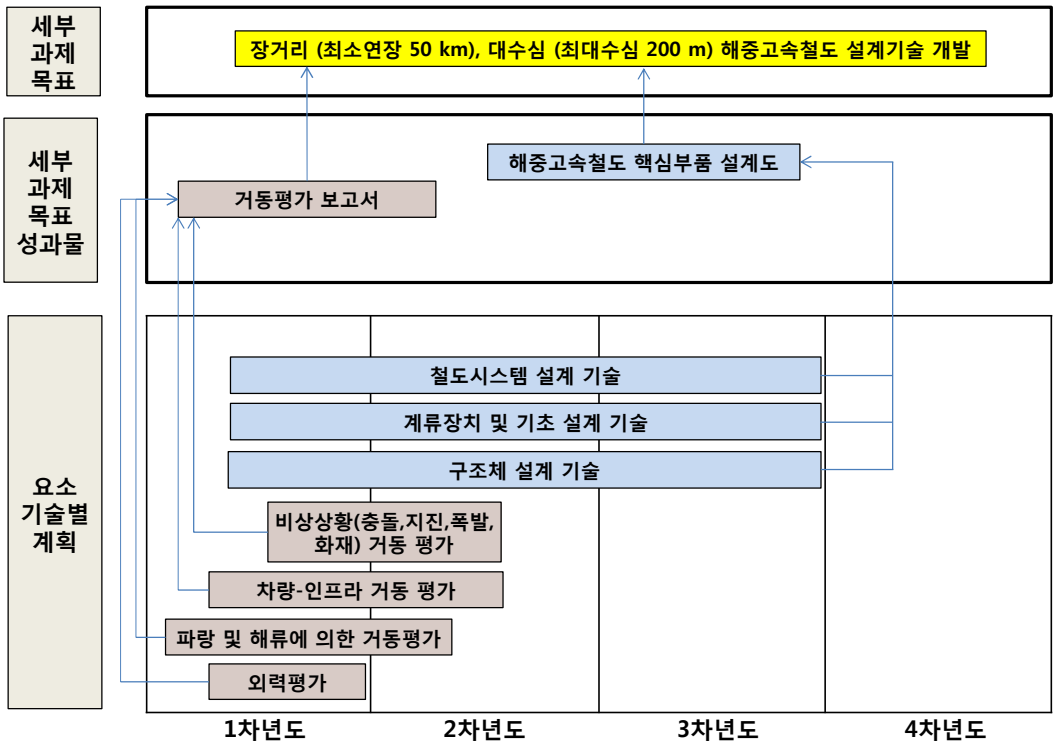
가. 연구개발 목표

- 해중고속철도의 건설을 위한 해석과 설계기술 개발
- 대수심 해저의 장경간 해상연결을 위한 경제적 공법과 관련된 해석 및 설계 기술
- 자연친화적인 해상연결 방안을 위한 구조물의 해석 및 설계 기법 마련

나. 연구개발 필요성

- 해양플랜트기술과 건설기술의 발달에 따라 수중터널에 대한 많은 기술적인 문제를 해결할 수 있지만, 전세계적으로 건설된 사례가 없어 기존 기술에 대한 검증이 필요
- 또한, 수중하중조합, 연결부 (모듈 연결부, 타 지지구조와의 연결부 등) 설계, 충돌해석 등 기존에는 이루어지지 않았던 주요 핵심 해석 및 설계기술들이 필요한 것으로 파악됨
- 본 연구에서는 해중고속철도의 상용화를 위해 기존 조선공학과 토목공학의 기술의 조합과 새로운 핵심요소기술의 개발을 통해서 수중터널의 거동해석과 설계기술을 확보할 수 있음

다. 기술개발 로드맵


세부 과제 목표
장거리 (최소연장 50 km), 대수심 (최대수심 200 m) 해중고속철도 설계기술 개발
세부 과제 목표 성과물
해중고속철도 핵심부품 설계도
거동평가 보고서
요소 기술별 계획
철도시스템 설계 기술
계류장치 및 기초 설계 기술
구조체 설계 기술
비상상황(충돌,지진,폭발, 화재) 거동 평가
차량-인프라 거동 평가
파랑 및 해류에 의한 거동평가
외력평가
1차년도
2차년도
3차년도
4차년도

라. 성과목표 및 지표

표 7.4 제2세부과제 성과 및 성과지표

세부과제	세세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
해중고속철도 해석 및 설계 기술 개발	해중철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	15	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	30	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	7	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	5	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	설계지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		기술이전/거래	기술이전 건수	사업화를 위한 기술이전 건수	건	3	실시기업 확보 필요
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	3	연구개발 홍보 통한 기술력 홍보 필요
	외력 및 거동 제어 기술	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	5	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	10	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	8	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		비용절감 효과	공사비용 절감효과	현장적용에 의한 비용절감 효과	%	5	사업화 가능성 타진
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	1	연구개발 홍보 통한 기술력 홍보 필요
	해중고속철도 설계 기술 개발	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	15	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	20	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	5	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	설계지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	3	연구개발 홍보 통한 기술력 홍보 필요

표 7.5 제2세부과제 연차별 성과물

세부과제	세세부과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
구조시스템 해석 및 설계 기술 개발	외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발	국내학술지 1 학술발표 5	국내학술지 2 학술발표 7 국내특허출원 2 소프트웨어등록 1	국내학술지 5 학술발표 8 국내특허출원 3 소프트웨어등록 2 연구홍보 및 기사 1	국내외학술지 5 학술발표 7 국내특허출원 2 실용신안 출원 1 소프트웨어등록 2 설계지침 1 연구홍보 및 기사 2	국내외학술지 2 학술발표 3
	거동제어 기술 개발	학술발표 2 국내특허출원 1	국내학술지 1 학술발표 2 국내특허출원 2	국내학술지 2 학술발표 3 국내특허출원 3 비용절감 1	국내외학술지 1 학술발표 2 국내특허출원 2 실용신안 출원 1 소프트웨어등록 1 연구홍보 및 기사 1	국내외학술지 1 학술발표 1
	구조시스템 설계 기술 개발	국내학술지 1 학술발표 3	국내학술지 2 학술발표 5 국내특허출원 2	국내학술지 5 학술발표 5 국내특허출원 2 연구홍보 및 기사 1	국내외학술지 5 학술발표 5 국내특허출원 1 실용신안 출원 1 소프트웨어등록 1 설계지침 1 연구홍보 및 기사 2	국내외학술지 2 학술발표 2

마. 실용화 방안

세부과제	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
해중고속철도 해석 및 설계기술 개발	파랑, 조류, 해류, 해저지진, 쓰나미 등의 외력 평가/정량화/조합 방법 및 지침	설계사, 건설사,	해중터널 구조시스템 해석 매뉴얼로 활용 해중터널 구조시스템 설계가이드라인으로 활용
	파랑 및 조류에 의한 거동 평가 방법 및 지침	설계사, 건설사	
	지진에 의한 거동 평가 방법 및 지침	설계사, 건설사	
	충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 방법 및 지침	설계사, 건설사	
	화재에 대한 터널구조체 내화성능 평가 방법 및 지침	설계사, 건설사	
	차량-인프라 상호 거동 평가 방법 및 지침	설계사, 건설사,	
	터널구조체 횡방향 변위 저감 방법 및 지침	설계사, 건설사	해중터널 설계 시의 대안 구조시스템으로 반영
	터널구조체 지진하중 저감 방법 및 지침	설계사, 건설사	
	열차 주행 중 터널구조체의 진동/소음 저감 방법 및 지침	설계사, 건설사	
	환경영향 평가 및 저감 설계 방법 및 지침	설계사, 건설사	해중터널 구조시스템 설계가이드라인으로 활용
	터널 구조체 설계도	설계사, 건설사,	
	계류시스템 설계도	설계사, 건설사	
	연결부 (모듈, 계류부, 타 구조와의 접속부)의 설계도	설계사, 건설사	
	기초 및 앵커 설계도	설계사, 건설사	
	환기탑 및 정차역 설계도	설계사, 건설사	
	궤도시스템 설계도	설계사, 건설사	
	전력시스템 설계도	설계사, 건설사	
	신호시스템 설계도	설계사, 건설사	
	신소재 적용 구조요소의 해석 및 설계 방법 및 지침	설계사, 건설사	

3. 해중고속철도 시공 기술 개발

가. 연구개발 목표

○ 기존 기술을 이용한 해중터널 대비 20% 이상 건설비 절감이 가능한 시공기술 개발
○ 기존 기술을 이용한 해중터널 시공기간 대비 80%이하의 급속시공기술 개발
○ 기존 구조체 대비 50%이상의 내구성 확보가 가능한 시공기술 개발

나. 연구개발 필요성

○ 해중고속철도를 이용한 장경간 해상교통로 확보를 위한 해중터널 건설이 실현되기 위해서는 경제성과 안전성의 확보가 우선되어야 하며 이를 위해서는 시공기술이 뒷받침되어야 가능함
○ 해중고속철도 시스템은 세계적으로 최초로 개발되는 건설공법으로서 기존의 기술을 복합적으로 활용하고 새로운 재료와 공법을 도입한 기술향상을 통해서 실현이 가능함
○ 해상 또는 해중 구조물 건설에 기존의 기술을 적용하는 것이 불가능한 것은 아니나, 건설비용이 과다하여 현실적이지 못하므로 경제적이면서 안전한 해중구조물의 시공기술 개발이 사업의 실현을 위해서 필수적임

다. 연구개발 내용

○ 해중터널 구조체 시공 기술 개발
- 구조체의 모듈화 시공 기술: 모듈화 대블럭 구조체의 제작, 운반, 침설, 조립과 관련된 장비의 개발을 포함한 기계화 시공기술
- 구조체의 연속 시공 기술: 해상기후의 영향이 최소화되어 공기단축과 경제성이 획기적으로 향상될 수 있는 연속타설 공법으로 부력/자중의 제어를 포함한 제작, 이송, 안정화 시공기술
- 모듈 및 타구조물 연결을 위한 시공 기술: 대블럭 모듈간 또는 타 구조물(환기탑, 지중터널, 침매터널 등)과의 연결부의 제작, 시공 및 성능검증 기술
- 시공중 구조물의 안정성 확보 기술: 구조체의 모듈화와 연속화 시공시 구조물의 수중 또는 해상에서의 안정성 확보를 위한 장비개발을 포한한 관리, 제어 관련 기술
- 신소재를 이용한 구조체의 제작 및 시공 기술: 구조체의 내구성을 획기적을 향상시키면서 시공성의 확보가 가능하도록 신소재를 활용한 복합체 제작, 조립, 시공 기술
- 구조체의 수중 시공기술: 대블럭 또는 연속체 구조체의 시공과 주요장치들의 조립을 위한 수중작업 장비의 개발을 포함한 대수심 시공 기술

○ 해중터널 고정 및 앵커링 기술 개발
- 중력식 앵커 시스템의 시공 기술: 여타의 공법으로 고정 앵커링이 확보되지 않는 자

중을 활용환 심해용 앵커 시스템의 개발과 관련 시공기술

- 지중 고정식 앵커 시스템의 시공 기술: 석션파일, 직접드릴링 등 해저지반에 설치될 수 있는 고정식앵커 시스템의 시공기술
- 테더링을 위한 케이블의 시공 기술: 구조체를 수중에 고정시키기 위한 텐션레그방식의 테더링을 위해서 설치되는 케이블의 제작, 조립 및 시공기술로서 유지관리가 고려되어야 함
- 신소재를 이용한 앵커링 시스템의 제작 및 시공 기술: FRP, 특수합금 등 신소재를 적용하여 내구성이 확보되고 유지관리성이 크게 향상될 수 있는 앵커링 시스템의 제작, 조립, 시공기술

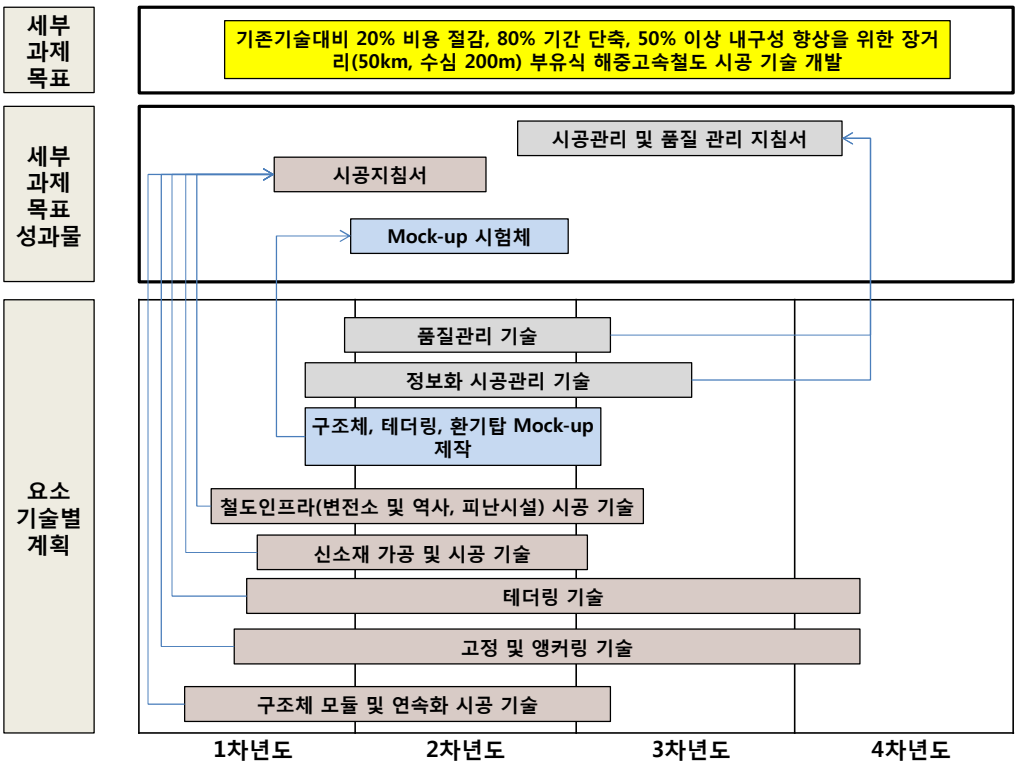
○ 해중고속철도 지원시설 시공 기술 개발

- 전력 공급용 해상변전소의 시공 기술: 장거리 해중터널을 통과하는 고속열차와 운영 및 유지관리를 위해서 필요한 전력 공급을 위해서 설치되어야 하는 해상 또는 해중변전소의 시공기술
- 해상 피난시설의 시공 기술(환기탑 포함): 환기와 비상시 승객대피를 위해서 설치되어야 하는 환기탑과 비상시 터널내부에서 이용될 수 있는 피난시설의 제작과 시공 기술

○ 해중고속철도 시공관리 기술 개발

- 정보화기반 시공관리기술: 해중터널이 건설되는 지역의 기상, 해상, 해저지반 그리고 지진 등의 정보를 활용한 종합 시공관리 기술
- 시공 위험관리기술: 심해와 해상에서 수행되는 해중터널의 시공중에 발생할 수 있는 위험요소를 최소화 시키고 제어할 수 있는 시공관리기술
- 해중 터널 시공 품질확보 기술: 가혹한 환경조건에서 시공되는 해중터널의 구조체, 앵커링, 연결부 등의 시공시 품질 확보를 위한 공정관리 기술

다. 기술개발 로드맵



라. 성과목표 및 지표

표 7.6 제3세부과제 성과 및 성과지표

세부과제	세세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
해중고속철도 시공 기술 개발	터널함체 의 시공기술 개발	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	4	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	8	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		표준	표준/기준의 규정/지침 편람/시방서화	제작 및 시공 지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	4	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	4	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	4	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		비용절감 효과	공사비용 절감효과	현장적용에 의한 비용절감 효과	%	20	사업화 가능성 타진(타공법 적용대비)
		기술이전/거래	기술이전 건수	사업화를 위한 기술이전 건수	건	3	실시기업 확보 필요
		연구성과 확산 노	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	4	연구개발 홍보를 통한 기술력 홍보 필요

세부과제	세세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
		력					
	지지 및 계류 시스템의 시공기술 개발	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	4	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	8	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	제작 및 시공 지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	3	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	2	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	3	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		비용절감 효과	공사비용 절감효과	현장적용에 의한 비용절감 효과	%	10	사업화 가능성 타진(타공법 적용대비)
		기술이전/거래	기술이전 건수	사업화를 위한 기술이전 건수	건	3	실시기업 확보 필요
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	4	연구개발 홍보를 통한 기술력 홍보 필요
	철도인프라 시공기술 개발	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	2	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	4	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	제작 및 시공 지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	2	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	2	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	2	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
		비용절감 효과	공사비용 절감효과	현장적용에 의한 비용절감 효과	%	20	사업화 가능성 타진(타공법 적용대비)
		기술이전/거래	기술이전 건수	사업화를 위한 기술이전 건수	건	2	실시기업 확보 필요
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	2	연구개발 홍보를 통한 기술력 홍보 필요
	시공관리 기술 개발	논문	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	2	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
			학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	4	기초기술로 기술의 학술가치 인정 필요
		표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	시공 지침의 작성	건	1	실용화 기반확보를 위한 지침 작성
		지적재산권 보유	특허출원/등록 건수	특허출원/등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			실용신안 출원/등록 건수	실용신안 출원/등록 여부	건	1	기술선점을 통한 사업화 기반 획득
			프로그램 등록	프로그램 등록 여부	건	4	기술선점을 통한 사업화 기반 획득

세부과제	세세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
		기술이전/거래	기술이전 건수	사업화를 위한 기술이전 건수	건	1	실시기업 확보 필요
		연구성과 확산 노력	연구개발 관련 홍보	연구개발 홍보 건수	건	1	연구개발 홍보를 통한 기술력 홍보 필요

표 7.7 제3세부과제 연차별 성과물

세부과제	세세부과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
해중터널의 경제적 시공기술 개발	터널구조체의 시공기술 개발	학술발표 국내특허출원 실용신안 출원 소프트웨어등록	국내학술지 학술발표 국내특허출원 실용신안 출원 소프트웨어등록 연구홍보 및 기사	국내학술지 학술발표 제작 및 시공 지침 국내특허등록 실용신안 등록 소프트웨어등록 비용절감 기술이전 연구홍보 및 기사	국내학술지 학술발표 제작 및 시공 지침 국내특허등록 실용신안 등록 기술이전 연구홍보 및 기사
	지지 및 계류 시스템의 시공기술 개발	학술발표 국내특허출원 실용신안 출원 소프트웨어등록	국내학술지 학술발표 국내특허출원 실용신안 등록 소프트웨어등록 연구홍보 및 기사	국내학술지 학술발표 제작 및 시공 지침 국내특허등록 소프트웨어등록 비용절감 기술이전 연구홍보 및 기사	국내학술지 학술발표 제작 및 시공 지침 기술이전 연구홍보 및 기사
	지원시설의 시공기술 개발	학술발표 국내특허출원 실용신안 출원 소프트웨어등록	국내학술지 학술발표 국내특허등록 실용신안 등록 소프트웨어등록	국내학술지 학술발표 제작 및 시공 지침 비용절감 기술이전 연구홍보 및 기사	학술발표 제작 및 시공 지침
	시공관리 기술 개발	제작 및 시공 지침 소프트웨어등록	국내학술지 학술발표 제작 및 시공 지침 국내특허출원 실용신안 출원 소프트웨어등록	국내학술지 학술발표 제작 및 시공 지침 소프트웨어등록	학술발표 제작 및 시공 지침 소프트웨어등록

마. 실용화 방안

세부과제	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
해중고속철도 시공 기술 개발	구조체의 모듈화 시공지침	건설사	시공시 지침의 적용
	연속구조체 시공지침	건설사	시공시 지침의 적용
	연결부 시공지침	건설사	시공시 지침의 적용
	신소재의 가공 및 시공 지침	건설사	시공시 지침의 적용
	모듈화 Mock-up 시험체	건설사	시공시 예상되는 문제점 해결을 위한 기초 자료로 수요사에 제공됨
	연속화 Mock-up 시험체	건설사	시공시 예상되는 문제점 해결을 위한 기초 자료로 수요사에 제공됨
	구조체시공 관련 S/W	건설사	기술협약에 의한 기술 제공
	구조체시공 관련 특허	건설사	기술협약에 의한 기술 제공
	중력식 앵커의 시공지침	건설사	시공시 지침의 적용
	지중 고정식 앵커 시스템의 시공지침	건설사	시공시 지침의 적용
	테더링 케이블의 시공지침	건설사	시공시 지침의 적용
	테더링용 신소재의 가공 및 시공 지침	건설사	시공시 지침의 적용
	테더링 시스템의 Mock-up 시험체	건설사	시공시 예상되는 문제점 해결을 위한 기초 자료로 수요사에 제공됨
	고정 및 정착 관련 S/W	건설사	기술협약에 의한 기술 제공
	고정 및 정착 관련 특허	건설사	기술협약에 의한 기술 제공
	해상 변전소의 시공 지침	건설사	시공시 지침의 적용
	해상 피난시설의 시공 지침	건설사	시공시 지침의 적용
	환기탑의 Mock-up 시험체	건설사	시공시 예상되는 문제점 해결을 위한 기초 자료로 수요사에 제공됨
	지원시설 관련 특허	건설사	기술협약에 의한 기술 제공
	정보화 기반 시공 관리 지침	건설사	시공시 지침의 적용
	해저터널 품질 관리 지침	건설사	시공시 지침의 적용
	시공관리 관련 S/W	건설사	기술협약에 의한 기술 제공

4. 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술 개발

가. 연구개발 목표

○ 장거리(최소연장 50km, 수심 200m) 해중고속철도의 안전성 확보를 위한 핵심기술 및 효율적 유지보수 기술 개발

나. 연구개발 필요성

○ 지진, 태풍에 의한 파랑, 해류 등의 자연재해에 대비한 해중고속철도의 안전성 확보 필요

○ 해중 운송체와의 충돌, 내부 화재, 탈선 등의 사고 발생시 승객들의 안전과 생존성 확보 필요

○ 장기간 사용되는 해중고속철도 구조체 및 계류장치, 기초의 유지보수 비용 절감을 통한 수명주기비용 감소 및 경제성 확보 필요

○ 해중고속철도시스템의 안전에 치명적인 영향을 줄 수 있는 품목 및 시스템에 대해서는 지속적인 모니터링을 통해 위험요인 감소 및 안전 확보 필요

○ 해중고속철도시스템의 붕괴를 가져올 수 있는 구조체 및 계류장치, 기초의 건전성을 감시하고 적절한 대응책 사전 대비 필요

다. 연구개발 내용

○ 해중고속철도 방재안전 기술 개발

- 해중고속철도 구조체와 수중 운항체 충돌 방지시스템 기술

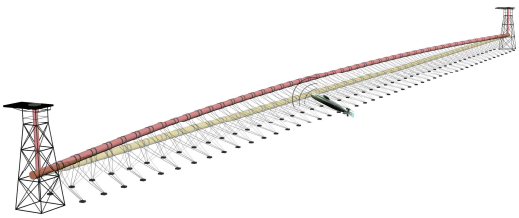


그림 7.12 수중 운항체 충돌

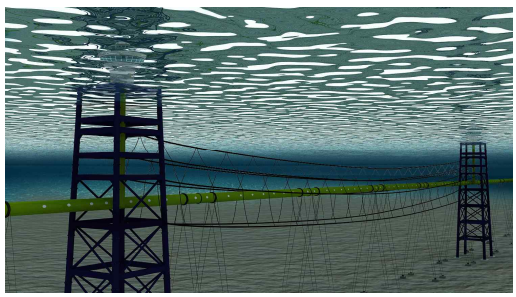


그림 7.13 주요 항로하 구조체 보호케이블

- Safety Critical Item에 대한 안전 모니터링 기술 개발 및 시스템 구축
- 심해 부유식 구조체 또는 계류장치의 손상 또는 파손시 대처 및 복구 기술
- 재난시(지진, 파랑 또는 해류에 의한 과도한 동요, 화재, 충돌, 탈선 등) 응급피난 메뉴얼 및 방재 시스템 기술
- 해수에 의한 누수 급속 차단 및 대피 기술
- 화재시 터널 제연 시스템 설계 기술

○ 해중고속철도 건전성 평가 및 진단 기술 개발

- 구조체 및 계류장치, 기초의 건전성 및 내구성 평가
- 사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템 구축

○ 해중고속철도 유지보수 및 교체 기술 개발

- 구조체 방식 유지보수 기술
- 철도 인프라 유지보수 기술
- 계류장치 및 기초 유지보수 기술

- 원격 제어 로봇 활용 기술 개발

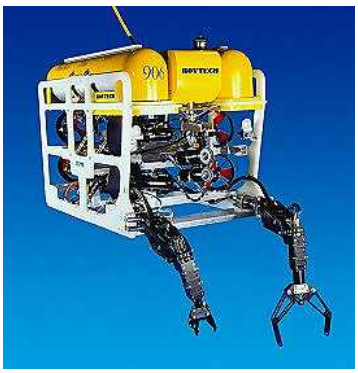


그림 7.14 수중작업로봇

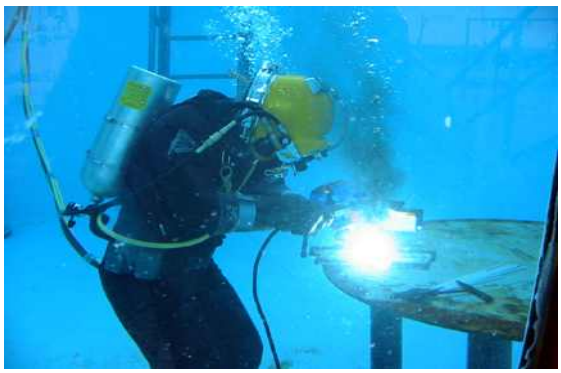
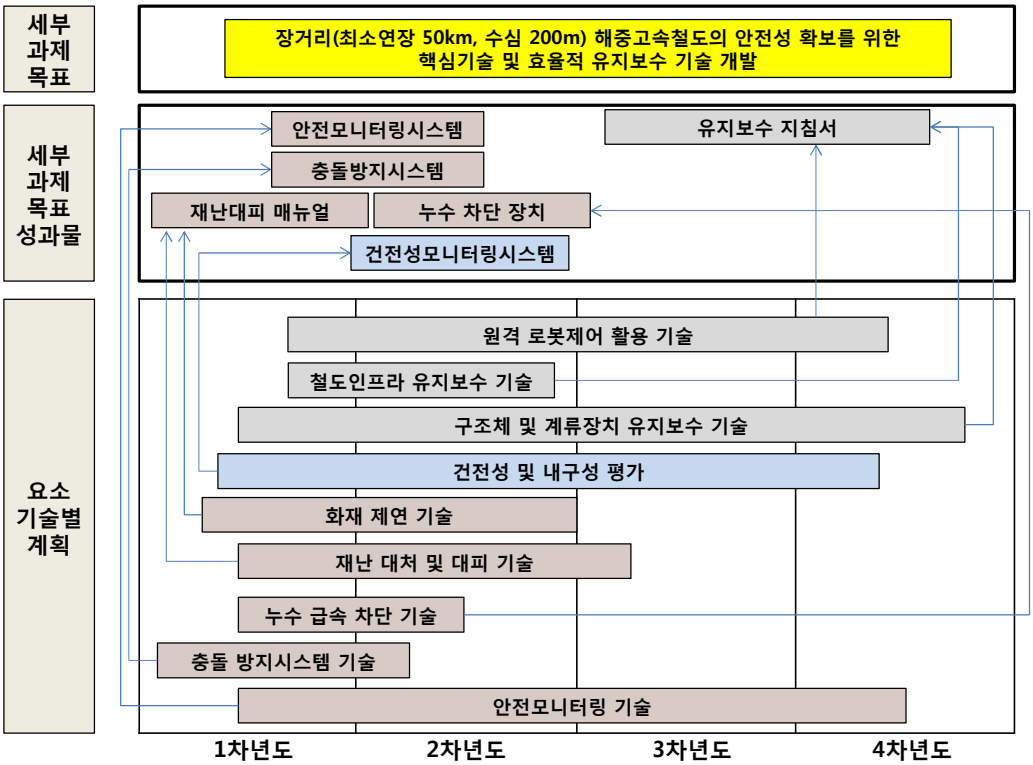


그림 7.15 유지보수를 위한 수중용접

라. 기술개발 로드맵



마. 성과목표 및 지표

표 7.8 제4세부과제 성과 및 성과지표

세부과제	성과목표	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정 근거
해중 고속철도 시스템 엔지니어링 기술	학술적 성과	학술지 개제 논문건수	국내외 학술지 개제여부	건	8	예산 대비 필요 실적
		학술회의 발표	국내외 학술회의 개제여부	건	10	예산 대비 필요 실적
	지적재산권 보유	특허출원 건수	특허출원 여부	건	10	예산 대비 필요 실적
		특허등록 건수	특허등록 여부	건	5	예산 대비 필요 실적
	표준	표준/기준의 규정/지침편람/시방서화	유지보수 지침의 작성	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
	계획 설계 기술	설계도면 및 사양서 개발	유지보수 검사 장비 설계도면 작성 여부	매	10	사업수행을 위한 필요 실적
	연구시설 장비 구축	연구장비 구축	유지보수 검사 장비 구축 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
			안전모니터링시스템 구축 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
			건전성 진단 시스템 구축 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
			충돌방지 신호시스템 구축 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
	지침/매뉴얼	지침/매뉴얼의 개발 및 보급	구조체 비상시 대처 매뉴얼 작성 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적
			재난 대피 매뉴얼 작성 여부	건	1	사업수행을 위한 필요 실적

표 7.9 제4세부과제 연차별 성과물

세부과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
장거리 부유식 해중터널 방재안전 및 유지보수 기술	학술발표 2 국내특허출원 2	국내학술지 게재 2 학술발표 3 국내특허출원 3 국내특허등록 1 설계도면 5	국내학술지 2 학술발표 3 국내특허출원 3 국내특허등록 2 설계도면 5 유지보수지침 1 재난대피 매뉴얼 1 비상대처 매뉴얼 1	안전모니터링 시스템 1 유지보수 장비 1 충돌방지시스템 1 건전성 모니터링 시스템 1

바. 실용화 방안

세부과제	목표성과물	기술수요처	실용화 방안
장거리 부유식 해중 터널 방재안전 및 유지보수 기술	충돌 방지시스템 기술	설계사, 건설사, 조선사	-호남-제주 고속철도 건설 시 활용 -잠수함과 함정 설계 및 충돌 방지시스템 적용
	안전 모니터링 시스템	설계사, 건설사	-해양플랜트의 안전 모니터링 설계 및 제작시 활용
	심해 부유식 구조체의 비상시 대처 기술	설계사, 건설사, 조선사	-잠수함 설계 및 운용시 활용
	재난시 응급피난 메뉴얼 및 시스템 기술	설계사, 건설사, 정부기관	
	해수에 의한 누수 급속 차단 및 대피 기술	설계사, 건설사, 조선사	
	화재시 터널 제연 시스템 설계 기술	설계사, 건설사	장대터널 설계 시 활용
	건전성 및 내구성 평가 기술	설계사, 건설사	-해양플랜트 안전성 확보 및 유지보수 시행 전 활용 가능
	사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템	설계사, 건설사	
	터널구조체 유지보수 기술	설계사, 건설사, 조선사	
	철도 인프라 유지보수 및 교체 기술	설계사, 건설사	
	계류장치 및 기초 유지보수 및 교체 기술	설계사, 건설사, 조선사	
	원격 제어 로봇 활용 기술	설계사, 건설사, 조선사	
	운영 및 유지보수 절차서	설계사, 건설사, 정부기관	

8장. 인력투입 계획 및 소요예산 검토

1절. 연구일정에 따른 인력계획

1. 연차별 투입 연구인력

세부과제	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합 계
연구단 총계	83	133	146	151	513
1세부	30	36	40	36	142
2세부	18	24	28	24	94
3세부	23	55	56	73	207
4세부	12	18	22	18	70

2. 상세 투입 연구인력

가. 총 투입 연구인력

분류	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계
책임연구원	20	35	41	39	135
연구원	32	48	48	54	182
연구보조원	27	42	49	48	166
보조원	4	8	8	10	30
합 계	83	133	146	151	513

나. 세부과제 투입 연구인력

(1) 1세부과제

분류	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계
책임연구원	8	10	12	10	40
연구원	12	14	14	14	54
연구보조원	10	12	14	12	48
보조원	0	0	0	0	0
합 계	30	36	40	36	142

(2) 2세부과제

분류	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계
책임연구원	4	6	8	6	24
연구원	8	10	10	10	38
연구보조원	6	8	10	8	32
보조원	0	0	0	0	0
합 계	18	24	28	24	94

(3) 3세부과제

분류	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계
책임연구원	5	14	14	18	51
연구원	7	17	17	23	64
연구보조원	7	16	17	22	62
보조원	4	8	8	10	30
합 계	23	55	56	73	207

(4) 4세부과제

분류	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계
책임연구원	3	5	7	5	20
연구원	5	7	7	7	26
연구보조원	4	6	8	6	24
보조원	0	0	0	0	0
합 계	12	18	22	18	70

2절. 소요예산 산정

1. 예산항목별 소요예산

가. 연구단 총괄

(단위: 천원)

예산항목	세부항목	구 분					소 계	비 율
		단가(연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	69,981	416,684	604,035	728,386	541,035	2,290,139	7.8%
	연구원	53,661	531,456	686,796	686,796	626,796	2,531,844	8.6%
	연구보조원	35,870	209,153	292,535	354,917	271,535	1,128,140	3.8%
	보조원	26,094	33,000	46,500	46,500	33,000	159,000	0.5%
소 계			1,190,293	1,629,866	1,816,599	1,472,366	6,109,123	20.8%
직접비	연구장비/재료비		1,971,049	2,741,661	5,527,295	4,642,275	14,882,279	50.7%
	연구활동비		616,600	872,000	1,075,400	820,000	3,384,000	11.5%
	연구과제추진비		169,000	235,000	253,000	187,000	844,000	2.9%
	연구수당		238,059	326,473	363,820	294,473	1,222,825	4.2%
소 계			2,994,707	4,175,134	7,219,514	5,943,748	20,333,104	69.2%
간접비			465,000	645,000	1,004,013	824,013	2,938,025	10.0%
합 계			4,650,000	6,450,000	10,040,126	8,240,126	29,380,252	100.0%

나. 1세부과제

(단위: 천원)

예산항목	세부항목	구 분					소 계	비 율
		단가(연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	69,981	167,954	209,943	251,932	209,943	839,772	8.1%
	연구원	53,661	193,148	225,339	225,339	225,339	869,164	8.4%
	연구보조원	35,870	62,082	82,776	103,470	82,776	331,104	3.2%
	보조원	26,094	-	-	-	-	-	0.0%
소 계			423,184	518,058	580,740	518,058	2,040,040	19.7%
직접비	연구장비/재료비		151,979	234,331	2,776,425	2,655,444	5,818,179	56.1%
	연구활동비		171,200	239,000	306,800	239,000	956,000	9.2%
	연구과제추진비		24,000	30,000	36,000	30,000	120,000	1.2%
	연구수당		84,637	103,612	116,148	103,612	408,008	3.9%
소 계			431,816	606,942	3,235,373	3,028,056	7,302,187	70.3%
간접비			95,000	125,000	424,013	394,013	1,038,025	10.0%
합 계			950,000	1,250,000	4,240,126	3,940,126	10,380,252	100.0%

다. 2세부과제

(단위: 천원)

예산항목	세부항목	구 분					소 계	비 율
		단가(연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	69,981	80,747	121,120	161,494	121,120	484,481	9.7%
	연구원	53,661	123,830	154,788	154,788	154,788	588,194	11.8%
	연구보조원	35,870	62,082	82,776	103,470	82,776	331,104	6.6%
	보조원	26,094	-	-	-	-	-	0.0%
소 계			266,659	358,684	419,752	358,684	1,403,779	28.1%
직접비	연구장비/재료비		339,809	425,579	548,498	425,579	1,739,465	34.8%
	연구활동비		171,200	239,000	306,800	239,000	956,000	19.1%
	연구과제추진비		24,000	30,000	36,000	30,000	120,000	2.4%
	연구수당		53,332	71,737	83,950	71,737	280,756	5.6%
소 계			588,341	766,316	975,248	766,316	3,096,221	61.9%
간접비			95,000	125,000	155,000	125,000	500,000	10.0%
합 계			950,000	1,250,000	1,550,000	1,250,000	5,000,000	100.0%

라. 3세부과제

(단위: 천원)

예산항목	세부항목	구 분					소 계	비 율
		단가(연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	69,981	105,000	168,000	168,000	105,000	546,000	6.1%
	연구원	53,661	134,000	194,000	194,000	134,000	656,000	7.3%
	연구보조원	35,870	43,000	64,000	64,000	43,000	214,000	2.4%
	보조원	26,094	33,000	46,500	46,500	33,000	159,000	1.8%
소 계			315,000	472,500	472,500	315,000	1,575,000	17.5%
직접비	연구장비/재료비		1,042,000	1,562,500	1,562,500	1,042,000	5,209,000	57.9%
	연구활동비		103,000	155,000	155,000	103,000	516,000	5.7%
	연구과제추진비		97,000	145,000	145,000	97,000	484,000	5.4%
	연구수당		63,000	95,000	95,000	63,000	316,000	3.5%
소 계			1,305,000	1,957,500	1,957,500	1,305,000	6,525,000	72.5%
간접비			180,000	270,000	270,000	180,000	900,000	10.0%
합 계			1,800,000	2,700,000	2,700,000	1,800,000	9,000,000	100.0%

마. 4세부과제

(단위: 천원)

예산항목	세부항목	구 분					소 계	비 율
		단가(연봉)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
			인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100	인원×참여율/100		
인건비	책임연구원	69,981	62,983	104,972	146,960	104,972	419,886	8.4%
	연구원	53,661	80,478	112,669	112,669	112,669	418,486	8.4%
	연구보조원	35,870	41,989	62,983	83,977	62,983	251,932	5.0%
	보조원	26,094	-	-	-	-	-	0.0%
소 계			185,450	280,624	343,607	280,624	1,090,304	21.8%
직접비	연구장비/재료비		437,260	519,251	639,872	519,251	2,115,635	42.3%
	연구활동비		171,200	239,000	306,800	239,000	956,000	19.1%
	연구과제추진비		24,000	30,000	36,000	30,000	120,000	2.4%
	연구수당		37,090	56,125	68,721	56,125	218,061	4.4%
소 계			669,550	844,376	1,051,393	844,376	3,409,696	68.2%
간접비			95,000	125,000	155,000	125,000	500,000	10.0%
합 계			950,000	1,250,000	1,550,000	1,250,000	5,000,000	100.0%

9장. 과제 제안요구서 작성

1절. 과제 제안요구서(RFP)

1. 연구단 제안요구서(RFP)

세부과제명	장거리 부유식 해중고속철도시스템 핵심 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 수심 200m, 50km 이상 장거리 해중고속철도 시스템 구현을 위한 시스템엔지니어링, 설계, 시공, 방재안전, 유지보수 핵심 기술 개발 ○ 200m 내외 해중고속철도 축소 모형 제작 및 기술 검증
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
■ 연구개발의 필요성	○ 국내에서 호남-제주 구간 고속철도 운행에 대한 소요가 지속적으로 제기되고 있고, 한중, 한일 교역 규모가 나날이 증가하는 상황에서 육상 교통수단을 이용하여 대륙을 연결하고자 하는 수요가 꾸준히 제기되고 있음 ○ 고속철도의 운행을 위한 해저터널의 건설은 오랜 기간과 막대한 비용을 요구하고 있어 각국 정부 투자의 적극적인 투자를 주저하게 하고 있음 ○ 해저터널은 장거리가 될수록 버럭처리 등의 문제로 비용이 가파르게 증가하는 어려움이 있고 공사중에 누수등 사고 위험이 높은 문제가 있으며, 수심이 깊어질수록 시공의 한계가 있음 ○ 해중고속철도는 육상에서 모듈형으로 제작하여 해상에서 조립한 후에 정해진 수심에 설치할 수 있으므로 공사기간과 비용이 대폭 감소될 수 있는 장점이 있음 ○ 해수면 파도의 영향은 깊이에 따라 지수적으로 감소되므로 해중에서는 구조체가 안정적으로 위치할 수 있는 장점이 있음 ○ 고속철도는 항공기와는 달리 화석 연료를 사용하지 않는 친환경 교통수단이며, 해양을 통과하는 장거리 수송시스템이 되기 위해서는 해저터널이 아닌 경제적인 신 개념의 선로가 필요함 ○ 심해의 원유 또는 가스를 운송하기 위한 해양 파이프라인은 건설 및 활용 사례가 풍부하여 관련 기술을 해중 고속철도에 적용할 수 있음 ○ 부유식 해중터널은 해양 환경 하에서 동요의 가능성이 있으므로 고속철도의 운행을 위해서는 각종 안전성 확보 기술이 필요함 ○ 세계 최고인 우리나라의 조선해양기술과 세계적 수준인 고속철도 기술을 접목하여 세계 선도적으로 부유식 해중고속철도 기술을

■ 기술동향	개발함으로써 세계 일류 철도 기술을 확보하여 세계시장을 선점할 필요가 있음 ○ 섬나라인 영국을 유럽 대륙과 육상으로 연결하기 위해 고속철도 유로스타가 영·불 해저터널을 운행하고 있음 ○ 일본은 본토와 홋가이도를 연결하는 세이칸 터널에 고속철도 신간선이 운행하고 있음 ○ 중국은 내륙호수인 Qiandao호에서 단거리 수중터널 건설을 추진하고 있음 ○ 노르웨이는 피요르드 지역의 통과를 위해 해중터널 건설을 추진하고 있음
3. 연구개발 내용	
	○ 해중고속철도시스템엔지니어링 기술 개발 ○ 해중고속철도 해석 및 설계 기술 개발 ○ 해중고속철도 시공 기술 개발 ○ 해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술 개발

CTE 연차별 TRL성과목표	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	평가방법
해중고속철도 시스템 인터페이스 성능 연구	2	3	4	5	관련 전문가 평가
해중고속철도 축소 모형 설계 및 건설	2	3	4	5	시험평가에 의한 성능 충족 여부 검증
RAM 관리 및 평가	3	4	5	5	관련 전문가 평가
안전성 평가 및 확보	3	4	5	5	관련 전문가 평가
외력에 의한 해중 구조체 거동 평가 기술	3	4	5	6	-관련 전문가 평가 -모형시험결과 비교
충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술	3	4	5	6	-관련 전문가 평가 -모형시험결과 비교
차량-인프라 상호 거동 평가 기술	3	4	5	6	-관련 전문가 평가 -모형시험결과 비교
터널 튜브 구조체 설계 기술	2	3	4	5	-관련 전문가 평가
계류시스템 설계 기술	2	3	4	5	-관련 전문가 평가
보강형의 연속 시공 기술	2	3	4	5	-관련 전문가 평가 -시작품 시험 평가 미 검증
터널 구조체의 수중 시공기술	2	3	4	5	-관련 전문가 평가
테더링을 위한 케이블의 시공 기술	2	3	4	5	-관련 전문가 평가
충돌 방지시스템 기술	2	3	4	5	-시작품 시험 평가 및 검증
사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템	3	4	5	5	-시작품 시험 평가 및 검증
원격 제어 로봇 활용 기술	3	4	5	5	-시작품 시험 평가 및 검증

4. 연구개발 추진방법

■ 추진전략

○ 철도, 해양, 건설의 융복합시스템 기술 개발
○ 기존 개발된 요소기술을 활용하고 시뮬레이션 및 성능 검증을 위해 관련 연구기관 보유 장비 활용
○ 해중고속철도 실용화를 위해 핵심기술 개발과 테스트베드 건설의 단계별 기술개발 전략 추진
○ 국내외 전문가 활용

■ 추진체계

○ 해중고속철도가 융복합시스템임을 감안하여 철도, 해양, 건설 관

	련 전문연구기관의 협력체계를 구축하여 개발 수행 ○ 국내 기술수준이 취약한 분야에서 해외 전문기관과 협력체계 구축
5. 사업기간 및 소요예산	○ 사업기간: 2015년~2018년(4년) ○ 사업예산 - 총사업비: 정부 294억원
6. 기타	○ 해중고속철도의 실용화 및 테스트베드 입지 확보를 위해 지자체와의 협력 체계 구축 필요

2. 1세부과제 제안요구서(RFP)

세부과제명	해중고속철도 시스템 엔지니어링 기술 개발
2. 연구개발 목표	○ 수심 200m, 50km 이상 장거리 해중고속철도 시스템 구현을 위한 시스템엔지니어링 기술 개발 ○ 200m 내외 해중고속철도 축소 모형 제작 및 기술 검증
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
■ 연구개발의 필요성	○ 해중고속철도는 해중터널, 계류장치, 기초, 고속열차, 궤도, 전력, 신호, 정거장, 대피시설, 안전설비 등이 복합된 시스템으로서 아직 세계적인 건설 사례가 존재하지 않아 경험이 축적되지 않았으므로, 시행착도를 줄이며 성공적으로 개발하기 위해서는 시스템엔지니어링 과정을 따라 개발하는 것이 필요함 ○ 월미은하레일, 의정부 경전철 등의 사례에서 알 수 있듯이 복합적인 철도시스템에서 문제를 야기하지 않기 위해서는 초기 계획단계부터 시스템엔지니어링 관점에 따른 설계/제작/운영/유지보수 수행이 필요함 ○ 차량과 인프라의 상호 영향 등 시스템간 인터페이스 성능이 명확히 정의되고 고려되어야 해중고속철도시스템의 안전 운행을 보장할 수 있음 ○ 해중고속철도는 대량 수송시스템이므로 신뢰성과 안전성의 효과적인 관리와 입증은 개발 단계부터 필수적인 요구조건임
■ 기술동향	○ 철도안전법 시행규칙, 철도건설규칙, 철도시설 안전기준에 관한 규칙 등에서 철도시스템 요구조건 규정 ○ 해양구조물의 설치 및 운영을 위해 관련 선급규정 적용 ○ 철도시스템의 RAMS 규정 적용
3. 연구개발 내용	○ 해중고속철도 시스템 관리 - 해중고속철도 시스템엔지니어링 계획 - 해중고속철도시스템 통합 및 기술 관리 ○ 해중고속철도 시스템 분석 - 해중고속철도시스템 요구조건 분석 - 해중고속철도시스템 사양 및 기준 개발 - 해중고속철도 시스템 기능분석 및 인터페이스 성능 정의 ○ 해중고속철도 시스템 설계 - 해중고속철도 시스템 절충연구 - 해중고속철도시스템 시범노선 개념설계 ○ 해중고속철도 시스템 평가

- 해중고속철도시스템 성능 및 검증 기준 설정
- 해중고속철도시스템 시험 및 평가, 운영 기술 개발
- 해중고속철도시스템 성능 시험절차서 작성
- 해중고속철도 Life Cycle Cost 평가

○ 해중고속철도 축소 모형 실증 시험
- 해중고속철도 축소 모형 설계 및 건설
- 해중고속철도 축소 모형 성능 검증 및 확인

○ 해중고속철도 시스템 RAM 기술 개발
- 해중고속철도시스템 RAM 성능 해석
- RAM 관리 및 평가

○ 해중고속철도 시스템 안전성 관리 기술 개발
- 안전성 분석(PHL, PHA)
- 안전성 평가 및 확보

CTE 연차별 TRL성과목표	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	평가방법
해중고속철도 시스템 인터페이스 성능 연구	2	3	4	5	관련 전문가 평가
해중고속철도 축소 모형 설계 및 건설	2	3	4	5	시험평가에 의한 성능 충족 여부 검증
RAM 관리 및 평가	3	4	5	5	관련 전문가 평가
안전성 평가 및 확보	3	4	5	5	관련 전문가 평가

4. 연구개발 추진방법

■ 추진전략

○ 세계적 사례가 없는 해중고속철도시스템을 개발해야하므로 유용성이 입증된 시스템엔지니어링 과정을 따라 개발을 시행함

○ 세계 최고수준의 조선, 해양플랜트 기술을 철도시스템 기술과 융복합하여 해중고속철도시스템을 개발하며, 기존에 개발된 기술을 효과적으로 활용함

○ 축적된 경험과 노하우가 없는 해중고속철도 기술의 약점을 극복하기 위해 실제 해중에서 축소 모형을 건설하여 시험 평가를 수행함

○ 개발 단계부터 안전성과 신뢰성 관리를 실제 프로젝트와 같은 수준에서 실시함

■ 추진체계

○ 토목, 차량, 전력, 신호, 해양 등의 기술분야를 통합할 수 있는 연구기관을 중심으로 콘소시엄을 구성하여 개발을 진행함

○ 안전성과 신뢰성 관리를 위해 해외 전문기관과 협력체계 구축

5. 사업기간 및 소요예산

	○ 사업기간: 2015년~2018년(4년) ○ 사업예산 - 총사업비: 정부 104억원
6. 기타	
	○ 축소 모형 실증시험 부지 확보를 위해 지자체 협조 필요

3. 2세부과제 제안요구서(RFP)

세부과제명	해중고속철도 해석 및 설계기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 해중고속철도의 건설을 위한 해석과 설계기술 개발 ○ 수심 200m 해역에서 깊이 20m, 길이 50km 이상 장경간 해상연결을 위한 경제적 공법과 관련된 해석 및 설계 기술 개발 ○ 자연친화적인 해상연결 방안을 위한 구조물의 해석 및 설계 기법 마련 ○ Sea State 7이상의 파랑조건에서 고속열차의 운행이 가능한 해중고속철도시스템 설계 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
■ 연구개발의 필요성	○ 해양플랜트기술과 건설기술의 발달에 따라 수중터널에 대한 많은 기술적인 문제를 해결할 수 있지만, 전세계적으로 건설된 사례가 없어 기존 기술에 대한 검증이 필요 ○ 또한, 수중하중조합, 연결부 (모듈 연결부, 타 지지구조와의 연결부 등) 설계, 충돌해석 등 기존에는 이루어지지 않았던 주요 핵심 해석 및 설계기술들이 필요한 것으로 파악됨 ○ 본 연구에서는 해중고속철도의 상용화를 위해 기존 조선공학과 토목공학의 기술의 조합과 새로운 핵심요소기술의 개발을 통해서 수중터널의 거동해석과 설계기술을 확보할 수 있음
■ 기술동향	○ 국외기술동향 - 유럽에서 이탈리아는 1960년대부터 메시나해협에 대한 연결사업에 수중교량을 적용하기 위한 연구를 시작하여 현재에도 소수의 대학과 Ponte di Archimedes사를 중심으로 연구. 노르웨이는 1980년대 Hogsfjord에 해중터널 적용 타당성 조사하였고 최근에도 수심이 깊은 fjord에 대한 적용성 평가를 진행. 유럽 FEHRL에서는 기존 유럽에서의 연구결과들을 종합하여 보고서를 제출하였음. - 일본은 1990년대에 홋가이도 대학을 중심으로 심도있는 연구를 진행하였으며, 일본내에 적용가능지역에 대한 다수의 사례연구를 실시함. 본 사례연구들에서 모듈부의 해석과 설계에 대한 검토를 수행하였음 - 최근에는 중국에서 해중터널의 건설에 대한 관심이 매우 높으며, 해외 합작 등의 방법을 통해 소규모 해중터널 건설의 타당성을 검토 중 ◦ 국내기술동향 - 해중터널의 대한 본격적인 국가연구개발사업을 진행한 사례는 없으며, 국내 일부 출연기관에서 자체연구를 수행하고 있는 상태임

	- 한국철도기술연구원에서는 '대륙연결을 위한 해중철도 기술'개발연구 자체적으로 진행하였음. 해중철도에 대한 단면, 설계조건, 유동해석 등을 수행하였음. - 한국건설기술연구원에서는 해저터널 기획의 일환으로 해중터널(수중교량)에 대한 연구기획을 수행하였고, 현재 내부 과제로 해중터널 시공을 위한 신공법에 대한 연구를 수행하고 있음 - 한국해양연구원의 경우에는 다양한 해양구조물(초대형 부유식 하이브리드 안벽, 신속설치형 방파제, 인공섬 등)에 대한 연구수행경험이 있음. 또한, '해중터널 실용화를 위한 핵심기술 개발' 연구를 2011년부터 진행하고 있음.
3. 연구개발 내용	
	○ 2-1 세세부 : 해중고속철도 외력 및 거동 시뮬레이션 기술 개발 - 파랑, 조류, 해류, 해저지진, 쓰나미 등의 외력 평가/정량화/조합기술 : 파랑하중, 조류하중 해류하중 등의 평가 방법을 제시하고, 극한한계상태, 사용한계상태, 피로한계상태 등에 대한 하중조합을 검토함 - 파랑 및 조류에 의한 거동 평가 기술 : 파랑과 조류에 의한 해중철도 구조물의 동적거동해석방법을 제시하고 대표 사례들에 대한 거동평가 - 지진에 의한 거동 평가 기술 : 지진에 의한 해중철도 구조물의 동적거동해석방법을 제시하고 대표 사례들에 대한 거동평가 - 충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술 : 잠수함이나 침몰 선박 등에 의한 해중터널 구조물 충돌해석 방법을 제시하고 대표 사례들에 대한 거동평가 : 터널 내외부의 폭발사고에 대한 해중터널 구조물 폭발해석 방법을 제시하고 대표 사례들에 대한 거동평가 - 화재에 대한 터널함체 내화성능 평가 기술 : 화재에 대한 터널 내부 단면 해석방법을 제시하고 대표 사례들에 대한 성능평가 - 차량-인프라 상호 거동 평가 기술 : 차량과 해중터널 구조물의 상호거동을 평가하는 기술을 개발하고 대표 사례들에 대한 거동평가 ○ 2-2 세세부 : 해중고속철도 거동제어 기술 개발 - 터널함체 횡방향 변위 저감 기술 : 환경조건에 따라 터널의 횡방향 변위를 제어할 수 있는 기법을 제시 - 터널함체 지진하중 저감 기술

: 환경조건에 따라 터널의 지진하중을 제어할 수 있는 기법을 제시
- 열차 주행 중 터널함체의 진동/소음 저감 기술
: 열차 주행에 따른 터널함체의 진동이나 소음을 평가할 수 있는 방법을 개발하고, 필요 시에 진동과 소음을 저감할 수 있는 기법을 제시

○ 2-3 세세부 : 해중고속철도 설계 기술 개발
- 환경영향 평가 및 저감 설계 기술
: 해중철도 건설에 따른 주위 해양 환경변화를 예측할 수 있는 기법을 개발하고 이를 절감할 수 있는 기술 제시
: 해중
- 터널 구조체 설계 기술
: 해양환경조건과 사용성요구조건 등에 따라 터널함체 설계기법 개발
: 구조체 부식 방지 및 침식 대처 기술 개발
- 계류시스템 설계 기술
: 해양환경조건과 사용성요구조건 등에 따라 계류시스템 설계기법 개발
- 연결부 (모듈, 계류부, 타 구조와의 접속부)의 설계 기술
: 모듈 연결부, 모듈과 계류시스템 연결부, 터널과 육상구조물 연결부 등에 대한 상세 설계 기법을 개발
- 기초 및 앵커 설계 기술
: 계류를 위한 해양 기초 및 앵커부의 설계기법 개발
- 환기탑 및 정차역 설계 기술
: 외부환경조건에 따른 환기탑 또는 정차역 구조물을 제시하고 이를 설계할 수 있는 기법 개발
- 궤도시스템 설계 기술
: 탈선 방지 궤도시스템 기술
- 전력시스템 설계 기술
: 해중 환경하 급전시스템 설계 기술 개발
- 신호시스템 설계 기술
- 신소재 적용 구조요소의 해석 및 설계 기술
: 일반적인 콘크리트와 철재가 아닌 신소재의 사용 시의 구조해석과 설계기술의 개발

CTE 연차별 TRL성과목표	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	평가방법
외력에 의한 해중 구조체 거동 평가 기술	3	4	5	6	-관련 전문가 평가 - 모형시험 결과 비교
충돌 및 폭발에 의한 거동 평가 기술	3	4	5	6	-관련 전문가 평가 - 모형시험 결과 비교
차량-인프라 상호 거동 평가 기술	3	4	5	6	-관련 전문가 평가 - 모형시험 결과 비교
터널 튜브 구조체 설계 기술	2	3	4	5	-관련 전문가 평가
계류시스템 설계 기술	2	3	4	5	-관련 전문가 평가

4. 연구개발 추진방법

■ 추진전략

○ 다년간 연구가 수행된 노르웨이 NTNU, 일본의 홋가이도 대학, 중국의 CSA, 이탈리아의 PDA사 등과의 공동연구를 통해 뒤쳐진 기술간격을 빠른 시간 내에 좁힘

○ 우리나라 주변 해역의 환경적 특성 및 지반 물성치를 고려하여 기술개발 수행

■ 추진체계

○ 산학연 연계 및 확보기술 실용화 조직 구성

- 정부, 정부출연구원, 대학, 시공사, 설계업체 등과 유기적인 협력체계를 구축

5. 사업기간 및 소요예산

○ 사업기간: 2015년 01월 - 2018년 12월 (4년)

○ 사업예산

- 총사업비: 정부 50억원

6. 기타

4. 3세부과제 제안요구서(RFP)

세부과제명	해중고속철도 시공 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 기존 기술을 이용한 해중터널 대비 20% 이상 건설비 절감이 가능한 시공기술 개발 ○ 기존 기술을 이용한 해중터널 시공기간 대비 80%이하의 급속시공 기술 개발 ○ 기존 구조체 대비 50%이상의 내구성 확보가 가능한 시공기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
■ 연구개발의 필요성	○ 해중고속철도를 이용한 장경간 해상교통로 확보를 위한 해중터널 건설이 실현되기 위해서는 경제성과 안전성의 확보가 우선되어야 하며 이를 위해서는 시공기술이 뒷받침 되어야 가능함 ○ 해중고속철도 시스템은 세계적으로 최초로 개발되는 건설공법으로서 기존의 기술을 복합적으로 활용하고 새로운 재료와 공법을 도입한 기술향상을 통해서 실현이 가능함 ○ 해상 또는 해중 구조물 건설에 기존의 기술을 적용하는 것이 불가능한 것은 아니나, 건설비용이 과다하여 현실적이지 못하므로 경제적이면서 안전한 해중구조물의 시공기술 개발이 사업의 실현을 위해서 필수적임
■ 기술동향	○ 해저터널은 영국-프랑스를 연결하는 해저터널(49.94km)이 1994년에 개통되어 고속철도시스템인 도입되었고, 일본 아오모리(혼슈)와 하코다테(홋카이도)를 연결하는 해저터널(23.3km)이 1988년 완공되어 신칸센이 복선으로 주행하고 있음 ○ 침매터널 시공기술은 해저터널과 부유식 해중터널의 중간 정도의 터널로서, 1894년 미국의 보스톤에 세계 최초로 건설된 Shirley Gut siphon(79m)를 시작으로 덴마크, 스웨덴, 일본, 홍콩 등에서 시공되었으며, 국내에서는 부산-거제(3.7km) 구간의 침매터널이 건설되었음 ○ 부유식 해중터널은 해저면에 고정하는 침매터널과 다른 형식으로 폰툰형, 기둥 지지형, 인장 삭도형, 자유형 등의 유형이 있고, 이태리 Messina 해협. 노르웨이 Hogsfiord, 일본, 중국, 인도네시아 그리고 대서양 해중 철도가 추진되고 있음 ○ 국내 해중 고속철도 기술개발 현황은 호남-제주 구간을 대상으로 파이프라인형 복합체를 기초로 개념설계 결과가 제시되었음
3. 연구개발 내용	○ 해중터널 함체 시공 기술 개발 - 함체의 모듈화 시공 기술: 모듈화 대블럭 함체의 제작, 운반, 침설, 조립과 관련된 장비의 개발을 포함한 기계화 시공기술

- 함체의 연속 시공 기술: 해상기후의 영향이 최소화되어 공기단축과 경제성이 획기적으로 향상될 수 있는 연속타설 공법으로 부력/자중의 제어를 포함한 제작, 이송, 안정화 시공기술
- 모듈 및 타구조물 연결을 위한 시공 기술: 대블럭 모듈간 또는 타 구조물(환기탑, 지중터널, 침매터널 등)과의 연결부의 제작, 시공 및 성능검증 기술
- 시공중 구조물의 안정성 확보 기술: 함체의 모듈화와 연속화 시공시 구조물의 수중 또는 해상에서의 안정성 확보를 위한 장비개발을 포한한 관리, 제어 관련 기술
- 신소재를 이용한 구조체의 제작 및 시공 기술: 함체의 내구성을 획기적을 향상시키면서 시공성의 확보가 가능하도록 신소재를 활용한 복합체 제작, 조립, 시공 기술
- 함체의 수중 시공기술: 대블럭 또는 연속체 함체의 시공과 주요 장치들의 조립을 위한 수중작업 장비의 개발을 포함한 대수심 시공 기술

○ 해중터널 고정 및 앵커링 기술 개발

- 중력식 앵커 시스템의 시공 기술: 여타의 공법으로 고정 앵커링이 확보되지 않는 자중을 활용환 심해용 앵커 시스템의 개발과 관련 시공기술
- 지중 고정식 앵커 시스템의 시공 기술: 석션파일, 직접드릴링 등 해저지반에 설치될 수 있는 고정식앵커 시스템의 시공기술
- 테더링을 위한 케이블의 시공 기술: 함체를 수중에 고정시키기 위한 텐션레그방식의 테더링을 위해서 설치되는 케이블의 제작, 조립 및 시공기술로서 유지관리가 고려되어야 함
- 신소재를 이용한 앵커링 시스템의 제작 및 시공 기술: FRP, 특수합금 등 신소재를 적용하여 내구성이 확보되고 유지관리성이 크게 향상될 수 있는 앵커링 시스템의 제작, 조립, 시공기술

○ 해중고속철도 지원시설 시공 기술 개발

- 에너지 공급용 해상급전시스템의 시공 기술: 장거리 해중터널을 통과하는 고속열차와 운영 및 유지관리를 위해서 필요한 전력공급을 위해서 설치되어야 하는 해상 또는 해중 급전시스템의 시공기술
- 해상 피난시설의 시공 기술(환기탑 포함): 환기와 비상시 승객대피를 위해서 설치되어야 하는 환기탑과 비상시 터널내부에서 이용될 수 있는 피난시설의 제작과 시공 기술

○ 해중고속철도 시공관리 기술 개발

- 정보화기반 시공관리기술: 해중터널이 건설되는 지역의 기상, 해상, 해저지반 그리고 지진 등의 정보를 활용한 종합 시공관리 기술
- 시공 위험관리기술: 심해와 해상에서 수행되는 해중터널의 시공중에 발생할 수 있는 위험요소를 최소화 시키고 제어할 수 있는 시공관리기술
- 해중 터널 시공 품질확보 기술: 가혹한 환경조건에서 시공되는 해중터널의 함체, 앵커링, 연결부 등의 시공시 품질 확보를 위한 공정관리 기술

CTE 연차별 TRL성과목표	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	평가방법
보강형의 연속 시공 기술	2	3	4	5	-관련 전문가 평가 -시작품 시험평가 및 검증
터널 구조체의 수중 시공기술	2	3	4	5	-관련 전문가 평가
테더링을 위한 케이블의 시공기술	2	3	4	5	-관련 전문가 평가

4. 연구개발 추진방법

■ 추진전략

○ 시공분야의 특성상 실제 적용성에 대한 확인이 필수적이므로 이를 위하여 전문 설계사와 건설사의 적극적인 참여가 필수적임

○ 총 4년에 걸친 연구기간을 설정하고 1차년도에는 적용가능한 현재 기술을 조사하여 그 적용가능성과 함께 기존기술의 보완과 개발되어야 하는 신기술의 수준을 분석하고 연구의 방향과 한계설정을 수행함

○ 2차년도부터 3차년도에는 설정된 연구방향과 내용을 구체적으로 실현시키기 위한 핵심요소기술을 개발하고 4차년도에는 성능과 적용성의 검증을 수행함

○ 분야의 특성상 연구성과를 특허와 같은 기술실현을 위한 지표에 중점을 두고 수행함

○ 설계 및 기준분야의 연구결과를 공유하면서 시공성을 확보될 수 있는 연구결과 도출에 공동노력하고 시공기술에 설계 및 정밀해석분야의 개발기술의 접목을 추진함

○ 국내의 연구진과 해외의 우수연구진의 공동연구를 추진하여 기술개발의 완성도를 확보함

○ 시공기술의 적용성 확인을 위한 Mock-up실험을 필수적으로 수행함

■ 추진체계

○ 본 연구는 기술의 실용화를 위해서 건설사의 참여가 필수적이며 핵심요소기술의 개발에 있어서는 학계의 전문가의 참여를 유도하면서 연구소에서 이를 전체적으로 종합하는 산학연체계를 갖어야 함

○ 기술개발 선도국과 공동연구를 통해서 기술개발의 시간과 공간적 차이를 극복하기 위한 국제공동연구가 수행되어야 함

○ 개발될 기술의 특성상 조선과 건설 그리고 해양분야 등의 학제간 융복합연구가 수행되어야 성공적인 기술개발이 가능 함

5. 사업기간 및 소요예산

○ 사업기간: 2015년 ~ 2019년(총 48개월)

○ 사업예산

	- 총사업비: 정부 90억원
6. 기타	

5. 4세부과제 제안요구서(RFP)

세부과제명	해중고속철도 방재안전 및 유지보수 기술 개발
3. 연구개발 목표	○ 장거리(최소연장 50km, 수심 200m) 해중고속철도의 안전성 확보를 위한 핵심기술 및 효율적 유지보수 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
■ 연구개발의 필요성	○ 지진, 태풍에 의한 파랑, 해류 등의 자연재해에 대비한 해중고속철도의 안전성 확보 필요 ○ 해중 운송체와의 충돌, 내부 화재, 탈선 등의 사고 발생시 승객들의 안전과 생존성 확보 필요 ○ 장기간 사용되는 해중고속철도 구조체 및 계류장치, 기초의 유지보수 비용 절감을 통한 수명주기비용 감소 및 경제성 확보 필요 ○ 해중고속철도시스템의 안전에 치명적인 영향을 줄 수 있는 품목 및 시스템에 대해서는 지속적인 모니터링을 통해 위험요인 감소 및 안전 확보 필요 ○ 해중고속철도시스템의 붕괴를 가져올 수 있는 구조체 및 계류장치, 기초의 건전성을 감시하고 적절한 대응책 사전 대비 필요
■ 기술동향	○ 철도시스템의 종합안전기술 개발, 철도시스템의 안전프로그램 구축, 국가표준절차 확립 ○ 역사 및 장대 터널 화재시 연기확산 영향 분석, 제연시스템 시뮬레이션 수행 ○ 수중작업을 위한 잠수 기술, 수중 고압 용접, 수중잠수체 등의 기술 적용
3. 연구개발 내용	○ 해중고속철도 방재안전 기술 개발 - 해중고속철도 구조체와 수중 운항체 충돌 방지시스템 기술 - Safety Critical Item에 대한 안전 모니터링 기술 개발 및 시스템 구축 - 심해 부유식 구조체 또는 계류장치의 손상 또는 파손시 대처 및 복구 기술 - 재난시(지진, 파랑 또는 해류에 의한 과도한 동요, 화재, 충돌, 탈선 등) 응급피난 메뉴얼 및 방재 시스템 기술 - 해수에 의한 누수 급속 차단 및 대피 기술 - 화재시 터널 제연 시스템 설계 기술 ○ 해중고속철도 건전성 평가 및 진단 기술 개발 - 구조체 및 계류장치, 기초의 건전성 및 내구성 평가 - 사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템 구축

- 해중구조물 비파괴검사 기술 개발

○ 해중고속철도 유지보수 및 교체 기술 개발

- 구조체 방식 및 유지보수 기술
- 철도 인프라 유지보수 기술
- 계류장치 및 기초 유지보수 기술
- 해중고속철도 유지보수 및 시공에 활용할 수 원격 제어 로봇 기술 조사 및 분석
- 원격 로봇을 이용한 유지보수 기술 개발

CTE 연차별 TRL성과목표	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	평가방법
충돌 방지시스템 기술	2	3	4	5	-시작품 시험평가 및 검증
사용성 및 건전성 확보를 위한 진단 시스템	3	4	5	5	-시작품 시험평가 및 검증
원격 제어 로봇 활용 기술	3	4	5	5	-시작품 시험평가 및 검증

4. 연구개발 추진방법

■ 추진전략

○ 해양플랜트 분야 유지보수 기술 활용

○ 방재안전 및 유지보수를 위한 시제품 제작 및 실증 시험 추진

■ 추진체계

○ 방재안전, 철도, 해양, 건설 분야 전문연구기관의 협력체계 구축

○ 해양플랜트 분야 전문기관과 협력체계 구축

5. 사업기간 및 소요예산

○ 사업기간: 2015년~2018년(4년)

○ 사업예산

- 총사업비: 정부 50억원

6. 기타

○ 유지보수 기술과 Life Cylce Cost의 연계 필요

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.