

2012-
연구기
획-J02

방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강시멘트 복합재료의 개발 기획 보고서

2012

국토해양부
한국건설교통기술평가원

Land Transport and Maritime R&D Report

건설교통연구기획사업 개발 기획 보고서

R&D /
2012-연구기획-J02

방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강시멘트 복합재료의 개발 기획 보고서

2012. 10.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 강원대학교

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

이 보고서를 "방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강시멘트 복합재료의 개발" 기획과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2012. 10.

주관연구기관 한국건설기술연구원
원 장 우 호 섭

-
- 주관연구책임자 / 김성욱 연구위원 한국건설기술연구원
 - 주관연구기관 / 문재흠 수석연구원
/ 박정준 수석연구원
/ 박준형 연구원
 - 공동연구책임자 / 박철우 교수 강원대학교
 - 공동연구기관 / 최우현 연구원
/ 장봉진 연구원
/ 유재강 연구원
 - 위탁연구책임자 / 정문수 수석컨설턴트 (주) 날리지웍스
 - 위탁연구기관 / 공경수 책임컨설턴트
/ 손창수 전임컨설턴트
-

보고서 요약서

과제고유번호	2012-연구 기획-J02	해 당 단 계 연 구 기 간	2012.04.13~ 2012.10.31	단 계 구 분	1단계 중에 1단계
연구사업명	사업명	건설교통 기획 연구사업			
연구과제명	세부과제명	방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강시멘트 복합재료의 개발 기획			
연구책임자	김 성 욱	해당단계 참 여 연구원수	총 : 10명 내부 : 6 명 외부 : 4 명	해당단계 연 구 비	정부 : 50,000 천원 계 : 50,000 천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 10명 내부 : 6 명 외부 : 4 명	총연구비	정부 : 50,000 천원 계 : 50,000 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국건설기술연구원 SOC성능연구소		참여기업명	-	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 : 날리지웍스		연구책임자 : 정 문 수		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 사고 및 테러 시 발생하는 충격과 폭발은 국민의 생명과 재산에 심각한 손실을 유발. ○ 연평도 포격사건과, 화학단지의 폭발 사례 등은 본 연구개발사업 추진의 필요성을 보여줌. ○ 시설물의 활용성을 극대화하면서 효율적인 방호대책을 위해 고성능 복합재료의 개발과 적용 시급. ○ 국내외 기술 및 산업동향을 분석한 결과 필요성에 대비하여 개발된 기술의 수준이 세계적으로 높지 않고, 기술 선도국에 의한 시장 점유율도 높지 않아, 연구개발의 성공적 기회가 됨. ○ 정책적, 기술적, 경제적 사전 타당성 조사 결과, 정책적 필요성이 분명하고, 재료관련 기반기술이 확보되었으며, 시장개척 및 진입 가능성이 높아 사업 추진의 타당성이 확보됨. ○ 방호·방폭 관련 기술 및 이와 관련된 재료기술에 대하여 기술수요조사를 시행한 결과, 중점연구 추진 분야는 ‘방호·방폭 기준 및 등급체계 분야’, ‘방호·방폭용 고성능 복합재료·자재 개발 분야’, ‘방호·방폭용 재료·자재 및 구조물 성능평가 분야’로 함축됨. ○ 연구추진체계는 정부 주도형, 연구개발 보안이 필요한 특성을 감안, 국공립 및 출연연 참여 필수. ○ 관련 선행연구 및 실험 실증 인프라를 구축하고 있는 국방부, 국방과학연구소 등의 협력이 필요. 					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	방호, 방폭, 안전성, 섬유보강, 복합재료			
	영 어	Protection, Blast resistance, Safety, Fiber reinforcement, Composites			

요 약 문

I. 제목

: 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강시멘트 복합재료 개발 기획

II. 연구개발 추진 필요성

1. 연구개발 추진 필요성

- 사고 및 테러 시 발생하는 충격과 폭발은 국민의 생명과 재산에 심각한 손실을 유발, 발생건수와 규모는 점차 증가 추세
- 국가중요시설의 분류와 방호대책은 국방부훈령 제1057호에서 규정하고 있으나 방위 작전수행 개념에 국한되어 있고 시설물의 방호·방폭 기술적 사항은 부재
- 대상 시설물의 활용성을 극대화하면서 효율적인 방호대책을 마련하기 위해서 고성능 복합재료의 개발과 적용기준에 대한 연구개발이 시급

2. 주요 피해 사례

사례명	피해내역	조치 및 추정사항
연평도 포격 피해 (2010)	<ul style="list-style-type: none"> - 인명피해 : 사망 4명, 부상 56명 - 재산피해 : 12,256 백만원 <ul style="list-style-type: none"> · 주택 및 공공시설물 133동 · 임야 25ha, 냉동/어업시설 - 기반시설 : 도로 6개소(700m) 등 	<ul style="list-style-type: none"> - 서해 5도 대피시설 현대화 <ul style="list-style-type: none"> · 사업비 112,700백만원 국회 제출 - 서해 도서지역 소방력 보강 추진 <ul style="list-style-type: none"> · 사업비 14,970백만원 국회 제출 - 연평도 지역에 콘크리트의 두께를 강화한 대피시설 준공
여수/안산 화학공장 폭발사고 (2000)	<ul style="list-style-type: none"> - 인명피해 : 사망 12명, 부상 66명 - 재산피해 : 5,100 백만원 <ul style="list-style-type: none"> · 공장 2동 전파, 2동 반파 	<ul style="list-style-type: none"> ※ 유사 상황 현시점 발생 추정 - 인명피해 : 사상자 20 여명 - 재산피해 : 20,000 백만원 <ul style="list-style-type: none"> · 공장자동화로 인명피해감소 · 생산시설 피해 증가
대구 지하철 공사장 가스관 폭발 (1995)	<ul style="list-style-type: none"> - 인명피해 : 사망 101명, 부상 117명 - 재산피해 : 54,000 백만원 <ul style="list-style-type: none"> · 건물 346채 완파 및 반파 · 차량 152대, 복곡판 400m 	<ul style="list-style-type: none"> ※ 유사 상황 현시점 발생 추정 - 인명피해 : 사상자 200 여명 - 재산피해 : 162,000 백만원 <ul style="list-style-type: none"> · 15년~물가상승률 300%추정
오클라호마 연방청사 폭탄 테러 (1995, 미국)	<ul style="list-style-type: none"> - 인명피해 : 사망 168명, 부상 800명 - 재산피해 : 652 Mil USD (7,200억원) 	<ul style="list-style-type: none"> ※ 유사 상황 국내 발생 추정 - 인명피해 : 사상자 1,000 여명 - 재산피해 : 700,000 백만원 <ul style="list-style-type: none"> · 가정대상 : 과천종합청사

III. 국내외 동향 및 환경 분석

1. 국내외 정책동향

- 국내에서는 국방시설물을 제외하고 방호·방폭 구조물 관리기준 체계가 명확히 갖추어져 있지 않고 최근 이에 대한 필요성을 인지하여 국가안보기관, 국토해양부, 지자체를 중심으로 법제정 및 제도화를 추진 중에 있음
 - ☞ 행정안전부 : 정부청사 소산시설 설계지침 (방폭고려, 대외비)
 - ☞ 국토해양부 : 건축물 테러예방 설계가이드라인 2010년 4월부터 시행
- 국방부훈령 제 721호(2002. 12. 3) 및 제1057호(2009. 5. 25)에서는 국가중요시설의 지정하고 있으며, 각 중요시설에 대해서도 중요도에 따라 등급을 가,나,다 3단계로 나누어서 관리하고 있음
- 미국의 경우 Army, Navy 및 Air force 가 함께 공동으로 방폭구조물에 대한 기준을 적용하고 있음 (UFC 3-340-02). 그러나 최근 항공기를 이용한 충돌 및 폭발 (911 미국, 2001), 차량폭탄 테러 (오클라호마 연방청사 차량폭탄테러 등, 1995) 등 다양한 방식의 불특정 다수를 겨냥한 테러가 급증함에 따라, 민간시설물을 포함한 다양한 방호·방폭 대비책을 강구하고 있음
- 미 국무부가 발표한 자료에 따르면 사람의 유입이 빈번한 상업시설에서의 테러빈도가 다른 시설물에 비해 월등히 높으며, 이처럼 대규모의 상업시설은 인명살상을 통한 관심집중이라는 테러의 목적달성에 효과적인 장소로 악용되고 있기 때문에 화공플랜트 등의 에너지산업 시설물과 더불어 주요 방호·방폭 대상으로 관리하고 있음
- 일본의 경우 관련 학회를 중심으로 ‘구조물의 내충격 성능평가 소위원회’, ‘응용역학운영위원회’ 등을 구성하여 충돌·폭발 등의 충격적인 외력에 의한 구조피해의 저감화와 내충격·폭발설계 가이드라인을 작성 중에 있으며, 이것을 근거로 구조물의 방호·방폭 대비 노력을 기울이고 있음

2. 국내외 시장동향

- 국내의 경우, 충돌·충격에 대한 방호 및 방폭 안전성 관련 시장은 주로 차량충돌 방호벽, 해상교량 선박충돌 방지공, 석유·가스 플랜트와 같은 화학플랜트 및 국방시설물과 같은 일부 국가중요시설의 방호·방폭 기능 부여로 한정되어 적용, 관련 시장이 활성화 되어 있지 않음
- 최근 초고층건물 및 원전구조물 안전 의식 증가 등으로 내충격 및 방폭에 필요한 국내 전체 시장규모는 향후 5년간 약 3조원 이상의 수준으로 예측되며, 이 중에서 건설과 관련된 방호용 자재 및 제품의 시장규모는 약 5,000억원 규모로 예측됨*

* 국내에 2015년까지 예정된 초고층 빌딩을 10여개로 산정한 경우 예상되는 투자비를 약 44조 1천억원으로 추산한 바 있으며, 초고층 빌딩 1개당 순수 구조물 공사비가 약 1조원 이상으로 감안하고 있음 (콜드웰뱅크코리아, 2008). 현재 국내 부동산 경기여건의 변화를 감안하여 향후 5년간 3개의 초고층 빌딩

이 건축될 것을 가정하면 초고층빌딩 만으로 3조원이라는 전체 구조물 시장규모 최소치가 예상되며, 이 중에서 방호·방폭과 관련된 구조재료 및 자재분야를 15%로 가정할 경우 약 5,000억원의 시장규모가 추산됨. (관공서 등 주요시설물 및 기타 대형 시설물 등을 포함할 경우, 시장규모는 더욱 커지리라 판단 되고 있음)

- 국방시설 분야에서 방호구조물 고도화 기술개발투자는 미흡한 상태이며 2012년 정부예산을 기준으로 볼 때 전체 국방예산은 약 33조 규모이며, 방호시설의 개선 및 유지관리비는 약 1% 정도에 해당하며, 이 중에서 고성능 섬유보강 복합재료로 방호·방폭 구조물 시장의 약 50% 점유가 가능하다면 연간 약 1,650억원 규모의 국방 관련 방호·방폭 시장 진출이 가능함. (자료출처 : 2012 정부예산 중 국방비 내역)
- 2012년 현재 방호 및 물리적 보안과 관련된 시장규모는 미국, 영국, 유럽을 포함할 경우 약 800억 달러 (97조 원) 규모로 매년 5%씩 증가추세이며, 방호·방폭·보안 시장을 포함한 대테러시장의 규모는 대략 550억 달러 (63조 원)으로서 (출처: 씨큐리티월드 제 181호, 2012), 이 중 원전 산업 등과 같이 내충격 성능을 요구하는 구조물 및 건설자재 관련 산업시장의 경우, 그 시장규모는 향후 5년간 약 20조원 이상의 수준으로, 주로 중동지역으로 지속적인 투자가 이루어질 전망이다
- * 현 대테러시장의 규모 550억 달러에 연간 5% 증가율을 감안한 향후 5년간의 시장규모는 약 350억 달러가 되며, 이 중 방호·방폭 구조물 및 건설자재와 관련된 산업시장을 전체의 약 6%로 가정할 경우 5년간 약 20조원 정도로 추산됨

3. 국내외 기술동향

- 국내에서는 최근 구조물의 내충격 및 방폭성능 향상방안에 대한 연구의 일환으로, ‘항공기 충돌을 고려한 격납건물용 섬유보강 콘크리트 개발’, ‘초고인성시멘트복합체(ECC)를 활용한 내화·방폭 콘크리트 기술개발’, 등 **섬유보강 콘크리트 방식의 복합재료**에 대한 기초 연구 시작
- 국내의 경우 대부분의 방호·방폭 관련 연구는 주로 국방산업 분야에서 수행되고 있으나, 군사시설이 아닌 일반 주요 사회기반시설물 및 건축물의 경우, 사용목적 및 중요도에 따른 **방호성능 수립체계의 정립과 방호·방폭용 고성능 복합재료의 개발**이 요구됨
- 내충격 및 방폭성능형 섬유소재 기술은 미국, 유럽, 일본 등이 세계시장을 선도하고 있으며, 건설용 섬유산업 시장에서 차지하는 비중이 약 60%에 이르며, 프랑스, 독일 등에서는 건설용 첨단 신재료인 **초고성능 섬유보강 시멘트 복합재료**를 활용하여 **방호·방폭용 구조체 및 구조물** 건설기술에 대한 연구를 활발히 진행

4. 기존 연구개발과의 차별성

□ 구조물용 방호·방폭 재료의 고성능화

- 기존의 방호·방폭 구조물은 일반콘크리트를 사용하여 구조부재의 치수(두께)를 증가시켜 요구성능을 충족시키는 방식, 그러나 일반 시설물의 경우 활용성 측면에서 두께 증가에 한계가 있음.
- 이 연구에서는 부재치수의 큰 증가 없이도 요구되는 방호·방폭 성능을 기대할 수 있는 세계 최고 성능을 지닌 섬유보강시멘트 복합재료를 개발하고자 함

□ 기존 구조물 방호·방폭 보강형 고성능 복합재료 및 자재의 개발

- 기존 구조물에 방호·방폭 기능부여가 필요할 경우에 대비, 구조물에 보강 시 추가적인 공간을 크게 차지하지 않으면서도 요구성능을 만족할 수 있는 공간절약형 방호·방폭용 재료 및 자재의 개발 및 적용기술을 개발하고자 함

□ 방호·방폭 성능평가 기술의 개발

- 현재까지는 재료, 자재 및 구조물별로 방호·방폭 성능평가 기법이 명확히 제시되고 있지 않음. 본 연구에서는 방호·방폭 성능을 평가기준 및 시험 인프라를 개발함으로써, 방호·방폭 성능평가 및 인증시스템을 구축, 개발 재료/자재의 현장 적용성을 확보하고자 함

□ 방호·방폭 최적설계 기술 개발

- 고성능 섬유보강 복합재료 활용 구조물 최적화 설계기술을 개발하여 저비용, 고성능의 방호·방폭 구조물 건설기술을 확보하여, 건설산업에서 아직까지 구현되지 못한 새로운 방호·방폭 시장을 개척하는 기반으로 활용

IV. 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발 목표

국민의 안전과 국가중요시설의 보호를 통한 안전한 국가 및 사회를 보장



2. 연구개발 개념

- 구조물의 두께 증가 방식의 방호성능 확보 방식에서 탈피
- 고성능 고효율 방호·방폭용 재료/자재 및 활용기준을 개발

[기존의 방호·방폭 개념] 구조물의 두께 증가 방식 (예: 국방시설물)		
일반 시설물 적용상의 한계(부재 두께) 문제 발생	기존 시설물 방호·방폭 보강 적용 불가	일반 주요 시설물 등에 대한 적용/평가 기준 부재
[재료/자재 분야]	[보강자재 분야]	[성능평가 분야]
고성능 방호·방폭 재료/ 자재 개발 추진	고성능 방호·방폭 보강자재 개발 추진	국방산업 분야를 제외시 성능평가 관련 인프라 매우 부족
		
→ 방호방폭 고성능 섬유개발 → 섬유보강 시멘트 복합재료 개발	→ 패널, 뿔칠 등 보강공법 개발 → 다양한 형상의 보강자재 개발	→ 재료/자재 성능 인증 시스템 → 방호구조물 성능평가 기준 개발

3. 연구개발 과제 구성

세부과제	과제 구성 기술
방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭용 고성능 보강 섬유 개발 - 방호·방폭 기능 강화용 Hybrid-Mesh 섬유 직조 제조 기술 개발 - 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 배합, 제조 및 시공 기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조체 손상 모델 개발 - 충격·폭발 발생시 구조물 연쇄붕괴 방지를 위한 해석평가 기법 개발 - 방호·방폭 구조시스템 최적화 설계 기법 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 Mock-up 실증실험 <ul style="list-style-type: none"> - Mock-up 구조물 설계 및 제작 - 방폭 성능 Mock-up 실증실험 및 평가
기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 패널형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발 - 뿔칠형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발 - FRP 외피형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭 구조물 등급 체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 구조물 방호·방폭 등급 분류체계 개발 및 정비 - 충격·폭발 하중 산정 기술 개발
방호·방폭 등급 기준 및 성능평가 기법 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 충격·폭발 발생시 동적 재료물성 평가기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 동적 충격 재료/자재 물성 시험·평가기술 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭 성능예측을 위한 동적 재료모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 구조물 설계 및 해석에 필요한 동적 충격 재료물성 모델식 구축
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 구조부재/구조시스템 방호·방폭 성능평가 기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 구조부재 방호·방폭 실증 평가기술 개발 - 구조시스템 방호·방폭 실증 평가기술 개발

V. 사전타당성 검토

1. 정책적 타당성 검토

(1) 국가 전략적 중요성

(가) 정부 지원의 타당성

- 중앙정부 부처 및 지방자치단체는 사회 시설물 및 건축물에 대한 방호·방폭 안전성 확보를 위한 정책 계획을 수립하고 있으나 이에 대한 명확한 등급 기준 및 대책이 미흡한 상황임
- 행정안전부, 국토해양부 등에서는 건축 및 기반시설의 건설에 있어서 화재, 지진, 태풍 등의 자연 재해에 대한 국민의 안전과 시설물의 경제적 유지관리를 위한 장수명 확보를 위하여 구조물 설계 및 내구성능의 강화를 도모하고 있음
- 폭발사고의 위험성이 상존하고 있는 석유화학 관련 산업의 해당 시설물 및 주변 건물의 안전 확보 차원의 다양한 방호·방폭 관련시장의 확대가 예상됨
- 최근 들어서는 석유화학플랜트 뿐 만 아니라, 민간 대형 시설물에도 방호·방폭 안전성 기능을 확보하는 방식으로 정책의 변화가 이루어지고 있음

(나) 사업 추진의 시급성

- 남북 분단으로 인한 특수한 군사적 대치 상황과 연평도 포격사건 등으로 인하여 인명 및 재산피해 발생하고 있으며, 군사시설 및 국가 중요시설물에 대한 방호·방폭 기능 향상을 위한 국가적 차원의 대책이 필요한 상황임
- 국토해양부는 테러에 취약한 대중이 이용하는 건축물에 대한 테러예방 활동을 강화하기 위하여 건축물 테러예방 설계가이드라인을 마련, 건축물 설계단계에서부터 테러로 인한 피해를 예방하고 피해를 최소화 할 수 있는 건축물의 설계를 유도하고 있음
- 현재 국내 건축물의 방호기준은 1986년 미국 교범자료를 기초로 한 것으로 국방부에 한하여 방호시설관련 사업이 비공개로 진행되고 있기 때문에 일반 건축물 및 시설물에 대한 방호·방폭 설계 및 실제 적용에 있어서 많은 어려움이 발생함
- 국방산업에 있어서의 방호·방폭과 관련된 전통적인 설계방식은 구조물의 두께를 증가시킴으로써 안전성을 확보하는 것으로써, 일반 민간 시설물과 같이 건축구조물용 자재 및 부재두께의 제약을 받는 여건에는 직접적용이 힘들기 때문에, 이를 고려한 고성능의 (작은 부재 및 보강재료 두께에도 소요 성능을 발휘할 수 있는) 방호·방폭용 자재의 개발이 시급한 실정임

(2) 상위계획과의 부합성

- 주요 빌딩 건축물 및 다양한 민간·공공 사회기반시설물의 방호·방폭 성능의 향상을 통한 안전한 사회기반 구축을 비전으로 하고 있는 본 연구과제와 정부 상위계획과의 부합성을 확인함

- 2011년도 4월 국가과학기술위원회는 정부연구개발 투자방향(안)에서는 ‘도시화와 건축물의 대형화로 인한 막대한 피해 규모를 고려하여 재난재해에 안전한 설계기술 개발·적용을 위한 투자 강화’ 계획이 설정되어 있음
- 한편, 2010년 12월 [과학기술기본계획(577전략), 2011년도 시행계획(안)]에서는 7대 R&D 분야를 선정, 이중 ‘국가주도기술 핵심역량 확보’가 포함되어 있으며, 해당 분야에서는 ‘국민생활환경 개선, 생명·재산 안전 확보 등 공익목적 달성과 첨단산업화가 동시에 가능한 첨단 건설·교통·물류 기술 개발’을 중점 추진분야로 선정

(3) 사업추진의지와 관련 기관 협조체계

- 일반 건축물 및 주요 빌딩 뿐 만 아니라, 도로, 교량, 터널, 댐 등의 사회기반시설물의 계획, 시공 및 유지관리 담당 주체는 국토해양부임
- 해당 시설물에 대한 안전성 관련 설계 가이드라인의 제시 또한 국토해양부 소관으로서, 시설물의 방호·방폭 기능 강화를 목표로 하는 본 연구는 국토해양부의 주도적 개발 및 지원은 필수임
- 석유·가스·화학플랜트 및 시설물을 제외한 사회기반 시설물 및 일반 건축물의 방호·방폭 기능 부여는 국가정책이 뒷받침 되지 않고서는 실제 시장에서 적용되기에 어려움이 있는 산업분야로써, 국토해양부와의 긴밀한 업무협조 하에 연구가 수행되어야 할 필요성이 있음

2. 기술적 타당성 검토

(1) 기술개발 계획의 적절성

(가) 기획연구 목표와 내용의 적절성

① 사업목표의 구체성 분석

- 비전인 “주요 사회기반시설물과 건축물의 방호·방폭 기능 부여를 통한 안전한 사회기반 구축” 달성을 위한 총괄목표를 정성적/정량적으로 제시함
 - 비전 달성을 위해 총괄목표는 “재료·소재 원천기술의 융·복합을 통한 고성능 방호·방폭용 재료·자재의 개발과 구조물에의 적용기술 개발을 통한 대상 구조물 방호·방폭 기능 확대”를 제시함
 - 제시된 총괄목표 달성을 위해 3개의 세부과제와 세부과제별 목표를 정량적/정성적으로 제시함
- 총괄목표를 단계별/연차별로 구분하여 목표가 설정되어 있으며, 총괄목표를 달성하기 위해 적절하게 제시함
 - 총괄목표는 방호·방폭 재료 및 자재 개발과 구조물에 적용하는 것으로써 이를 위해 총괄목표를 2단계로 구분하여 1단계(3년)는 방호·방폭용 재료 및 자재 개발과 성능평가 기반을 마련하고 2단계(2년)에는 적용기술 개발과 설계 및 적용기준 개발을 단계별로 설정하여 총괄목표와 단계별 목표간의 인과관계를 적절하게 제시한 것으로 판단됨
 - 각 단계별 목표와 주요내용을 구체적으로 제시함

- 총괄목표 설정 근거는 기술동향분석결과, 시장동향분석결과 등 환경분석결과가 목표 설정 근거 자료로 활용되어 적절한 것으로 판단됨
 - 기술동향분석결과 방호·방폭을 대비한 현재 재료 및 자재 등에 대한 현황 및 문제점을 파악하고 현재 기술수준과 요구되고 있는 기술적 수준을 분석하여 제시하고 있음
 - 시장동향분석결과 방호·방폭 성능 향상을 통해 타 산업분야의 진출 및 적용 등에 대한 파급효과 분석을 수행함
- 중점추진분야 및 세부과제는 총괄목표를 달성하기 위해 적절하게 충분하게 도출하였으며, 세부과제의 연구목표 달성시 총괄목표 달성이 가능할 것으로 판단됨
 - 중점추진분야 및 세부과제는 국내외 기술동향 조사, 논문 및 특허분석, 기술수요조사를 통하여 후보과제 pool을 구성하고 방호·방폭 재료 및 자재 관련 국내 전문가의 기술예측조사, 기술수준조사, 기술 중요도 평가를 통하여 우선순위 평가를 실시하여 세부과제를 도출함
 - 사업목표와 요소기술 간의 관계, 요소기술 개발 순서는 기술예측조사, 기술수준조사, 기술중요도 평가결과와 관련 분야의 전문가 브레인스토밍을 통하여 과제의 세부과제의 개발 순서를 포함한 본 기획연구의 추진방법을 제시함
 - 총괄목표를 달성하는 데 필요한 세부과제 정의 및 범위, 요소기술을 명확하게 제시하였으며, 본 과제 수행시 세부과제별 추진방법 및 전략의 보완은 필요할 것으로 판단됨
- 중점과제를 구성하는 세부과제의 대표성과물을 측정할 수 있는 성과목표 및 성과지표의 경우, 설정 근거가 다소 부족함. 따라서 성과목표 및 성과지표를 보다 구체화 할 필요가 있음

② 사업 내용의 논리성 및 적절성

- 사업 내용이 총괄목표를 달성하기 위해 구체적인 계획을 제시하였음
 - 본 사업은 대형 충격 및 폭발시 국가 사회기반시설 및 건축물의 피해를 최소화하기 위해 시설물 및 건축물의 방호·방폭 성능 향상을 위해 재료 및 자재 개발과 이를 적용하기 위한 성능평가 및 인증 기술을 개발하는 것으로서 정의함
 - 기술개발 범위를 건설재료 및 자재, 성능평가, 구조물의 적용으로 한정하여 추진함
 - 국내외 동향조사결과를 바탕으로 중점분야별로 목표 및 주요내용을 제시함

(나) 사업추진전략의 적절성

① 사업추진 위험요소를 고려한 추진전략 및 추진체계의 적절성

- 본 기획연구의 추진전략은 외부전문가 활용, 산·학·연 협력조직체 구성 및 활용, 기술 및 시장동향 파악을 통한 요구사항 도출 등을 기반으로 수립되어 적절성이 높은 것으로 판단됨
- 본 연구는 재료 및 자재 개발, 성능평가를 위해서는 방호·방폭 성능 향상을 위한 구조물의 등급 체계 및 부족한 연구인력 및 장비를 위해서는 산·학·연 협력체계 구축이 필요하여 이를 위한 추진전략을 구성함
 - 선행 유사연구 경험이 있는 국방과학연구소, 육사 화랑대 연구소 등의 실험시설 및 인프라를 활용하고 해당 기관의 전문가를 활용함으로써 고성능 섬유보강 복합재료 성능평가 기술 개발의 효율적 수행 기반 마련함

- 섬유소재, 시멘트 복합재, 화학혼화제 회사와 주관기관 공동으로 구성재료의 개발과 고성능 섬유 보강 시멘트 복합재료 원천기술 개발함
- 기존 구조물의 방호·방폭 등급 설정에 따른 소요 성능을 주관연구기관과 설정하고 이를 바탕으로 공동연구기관 중심으로 소재 및 자재를 개발함
- 자재 개발을 위해서는 민간 기업의 참여가 필수적이며 한정된 국내 건설용 FRP 제조 기업의 참여를 유도함
- 실증실험은 본 과업을 수행하는 연구기관이 독자적으로 확보하기는 불가능함에 따라 국방시설본부, 국방과학연구소의 연구 개발 협력 체계를 구축, 실증실험장의 협조체계를 구축함

② 성과 평가 및 관리체계의 적절성

- 본 연구가 진행될 경우 기대되는 성과의 활용도와 활용계획을 제시함으로써, 기술의 전파에 긍정적 영향을 줄 수 있을 것으로 판단됨
- 중점추진분야별로 성과활용 방안을 구체적으로 제시하였음. 즉, 기술개발을 통한 성과 활용방안은 방호·방폭 구조물 등급 체계 기준 및 규격 활용, 설계 및 성능예측 활용, 구조 부재 및 구조물 방호·방폭 실증 평가 기준 활용으로 활용할 계획임
- 본 연구를 통해 개발된 기술의 시장진입전략을 기술적용 대상 시설물 설정, 개발기술수요처 등을 구체적으로 제시함
 - 개발된 기술의 기술적용 대상 시설물은 [국방부훈령 제 721호(2002. 12. 3) 및 제1057호(2009. 5. 25)] 상에 지정하는 “국가중요시설”을 기본 적용 대상 시설물로 설정하고, 본 과제를 수행하는 과정에서 등급을 구체화함
 - [건축법 시행령] 별표 1에 따른 문화 및 집회시설(동·식물원은 제외), 판매시설, 운수시설(공항시설은 제외한다), 의료시설 중 종합병원, 업무시설, 숙박시설 중 관광숙박시설로서 같은 건축물에 해당용으로 쓰이는 바닥면적의 합계가 2만제곱미터 이상인 건축물로 함
 - [건축법 시행령] 제2조 제15호에 따른 50층 이상 또는 건축물의 높이가 200m 이상인 초고층 건축물로 함
 - 기타 적용시설물과 상기 제시한 적용대상 시설물에 대한 등급의 구체화 등은 이 기획과제에서 모두 설정할 수 없으며, 구체적인 설정(안)은 본 과제를 진행하면서 구체화 및 부처 간 협의를 통하여 설정해야 할 것으로 판단됨
- 개발된 기술의 수요처는 기술 적용 대상기관, 기술 실시기관, 시험 평가기관으로 구분하여 제시함
 - 기술 적용 대상기관은 개발된 기술을 이용하여 방호·방폭용 구조물 시설을 설치하는 기관으로 국가 및 공공기관 시설을 비롯하여 적용대상 시설물을 관리하는 기관들과 건축법 시행령상의 개인 또는 법인의 건축물 소유자로 함
 - 시험평가기관은 기술개발에 참여하거나 개발된 시험평가 기술을 적용하여 방호·방폭용 재료 및 자재와 구조부재의 방호·방폭 성능을 평가하는 기관으로 국공립 시험기관, 공인시험기관(사립 법인)에서 이 연구과제를 통하여 생산된 시험법 및 시험규격과 추가 기존 시험규격을 적용하여 재료 및 자재의 방호방폭 성능을 시험 및 평가 함

(다) 기술개발로드맵의 우수성

- 기술개발로드맵은 중점추진분야목표와 세부과제 목표의 5차년도까지의 개발 일정을 수립하였음
 - 개발 타임스케줄에 한정된 로드맵이 아니라 세부과제별 구체적인 산출물을 제시하여 중점추진과제와 세부과제, 산출물 간의 선후관계 및 연관성을 도식화 하였음

(2) 기술수준 및 성공가능성

- 최고기술보유국 대비 국내 기술수준, 최고기술국, 국내기술수준의 경쟁력 평가 분석을 정성적/정량적으로 파악하여 세부과제별 기술개발방향 설정에 반영함
 - 기술수준분석은 관련 전문가를 대상으로 설문조사 형태로 세부과제별 최고기술보유국 대비 국내 기술수준, 최고기술국, 국내기술수준의 경쟁력 평가 분석을 수행함
 - 설문조사 대상자는 산학연 관련 분야 전문가를 대상으로 실시함
 - 기술수준조사 분석결과를 바탕으로 기술격차 해소를 위한 대응전략으로 기술개발전략을 수립함
 - 본 과제 수행시 기술격차 해소 방안, 특허회피 및 방어전략 대응방안에 대해 구체적으로 수립하는 것이 필요함
- 개발 대상기술의 성능지표와 함께 연구개발에 대한 성과측정을 위한 핵심성과지표(KPI, Key Performance Indicator)를 도출하고, 각 KPI별 성과달성 목표가 되는 성능수준을 정의하였음

(3) 중복성 검토

- 기존 사업과의 중복성 회피를 위해 본 기획연구와 유사한 정부과제들을 조사, 검토하고 차별화 방안을 모색함
- 본 연구에서 개발하고자 하는 대상기술은 방호·방폭용 재료 및 자재의 고성능화, 적용기술 개발 및 평가기술 개발로서, 기존 기술과는 다음과 같은 부분에서 차별성을 제시함
 - 기존의 연구는 방호·방폭 구조물은 일반콘크리트의 구조부재의 치수(두께)를 증가시켜 요구성능을 충족시키는 방식으로 적용되는 경우가 대부분으로 일반 건축물의 부재 치수를 늘리는데 한계가 있었으나, 본 연구에서는 부재 치수의 증가 없이 방호·방폭 성능을 향상시킬 수 있는 섬유보강 시멘트 복합재료 개발을 하는 것으로써 차별성이 있음
 - 기존 구조물 및 시설물의 방호·방폭 기능 향상이 필요할 경우, 기존 구조물의 추가적인 공간을 필요로 하지 않으며, 요구성능을 만족할 수 있는 공간절약형 방호·방폭용 재료 및 자재의 개발 및 적용기술을 개발함
 - 현재까지 재료, 자재 및 구조물별 명확한 성능평가 기법이 제시되지 못하고 있으므로, 방호·방폭 성능을 평가할 수 있는 기준 및 표준화된 장비를 개발, 성능 평가 및 인증이 가능함

3. 경제적 타당성 검토

(1) 경제성 분석

(가) 비용편익 분석

□ 분석방법 : 비용/편익 분석(Benefit/Cost Analysis)

- B/C ratio는 분석 대상에 비용규모 대비 혜택규모의 비율로 1보다 높으면 경제성이 높은 것으로 판단할 수 있음

□ 분석대상

- 방호방폭 기획 연구의 목표 대상 구조물 시장에 대해 비용/혜택 분석 결과를 도출함

□ 편익범위

- 본 기획연구의 기술개발에 의한 편익은 미래 시장규모 추정이 가능한 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 증대이므로 시장접근법을 사용함
- 본 연구단의 연구기간을 2013년~2017년으로 가정하고, 실용화 기간을 3~4년으로 볼 때 본 연구단의 결과물이 시장에 반영되는 시기는 2020년 이후라 볼 수 있음
- 각 세부과제별로 2020년~2029년(10년간) 시장을 예측하여 반영하였음

□ 비용의 설정

- 각 세부과제의 향후 5년간 예산(안)으로 정부출연금과 민간참여금의 합한 금액으로 산정함

□ Benefit 산출을 위한 요소

- R&D에 의한 부가가치의 증대를 환산하기 위하여, 추가창출시장규모, 부가가치비중, 시장점유율, 기술기여도, 기술개발성공률, R&D기여도, 할인율 고려함

$$\text{Benefit} = (\text{국내시장규모} \times \text{시장점유율} \times \text{기술성공률} \times \text{기술기여도}) \times (\text{부가가치비중} \times \text{R\&D기여도})$$

(연구개발사업 추진으로 인한 추가창출 생산액 기댓값) (부가가치창출비율)

- 추가 창출 시장규모 : 기술개발과제 추진을 통한 연구결과물이 파급되는 산업의 시장 규모
- 시장 점유율 : 해당 산업의 관련 국내 시장에서의 점유비율
- 기술개발성공률 : 2010년 산업기술연구회 등에 대한 국정감사 결과에 의하면 정부 연구개발(R&D)성과의 사업화 성공률이 30% 수준으로 조사되었으며, 이를 준용하여 적용함
- 부가가치 비중 : 부가가치 비중은 한국은행의 2009년 산업연관표를 기준으로 건설업종의 40.1%를 적용함
- R&D 기여도 : 본 연구 과제를 통해 달성된 기술 개선 비중¹⁾
- 기술기여도 : 제품/공법에서 기술이 차지하는 비중²⁾
- 할인율 : 할인율은 10년만기 국고채금리인 4.3%와 KDI 일반지침(2007년) 상의 5.5% 중 KDI 일반지침(2007년) 5.5%를 적용함

1) KISTEP에서 작성된 “09 R&D분야 예비타당성 조사 수행을 위한 지침연구”의 R&D사업의 효과분석 사례에서는 R&D기여도를 10.9% 혹은 30.6%로 적용하였음. 본 분석에서는 10.9% 적용함

2) 기술가치 평가과정에서 기술기여도 적용방법은 전문가의 주관적 판단에 의하거나 관행적으로 적용하는 방법이 있음. 전문가 판단법의 일종인 AHP를 적용하여 기술기여도를 산정한 이영찬(2006)의 연구에서는 사업가치 구성요소를 기술자산, 시장자산, 인적자산으로 구분하고 이중 기술자산의 상대적 중요도(기술기여도)를 29.7%로 산출한바 있음. 기술기여도를 일률적으로 적용하는 방법은 일반적으로 33%나 25%를 적용함. 본 분석에서는 25%적용함

(나) 경제성 분석 결과

- 세부과제 별로 적용 시장을 구분하여 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 산정하고, 이를 취합하여 연구단 전체 B/C ratio를 산정함
- 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 고려한, 본 기획연구의 경제성 분석 결과는 B/C ratio가 1.10로 나타나, 본 사업의 경제성 측면에서 긍정적으로 판단됨
 - 연도별 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 및 R&D 예산을 고려한 금액 및 B/C ratio 산출식의 산정 결과는 다음과 같음
 - 편익 = 시장규모의 현재가치(11,771억원)×시장점유율 × 기술개발성공률(30%) × 부가가치 비중(40.1%) × R&D기여도(10.9%) × 기술기여도(25%)
 - 비용(361억원) = 연도별 소요 예산의 현재가치
 - 편익/비용 = 1.10

(단위 : 백만원)

구분	Benefit		
	국내		
연도	시장전망	시장점유율	Market Penetration
2020	1,425,745	25%	336,121
2021	1,497,032	28%	414,980
2022	1,571,883	32%	500,885
2023	1,650,477	36%	594,343
2024	1,733,001	39%	668,956
2025	1,819,651	41%	749,546
2026	1,910,634	44%	836,521
2027	2,006,166	44%	878,347
2028	2,106,474	48%	1,018,622
2029	2,211,798	54%	1,183,864
NPV			11,771

(2) 과학기술적 파급효과

(가) 과학기술적 및 기타 파급효과 분석

- 경제적 측면에서 초고층 빌딩 및 국방시설분야의 신규시장 창출 및 선도가 가능하며, 인적/물적 손실의 피해규모 최소화가 가능함
 - 대상구조물을 주요 공공시설, 주요 빌딩 (초고층 포함), 대형 상업시설 및 사회기반시설물로 하고 있으며, 신규 구조물에의 적용 뿐만 아니라, 기존 구조물에의 방호·방폭 기능 보강이라는 신규시장을 선도할 경우 그 경제적, 산업규모는 1조원 이상으로 예상되고, 미국 및 유럽 등의 선진기술 도입으로 인한 지출을 저감하며, 해당기술 수출에 따른 추가적인 수익창출이 기대됨

- 최근 초고층건물 및 원전구조물 안전 의식 증가 등으로 내충격 및 방폭에 필요한 국내 전체 시장규모는 향후 5년간 약 3조원 이상의 수준으로 예측되고, 이중에서 건설과 관련된 방호용 자재 및 제품의 시장규모는 약 5,000억원 규모로 예측됨
- 국방시설 분야에서 방호구조물 고도화 기술개발투자는 미흡한 상태이며 2012년 정부예산을 기준으로 볼 때 전체 국방예산은 약 33조 규모로써, 방호시설의 개선 및 유지관리비는 약 1% 정도에 해당하고, 이중에서 고성능 섬유보강 복합재료로 방호·방폭 구조물 시장의 약 50% 점유가 가능하다면 연간 약1,650억원 규모의 국방 관련 방호·방폭 시장 진출이 가능함

(나) 기술적 측면

- 기술적 측면에서 건설자재 및 소재 생산성 향상과 적용을 위한 설계기술 개발에 기여가 가능하며 다양한 구조물의 활용이 가능할 것으로 기대됨
- 본 연구개발을 통해 공유되지 않고 있는 방호·방폭 관련 기술의 국제적 경쟁력의 확보에 따른 국내 건설자재 및 소재산업 생산기술의 제고
- 고성능 복합재료는 방호·방폭 분야에 국한되지 않고, 다양한 형식의 고성능 구조부재료의 활용이 가능하기 때문에 그 기술적 파급효과가 매우 클 것으로 기대됨
- 방호·방폭 자재 성능평가 분야는 민간 및 건설산업에서 매우 낙후된 기술분야로써, 본 연구의 성과로부터 정립된 성능평가 기술은 향후, 일반 주요 사회기반시설물 및 건축물에 대한 방호·방폭 설계기준 및 규준의 제정, 정비시에 주요한 평가기준으로 적용 및 활용되어질 수 있음

(다) 사회적 측면

- 방호·방폭 성능 향상을 통하여 국민의 불안요소 저감 및 테러 대비책 강화 등 인적, 물적 피해의 최소화의 역할을 수행할 수 있을 것으로 예상됨
- 최근 들어 다양하게 추진 중인 초고층 빌딩, 대형 상업시설 및 주요 사회기반시설물의 경우, 방호·방폭과 관련된 보강된 대비책을 강구하는데에 적용 및 활용되어질 수 있으며, 이에 따른 대 국민 불안요소를 저감시키는데에 기여할 수 있음
- 주요 사회기반시설물 및 건축물의 충분한 방호·방폭 기능을 부여함과 동시에 사고 발생시에 발생할 수 있는 2차적 피해(화재 등)를 감소시킴으로써, 이에 발생할 수 있는 인적, 물적 피해의 최소화를 통한 사회기반 보전기능의 역할을 수행할 수 있음

(3) 예산 적정성 분석

- 유사사업 등과의 비교 등을 활용한 정부연구개발 투자비 규모의 적정성, 세부 사업/과제별 사업비의 적정성을 분석하였음
- 국토해양부에서 수행한 유사사업의 연구비를 비교분석한 결과 연구기간 대비 사업비 규모는 기존의 유사한 연구단과의 연구 규모 등을 고려한다면 사업비 규모는 적정한 것으로 판단됨
- 연구의 성공은 예산 지원 정도에 따라 결정될 수 있기 때문에 과제지원기관의 적극적인 예산 지원은 매우 중요할 것임

목 차

1. 기술의 정의 및 필요성	1
가. 기술의 정의 및 필요성	1
(1) 기술의 정의 및 필요성	1
(2) 세부과제별 기술정의	3
나. 기술분류 및 내용	6
(1) 기술분류	6
(2) 기술내용	8
2. 국내외 동향 및 환경 분석	10
가. 국내외 정책 동향	10
(1) 국내 정책 동향	10
(2) 국외 정책 동향	16
나. 국내외 시장현황 및 전망	29
(1) 국내 시장 현황	29
(2) 국외 시장 현황	32
다. 기술동향 분석	33
(1) 기술 분류 및 정의	33
(2) 기술개발동향 분석	33
(3) 특허동향분석	45
(4) 논문동향분석	49
라. 인프라 현황 분석	52
(1) 건설연구 인프라 운영원 실험센터 실험시설 인프라 현황조사	52
(2) 정부출연기관 실험시설 인프라 현황조사	55
(3) 국방과학연구소 실험시설 인프라 현황조사	56
마. 종합분석	57
(1) 국내외 정책 및 시장분석	57
(2) 기술개발 동향 및 인프라 분석	61
3. 기술수요 및 예측조사	62
가. 기술수요조사	62
(1) 기술수요조사의 개요	62

(2) 기술수요조사 결과분석	63
나. 기술예측조사	68
(1) 기술예측조사의 개요	68
(2) 조사방법론	69
(3) 기술예측조사 결과	70
4. 기술개발추진방향 정립	73
가. SWOT 분석	73
나. Issue Tree	74
5. 연구개발과제 구성 및 추진전략	77
가. 비전 및 목표	77
(1) 비전 및 목표	77
(2) 설정근거	78
(3) 기존 기술(연구)과의 차별성	80
(4) 단계별 목표	84
나. 기술개발에 따른 미래상	85
(1) 현황 및 미래상	85
(2) 기술개발 전략 및 효과	86
(3) 기대효과	93
다. 연구개발과제 구성	96
라. 과제별·연차별 기술로드맵 및 성과로드맵	98
(1) 주요기술연관도	98
(2) 1세부 기술로드맵 및 성과로드맵	98
(3) 2세부 기술로드맵 및 성과로드맵	99
(4) 3세부 기술로드맵 및 성과로드맵	99
마. 성과의 활용방안	100
(1) 기술개발 성과 활용방안	100
바. 연구수행체계 제안	102
(1) 연구수행체계	102
(2) 시장 진입 전략	104
6. 사전타당성 검토	107
가. 정책적 타당성	107

(1) 국가 전략적 중요성	107
(2) 상위계획과의 부합성	108
(3) 사업추진의지와 관련 기관 협조체계	109
(4) 사업추진상의 위험요인과 대응방안	109
나. 기술적 타당성	111
(1) 기술개발 계획의 적절성	111
(2) 기술수준 및 성공가능성	115
(3) 중복성 검토	117
다. 경제적 타당성	117
(1) 경제성 분석	117
(2) 파급효과	119
(3) 예산 적정성 분석	120
라. 사전타당성 검토 결과	121
7. 인력투입계획 및 소요예산 산정	122
가. 연구일정에 따른 인력투입계획	122
(1) 전체사업 인력투입계획	122
나. 소요예산 산정	125
(1) 산정 개요	125
(2) 전체사업 소요예산	125
다. 세부과제별 소요예산	128
(1) 예산 산정방법	128
(2) 중점추진분야별 소요예산	128
8. 과제 제안요구서	134
가. 과제 제안요구서(RFP)	134
나. 평가기준의 설정	154

1. 기술의 정의 및 필요성

가. 기술의 정의 및 필요성

(1) 기술의 정의 및 필요성

(가) 기술의 정의

『방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강시멘트 복합재료의 개발』기술은 대형 충격 및 폭발과 같은 중대사고 발생 시 국가 사회기반시설 및 건축물의 피해를 최소화하기 위해 시설물 및 건축물의 방호·방폭 성능을 대폭적으로 향상시킬 수 있는 기술을 개발, 이를 통하여 최종적으로 인명 안전 (Life Safety)과 재산 보호 (Property Protection) 및 사회 불안요소 저감 (Social Security)을 달성함으로써 안전한 국가 및 사회를 보장하고자 하는 기술임.

① 『방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강시멘트 복합재료의 개발』 개념 정립

□ 건설재료 및 자재 측면

- **방호·방폭** : 외부의 충격 및 폭발 등 물리적 충격으로부터 구조물 및 구조물 내부에 존재하는 재산 및 인명에 대한 보호 및 피해를 최소화 하는 기능을 의미함
- **방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강시멘트 복합재료** : 구조물의 방호·방폭 기능을 부여하기 위하여 구조부재의 두께를 증가시키는 방식에서 탈피, 구조적 기능상의 최적화된 부재 두께만으로도 방호·방폭 요구성능을 만족할 수 있도록 시멘트계 재료에 섬유를 첨가하여 방호·방폭 성능을 향상시킨 복합재료 개발 기술
- **방호·방폭 보강자재** : 신규 또는 기존 구조물에 방호·방폭 기능부여 및 성능강화를 위하여 시멘트계와 타 신소재 등을 이용하여 고성능 보강자재(판넬형, 외피형, 뿔칠형 등) 형태의 건설자재 개발 기술

□ 성능평가 측면

- **방호·방폭 성능평가** : 재료, 자재, 구조부재 각 단계별 내충격성능, 방폭성능에 대한 정량적, 정성적 성능을 평가하기 위한 시험 및 분석 기법의 개발을 의미함
- **동적 재료물성 평가** : 재료 단계에서 충격 및 폭발하중을 고려한 정량적, 정성적 동적 물성 시험법 개발, 시험기준 정립과 시험장비 개발 기술
- **자재·구조부재 방호·방폭 성능 평가** : 자재 및 구조부재 요소별 정량적, 정성적 방호·방폭 성능 평가 기법의 정립 및 평가시스템 구축 기술
- **구조시스템 방호·방폭 성능 평가** : 기둥, 벽체, 슬래브 등으로 구성된 기본 단위 구조요소에 대

한 방호·방폭 성능 평가 기법의 정립 및 평가시스템 구축 기술

- **구조물 방호·방폭 실증실험 및 평가** : 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료를 적용한 고려대상 구조물(건축물, 교량 기둥, 방호벽 등) Mock-up을 대상으로 방호·방폭 성능의 실증실험 및 평가 시스템 구축 기술

□ 구조물의 적용 측면

- **방호·방폭 설계** : 시설물 및 구조물 중요도별 등급 분류체계 구축, 대상 충격 및 폭발 하중별 방호·방폭 등급 체계화와 해석평가 및 설계기법의 구축 등을 통한 구조물 방호·방폭 성능부여 체계의 구축을 의미함
- **방호·방폭 등급체계** : 시설물 및 구조물 중요도별 등급 분류체계 및 기준 구축 기술
- **방호·방폭 구조물 설계** : 방호·방폭 하중을 고려하여 구조물을 부재요소 및 구조시스템을 해석 및 설계하는 기술을 말함. 단, 이 과업에서는 고성능 섬유보강시멘트 복합재료를 적용한 구조부재의 설계에 국한하며, 구조물의 전체 시스템을 설계하는 것은 과업범위를 벗어남

(나) 기술의 필요성

① 대형 충격·폭발 사고 및 테러에 의한 사회기반 시설물의 피해 저감대책 수립 필요

- 구조물 및 시설물의 대형화에 따라, 단 한번의 극한하중에 대한 사고에도 수많은 인명 및 재산 피해 발생 가능성 증대



(a) 오스트리아 Gotthard터널 화재



(b) 유조차량의 충돌 후 폭발로 인한 교량붕괴(미국 캘리포니아)



(c) 항공기 충돌 테러 (미국, 펜타곤)

그림 1 대형 충돌 사고 및 테러로 인한 구조물 손상 사례



(a) 이천 냉동창고 화재사고



(b) WTC 항공기 충돌 후 화재로 인한 빌딩 붕괴



(C) 영동 고속도로 화재

그림 2 대형 화재로 인한 구조물 붕괴 및 손상 사례

- 건물 및 사회기반 시설물에 매우 심각한 손상을 유발, 그로 인한 손상으로 사용성을 저감시킬 뿐만 아니라 사회기반 시설물 전체를 새로 교체하여야 할 정도의 심각한 피해를 초래할 수 있음
 - 이러한 사회기반시설물 및 건축물의 재건에는 막대한 경제적 비용을 요구하게 됨
 - 국민의 안전이 위협받음으로써 심각한 사회적 혼란을 야기시킬 수 있음
- 또한, 세계에서 유일한 분단국가인 한국에서는 테러 및 충돌사고에 대한 특수 구조물의 위험도 노출이 세계 최고수준이고, 우리나라는 경우 몇 개의 대도시에 인구가 밀집되어 있는 주거 특성을 가지고 있어 테러나 충돌 및 폭발사고가 발생할 경우 매우 큰 국가적인 손실과 피해가 예상됨

② 기존의 방호·방폭 기능 부여방식의 한계점 극복 필요

- 국방산업에서 적용하는 방호·방폭 구조물 및 그에 사용되는 재료는 대상으로 하는 충격 및 폭발체가 차량, 인화물질, 화약류 뿐 만 아니라, 군사용 총탄, 포탄 및 미사일 등과 같은 무기에 의한 공격에 대비하는 방식임.
- 이에 따라 일부 전통적인 군사용 방호·방폭 구조물은 매우 두꺼운 콘크리트 벽체두께를 가지도록 설계되고 있음.
- 군사용으로 적용하고 있는 방호·방폭 방식 및 기준을 일반 민간 시설물에 직접 적용하는 것에는 분명한 한계점이 있음
 - 즉, 빌딩 및 사회기반 시설물과 같이 한정된 공간내에 축조되거나 축조되어진 구조물에 방호·방폭 기능을 부여하기 위해서는 충분한 방호·방폭 성능을 가지면서, 구조물의 두께를 크게 변화시키지 않을 수 있는 고성능의 방호·방폭용 구조 및 보강 재료의 개발이 필요한 실정임

(2) 세부과제별 기술정의

(가) 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 복합재료·자재 개발 분야 기술

- 기술의 개념
 - 신규 구조물 건설 시 방호·방폭 성능 부여를 위한 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 개발기술임
- 기술의 범위
 - 압축강도, 인장강도 등 기본 물성의 (초)고강도화 기술
 - 방호·방폭 성능 증대를 위한 단섬유 형상의 보강섬유 개발 기술
 - 고성능 단섬유 보강 시멘트 복합재료를 적용한 방호·방폭 자재의 추가적인 성능 강화를 위한 보강용 섬유 직조기술(2D, 3D)과 직조된 섬유와 시멘트 복합재료의 최적 합성기술
 - 고성능 섬유보강 복합재료를 적용한 구조물 설계기술 및 성능평가 기술

□ 시장 및 정책 적용 범위

- 국가중요시설물(예: 국방부 훈령 제1057호)중 중요도가 높은 구조물(예: 국가 및 공공기관 시설, 산업시설, 전력시설, 정보통신시설, 교통시설, 공항, 항만시설, 수원시설, 교정·정착지원시설 등)의 신설 공사에 우선적 적용 및 적용 대상 구조물의 확대 추진
- 적용 시장의 확보 및 확대는 국가의 정책적인 뒷받침 및 시설물 관리주체의 적극적인 대응 필요

(나) 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발 분야 기술

□ 기술의 개념

- 기존 구조물의 방호·방폭 기능 부여 및 강화를 위한 보강용 복합재료 및 자재 개발 기술

□ 기술의 범위

- 방호·방폭 보강용 뿔침형 복합재료 제조 및 시공기술
- 방호·방폭 보강용 외피형 또는 패널형 복합재료 제조 및 시공기술
- 방호·방폭 보강용(FRP 등)Sheet 부착형 자재 개발 및 시공기술

□ 시장 및 정책 적용 범위

- 기존 국가중요시설 중 방호·방폭 기능 부여가 필요한 주요 구조물에 우선적 적용 및 적용 대상 확대 추진
- 적용 시장의 확보 및 확대에는 국가의 정책적인 뒷받침과 시설물 관리주체의 적극적인 대응 필요

(다) 방호·방폭 기준 및 성능 평가기술 개발 분야 기술

□ 기술의 개념

- 대상 구조물의 방호·방폭 등급 체계 및 적용기준의 구축
- 방호·방폭용 재료의 내충격, 방폭 관련 정량적 물성평가 기술
- 방호·방폭용 자재 및 부재의 내충격, 방폭 관련 성능평가 기술

□ 기술의 범위

- 방호·방폭 적용대상 구조물의 분류 및 등급화와 적용하중의 분류 체계화를 통한 방호·방폭 기준의 개발
- 섬유보강 복합재를 적용한 고성능 방호·방폭 재료, 자재 및 부재 단계별 성능 평가 시스템의 구축
- 개발 재료 및 자재의 내충격 성능에 대한 정량적, 정성적 평가기반 장비 구축 및 평가기술 개발
- 고속 충격 및 폭발 하중 하의 재료 물성 변화 정량평가 기준 개발
- 방호·방폭 성능예측을 위한 재료 물성 모델 개발

□ 시장 및 정책 적용 범위

- 방호·방폭 성능평가 관련 정책 수립의 자료로 활용
- 방호·방폭용 재료 및 자재의 품질기준으로 활용
- 현재 석유·화학 관련 플랜트 및 국방산업 등에 국한적으로 구축되어진 방호·방폭 관련 성능평가 기술의 타 시설물 및 구조물 분야로의 확대 적용을 위한 기반 평가기술의 확보와 공급 추진

나. 기술분류 및 내용

(1) 기술분류

- 충격, 폭발을 고려한 극한 환경 저항성 향상 섬유보강 복합재료의 개발을 위한 중점 연구 분야를 다음과 같이 구성하였음

대분류		중분류		소분류			
1	방호·방폭용 고성능 복합재료·자재 개발 분야	1	방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발	1	방호·방폭용 고성능 보강 섬유 개발		
				2	방호·방폭 기능 강화용 Hybrid-Mesh 섬유 직조 기술 개발		
				3	방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 배합, 제조 및 시공 기술 개발		
		2	고성능 섬유보강 복합재료 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발	1	구조부재 방호·방폭 두께 최적화 산정 모듈 개발		
				2	충격·폭발 발생시 구조체 손상 예측 해석 모델 개발		
				3	방호·방폭 구조시스템 최적화 설계 기법 개발		
		3	고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 구조물 방호·방폭 실증 실험	1	고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 Mock-up 구조물 방호·방폭 실증실험		
		2	기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료·자재 개발 분야	1	기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발	1	패널형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발
						2	뿔칠형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발
3	외피형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발						
3	방호·방폭 기준 및 성능 평가기술 개발 분야	1	방호·방폭 구조물 등급 체계 구축	1	대상 구조물 방호·방폭 등급 분류체계 개발 및 정비		
				2	충격·폭발 하중 산정 및 적용하중 등급체계 개발		
		2	방호·방폭 동적 재료물성 평가 및 재료모델 개발	1	동적 충격 재료물성 시험·평가기술 개발		
				2	동적 충격 자재물성 시험·평가기술 개발		
				3	동적 재료모델 개발		
		3	구조부재·구조시스템 방호·방폭 성능평가 기법 개발	1	구조부재·구조시스템 방호·방폭 성능평가 기술 및 기준 개발		

방호·방폭 구조를용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 개발



그림 3 중점 연구분야 분류

- 방호·방폭 기능의 체계적인 부여 및 평가 체계 구축을 위한 방호·방폭 등급 분류체계 및 평가 시스템 개발 분야 선정
- 대형 충격 및 폭발로부터 시설물의 안전성을 유지할 수 있는 우수한 방호·방폭 기능을 가진 건설재료 연구개발 분야를 발굴하고 신규 건설 및 기존 시설물에 방호·방폭 성능을 부여할 수 있는 자재와 시공법에 대한 연구개발 분야를 도출
- 개발된 고성능 방호·방폭용 재료 및 자재의 성능발현 최적화를 위한 설계최적화 기법과 재료, 자재, 구조물 단계별 손상예측 및 성능평가 기법의 구축 분야 선정
- 해당 연구개발 분야에 대한 수행과제 도출과 도출된 결과에 대한 근거 및 논리를 제시하고 구체적이고 실천적인 R&D 전략수립을 위한 기획 수행
- 적용 대상은 정부 주요시설물, 대형 석유·가스플랜트 등의 산업기간시설물, 교량 및 터널 등의 사회기반시설물, 대형 업무/주거시설, 원전시설 및 국방시설물 등, 중요 시설물에 모두 적용이 가능한 기술 개발을 목적으로 하여 연구개발 전략을 수립함

(2) 기술내용

(가) 방호·방폭 구조물용 고성능 복합재료·자재 개발 분야 기술내용

중분류		기술내용
1-1	방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발	부재 치수의 증가 없이 방호·방폭 성능을 극대화 할 수 있는 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발
1-2	고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발	방호·방폭용 고성능 복합재료를 적용한 구조물의 최적 설계기법 개발
1-3	고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 구조물 방호·방폭 실증실험	고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 Mock-up 구조물 방호·방폭 실증실험

소분류		기술내용
1-1-1	방호·방폭용 고성능 보강 섬유 개발	방호·방폭 기능 극대화를 위한 보강섬유의 설계 및 생산기술 개발
1-1-2	방호·방폭 기능 강화용 Hybrid-Mesh 섬유 직조 기술 개발	방호·방폭용 자재 및 부재에 추가적인 방호·방폭 기능강화를 위한 Hybrid-Mesh 섬유 직조 설계 및 생산기술 개발
1-1-3	방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 배합, 제조 및 시공 기술 개발	방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 최적배합 도출 및 제조기술, 시공성 향상기술 개발
1-2-1	구조부재 방호·방폭 두께 최적화 산정 모듈 개발	방호·방폭 구조부재별 두께 최적화(최소화) 산정 프로그램 개발
1-2-2	충격·폭발 발생시 구조체 손상예측 모델 개발 및 구조물 연쇄붕괴 방지를 위한 해석평가 기법 개발	방호·방폭 대상 구조물의 충격·폭발 하중 하에서의 손상거동 예측 모델 개발 및 구조물 안전성 해석평가 프로그램 개발
1-2-3	방호·방폭 구조시스템 최적화 설계 기법 개발	고성능 방호·방폭 재료 및 자재를 적용한 구조물 최적 설계기법 개발
1-3-1	구조물 방호·방폭 실증실험	고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 Mock-up 구조물 방호·방폭 실증실험

(나) 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료·자재 개발 분야 기술내용

중분류		기술내용
2-1	기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발	기존 사용 중 구조물의 방호·방폭 기능 부여 및 강화를 위한 고성능 방호·방폭 보강재료 및 보강자재 개발

소분류		기술내용
2-1-1	패널형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발	조립식 패널형 방호·방폭 보강용 복합재료 및 적용기술 개발
2-1-2	뿔칠형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발	구조부재 표면부 뿔칠 부착형 방호·방폭 보강용 복합재료 및 적용기술 개발
2-1-3	외피형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발	구조부재 표면부 외피 부착형 방호·방폭 보강용 Sheet 복합재료 및 적용기술 개발

(다) 방호·방폭 기준 및 성능 평가 분야 기술내용

중분류		기술내용
3-1	방호·방폭 구조물 등급 체계 구축	중요구조물 방호·방폭 요구성능의 등급 체계 확립
3-2	충격·폭발 발생시 동적 재료물성 평가기법 및 재료모델 개발	재료 및 자재의 내충격, 방폭 성능의 정량적 물성 시험평가 기법 개발 및 구축 구조물 방호·방폭 성능 예측 및 평가해석에 필요한 동적 재료물성 모델식 개발
3-3	구조부재 방호·방폭 성능평가 기법 개발	부재별 내충격, 방폭 성능 시험평가 기술 개발

소분류		기술내용
3-1-1	대상 구조물 방호·방폭 등급 분류체계 개발 및 정비	중요도에 따른 구조물 및 시설물 분류 및 방호·방폭 등급체계 확립
3-1-2	충격·폭발 하중 산정 및 적용하중 등급체계 개발	충격·폭발 종류별 적용 하중 산정 및 방호·방폭 등급별 고려대상 적용하중 등급체계 확립
3-2-1	동적 충격 재료물성 시험·평가기술 개발	고속 충격하중 발생시의 재료 압축·인장 재료물성 변화 시험평가기술 개발
3-2-2	동적 충격 자재물성 시험·평가기술 개발	고속 충격하중 발생시의 방호·방폭 자재 내충격 성능 평가기술 개발
3-2-3	구조물 설계 및 해석에 필요한 동적 충격 재료물성 모델식 구축	구조물 방호·방폭 성능 예측 및 평가해석에 필요한 동적 재료물성 모델식 개발
3-3-1	구조부재 내충격 평가기술 개발	부재별 내충격 평가기술 개발
3-3-2	구조부재 방폭 평가기술 개발	부재별 방폭 평가기술 개발

2. 국내외 동향 및 환경분석

가. 국내외 정책동향

(1) 국내 정책 동향

- 국내에서는 국방시설물을 제외하고 방호·방폭 구조물 관리기준에 체계가 명확히 갖추어져 있지 않았으나 최근 이에 대한 필요성을 인지하며 국가안보기관, 국토해양부, 지자체를 중심으로 법제정 및 제도화를 추진 중에 있음

☞ 행정안전부 : 정부청사 소산시설 설계지침 (방폭고려, 대외비)

☞ 국토해양부 : 건축물 테러예방 설계가이드라인 2010년 4월부터 시행

- 국토해양부는 테러에 취약한 다중이 이용하는 건축물에 대한 테러예방 활동을 강화하기 위하여 건축물 테러예방 설계가이드라인을 마련, 건축물 설계단계에서부터 테러로 인한 피해를 예방하고 피해를 최소화 할 수 있는 건축물의 설계를 유도하고 있음

- 적용대상으로는 [건축법시행령] 별표 1에 따른 문화 및 집회시설(동·식물원은 제외), 판매시설, 운수시설(공항시설은 제외한다), 의료시설 중 종합병원, 업무시설, 숙박시설 중 관광숙박시설로서 같은 건축물에 해당용으로 쓰이는 바닥면적의 합계가 2만제곱미터 이상인 건축물과 [건축법시행령] 제2조 제15호에 따른 50층 이상 또는 건축물의 높이가 200m 이상인 초고층 건축물로 함

※ 구조물 방호·방폭 관련 사항:

(장애물 구축)

- 대지 주변에 블라드, 플랜트 박스, 혹은 조경수를 식재하여 연속적인 장애물이 구축되도록 계획 (폭발물을 적재한 차량이 돌진하여 건축물과 충돌하는 것을 방지)

(건축물 계획)

- 건축물 형태 및 구조는 폭발로 인한 피해가 최소화 되도록 계획 (가급적 오목한 부분이나 오버행(돌출)이 발생하는 부분을 지양하며, 블록하거나 상층부가 후퇴(set-back)하는 형태가 바람직함)
- 저층부, 로비 등에 설치되는 창문유리나 마감자재는 비산과편에 의한 인명피해가 최소화될 수 있는 자재를 사용

(실내 공간 계획)

- 다중이 이용하는 공간과 보안이 요구되는 주요 공간은 수직 및 수평으로 분리하여 배치하고 사이에 완충 공간 혹은 강화된 벽체나 슬래브를 배치하는 것이 바람직함
- 인명 피해가 크게 우려되고 가연성 물질 등이 있는 공간은 외부의 충격에 대비하여 배치하도록 하고 건축물 외피와의 사이에 완충 공간, 혹은 강화된 벽체나 슬래브를 배치함

- 서울특별시는 초고층 건축물 가이드라인 (2009. 8 제정)을 제정, 2009년도부터 서울시내에 들어서는 50층 이상, 200m 이상의 초고층 건물에 대해서는 대 테러 대책을 세워야 건축이 가능하도록 함
 - 초고층 건축물 가이드라인 제 16조 테러 예방 및 안전관리 계획 별표 1에서 방호·방폭 관련 사항을 명시하고 있으며, 그 내용은 국토해양부 건축물 테러예방 가이드라인과 유사함
- 미국의 911 테러발생 이후, 미연방법 10CFR50.150 (CFR : Code of Federal Regulations)을 바탕으로, 신규 원전구조물의 설계시, 대형 민간항공기의 충돌시 원전구조물의 안전성을 입증하도록 하고 있음
 - 이러한 항공기 충돌과 관련된 사항은 미국 뿐 만 아니라 국내외 모든 원전구조물의 인허가 사항에 필수적으로 포함되고 있고, 벽체 두께의 증가 또는 이중 격납구조 등의 보강방식을 제시하고 있음
- 국방부는 국방2020계획에 의한 부대 증·창설소요에 따라 새로이 설치될 화생방 방호시설에 대해 국방부 차원에서 공통으로 적용할 수 있는 화생방 방호시설의 설계·시공 지침(2008. 12)을 제시하였음
 - 화생방 방호시설의 설계에 있어서 고려되는 하중은 포탄과 같은 재래식 무기에 의한 충격, 폭발과 핵폭탄 폭발에 의한 폭풍 등이 있고, 이러한 다양한 충격하중에 대한 일반 콘크리트 적용 구조물의 설계 및 시공지침을 마련하고 있으며, 충격하중의 종류에 따라 최고 4.5m의 벽체두께를 제시하고 있음
- 한편 국방부훈령 제 721호(2002. 12. 3) 및 제1057호(2009. 5. 25) 상의 국가중요시설 지정 및 방호 훈령에서는 제2장에서 국가 중요시설의 지정을 다음과 같이 하고 있으며, 각 중요시설에 대해서도 중요도에 따라 등급을 세단계로 나누어서 관리하고 있음

(지정권자)

국가중요시설은 법 제15조의2제4항에 의거 국방부장관이 관계 행정기관의 장 및 국가정보원장과 협의하여 지정

(국가중요시설의 대상)

1. 주요 국가 및 공공기관시설
2. 철강, 조선, 항공기, 정유, 중화학, 방위산업, 대규모 가스·유류 저장시설 등 주요 산업시설
3. 원자력 발전소, 대용량 발전소 및 변전소 등 주요 전력시설
4. 전국 및 지역권 방송국, 송신·중계소 등 주요 방송시설
5. 국제위성지구국, 해저통신중계국, 국가기간전산망, 전화국 등 주요 정보통신시설
6. 철도 교통관제 센터 및 지하철 종합 사령실, 교량, 터널 등 주요 교통시설
7. 주요 국제·국내선 공항
8. 대형 선박의 출·입항이 가능한 항만
9. 대형 취수·정수시설 및 다목적 댐 등 주요 수원시설
10. 종합적인 체계를 갖춘 연구시설, 핵연료 개발 연구시설 등 국가 안보상 중요한 과학연구시설
11. 교정·정착지원 시설
12. 전력, 통신, 상수도, 가스 등을 수용하고 있는 대도시 주요 지하공동구 시설
13. 기타 적에 의해 점령 또는 파괴되거나 기능이 마비될 경우 국가안보 및 국민생활에 심대한 영향을 미치는 시설

(국가중요시설의 분류)

1. “가” 등급
 - 적에 의하여 점령 또는 파괴되거나, 기능 마비시 광범위한 지역의 통합방위 작전수행이 요구되고, 국민생활에 결정적인 영향을 미칠 수 있는 시설
2. “나” 등급

<ul style="list-style-type: none"> - 적에 의하여 점령 또는 파괴되거나, 기능 마비시 일부 지역의 통합방위작전 수행이 요구되고, 국민생활에 중대한 영향을 미칠 수 있는 시설
<p>3. “다” 등급</p> <ul style="list-style-type: none"> - 적에 의하여 점령 또는 파괴되거나, 기능 마비시 제한된 지역에서 단기간 통합방위작전수행이 요구되고, 국민생활에 상당한 영향을 미칠 수 있는 시설 <p>※ 수 개의 국가중요시설이 인접한 지역에 밀집되어 효과적인 경비·보안 및 방호를 위하여 단일 국가중요시설로 지정할 경우 그 등급은 동일 울타리 내의 시설 최상위 등급 시설의 등급으로 한다.</p> <p>※ 수 개 분야의 생산품을 생산하는 산업시설의 등급은 최상위 등급 시설 또는 주 생산품 생산시설의 등급으로 한다.</p>

표 1 국가중요시설 등급별 분류

구분		등급			비고
		가	나	다	
국가 및 공공기관 시설	청와대, 국회의사당, 대법원, 정부중앙청사, 국방부·국가정보원 청사, 한국은행 본점	○			
	중앙행정기관 각 부·처 및 이에 준하는 기관, 대검찰청·경찰청·기상청 청사, 한국산업은행·한국수출입은행 본점		○		
	중앙행정기관의 청사, 국가정보원 지부, 한국은행 각 지역본부, 다수의 정부기관이 입주한 남북출입관리 시설, 기타 중요 국·공립기관			○	
산업시설	철강, 조선, 항공기, 정유 등 국가경제에 중대한 영향을 미치는 대규모 산업시설, 전투기, 전차, 함정, 화포 등 중화기를 생산하는 방위산업시설 중 파괴 또는 기능 마비시 국가안보에 직접적인 영향을 미치는 시설, 1,000만 배럴 이상의 대규모 저유시설과 LNG, LPG 인수기지, 연쇄적인 폭발위험성이 있는 대규모 총·포탄, 화약류 생산시설	○			
	국가경제에 영향을 미치는 중요산업시설로서 파괴시 대체가 곤란한 시설, “가”급 이외의 방위산업시설 중 주요 전투장비의 완제품 및 핵심부품 생산시설, 200만 배럴 이상의 저유시설과 1,000톤 이상의 LPG 저장시설		○		
	100만 배럴 이상의 저유시설과 500톤 이상의 LPG 저장시설, 기타 “가”, “나”급 이외의 특별한 보호가 요구되는 산업시설			○	
전력시설	원자력발전소	○			

	발전용량 100만kw 이상인 발전소, 354kv 이상 변전소 중 4Bank(계통) 이상을 연결하고, 주변압기가 4Bank(계통) 이상 설치된 변전소		○		
	발전용량 50만kw 이상인 발전소, 한강수계상의 주요 발전소, 345kv 이상 변전소 중 3Bank(계통) 이상을 연결하고, 주변압기가 4Bank(계통) 이상 설치된 변전소 및 765kv 변전소 등 중요 변전소, 특별한 보호가 요구되는 기타 전력시설			○	
방송시설	전국권으로 방송되는 공영 라디오·TV방송 제작시설, 라디오방송 송신출력 500kw 이상의 송신시설	○			
	전국권으로 방송되는 민영 라디오·TV방송 제작시설과 공영방송의 도 단위급 지방총국, 공영 라디오 방송 송신출력 250kw 이상의 송신시설, 수도권에 위치한 TV방송 송신출력 풀 10kw 이상의 송신시설		○		
	공영 라디오 방송 송신출력 100kw 이상의 송·중계시설, TV방송 송신출력 VHF 10kw 이상 및 UHF 30kw 이상의 송·중계시설			○	
정보통신시설	정부 전산망 통합관리시설, 종합 전과탑	○			
	국제 위성지구국(저궤도 제외), 국제 해저중계국, 위성통신 주 관제소, 경호·안보 통신업무 총괄국, 불온전파 감청, 방향탐지 지휘시설, 국가 기간 전산망 운영 및 선로수용 주요시설, 국가경제에 중대한 영향을 미치는 정보통신 기반·관리시설		○		
	경호·안보 통신 및 주요 군 작전 통신 수용 집중국, 불온전파 감청·방향탐지 시설, 민방공 경보센터, 민방공회선 수용 집중국, 3,000회선 이상의 국제통신 주요 관문국 및 위성통신 부 관제소, 국가 중요 데이터 백업시설			○	
교통시설	종합 항공·교통 관제시설, 특별한 보호가 요구되는 한강상 주요 교량·철교, 전국 단위 열차운행 종합사령실	○			
	지역단위 철도·지하철 종합 사령실 및 종합운영 시스템, 남북으로 연결된 주요 간선 중 군사작전에 중요한 영향을 미치고, 주요 산업시설과 연결된 구간상의 철교, 우회 수송로상의 트러스교 및 경간교 중 48시간 이상 복구시간이 소요되는 주요 철교		○		
	주요 지하철 노선상의 하저터널, 군사작전상 특별한 보호가 요구되는 주요교량(철교) 및 터널			○	
공항	국제공항	○			
	국제공항을 제외한 주요 국내공항		○		

항만시설	1만톤 이상의 선박출입이 가능하고, 동시 접안능력이 100만톤 이상인 항만시설	○			
	1만톤 이상의 선박출입이 가능하고, 동시 접안능력이 50만톤 이상인 항만시설		○		
	동시 접안능력이 10만톤 이상인 항만시설, 기타 특별한 보호가 요구되는 항만시설			○	
수원시설	급·취수능력 1일 150만톤 이상의 상수도 및 공업용수 공급시설, 총 저수용량 10억톤 이상의 다목적 댐	○			
	급·취수능력이 1일 100만톤 이상의 상수도 및 공업용수 공급시설, 총 저수용량 5천만톤 이상의 용수공급 전용댐, 기타 주요 다목적댐			○	
	급수능력 1일 50만톤 이상의 상수도 및 공업용수 공급시설, 기타 특별한 보호가 요구되는 용수공급 전용댐				○
과학연구 시설	종합적인 체계를 갖춘 연구시설, 핵연료 개발 연구시설	○			
	“가”급 이외의 국가안보상 특별히 보호가 요구되는 과학연구시설			○	
교정·정착지원 시설	공안 및 공안 관련 사범의 수용을 위주로 하는 교정시설, 2,000명 이상 수용하는 교정시설, 북한 이탈주민 정착지원시설	○			
	1,000명 이상 수용하는 교정시설, 휴전선 부근 취약지역에 위치한 교정시설			○	
	“가”, “나”급 이외의 교정시설 (개방 교도소 제외), 특별한 보호가 요구되는 기타 교정·정착지원 시설				○
지하 공동구 시설	전력, 통신을 포함한 3개 이상의 시설을 수용하고, 대도시 인구밀집지역에 소재하여 기능 마비시 피해 영향이 크며, 국가 중요기관 또는 금융공동망, 증권망 등 경제·사회적 파급 영향이 큰 전산망이 수용된 지하공동구시설	○			
	전력, 통신을 포함한 3개 이상의 시설을 수용하고, 대도시 인구밀집지역에 소재하여 기능 마비시 피해 영향이 큰 지하공동구			○	
	기타 “가”, “나”급 이외의 지하공동구 중 특별한 보호가 요구되는 지하공동구 시설				○

※ 기타 국가안보 및 국민생활에 심대한 영향을 미치는 시설을 국가중요시설로 지정하고자 할 때의 분류기준은 국가중요시설 심의위원회에서 심의하여 결정

- 민방위 시설 기준의 경우에는 방호도를 7등급으로 구분, 1등급은 유사시 군 본부로 활용될 수 있는 시설로서 핵 공격을 제외한 모든 공격에 대한 방호가 가능하고, 2등급은 GP550 폭탄의 직접 폭발에 대한 방호가 가능하도록 규정하고 있음. (출처: 민방위 기본법 제 14조). 이와 유사

하게 국방부는 방호도 등급을 3등급으로 구분하는데 있어서 폭발물의 종류와 폭발 이격거리별로 구분하여 대비토록 하고 있음 (상세내용은 대외비 사항임)

※ 기타 국가안보 및 국민생활에 심대한 영향을 미치는 시설을 국가중요시설로 지정하고자 할 때의 분류기준은 국가중요시설 심의위원회에서 심의하여 결정하고 있음

- 이러한 기준은 미군의 적용기준인 TM 5-1300 (US Army, 1990)을 근간으로 하고 있으며, 최근 새로운 내용으로 미 육군, 해군, 공군의 각 가이드라인을 통합한 UFC 3-340-02 (DOD, 2008)의 기준에 준하고 있음
- UFC 3-340-02는 다음과 같이 재료, 부재, 구조시스템 차원에서 위험요인에 대한 성능을 실험이나 해석을 통해 검증토록 하고 있고, 방호 구조물의 설계 혹은 성능평가에서 대상 하중의 정의를 명확히 하기 어려운 경우, TNT로 환산된 폭탄의 무게와 시설물과 폭탄의 이격거리로 평가하는 방법으로 이에 근거한 시설물 거동 및 피해 평가를 실시토록 하고 있음

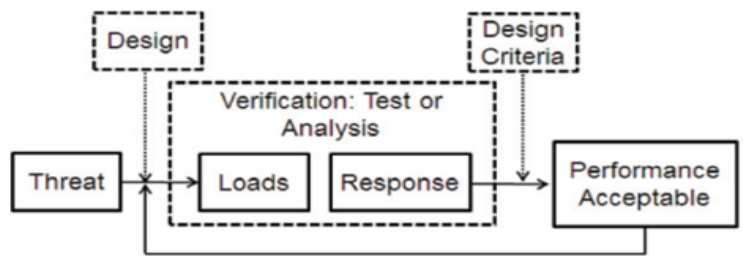


그림 4 방호구조물의 설계 및 성능 평가 체계 (UFC 3-340-02, 2008)

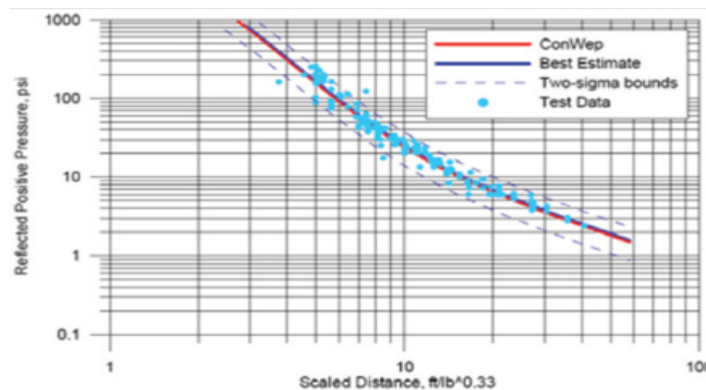


그림 5 폭압에 대한 평가 예

- 한편, 국내의 경우 방폭 기준에 있어서 폭발하중과 관련된 사항은 국방관련 이외에는 석유·가스·화학 플랜트 시설물에 국한되어 일부 적용되어지고 있고, 그 적용기준 또한 외국의 10여년 전에 마련된 기준을 (미국 교범자료, 1986) 따르고 있는 등, 매우 한정적인 관계로 이에 대한 정비도 시급한 실정임

표 2 국내 방폭기준 예

항 목	범 위	폭발하중규모	적용 폭발하중	하중 해석방법	설계방법
산업안전 기준법 (한국) 1997	법 27조에 근간하여 제어실의 위치 및 설계기준을 정함	CIA 지침을 근간으로 함	10 psi for 20 μ s 폭발압력에 견딜 수 있도록 방폭벽으로 설계	언급없음	언급없음

□ 이와 같이 최근 들어 방호·방폭과 관련된 다양한 규정 및 기준이 새로이 제시되고는 있으나, 현실적으로 관련제도를 정착시키는데 원천적으로 필요한 방호·방폭용 재료 및 자재 기술과 성능평가 및 구조물 설계에의 반영과 같은 세부적인 내용에 대한 기반이 제대로 갖추어져 있지 못한 실정으로서, 제반 규정의 정비 및 기준화와 관련된 부분의 해결이 우선적으로 필요한 실정임

(2) 국외 정책 동향

□ 충격·폭발과 같은 극한하중과 관련된 기준수립 및 정책수립은 주로 2차 세계대전 이후부터 국방산업을 중심으로 활발히 진행되어져 왔으며, 미국의 경우 Army, Navy 및 Air force 가 함께 공동으로 방폭구조물에 대한 기준을 적용하고 있음(UFC - Unified Facilities Criteria)

□ 특히, 최근 들어서는 항공기를 이용한 충돌 및 폭발 (911 미국, 2001), 차량폭탄 테러 (오클라호마 연방청사 차량폭탄테러 등, 1995) 등 다양한 방식의 불특정 다수를 겨냥한 테러가 급증함에 따라, 민간시설물을 포함한 다양한 방호·방폭 대비책을 강구하고 있음

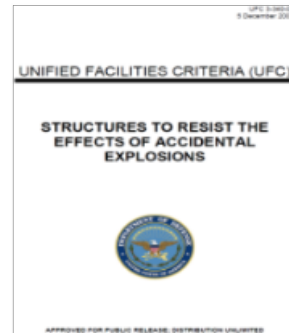


그림 6 빌딩 건축물에 대한 테러발생 사례
(좌측: World Trade Center-911,
우측: 오클라호마 연방청사 폭탄테러)

그림 7 UFC 3 -
340 - 02 (미 육해공
군 군사시설물 방폭
관련 규정)



그림 8 시설유형별 국제테러피해통계(1998~2003)
 (출처: Pattern of Global Terrorism 2003, U.S. Department of States)

- 미 국무부가 발표한 자료에 따르면 사람들의 출입이 빈번한 상업시설에서의 테러빈도가 다른 시설물에 비해 월등히 높고, 대규모의 상업시설은 인명살상을 통한 관심집중이라는 테러의 목적달성에 효과적인 장소로 악용되고 있기 때문에 화공플랜트 등의 에너지산업 시설물과 더불어 주요 방호·방폭 대상으로 관리되고 있음
- 이러한 국방분야와 관공서 및 주요 민간시설물에 적용고 있는 방호·방폭 기준 및 설계와 관련하여 기본적인 기준 설정의 근간을 이루고 있는 UFC 매뉴얼의 구성은 다음과 같음

표 3 미국 UFC 매뉴얼의 구성

UFC 항목	항목의 분류
UFC 1-XXX-XX	Policy, Procedures, and Guidance (정책, 절차 및 안내)
UFC 2-XXX-XX	Master Planning (주요 계획)
UFC 3-XXX-XX	Discipline-Specific Criteria (분야별 특정 기준)
UFC 4-XXX-XX	Multi-Disciplinary & Facility-Specific Design (다중 분야 및 시설물 특기 설계)
UFC 5-XXX-XX	Software and Tools (소프트웨어 및 평가 툴)

- 상기의 UFC 매뉴얼 중 충격·폭발 하중과 관련되어 그 내용이 일반에 공개되어진 대표적 기본 매뉴얼은 UFC 3-340-02 (Structures to resist the effects of accidental explosions) 으로서, 방호 시스템의 종류, 인체의 손상부위 및 정도별 폭발압, 시설물 및 구조물의 허용가능 폭발압, 충격·폭발로 인한 폭발압의 정의 및 종류, 폭발 발생시의 비산물의 위험도, 이를 고려한 철근콘크리트, 강구조물의 기본 설계 방법 등 충격·폭발과 관련된 다양한 정보를 제공하고 있음
- UFC 매뉴얼 시리즈 중 UFC 4-XXX-XX 는 특정 구조물별 안전 설계에 대하여 다루고 있으며, 해당 리스트는 다음 표와 같이 구성, 구조물 종류별 안전과 관련된 하중 대응 설계방식에 내용을 제시하고 있음

- 특히, 건축물의 경우에 있어서는 UFC 4-023-01의 신규 건축물에 대한 폭발 대응 구조 설계방식, UFC 4-023-02의 기존 건축물에 대한 폭발 대응 구조 설계방식 및 UFC 4-023-03의 구조물 연쇄붕괴 방지 설계 등을 대표적으로 들 수 있음 (상세 내용 미공개)

표 4 UFC 4 Security Engineering Manual 리스트

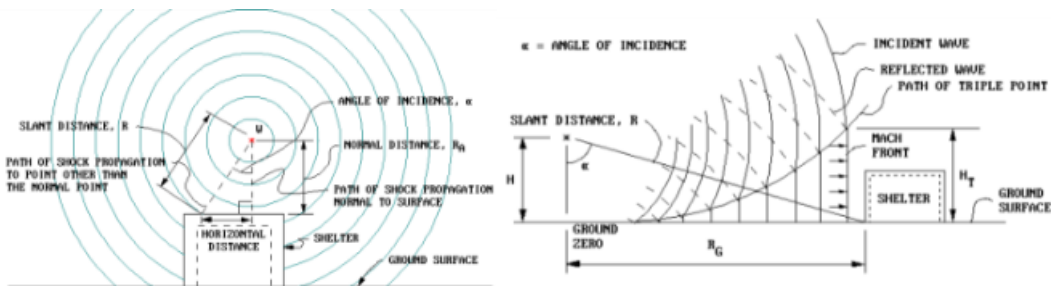
UFC 항목	매뉴얼 제목	UFC 항목	매뉴얼 제목
UFC-4-021-01	Mass Notification Systems	UFC 4-025-01	Security Engineering: Design for Waterfront Security
UFC-4-022-01	Security Engineering: Entry Control Facilities/Access Control Points	UFC 4-024-10	Security Engineering: Design of Buildings to Resist Forced Entry
UFC-4-022-02	Security Engineering: Design and Selection of Vehicle Barriers	UFC 4-021-02	Security Engineering: Design of Electronic Security Systems
UFC-4-022-03	Security Engineering: Fences, Gates and Guard Facilities	UFC 4-027-01	Security Engineering: Design to Mitigate Terrorist Attacks in Expeditionary Environments
UFC-4-023-01	Security Engineering: Structural Design to Resist Explosives Effects for New Buildings	UFC 4-023-06	Security Engineering: Design of Mail Rooms, Delivery Points, and Building Entrances to Resist Explosive Effects
UFC-4-023-02	Security Engineering: Structural Design to Resist Explosives Effects for Existing Buildings	UFC 4-023-09	Security Engineering: Physical Security Measures for High Risk Personnel
UFC-4-023-03	Design of Buildings to Resist Progressive Collapse	UFC 4-024-03	Security Engineering: Airborne Chemical, Biological, and Radiological Detection Equipment Capabilities and Limitations
UFC-4-023-04	Security Engineering: Design of Windows to Resist Explosives Effects	UFC 4-024-04	Security Engineering: Airborne Chemical, Biological, and Radiological Particulate and Vapor Filtration Capabilities and Limitations
UFC-4-023-05	Security Engineering: Design of Doors to Resist Explosives Effects	UFC 4-026-02	Security Engineering: Design for Mitigating Acoustic Emanations
UFC-4-023-07	Security Engineering: Design to Resist Direct Fire Weapons Effects	UFC 4-026-03	Security Engineering: Design of Shielding for Reducing Electronic Emanations
UFC-4-023-08	Security Engineering: Design to Resist Indirect Fire Weapons Effects	UFC 4-027-05	Security Engineering: Design for Protecting Critical Infrastructure

- 현재 공개되어진 자료 중 대표적인 UFC 3-340-02 내용 중 주요 내용은 다음과 같음
- 보호의 등급을 다음과 같이 4 분류로 나누고 있음. 즉, Category 1의 인명 보호, Category 2의 장비 등 시설물의 보호, Category 3의 연쇄폭발 방지, Category 4의 연쇄 폭발로 인한 대형 폭발 방지로 크게 구분하고 있음. 이러한 분류법은 UFC 매뉴얼이 기본적으로 화약류 저장 시설 등 군사시설과 관련되어 개발된 매뉴얼이기 때문으로서, 민간시설물에 대한 보호 등급을 설정할 경우 그대로 적용하기에는 무리가 있음을 알 수 있음.

표 5 방호·방폭 보호 분류 체계 [UFC 3-340-02]

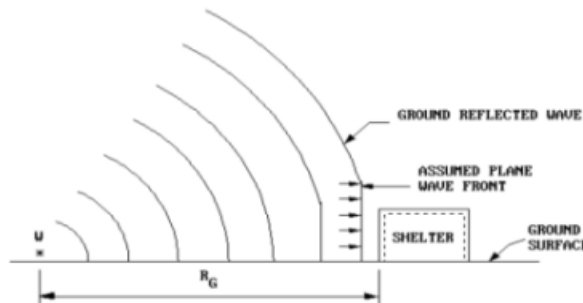
보호 분류 체계	
Protection Category 1	인명의 보호
Protection Category 2	장비, 시설 및 저장된 폭발물의 보호
Protection Category 3	연쇄 폭발의 방지
Protection Category 4	연쇄 폭발로 인한 대형 폭발 방지

- 방호·방폭 보호 시스템은 격납방식의 구조물 (Containment type structures), 대피시설물 (Shelters) 및 방벽으로 구분하고 있으며, 격납 구조물은 위험물질의 외부유출의 차단용으로서의 시스템임.
- 폭발 하중의 분류는 기본적으로 TNT 등가 하중으로 표현하고 있으며, 폭발 하중 발생의 종류는 기본적으로 폭발이 외부에서 발생하는 Unconfined Explosion과 방호벽 인접 또는 일부 오픈된 구조물 및 격납시설물 내에서 발생하는 Confined Explosion으로 나누어지며, 외부에서 발생하는 폭발의 경우, 구조물에 미치는 폭발압의 형태를 고려하여 Free-Air, Air 및 Surface Burst Explosion으로 구분하고 있음.



(a) Free-Air Burst Explosion

(b) Air Burst Explosion



(c) Surface Burst Explosion

그림 9 폭발 하중의 분류 (UFC-3-340-02)

- Confined Explosion의 경우는 Fully Vented Explosion, Partially Confined Explosion 및 Fully Confined Explosion으로 구분되어짐. 이는 주로 화약류 등의 취급 및 저장시설에서의 예기치 못한 폭발 발생시 폭발압을 산정하기 위한 분류에 적용되어지고 있음.
 - 본 연구의 고려대상인 보호 대상 구조물 외부에서의 폭발로 인한 극한 하중에 대해서는 다음과 같은 기본 사항을 고려하여야 함
 - 폭발의 크기
 - 폭발의 위치
 - 구조물의 형태
 - 폭발을 고려한 구조물의 방향 및 구조물 위치 (지상, 반지상 또는 지하 구조물 등)
 - 또한, 구조물에 작용하는 하중에 대해서는 최대 폭발압, 순간 및 동적 충격량 등을 고려하여야 하며, 각 폭발물 종류별 해당 정보를 UFC 3-340-02에서 제시하고 있음
 - 이 밖에 구조물에 미치는 외부 폭발 하중의 영향에 있어서 추가적으로 고려되는 항목으로는 구조체의 개구부 존재 유무이며, 이러한 다양한 부분에 대한 변수 등을 고려하여 구조물의 안전성을 평가 및 확보하도록 제시하고 있음
- 한편, 미 육군 공병단 (US Army Corps of Engineers) 산하의 PDC (Protective Design Center) 에서는 다음과 같이 건축물의 손상 정도 및 성능 목표를 고려한 보호 수준을 다음과 같이 제시하고 있음 (PDC TR-06-08).

표 6 건축물 보호 수준(등급) (PDC TR-06-08)

보호 수준	건축물 성능 목표	건축물 손상 정도
I (Very low)	붕괴 방지: 생존자는 탈출 가능하나 구조물 자체의 기능은 상실된 상태로 재사용 불가	전체 붕괴의 발생이 가능한 수준의 손상 (연쇄 붕괴는 없는 손상 수준)
II (Low)	인명 안전: 생존자는 탈출 및 일시적 출입 가능 상태로 구조물은 복구 가능 수준 유지	건축물의 보수 후 재사용이 경제성이 없는 정도의 손상 (연쇄 붕괴 가능성 없음)
III (Medium)	재산 보호: 생존자 일시적 탈출 필요성이 있는 수준으로 건축물 내 시설물 수선 및 보수 후 재사용 가능 수준	건축물의 보수 후 재사용이 경제적으로 유리한 정도의 손상 (연쇄 붕괴 가능성 없음)
IV (High)	지속적 거주: 모든 거주자 방해 없이 지속적 거주 및 일상생활 가능 수준으로 건축물 및 시설물 모든 기능 유지 수준	매우 미약한 손상 발생 가능

표 7 건축물 보수 수준(등급) 별 건축물 구성 부재 손상 정도

보호 수준	부재 손상 정도		
	주요 구조 부재	하위 구조 부재	비구조용 부재
I (Very low)	Heavy	Hazardous	Hazardous
II (Low)	Moderate	Heavy	Heavy
III (Medium)	Superficial	Moderate	Moderate
IV (High)	Superficial	Superficial	Superficial

※ Hazardous : 부재 기능 상실 및 파괴

Heavy : 부재 기능 상실은 없으나, 상당한 영구변형 발생으로 보수 불가능

Moderate : 부재 기능 상실은 없으나, 약간의 영구변형 발생. 보수는 가능하나 경제적, 미적 이유로 부재 교체 유리

Superficial : 부재 외관상 영구 손상 나타나지 않음

- 국방 시설물 이외의 분야에 있어서 최근 미국에서는 정부 청사 건물의 신축 혹은 보강 시에 폭발 재해에 대비하는 설계를 요구하고 있고, 건축물의 방폭과 관련된 설계기준서로는 대표적으로 ‘Architectural Engineering Design Guidelines (5 Volumes), U.S. Department of State, Bureau of Diplomatic Security’, ‘UFC 4-010-01 DoD Minimum Antiterrorism Standards for Buildings, U.S. Department of Defense’, ‘Interim Antiterrorism/Force Protection Construction Standards-Progressive Collapse Guidance’ 및 ‘Physical Security Criteria for Federal Facilities (FOUO), 2010’ 등이 사용되고 있으며, 점차 민간 건물에도 해당 설계를 권장하는 추세임
- 이 밖의 국방 분야 이외의 건축 구조물 관련 방호·방폭 관련 대표적 기준 및 기준은 다음과 같음.

표 8 국방 이외 시설물 방호·방폭 관련 기준/기준 예 (미국)

기준/기준 명	제 목
ACI 349-06	Code Requirements for Nuclear Safety-Related Concrete Structures
ASCE 41088	Design of Blast Resistant Buildings in Petrochemical Facilities
FEMA 426	Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings
FEMA 427	Primer for Design of Commercial Buildings to Mitigate Terrorist Attacks
FEMA 428	Primer to Design Safe School Projects in Case of Terrorist Attacks
FEMA 453	Design Guidance for Shelter and Safe Rooms
PIP ARS08390	Blast Resistant Doors and Frames Specification
PIP STC01018	Blast Resistant Building Design Criteria

- 이와 같은 국방 분야 이외의 방호·방폭 관련 설계기준 및 기준은 대부분 국방 분야의 자료를 근간으로 개발되어져 왔으며, 국방 분야는 전시 상황 및 화약류 관리 및 보관과 관련된 예기치 못한 사고에 중점을 두고 있는 반면, 이외의 분야에서는 테러 및 폭발성 물질 운반차량 등에 의한 사고 시나리오에 중점을 두고 기준 및 기준을 개발하는 방식을 취하고 있음.

- 2010년에 발간된 Handbook for Blast Resistant Design of Buildings (John Wiley & Sons)에서는 다양하게 제시되고 있는 방폭 관련 기준 및 규준을 정리하여 제시하고 있으며, 방폭 성능과 관련된 요약된 정보는 다음과 같음

표 9 참고자료 (건축물 방폭 성능별 설계 전략 요약)

Performance goals	Design Strategy	Comments
Prevent component failure	Limit response of components protecting personnel and equipment to levels below those causing failure. A safety factor against failure is provided by minimizing expected damage levels	This is primary approach used to protect building occupants against injuries from an explosion
Limit structural collapse	Prescribe more conservative allowable response criteria for load-bearing components. Also, design buildings to withstand localized failure of a primary or load-bearing component (i.e., design against progressive collapse)	UFC 4-023-03 (UFC 2005) and GSA (GSA 2003) have specific criteria to design against progressive collapse. Building collapse will almost always cause a very high percentage of fatalities to building occupants.
Maintain building envelope	Design against failure of building cladding elements, including windows and doors.	Blast overpressure entering buildings can cause significant injuries and extensive damage, but not usually many fatalities.
Minimize flying debris	Design cladding components using an expected worst-case explosive threat to fail without becoming hazardous projectiles to the occupied space. This may be used for a limited building area receiving the worst-case blast loads.	Mitigating the extent and severity of injuries to occupants in building areas without overall structure collapse is very dependent on minimizing flying debris
Prevent cascading explosion events	Design structure around stored or manufactured explosives to resist projectiles and blast pressures from a nearby explosion without failing catastrophically and detonating explosives within structure. Also, design building components to protect personnel and control equipment necessary for shutting down potentially explosive surrounding industrial processes in an explosion.	This includes proscriptive requirements based on testing in DDESB 6055.9 (DDESB 2004) and blast design requirements to protect equipment in UFC 3-340-02 (UFC 2008) for cases involving high explosives and ASCE (ASCE 1997) for cases involving industrial explosions

표 10 참고자료 (건축물 방폭 설계 분야 요약)

Design area	Performance goals	Comments
Explosive safety	Protect personnel Protect equipment, supplies, and stored explosives Prevent cascading explosive events	Design against accidental explosion where the amount and location of potential explosives are relatively well quantified. All inhabited areas are designed to prevent injuries. This type of blast design generally has the most design conservatism
Hardened military structures	Preserve mission-critical function	Buildings designed to resist attacks from specified weapons with a near-miss or direct hit such that given operation can still be performed.
Antiterrorism	Prevent mass casualties Minimize flying debris Limit structural collapse	There are uncertainties in the amount and location of potential explosions caused by terrorist. The usual intent is to build in a given amount of blast resistance using a level of protection against a given defined threat. A maximum standoff distance to the protected building is established with barriers and inspections for explosives.
Process safety	Protect personnel Prevent cascading events Minimize financial losses	Explosive events can be modeled relatively well, but initial conditions of the accident causing explosion must be assumed. Neutral risk philosophy is employed such that people inside buildings should have the same protection as those outside buildings. Ability to shut down operations is often important to prevent cascading events.

- 한편, 미국 연방도로청(FHWA)에서는 도로 인프라의 대 테러 대책 (Multiyear Plan for Bridge and Tunnel Security Research, Development, and Deployment)을 수립, 미국 전역의 교량 (약 60만여개) 및 터널 (약 300여개소)에 대한 안보 및 자연재해, 사고 등으로부터의 구조물 안전확보 차원의 새로운 설계방향과 비상대비 및 복구기반을 조성한 바 있음
- FHWA에서 적용하고 있는 방호·방폭 성능 요구사항 중 고려대상 폭발하중은 발생 확률의 관점에서 접근하고 있으며, 가능한 최대 하중과 발생가능성이 가장 높은 하중 두 가지로 이원화하여 제시하고 있음.

표 11 FHWA 교량 및 터널 방호·방폭 관련 성능 요구사항 (폭발하중 기준)

위협 요인	Largest Possible	Highest Probability
Conventional explosives	Truck*: 20,000 lbs Barge: 40,000 lbs	Car bomb*: 500 lbs
Collision to structure (i.e., the size of a vehicle that could collide with a structure)	Truck: 100,000 lbs GVW Water Vessel: depends on waterway	Truck: H-15 Water Vessel: (see AASHTO spec. LRFD on vessel impact)

* Largest possible conventional explosive – for a truck, based on largest truck bomb ever detonated internationally by a terrorist act.

For a barge, based on the assumption that it is the largest explosive that could pass by unnoticed by current security at place at major waterways.

** The size of an explosive charge that can be concealed within the trunk of an automobile without being visually detected when inspecting the automobile.

- 일본의 경우, 국토교통성의 정책에 따라서 위험관리 분야에서는 테러에 대한 주요 대책으로 항공기, 철도, 자동차, 해양환경 등에 따른 관리 정책을 제시하고 있고(단, 구조물의 방호설계지침이 아닌 각 상황별 대책을 정리), 각 관련학회에서 건축물의 충격·폭발에 의한 안전성 확보를 위한 다양한 검토를 진행하고 있음
- 일본건축학회 구조위원회 응용역학운영위원회의 운영
 - 충돌·폭발 등의 충격적인 외력에 의한 구조피해의 저감화와 관련한 소위원회 개최 (2009)
 - 내충격·폭발설계 가이드라인 작성 WG (Working Group)
 - : 설계가이드라인 작성에 주력
- 일본토목학회 구조공학위원회 구조물의 내충격 성능평가 소위원회
 - 충격하중을 받는 구조물의 내충격성능을 정의하고, 그 정량적인 평가기법 확립을 위한 실험·해석적 검토를 실시하고, 구체적인 평가방법의 제시를 통한 구조물의 내충격 설계법 확립을 목적으로 함
 - 세부WG의 분류 : 방호구조설계WG, 충격하중WG, 충격해석WG, 유체충격력WG, 충격실험WG, 폭발하중WG
 - 현재진행상황
 - : 「방재·안전대책기술자를 위한 충격작용을 받는 구조물의 성능설계 - 기준체계의 지침 -(안)」에 대한 작업을 진행중이며, 세부내용은 다음과 같음
 - ① 충격작용을 받는 구조물의 성능설계형 종합설계코드
 - ② 충격작용을 받는 각 구조물의 종합설계코드
 - ③ 해석에 의한 성능조사
 - ④ 실험에 의한 성능조사
 - ⑤ 각종 구조의 성능조사·설계사례

▪ 관련 규정 (일본)

안전위생규칙 제294조 (건조설비의 구조 등)	위험물 건조 설비는 폭발방산구 등을 마련할 것. 분진 폭발은 안전한 장소에 배출할 것.(발췌)
노동안전위생법 제 28조의 2 (위험성의 조사·조치)	사업자는 분진 등에 의한 작업행동 외 업무에 기인하는 위험성을 조사해서 그 결과에 근거하고, 필요한 조치를 강구하여야 한다.(발췌)
안전위생규칙 제24조의 11 (조사의 실시시기)	건설물을 설치, 이전, 변경, 또는 해체할 때. 설비, 원재료 등을 신규로 채용, 또는 변경할 때. 작업방법 또는 작업순서를 신규로 채용, 또는 변경할 때. 건설물, 설비, 원재료, 가스, 증기, 분진 등에 의한 작업행동 그 외 업무에 기인하는 위험성에 대하여 변화가 발생할 우려가 있을 때.(발췌)

- 유럽의 경우, 대표적으로는 2005년 10월 유럽연합 차원에서 주요건물 및 사회기반 시설의 보호를 목적으로 한 프로그램을 수립하였음
 - EPCIP (European Programme for Critical Infrastructure Protection)
 - 유럽연합 회의에서 설립이 통과됨 (2005. 10)
 - 유럽연합의 최적의 사회기반시설물 설계와 보호를 증진하고 안전성 여부 평가하기 위함
 - EPCIP는 최적의 사회기반 시설 네트워크를 구축하고 유럽연합의 전문가 그룹으로 구성됨
 - 인위적 사고와 다른 종류의 사고들로부터 주요건물 및 사회기반 시설물을 보호하는 프로그램을 구체적으로 제시하고자 함
 - 출처 : (http://europa.eu/legislation_summaries/justice_freedom_security/fight_against_terrorism/133260_en.htm)
 - 또한, 유럽연합에서는 노르웨이 (Norwegian defence estates agency), 독일 (University of the armed forces), 프랑스 (French institute for radiological protection and nuclear safety, Ministry of defense)의 지원 하에 충격 및 폭발 하중에서의 구조부재 및 구조물의 거동에 관한 연구와 재료의 거동을 조사하는 연구를 수행 중임
 - 유럽국가 중 스웨덴의 경우, 2012년도부터 예상치 못한 사고로부터 주요건물을 보호하고자 건물 설계에 필요한 가이드라인의 개발을 시작함
 - Swedish Fortifications Agency (SFA) 그리고 Swedish Civil Contingencies Agent (MSB)에서 3년간 지원하며 Swedish agencies companies와 Universities가 참여함

표 12 주요 건물 보호를 위한 가이드라인의 개발 (스웨덴)

목적	범위
가이드라인을 개발하여 중요한 빌딩과 사회기반시설물을 인위적 사고 및 외부의 충격, 폭파로부터 보호	새로운 건물 및 사회기반시설물의 건설과 기존 시설물의 안전성을 평가

- 개발중인 가이드라인은 두 가지의 효과를 가지며, 개발 목표는 다음과 같음
 - 첫 번째 : 가이드라인의 개발로 인해 사회에 있을 위험을 줄여주며, 주요 시설물의 설계시 최적의 설계가 가능해짐
 - 두 번째 : 가이드라인의 개발로 인해 대학 및 여러 단체에 교육의 목적으로 사용됨

표 13 가이드라인의 목표

2012년 목표	2013년 목표	2014년 목표
가이드라인의 구조개발 참고자료의 수집 가이드라인 전체 범위의 25% 완성 가이드라인의 구조와 범위 수정	가이드라인 전체 범위의 95% 완성	가이드라인 100% 완성

- 가이드라인은 Euro codes, Swedish frame work BFS 2011 : 10 EKS 8 그리고 (European Programme for Critical Infrastructure Protection) EPCIP, (European Cooperation in Science and Technology)를 따름

- 상기의 자료에서 보이는 바와 같이, 일반 시설물에 있어서의 방호·방폭 개념을 도입하기 위해서는 우선적으로 방호·방폭 고려대상 시설물에 대한 기본적 분류가 이루어져야 함.
 - 또한, 폭발 등 고려대상 외부 충격하중에 대한 분류에 있어서도, 각 시설물별 고려대상 하중의 종류가 다를 수 있기 때문에 이에 대한 충분한 검토가 이루어져야 함
 - 미국의 규정은 폭발 등 외부 하중에 의한 구조물의 보호단계를 설정하고, 각 구조 요소의 성능 (연성비, 처짐각 등)에 대한 규정을 두고 있음. International Building Code(IBC, 미국) 및 National Building Code(NBC, 캐나다)에서는 시설물의 분류를 용도별로 하고 있으나, 해당 설계 기준은 내진 설계가 극한 사항이고, 분류가 매우 복잡하여 적용하는데 한계가 있음.
 - 유럽에서는 영국의 규정과 유로코드의 경우 아래 표와 같이 구조물을 분류하고 있으며, 건축물에 주로 초점을 두고 층수 및 면적을 기반으로 분류하고 있음.

표 14 건축물 중요도 등급 분류 예 (Eurocode)

등급	Building Type and Occupancy
1	Houses not exceeding 3 storeys. Single storey storage/warehousing of less than 200m ² floor area which in normal use is occupied infrequently by a small number of operatives.
2	Houses exceeding 3 storeys but less than 6 storeys. Flats, apartments and other residential buildings not exceeding 3 storeys. Offices not exceeding 4 storeys. Industrial buildings not exceeding 3 storeys. Retailing premises not exceeding 3 storeys of less than 200m ² -floor area in each storey. Single storey Educational buildings
3	Residential buildings not exceeding 10 storeys. Educational buildings not exceeding 10 storeys. Retailing premises not exceeding 10 storeys. Hospitals not exceeding 3 storeys. All buildings to which members of the public are admitted in significant numbers and which contain floor areas within permanent wall enclosures not exceeding 200m ² . Non-automatic car parking not exceeding 6 storeys. Automatic car parking not exceeding 10 storeys.
4	All offices, retailing, hospitals and car-parking buildings that exceed the limits on area and number of storeys described for Class 3 buildings. All buildings to which members of the public are admitted in significant numbers and which contain floor areas within permanent wall enclosures exceeding 200m ² . Stadis.

- 한편, 폭발하중과 관련하여서는 미국토목학회 (ASCE, 1999)에서는 제시한 테러 위협 평가에서 예상 가능한 무기에 대해서 다음 표와 같이 제시하였음.
 - 그러나, 제시된 무기의 종류에 있어서 구조물 또는 건축물에서 어느 정도 이격된 거리에서 폭발한다는 기준이 명확히 제시되지 않아, 적용상의 한계점이 있음.
- 영국의 경우, 이전 건설관련 규정(Construction Regulation)에서는 1968년의 사고(Ronan Point)를 토대로 key element에 대해서 34kN/m²의 추가 하중을 견디도록 하였으나, 이에 대해서는 논란이 있어왔음.
- Eurocode(1999) ENV 1991-2-7에서는 Category 2(Medium consequence)에 대해서 key element에 대해서 20kN/m²의 하중을 견디도록 제시하고 있음.

표 15 일반적인 위협과 관련된 무기의 종류 (ASCE, 1999)

사용된 전술	설계 기반 위협 정도	무기	도구
움직이는 자동차 폭탄	Very high	2000lb TNT	12000lb 트럭
	High	500lb TNT	5000lb 트럭
	Medium	100lb TNT	4000lb 승용차
	Low	50lb TNT	4000lb 승용차
정지된 자동차 폭탄	Very high	2000lb TNT	12000lb 트럭
	High	500lb TNT	5000lb 트럭
	Medium	100lb TNT	4000lb 승용차
	Low	50lb TNT	4000lb 승용차
외부	High	IID4, IED(100lb TNT), 수류탄	
	Medium	IID4, IED(2lb TNT), 수류탄	
	Low	IID4, 돌덩이 투척	
떨어져서 공격	High	박격포(50lb TNT 내)	
	Low	대전차 무기	
탄도 공격	Very high	30.06AP	
	High	7.62 M80 ball	
	Medium	44 Magnum handgun	
	Low	38 super handgun	
침입	Very high	핸드건과 반자동소총 (UL-SPSA)	무제한의 수-공구, 전력, 열-공구 및 폭발물
	High		무제한의 수-공구, 전력, 제한된 열-공구 및 폭발물
	Medium		무제한의 수-공구, 제한된 전력, 열-공구 및 유압잭
	Low		무제한의 수-공구
	Very low		제한된 수-공구

- 정량적인 폭발하중과 폭발원의 이격거리의 정의와 관련된 추가적인 참고자료로는 UFC 4-023-02 (Structural Design to Resist Explosive Effects for Existing Buildings) 상의 공개된 자료가 일부 있으며, 해당 자료에서는 방폭용 벽체 Catcher system의 보통 (Medium) 수준의 방폭성능과 관련된 등가 TNT 화약량 및 이격거리를 보여주고 있음.

표 16 고려대상 화약량 및 이격거리 참고 자료 (UFC-4-023-02)

Level of Protection for High Capacity Wall Catcher System	
TNT Equivalent Yield	Standoff in m for Medium Level of Protection
25 kg (55 lb)	1 m (3 ft)
100 kg (220 lb)	2 m (6 ft)
225 kg (500 lb)	3 m (10 ft)
450 kg (1,000 lb)	4 m (13 ft)
1,800 kg (4,000 lb)	10 m (33 ft)
18,000 kg (40,000 lb)	33 m (108 ft)

- 이와 같이 국외의 경우, 이전에는 특정 외부 하중을 정량적으로 설정하는 방식으로 기준을 제시하는 방법을 사용하였으나, 하중종류의 다양성 및 폭발원의 거리변화에 따른 구조체 전달 폭발압의 큰 변화를 고려할 시, 하중을 정량화 하는 것이 비합리적이기 때문에, 최근에는 구조 성능에 대한 Damage level을 역으로 제시하는 방식으로 전환되고 있는 실정임.

나. 국내외 시장현황 및 전망

(1) 국내 시장 현황

- 국내의 경우, 충돌·충격에 대한 방호 및 방폭 안전성 확보 관련 시장은 주로 차량충돌 방호벽, 해상교량 선박충돌 방지공, 석유·가스 플랜트와 같은 화학플랜트 및 국방시설물과 같은 일부 국가 주요 시설물의 방호·방폭 기능 부여로 한정되어 적용되어졌고, 일반 건축물 등은 지진·화재 등과 같은 재해에 대하여서만 대책을 수립하고 있는 실정임
- 안보관련 군사시설물 이외에는 대부분의 경우 지진과 같은 자연재해 및 화재사고에 의한 재해 대비차원에서 방호·방폭에 대응하고 있음
- 그러나, 최근 건설기술의 비약적인 발전에 따라 구조물의 대형화, 초고층화, 장대화 추세와, 구조물 기능의 다양화, 복잡화에 따라 폭발 및 화재요인이 날로 증대하고 있고, 각종 설비의 증가와 유기계의 내장재 사용으로 인하여 그 규모 역시 대형화되는 추세에 있기 때문에 이에 대한 대응책을 수립할 필요성을 인지하기 시작함

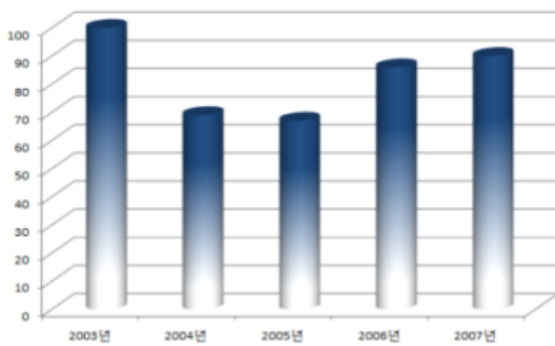


그림 10 연도별 폭발사고 발생건수



그림 11 주요 폭발사고 발생 현황

(출처 : 2010 재난연감)

- 또한, 미국의 911테러 및 오클라호마 폭탄테러와 같이 민간인이 포함된 불특정 다수를 대상으로 한 돌발적이고 인위적인 사고는 지속적인 증가추세임에도 불구하고, 이에 대한 국내 대형 공공·민간 시설물 관련 방호·방폭 대책은 거의 전무한 실정임



그림 12 기존 방호·방폭 안전성 확보 적용 대상 구조물 현황

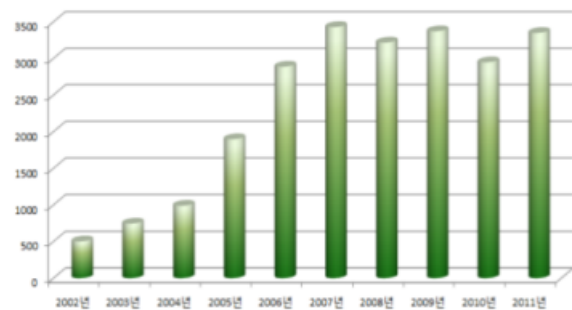


그림 13 연도별 세계 테러발생 현황

(출처 : 2010 재난연감)

- 국내에서는 공공시설물 일부에 대하여 최근 들어서야 방호·방폭 안전성 기능을 부여하는 방식으로 설계에 반영토록 진행하고 있고, 2009년도부터 서울 시내에 들어서는 50층 이상, 200m 이상의 초고층 건물에 대해서는 테러 대책을 세워야 건축이 가능해지는 ‘초고층 건축기준’이 마련되는 등, 충격·폭발 관련 테러 등에 대한 관심도가 증가하고 있음.
- 남북이 분단되어 휴전중인 매우 특수한 군사적 대치상황 및 테러 발생에 대한 대비책을 고려할 시 그 적용대상 분야 및 관련시장의 확대는 필수적이라고 판단됨



서울시 초고층 건축물 디자인 가이드 라인

- 저층부에 일반 시민들을 위한 커뮤니티 공간 설치
- 피난 안정성 확보를 위해 방재계획서 제출 의무화
- 25층~30층 이내마다 층간 대피층 설치
- 피난 전용 승강기 설치
- 철골구조보다는 고강도 콘크리트구조 건축 유도
- 고층 부분에 방문객이 이용할 수 있는 '전망층' 신설
- 건물 에너지 상용량 10% 이상을 신·재생 에너지로 생산
- 테러 대비 위해 옥상 층 및 주요 시설물에 보안시스템 명기



※2009년 부터 서울시 건축위원회 심의기준으로 활용

그림 14 국내 초고층 (50층이상) 건축물 현황 (2012)

- 한편, 국내 방폭창 시장은 2012년 이후로 예정된 용산 미군기지의 평택 이전 사업에서 해당 부문만 약 3,000억원 규모로 예상되고, 판, 오키나와 등 해외 미군기지 재배치 및 보수 관련 부분 (약 3,000억원)을 포함하면 미군기지 관련 시장만 약 6,000억원 규모로 예상하고 있음 (출처 : www.jpnews.kr, 기사원문 ‘알루텍, 세계 최고 방폭창 업체 아르팔과 독점 판매 계약 체결’, 2010.08.24.)
- 국내 석유화학 관련 산업은 산업의 주체가 정부주도에서 민간주도로 변화함에 따라 생산량 및 수출시장의 증가가 대폭 이루어지고 있고, 석유화학제품의 원료인 에틸렌 생산능력이 세계 5위에 달하는 위상을 가지는 등 해당 화학 관련 산업의 지속적인 확장이 이루어지고 있으며, 이에 따른 구조물 및 시설물 안전 확보 차원에서의 다양한 방호·방폭 관련시장의 지속적인 확대가 예상됨

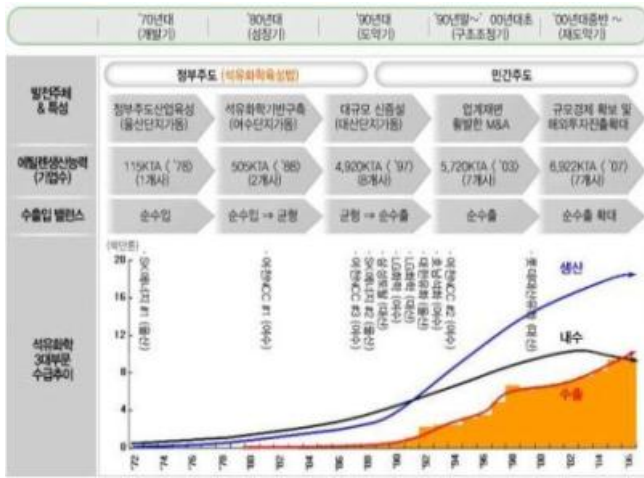


그림 15 국내 석유화학산업의 발전과정



그림 16 국내 석유화학산업의 위상 (출처 : 한국석유화학공업협회)

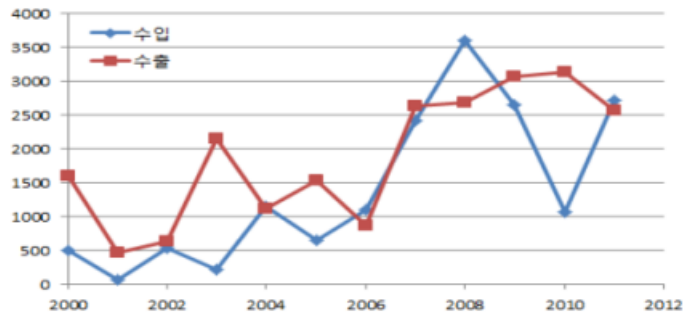


그림 17 연도별 국내 방호·방폭(기계·전기 분야) 시장규모 (단위: 천불, 출처: 한국무역협회)

- 이러한 화공산업의 방호업무 효율화, 안정성 및 리스크 평가 수행 시 20%이상 시간/인력 감축이 예상되어 직접적으로는 40억 이상, 간접적으로는 1000억 이상의 비용절감이 예상됨
- 국내 원자력 발전은 총 23기가 가동 중이며 발전량은 약 2,500만 KW 수준으로써 국내 발전 총량의 약 40% 정도를 차지함. 본 과업과는 직접적인 연관성을 갖지는 않으나 충격과 폭발에 대한 방호 성능의 중요성은 매우 높은 기간시설물임
- 최근 초고층건물 및 원전구조물 안전 의식 증가 등으로 내충격 및 방폭에 필요한 국내 전체 시장규모는 향후 5년간 약 3조원 이상의 수준으로 예측되고, 이 중에서 건설과 관련된 방호용 자재 및 제품의 시장규모는 약 5,000억원 규모로 예측됨
 - * 국내에 2015년까지 예정된 초고층 빌딩을 10여개로 산정한 경우 예상되는 투자비를 약 44조 1천억 원으로 추산한 바 있고, 초고층 빌딩 1개당 순수 구조물 공사비가 약 1조원 이상으로 감안하고 있음 (콜드웰뱅크코리아, 2008). 현재 국내 부동산 경기여건의 변화를 감안하여 향후 5년간 3개의 초고층 빌딩이 건축될 것을 가정하면 초고층빌딩 만으로 3조원이라는 전체 구조물 시장규모 최소치가 예상되고, 이 중에서 방호·방폭과 관련된 구조재료 및 자재분야를 보수적으로 15%로 잡을 경우 약 5,000억원의 시장규모가 추산됨. (관공서 등 주요시설물 및 기타 대형 시설물 등을 포함할 경우, 시장규모는 더욱 커지리라 판단되고 있음)

- 국방시설 분야에서 방호구조물 고도화 기술개발투자는 미흡한 상태이고 2012년 정부예산을 기준으로 볼 때 전체 국방예산은 약 33조 규모로써, 방호시설의 개선 및 유지관리비는 약 1% 정도에 해당하고, 이중에서 고성능 섬유보강 복합재료로 방호·방폭 구조물 시장의 약 50% 점유가 가능하다면 연간 약 1,650억원 규모의 국방 관련 방호·방폭 시장 진출이 가능함. (자료출처: 2012 정부예산 중 국방비 내역)
- 한편, 건설산업 중 콘크리트의 연간 출하량은 약 106백만m³ 정도이고 이중에서 섬유보강 콘크리트가 차지하는 비중은 약 1만m³ 정도로써 비중이 낮은 편임. 섬유보강 콘크리트는 주로 신규 건설보다는 기존 콘크리트 구조물의 보강 재료로 활용되고 있음
- 따라서 섬유보강 콘크리트 및 시멘트 복합재료에 관한 시장예측을 심도있게 검토할 필요가 있고, 이를 활용한 방호·방폭 구조물이 시장 규모와 활용성과 관련된 사전 검토작업을 수행하고 있음

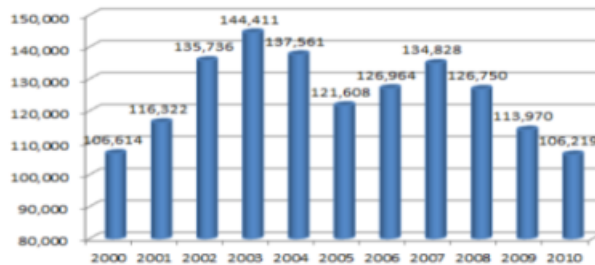


그림 18 연도별 레미콘 출하량 변화 추이
(출처: 통계청 산업동향과, 2011)

(2) 국외 시장 현황

- 2012년 현재 방범 및 물리적 보안과 관련된 시장규모는 미국, 영국, 유럽을 포함할 경우 약 800억 달러 (97조 원) 규모로 매년 5%씩 증가추세이며, 방호·방폭·보안 시장을 포함한 대테러시장의 규모는 대략 550억 달러 (63조 원)으로서 (출처: 씨큐리티월드 제 181호, 2012), 이 중 원전산업 등과 같이 내충격 성능을 요구하는 구조물 및 건설자재 관련 산업시장의 경우, 그 시장규모는 향후 5년간 약 20조원 이상의 수준으로*, 주로 중동지역으로 지속적인 투자가 이루어질 전망이다
* 현 대테러시장의 규모 550억 달러에 연간 5% 증가율을 감안한 향후 5년간의 시장규모는 약 350억 달러가 되며, 이 중 방호·방폭 구조물 및 건설자재와 관련된 산업시장을 보수적인 관점에서 전체의 약 6%로 산정할 경우 5년간 약 20조원 정도로 추산됨
- 앞서 살펴본 바와 같이, 외국의 경우 대형 빌딩 및 교량과 같은 인프라 시설물에 있어서 자연재해 또는 사고 뿐 만 아니라 발생할 수 있는 인위적 충격·폭발에 대해 해당 시설물이 안전성을 확보할 수 있도록 다양한 제도적 프로그램을 마련하여 적용하는 노력을 기울이고 있고, 이에 따른 방호·방폭과 관련된 시장 또한 크게 성장하고 있는 실정임
- 그러나, 인위적인 테러 및 산업시설물에 대한 방호·방폭 분야 산업시장은 각국의 보안사항과 관련이 있어 그 시장규모를 정확히 가늠하는 데에는 한계가 있으나, 추가적인 상세한 자료를 취득하고자 노력을 기울일 필요가 있음

다. 기술동향 분석

(1) 기술 분류 및 정의

구조물의 방호·방폭 성능부여와 관련되어서는 앞에서 밝힌 바와 같이 크게 세 가지의 기술로 분류 및 정의할 수 있으며, 구조체에 활용되는 섬유보강 시멘트 복합재료에 대한 기술은 별도로 정의할 수 있음

□ 건설재료 및 자재 측면

- 방호·방폭 재료 및 자재 : 외부의 충격으로부터 보호하는 기능과 폭발의 피해를 막는 기능을 가진 재료 및 자재로서 신설 구조물용 재료 및 자재와 기존 구조물의 방호·방폭 기능강화를 위한 보강자재를 의미함

□ 성능평가 측면

- 방호·방폭 성능평가 : 재료, 자재, 구조부재 각 단계별 내충격성능, 방폭성능에 대한 정량적, 정성적 시험평가 기법을 의미함

□ 구조물의 적용 측면

- 방호·방폭 설계 : 시설물 및 구조물 중요도별 등급 분류체계 구축, 대상 충격 및 폭발 하중별 방호·방폭 등급 체계화, 해석평가 및 설계기법의 구축 등을 통한 구조물 방호·방폭 성능부여 체계를 의미함

□ 섬유보강 시멘트 복합재료 측면

- 섬유보강 시멘트 복합재료 : 시멘트, 잔골재 및 물이 포함된 수경성 모르타르에 플라이에시, 실리카폼 등의 광물질 혼화재료 또는 유기 혼화재료를 추가하여 복합재료를 구성하고, 여기에 강섬유, 유기섬유 등의 섬유를 혼입한 재료를 의미함

(2) 기술개발동향 분석

(가) 방호·방폭 기술 적용 동향

- 국내에서는 방폭구조물의 최신 기술 적용에 있어서 연평도 기습 포격 후 백령도와 연평도의 군사방호시설을 복구에 파형강관(브리지플레이트)으로 구조체의 골조를 구성하고 여기에 콘크리트를 덧씌우고 토사를 덮어서 방호 및 방폭 성능을 증가시킨 사례가 있음

- 구조물 내측에 파형강관을 두고 외피를 일반 콘크리트와 토사로 덮는 방식으로 구성된 이 시설은 포탄 피격 시 내부로의 구조물 파괴 및 파편 발생을 억제, 인명과 시설의 파괴를 최소화하는 방식으로 구성됨. 그러나 이러한 방식은 단층의 군사용 방호구조물에서는 적용이 가능하나, 일반 건축물에 적용하기에는 여러 한계점이 있음

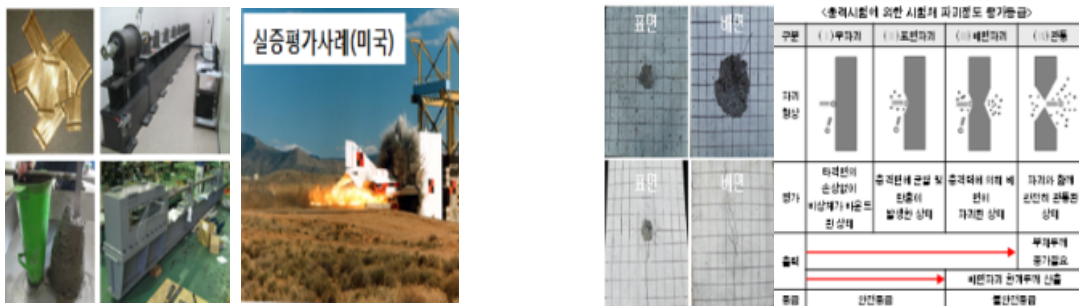
- 내충격 및 방폭성능형 재료개발 분야는 주로 국방산업, 화학플랜트 및 원자력발전소를 포함한 에너지산업 분야에서 이루어지고 있고, 구조물의 안전성 향상 측면에서는 단순히 철근콘크리트와 같은 구조부재의 두께를 증가시키는 방식에서 최근에는 적용 구조재료의 성능향상 또는 보강자재의 개발 및 적용 방식으로 기술개발이 이루어지고 있음



그림 19 연평·백령도 군사방호시설 복구 진경

(나) 방호·방폭용 복합재료 개발 동향

- 최근 구조물의 내충격 및 방폭성능 향상방안에 대한 연구의 일환으로, ‘항공기 충돌을 고려한 격납건물용 섬유보강 콘크리트 적용기술 개발 (한국건설기술연구원, 수행중)’, ‘초고인성시멘트복합체(ECC)를 활용한 내화·방폭콘크리트 실용화 기술개발 ((주)삼표-충남대학교, 2009)’과 같은 섬유보강 콘크리트 방식의 복합재료 개발이 주를 이루고 있으며, 이러한 연구는 군사목적이 아닌 주요 시설물의 방호·방폭 기능 향상이라는 목적으로 수행되고 있음



- (a) 항공기충돌 대응 섬유보강 콘크리트 개발 (한국건설기술연구원, 수행중)
- (b) ECC 활용 내화·방폭콘크리트 실용화기술 개발 ((주)삼표-충남대학교, 2009)

그림 20 국내 방호·방폭 자재개발 연구 사례

- 항공기 충돌조건을 고려하고 있는 원전시설물 관련 연구의 경우, 미국 원전관련 규정인 10CFR50.150에 따라 고려대상 항공기(B767-400) 및 충돌속도(150 m/s) 등의 조건하에서의 격납구조물의 안전성 향상을 목적으로 방호·방폭 재료개발 연구가 진행되고 있음
- 방호·방폭용 복합재료의 개발은 극한하중이 발생하는 조건하에서 발생하는 충격력을 최대한 흡수할 수 있도록 기능을 부여하기 위하여 기본적으로 구조재료로 널리 사용되고 있는 콘크리트 Matrix 내에 높은 인성을 지닌 보강섬유 등을 혼입하는 방식으로 접근하고 있음

- 이 밖에, 국내에서 수행된 기술개발 연구는 슬러리침지 섬유보강콘크리트(SIFCON)적용 방호·방폭 특성 연구(청주대, 1999)와 같이 구조부재용 복합재료의 개발과, 에너지 흡수능력이 뛰어난 알루미늄 폼 희생부재 적용 복합 방호구조물 연구(중앙대, 2009), FRP Composite을 활용한 구조물의 내폭 성능 향상 기술 개발 연구(고려대, 수행중) 및 FRP 보강방식의 방폭성능 향상 연구(연세대-현대건설, 2010)와 같이 기존 구조물의 방호·방폭 성능을 향상시키기 위한 보강재료의 개발 연구가 진행된 바 있음



(a) FRP 복합체 방호·방폭 보강재 개발 (b) FRP 보강 철근콘크리트 패널 방폭시험

그림 21 국내 방호·방폭 자재개발 연구 사례
(연세대학교-현대건설기술연구소, 2010)

- 내충격 및 방폭성능형 섬유소재 기술은 미국, 유럽, 일본 등이 세계시장을 선도하고 있고, 전체 섬유산업 시장에서 차지하는 비중이 약 60%에 이룸
- 세계적인 민간업체로는 Bouygues 등이 있고, 주로 초고성능 섬유보강 복합재료 활용 건설자재 개발을 목적으로 다양한 용도에 적용할 수 있는 제품들을 개발하고 있음
- SIMCON^{NEW} 는 단섬유를 매쉬에 끼워 넣음으로서 표면에서의 섬유돌출을 개선한 것이며, DUCON은 매쉬를 여러 겹으로 묶어 사용하여 콘크리트 그라우트재로 충전하는 방식임
- 특히, DUCON은 2004년에 방폭, 방탄실험을 통하여 성능을 검증하였으며 현재 미국 및 여러 국가에서 주요 시설물의 방벽(Worrier)으로 이용되고 있음
- 한편으로는 직물로 보강된 시멘트계 복합재료가 있으며, 이렇게 직물로 보강된 복합재료의 휨강도를 높이기 위하여 Woven type 또는 Knit Type 등에 대한 다양한 방식이 개발, 적용되어 지고 있음

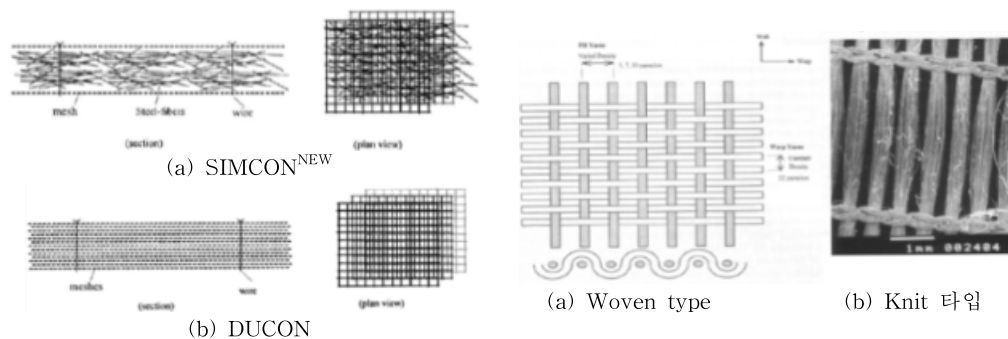


그림 22 SIMCON^{NEW} 및 DUCON의 개념 그림 23 Woven 타입 및 Knit 타입

(다) 방호·방폭용 성능평가 개발 동향

□ 다음 표는 국외 방호구조체용 섬유보강 시멘트 복합재료 관련 최신 기술개발 현황으로서, 본 연구개발을 통한 국제적 기술선점 가능성을 보여주고 있음

표 17 국외 관련 기술에 따른 기술개요 및 성능수준

구분	SIFCON, SIMCON	SIMCONNEW	DUCON	ECC
개발자	D.R.Lankard 미국	Hauser 독일	Hauser 독일	Victor, Lee 미국
개발년도	1984	1999	2004	1999
개발동기	고인성 시멘트 복합소재	고인성 시멘트 복합소재	방폭 성능 개선 소재	고인성 시멘트 복합소재
보강섬유 재 질	Steel (1200MPa)	Steel (1200MPa)	Steel (400MPa)	PVA (1300MPa)
보강섬유	분절 (Discrete)	분절 (Discrete)	연속 (Continuous)	분절 (Discrete)
보강섬유 단면형태	Fiber	Fiber	Fiber	Fiber
보강섬유 형 태	단일 섬유 칩	단일 섬유 칩	와이어 매쉬	단섬유
충전재	고강도 슬러리	고강도 슬러리	고강도, 고유동 슬러리	시멘트 모르터
표면마감	고려안함	고려안함	광택	고려안함
장점	고성능 구현	고성능 구현	경제성 우수 마감 불필요	고성능 구현
단점	비경제적/시공성 결여 마감 필요	비경제적 마감 필요	상대적인 성능 저감	방폭성능 미비
압축강도	100MPa	120MPa	120MPa	50MPa
휨강도	20MPa	20MPa	50MPa	15MPa
직접인장강도	15MPa	15MPa	20MPa	5MPa
방탄성능, 폭발성능	PM7 (d=8cm) > 1 , 0 bar (d=6cm)	PM7 (d=8cm) > 1 , 0 bar (d=6cm)	PM7 (d=8cm) > 1 , 0 bar (d=6cm)	PM7 (d=8cm) > 1 , 0 bar (d=6cm)
방폭성능	○	○	◎	△
내충격성능	○	○	◎	△
시공성능	×	○	○	△
내화성능	×	○	△	◎
유지관리성능	○	○	◎	○
적용 사례	DUCON 개발 이후 미 적용		독일 외무부, 독일 육군 시설물, 미 국방성 등 다수의 군사시설물에서의 적용 및 IBM, Audi, Benz, Dow chemical 등 다수의 공장시설물에 적용되고 있음 (출처: www.ducon.de)	방호·방폭용으로는 미 적용

- 아래의 그림 24는 독일 DUCON에서 개발한 섬유보강 시멘트 복합재를 건축물에 방호구조물에 적용하는 개념도를 나타낸 것임 (출처: www.ducon.de)
 - DUCON에서는 건축물의 구조부재별로 섬유보강 시멘트 복합재를 방호구조부재로 적용하는 방안을 다음과 같이 개념화하고 있음
 - 건물 외곽에 방폭벽(Blast Wall)을 4cm 두께의 섬유메쉬를 삽입한 시멘트 복합재료를 구조체를 약 20cm 두께로 프리캐스트 세그먼트를 제작하여 조립, 외과 방호벽을 구성함
 - 건물 저층 전면 벽체(Facade)를 위에서 설명한 재료를 이용하여 방호·방폭 보강을 하면서 동시에 구조부재 벽체로 적용함. 두께는 구조설계 및 방폭 성능 부가 설계에 따라 정함
 - 건물 슬래브는 파편비산 방지(Fragmentation protection)를 위하여 DUCON 소재를 이용하여 슬래브를 건설함
 - 기둥부분은 충격 및 폭발에 대하여 건물의 붕괴를 최소화하기 위하여 기둥 강화(Column confinement)를 DUCON 소재로 보강하여 건설하는 방안을 제시
- 위와 같은 방호·방폭 구조계를 구성하기 위해서는 DUCON은 방폭 성능실험을 수행하였으며 방폭벽을 설치한 예를 제시함

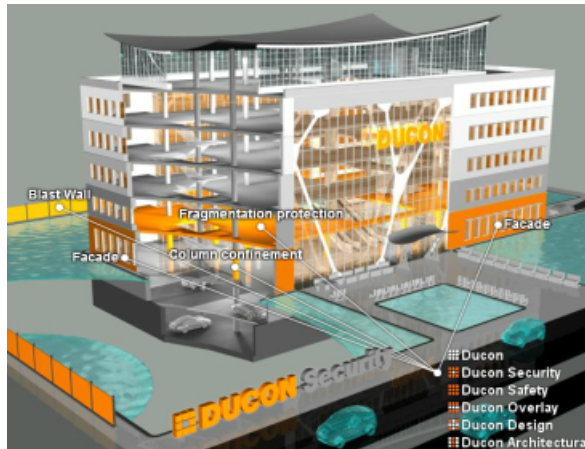


그림 24 DUCON의 방호·방폭 적용 개념도



그림 25 DUCON 방폭 실험

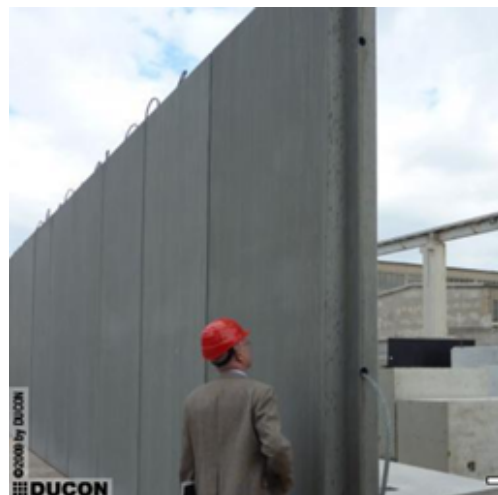


그림 26 DUCON 방폭벽 제품 시공

(다) 방호·방폭용 성능평가 기술 개발 동향

- 각종 소재의 내충격 성능과 관련된 충격매체의 충격속도 및 충격하중에 대한 기준은 명확하지 않고, 특히 국내의 경우 해당되는 내충격 및 방폭성능에 대한 정량적 평가관련 연구는 매우 미미한 수준으로써, 기본적인 재료물성에 대한 실측데이터 및 시험평가 장비 및 시스템 인프라가 매우 부족한 실정임

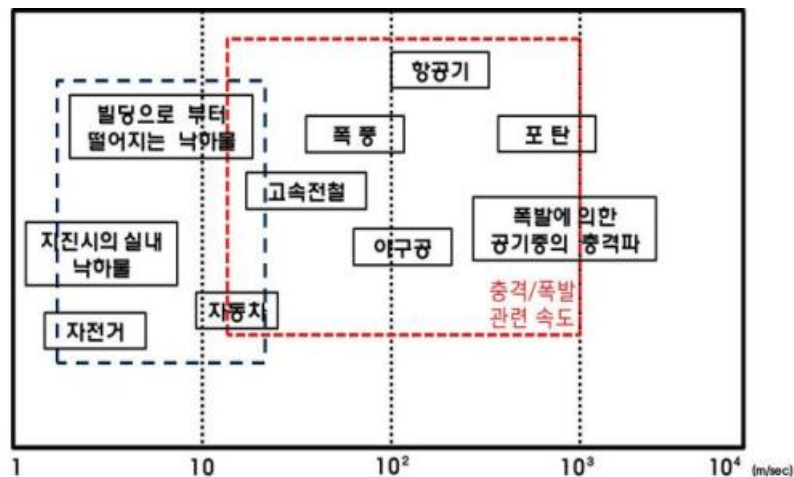
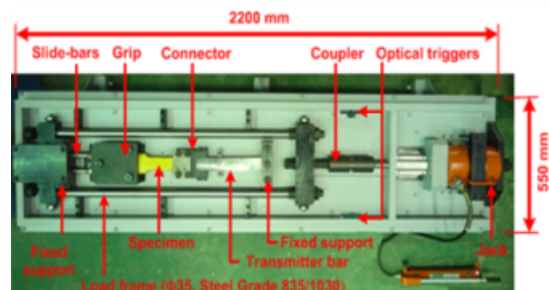


그림 27 각종 운동체의 충격속도 범위

- 콘크리트와 같은 구조재료에 있어서 충격·폭발 하중이 작용하는 극한하중 (10-104 m/s) 조건 하의 재료물성의 변화 평가를 위한 시험장치로는 대표적으로 SHPB (Split Hopkinson Pressure Bar) Test를 들 수 있으며, 현재 국내에는 국방과학연구소, 한국건설기술연구원이 보유하고 있는 압축충격용 시험장치와, 세종대학교의 인장충격용 시험장치가 최근들어 구축되어져 있으며, 콘크리트와 같은 다양한 구조재료에 대한 극한 충격하중 하의 성능 시험평가 연구를 수행하고 있음



(a) 압축충격 재료 파괴물성 평가장치
(한국건설기술연구원)



(b) 인장충격 재료 파괴물성 평가장치
(세종대학교)

그림 28 극한 충격하중에 대한 물성 평가 시험장치

- 또한, 일반적으로 폭발은 고온이라는 극한 온도하중이 병행하여 발생하기 때문에 극한 충격하중 및 극한온도 조건하의 재료물성 변화 또한 검토대상이나, 현재 국내에서는 일반적인 화재상황하의 내화성능에 대한 연구를 수행하는 수준임
 - 고강도 콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리 기준 - 국토해양부 (2008)
 - 건축구조물의 내화성능 강화를 위한 내화피복에 관한 다양한 연구 진행 중
 - 섬유보강 시멘트 복합재료 등 방호·방폭용 복합재료의 경우에 있어서도 내화기능 필요

- 이와 같이, 국내의 경우 대부분의 방호·방폭 관련 연구는 주로 국방산업 분야에서 수행되고 있으나, 해당 자료는 보안상의 문제로 일반적으로 참고하기는 매우 어려운 실정으로서, 군사시설이 아닌 일반 주요 사회기반시설물 및 건축물의 경우, 사용목적 및 중요도에 따른 방호성능 수립체계의 정립 및 적용 방식/재료의 개발이 요구되고 있는 실정임

- 미국은 방호·방폭 기술 분야가 매우 발달되어 있으며 자동차 및 폭탄테러에 대비하여 개발된 재료 및 부재에 대한 실물 실증 실험을 통하여 다양한 방호·방폭 평가를 수행하고 있음

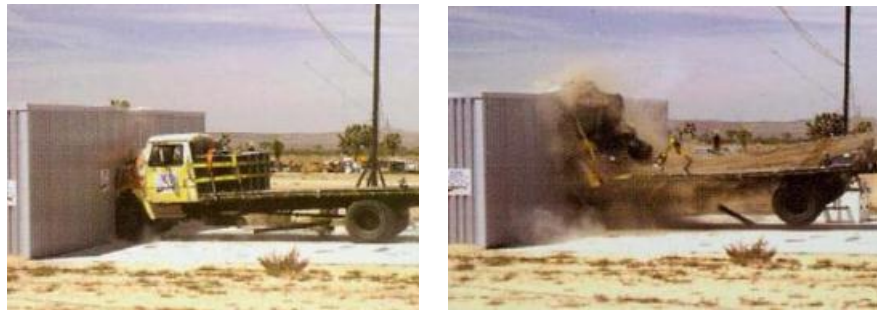


그림 29 방호성능 실증 평가 수행 사례 (미국)

- 외국의 경우 ‘방재’와 ‘재해제어’에 대한 중요성을 일찍 인식하여 상세한 피해 조사와 연구를 지속적으로 수행함으로써, 재해대책 제안 및 기술지원, 재해제어공학을 학문분야로 선정하여 체계화 및 구체화 되었음(Quan et al., 2003, Thomas et al., 2004, Rabczuk and Eibl, 2006)

- 전 세계적으로 발생하는 재해에 관하여 미국의 연방 방재기구인 FEMA(Federal Emergency Management Agency)와 NEHRP(National Earthquake Hazards Reduction Program)에서는 특수구조물의 설계 지침서를 만들어 기존 구조물의 재난에 대한 성능을 평가 및 향상시키는 관리를 하고 있음

- 호주는 2004년부터 정부 산하 연구 위원회(Australian Research Council, ARC)에서 RNSA(Research Network for secure Australia)센터를 멜버른(Melbourne) 대학내에 설치하여 안보에 대한 전반적인 연구를 수행하고 있음

(라) 섬유보강 시멘트 복합재료 기술 개발 동향

- 최근 콘크리트의 개발 방향은 강도의 증가를 극히 증가시킨 초고강도 콘크리트에 초내구성 및 고인성 개념이 복합적으로 융합된 섬유보강 시멘트 복합재료의 일종인 초고성능 콘크리트(UHPC, Ultra High Performance Concrete)를 개발하고 이 재료를 활용하여 구조부재와 구조물을 개발하는 추세에 있음

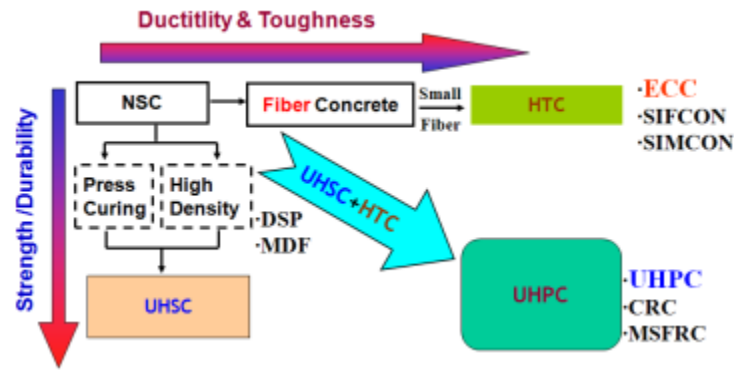


그림 30 콘크리트 재료 기술 발전 방향

- 2002년부터 한국건설기술연구원은 목표 강도 200 MPa의 초고성능 콘크리트를 개발하기 시작, 2011년에 설계기준 압축강도 180 MPa, 설계 인장강도 13 MPa의 초고강도, 연성거동 및 파괴에너지 흡수 능력이 탁월한 초고성능 콘크리트 원천기술을 확보함
- 2008년 이후 한국건설기술연구원은 UHPC에 대한 설계지침(안)을 마련하고 구조부재를 설계할 수 있는 기준을 마련하였음.

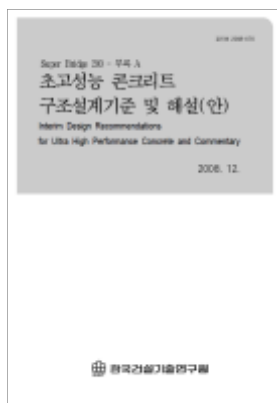


그림 31 초고성능 콘크리트 설계지침(안) (2008)

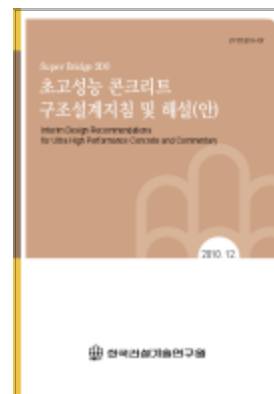


그림 32 초고성능 콘크리트 설계지침(안) 개정판(2010)

- 이 설계지침(안)의 특징은 강섬유를 최소화하고 철근 및 강연선을 등 보강재를 적극적으로 활용하는 합리적인 UHPC 구조를 목표로 하는 것임. 이러한 목표는 프랑스, 일본, 독일의 연구성과와 설계지침을 분석하여 결정된 것으로, UHPC의 높은 압축강도와 연성적 인장거동에 최소한의 보강재가 더해지면 콘크리트로는 상상할 수도 없는 성능을 나타냄
- 실증적인 연구를 바탕으로 이 설계지침(안)은 재료특성, 휨설계법, 전단설계법, 배근상세 등 UHPC의 특성을 살린 설계에 필수적인 규정을 제시하고 있고, 2007년에 그 동안 축적된 K-UHPC의 재료거동을 정리하여 압축강도 180 MPa, 균열인장강도 9.5 MPa, 휨인장강도 15.3 MPa, 탄성계수 45 GPa를 제안하였음
- 2008년에는 구조거동으로 연구를 확대해 UHPC 바닥판과 보에 대한 실험을 수행하고 이를 바탕으로 UHPC의 재료특성, 휨강도 및 편칭강도 평가법 등을 정리한 UHPC 설계지침(안) 초안을 마련하고, 2009년에는 프리스트레스가 도입된 신태형 UHPC T형 보의 휨실험을 바탕으로 UHPC 보의 휨강도 평가법을 개선함. 이와 함께, 철근 및 강연선과 UHPC의 부착거동 실험을 수행하여 정착길이, 부착강도 및 피복두께 등 배근상세 규정도 제안한 바 있음
- 2010년에는 전단보강이 없는 UHPC I형 보에 대한 전단실험, 직접인장실험, 자기수축량실험, 크리프실험등을 수행하여, 2008년의 초안에 UHPC 전단설계법, 균열평가법, 자기수축량, 크리프계수 등을 추가 보완하고, 2011년에는 보강된 UHPC의 균열거동에 대한 연구를 바탕으로 균열 관계식을 제시하였으며, UHPC 보의 비틀림 실험을 바탕으로 다른 설계기준에는 없는 비틀림 설계법을 제안하였음. 또한 PS 정착부에 대한 실험을 근거로 보강철근이 없는 정착부 설계법을 제안한 바 있음
- 이와 같이 섬유보강 시멘트 복합재료의 일종인 UHPC에 대한 기본 재료구성 및 재료의 역학적 특성과 구조특성에 대한 기본 연구개발은 완성되었으나, 본 과업에서 주로 집중적으로 검토되어야 하는 동적 충격 및 폭발 저항성능에 대한 평가가 한 번도 수행된 바 없음
- 즉, 국내에서 수행된 섬유보강 시멘트 복합재료에 대한 연구는 주로 정적인 하중을 받는 일반 구조물에 적용하기 위한 재료개발 및 역학/구조 특성을 연구개발에 국한되었음
- 그러나, 초고강도 섬유보강 시멘트 복합재료의 경우 구조부재의 형상 개발과 장대교량, 해상 플랫폼, 수중교량, 침매터널 등, 고부가가치 구조물에 매우 우수한 장점을 지니고 있음. 이 재료를 이용하여 일반 토목구조물에 활용은 점차 확대될 것으로 전망됨.



그림 33 초고성능 콘크리트
비틀림실험(2011)



그림 34 SUPER Bridge I(2009)

- 충남대학교에서는 고밀도의 시멘트계 재료에 PVA 섬유를 혼입하여 변형경화(strain hardening)가 가능한 고인성 콘크리트를 개발한 바 있음. 이 재료는 ECC(Engineered Cementitious Composite) 계열의 섬유보강 시멘트 복합재료이며, 매우 높은 인성에너지 흡수력을 지닌 시멘트 복합재료임

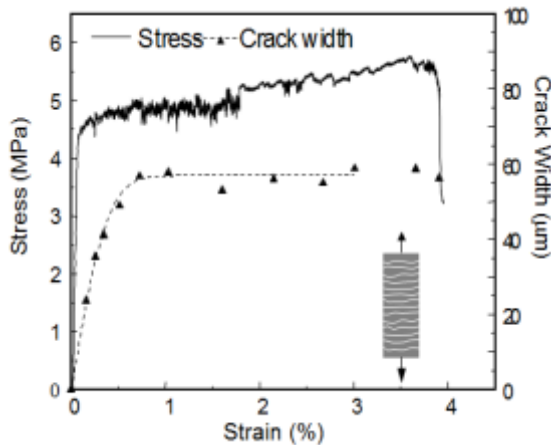


그림 35 ECC의 stress-strain curve



그림 36 ECC의
Multi-Cracking

- ECC의 높은 변형경화 성능을 이용하여 건축물의 내진 보강에 적용되고 있으며, 특히 건축구조물의 내화성능 보강에도 유용한 재료로 활용이 고려되고 있음. 그러나 압축강도가 일반 콘크리트보다 그리 크지 않은 단점으로 인하여 구조물에 적극적으로 활용되지 못하고 있음
- 미국의 경우 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 경우 자체 재료개발은 별도로 진행하고 있지 않으며 이 재료를 구조부재에 활용하는 연구개발을 수행하고 있으며, 초고성능 콘크리트를 활용하여 도로교량을 비롯한 구조부재의 구조시스템 개발과 적용을 여러 차례 수행한 바 있음
 - 미국 미시간 대학의 Naaman 교수가 이끄는 Cement Composite Laboratory (CCL)과 Li 교수가 이끄는 Advanced Civil Engineering Material Research Laboratory (ACE-MRL)은 각각 고강도 강섬유와 PVA 섬유를 사용한 변형경화형 섬유보강 시멘트 복합재료 분야의 선두그룹임

- 2011년 TRB(Transportation Research Record)에 의하면 초고성능 콘크리트의 활용과 관련된 기술, 질산화물 흡수 친환경 콘크리트, 포장 콘크리트 내구성 향상 기술, 시멘트 사용을 최소화한 고성능 콘크리트의 개발과 나노 재료를 활용한 콘크리트의 첨단화 기술 개발 등에 관한 연구보고서가 출간
 - 한편, 미국은 2005년 이후 UHPC의 활용에 대한 관심이 고조되면서 2006년 FHWA의 지원으로 IOWA주 Wapello 카운티의 Mars Hill bridge를 UHPC로 건설하면서 Virginia주와 다른 주에서 현재 UHPC교량을 건설 중이거나 건설을 완료한 바 있음
 - 이와 같이 최근 미국에서도 전반적인 신규 콘크리트 교량의 건설량은 감소하였지만 첨단 신재료인 UHPC를 비롯한 고강도/고성능 콘크리트의 활용의 활용은 점차 증가하고 있는 추세임
- 프랑스 및 독일을 비롯한 EU 국가들은 상용화된 초고성능 콘크리트의 최초 개발국가로서 현재는 토목 및 건축구조물에 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료인 초고성능 콘크리트의 적용이 활발히 수행되고 있음
- 유럽은 석회암이 풍부한 배경에 따라 근대적인 콘크리트 기술이 매우 발달한 지역으로 콘크리트 기술이 대표적으로 발달한 국가로는 독일, 네덜란드, 노르웨이, 프랑스 등을 들 수 있으며 이들은 고성능 콘크리트 기술에 초고강도 및 초고성능 콘크리트 기술개발로 빠르게 전환된 지역임
 - 프랑스는 New Ways for Concrete라는 연구프로젝트가 시작되어, 1992년 Bouygues가 중심이 되고 Larfaz와 Choida가 합류한 컨소시엄을 구성하여 180 MPa인 Ductal을 상용화하여 토목 및 건축 재료로 상용화시킴
 - 독일은 DFG 프로그램의 일환은 2007년부터 UHPC 재료 개발을 시작하여 Nanodur 라는 UHPC 결합재를 독자적으로 개발하여 현재 상용화를 진행하고 있으며, 현재는 Kassel University를 중심으로 섬유보강 시멘트 복합재료 및 초고강도 섬유보강 콘크리트에 대한 많은 연구를 수행중임
- 일본의 경우 고성능 및 고강도 콘크리트 분야에서는 재료기술이 일찍 발달한 국가이며 최근에는 프랑스의 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 상용 제품인 Ductal을 활용하는 그룹과 가지마 건설을 중심으로 독자적인 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료인 SUQCEM을 개발 구조물에 활용하는 그룹으로 나뉘어 실용화 연구를 진행 중
- 일본콘크리트공학협회(JCI)에서 2001년 “고인성 시멘트 복합재료의 성능평가와 구조연구 위원회”를 구성, 고인성 시멘트 복합체에 대한 연구사례를 조사하여 이를 바탕으로 2002년에 연구보고서를 발간하였음. 이 연구보고서에는 위원회의 활동목표를 고인성 섬유보강 시멘트 복합체 기술의 보급과 이용으로 설정하여 재료의 제조, 재료성상의 평가, 시공, 적용 및 설계, 구조성능, 내구성, 해석기법 등에 대하여 정보를 수집하여 그 기술을 일반화하고자 노력하고 있음
 - 최근 일본의 Yamada 등은 초고성능 시멘트 복합체의 Packing Density Model을 개발하여 최대 84% 이상의 밀실도가 가능함을 제시하여 초고성능 시멘트 복합체의 Density 이론을 발표함



그림 37 Sakata-Mirai 도쿄(2002)



그림 38 Tokyo 국제공항 진입교(2008)

(마) 기술동향 시사점

- **방호·방폭 적용기술**은 국내에서는 주로 국방 관련 시설물에 적용되고 있으며, 대부분 철근콘크리트 구조물의 두께를 증가시키거나 철근량을 증가시켜 충격이나 폭발에 대한 저항력을 높이는 데 초점이 맞추어져 있음
 - 최근에는 파형강판과 콘크리트를 합성하고 그 표면에 토사층으로 충격 및 폭발에너지를 감소시키는 형태의 방호구조물이 건설되고 있음. 그러나 이 공법은 필요에 지난 연평도 포격 이후 대피소의 급속 복구를 위한 일시적인 검토에 따른 적용으로서 구체적인 방호방폭 기준에 부합된 형태로 판단하기는 어려움
 - 또한 국내에서 철근콘크리트 재료에 대하여는 충격 또는 폭발 하중에 대한 방호 두께의 산정과 구조시스템에 대한 규정은 일부 있으나, 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료와 같은 첨단 재료에 대하여는 기준 또는 적용된 사례가 전무함

- **방호방폭용 복합재료의 개발**과 관련하여 국내에서는 최근 원전 격납건물의 항공기 충돌 방호를 위하여 섬유보강콘크리트의 적용하는 검토하는 단계이며, 또한 ECC계열의 섬유보강 복합재료를 건축물에 대한 방호용 부자재로 활용하는 것을 검토하는 단계임
 - 국내에서 초고성능 콘크리트에 대한 연구개발은 상당히 진척되어 있으나 대부분 정적 구조물의 건설에 필요한 건설재료로 활용하는데 초점이 맞추어 있고, 충격 및 폭발 등 동적 성능에 대한 평가 및 검증이 이루어지지 않은 상태임
 - 일부 연구개발은 기존 구조물의 보강과 관련된 연구가 진행되고 있으나 해당 재료 및 공법이 기존 기술에 의존하고 있어 획기적으로 방호방폭 성능을 높이는데 부족한 상황임
 - 외국의 경우 직조섬유를 이용하여 여기에 시멘트계 재료를 추가 적용하여 구조체 형상의 방어물(barrier)로 활용하는 방안에 대한 연구가 진행중임
 - 여러 형태의 섬유보강 시멘트 복합재료를 방호방폭의 목적으로 적용성을 평가하는 단계이며 실용화를 위해서는 기본 동적물성과 목표성능을 결정하는데 부족한 상황임

- **방호방폭 성능평가 기술** 분야에서는 재료의 동적 기본 물성을 평가하는 기초 장비를 국내 일부 연구기관에서 설치 운영하여 기초실험을 수행하는 정도이며, 성능평가 시험법 및 분석기술에 대한 연구개발이 필요한 실정임
 - 국방과학연구소에서는 재료의 동적물성을 성능평가를 할 수 있는 SHPB (Split Hopkins Pressure Bar) 실험장비를 3sets 정도 갖추고 있으며, 한국건설기술연구원은 콘크리트 시험체의 동적 압축물성 실험이 가능한 SHPB 1set을 갖추고 있고, 세종대는 동적 인장물성 실험이 가능한 실험장비 1set을 보유하고 있음
 - 시험평가법에 있어서도 현재는 기초시험을 통하여 시험값의 신뢰성을 높이는데 주력하고 있으며 이 시험결과와 신뢰성을 높이기 위해서는 추가적인 경험이 필요함. 또한 규정된 시험법을 설정하고 개발대상 재료의 성능을 평가하기 위해서는 이 부분에 대한 향후 연구개발이 필요함

- **섬유보강 시멘트 복합재료 기술** 분야에서는 UHPC 및 ECC 재료 기술은 국내에서 원천기술을 확보한 것으로 판단되나 기존 정적 구조물에 실용화는 아직 활성화 되어 있지 못한 상황임. ECC 계열의 재료에 대하여 일부 충격시험을 수행하고 있으나 기술적으로 도입기에 불과함
 - 한국건설기술연구원은 강섬유를 보강한 UHPC를 개발하고 연구개발 과정을 통하여 실 교량구조물에 적용하는 실용화기술을 개발한 바 있음. 원천기술인 UHPC 제조, 구조시스템 개발 및 시공 기술을 확보하였으나 충격 및 폭발을 대비한 방호방폭 관련분야의 응용연구를 수행한 바 없음
 - 국제적으로도 UHPC 및 ECC를 활용한 방호방폭 연구는 태동기이며 가시적인 성과는 현재 없는 상태임. 따라서 첨단 건설재료인 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료를 활용한 방호방폭 기술의 개발은 세계 선도기술 확보할 수 있는 기회가 됨

(3) 특허동향분석

- 방호·방폭용 재료개발과 관련된 국내외 주요 지식재산권 등록 현황은 다음과 같음

표 18 방폭구조물용 재료관련 대표적 국내 지식재산권(특허 등) 동향

제 목	출원인	핵심내용
초고성능 섬유보강 콘크리트용 강섬유 및 이를 이용한 콘크리트의 제조방법	한국건설기술연구원	압축강도 200MPa를 확보하면서도 콘크리트의 인장강도 및 휨강도를 확보하기 위한 강섬유를 사용하는 시멘트복합체의 구성재료 및 제조기술
방폭구조 보강방법	경희대학교 산학협력단	기성/기존의 건축/토목 구조물을 보수하여 폭격, 포격이나 폭발의 충격에 의한 건축/토목 구조물의 붕괴를 방지하는 방폭구조 보강방법
고인성 시멘트복합체를 활용한 방폭콘크리트 제조	(주)삼표 충남대학교 산학협력단	폭발에 의해 콘크리트가 파괴되는 것을 억제하기 위하여 고인성 섬유를 혼입한 시멘트복합체의 제조기술
충격 저항 및 내폭 성능이 개선된 콘크리트 복합체 구조물 및 이의 시공 방법	고려대학교 산학협력단	충격 하중 방향으로 단위 세그먼트를 나란히 배치하는 분절 복합체(segmented composite) 구조를 형성하여, 충격·폭발 저항성능을 향상시키는 콘크리트 복합체 구조물 제조 및 시공방법.
방폭 콘크리트의 제조 방법	한천구	미리 강섬유를 채워 넣은 거푸집에 그라우트제를 충전(그라우트;grout)시키고 경화시켜, 폭발물에 대한 방폭성능을 가지는 콘크리트의 제조방법

표 19 방호·방폭구조물용 재료관련 대표적 국외 지식재산권(특허 등) 동향

제 목	출원인	핵심내용
Impact resistant sheet material	Cashin, Arthur Henry	미사일 충격 및 외부 충돌로부터 구조물의 저항성을 높이기 위한 콘크리트 외부 시트재료로써, 충돌 및 충격에 저항할 수 있는 보강 공법
Safety end barrier for concrete road barriers	The Texas University	도로에서 차량 충돌에 의한 장벽의 충돌 저항성을 향상시키는 특수 장벽 공법
Concrete barrier with reinforcement	Schuylkill Products, Inc	충돌과 폭발로부터 콘크리트 장벽이 파괴되는 것을 방지하기 위하여 특수 강화 철근을 사용한 공법
Cement based armor panel system	United States Gypsum Company	탄도 및 방폭 저항성을 높일수 있는 시멘트 패널로써, 고성능 감수제와 강섬유를 이용한 시멘트 복합체 패널

- 방호·방폭 기술분야에 대한 국내외 특허등록 현황은 미국이 총 236건으로 가장 많았으며, 일본이 총 92건, 유럽 52건 및 기타 국제특허가 73건이며 우리나라가 총 55건으로 확인되었음
- 한편, 특허등록 동향과 관련하여서는 2001년 911 테러를 기점으로 미국의 특허등록 건수가 급증함을 확인할 수 있으며, 최근 2000년대 후반기에 들어서는 급격한 감소추세를 보이고 있으나, 이는 최근 2년간 출원미공개 특허가 있기 때문으로 판단됨

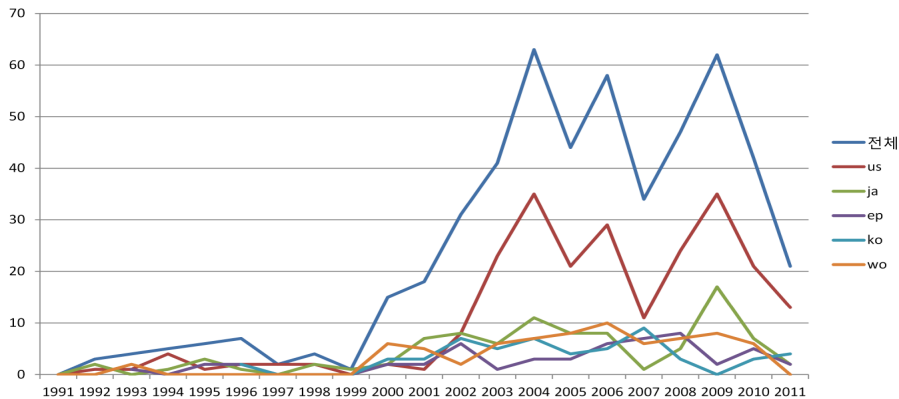


그림 39 연도별 방호·방폭 재료, 자재 및 구조물 관련 특허등록 현황 (ja: 일본, us: 미국, wo: PCT, ep: 유럽, ko: 대한민국)

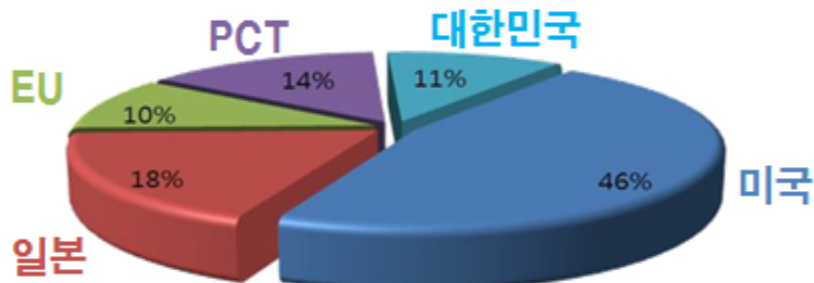


그림 40 국가별 방호·방폭 관련 특허점유율 현황

- 한편 특허의 내용면을 살펴보면 방호·방폭 설계기술이 313건으로 가장 많았으며, 방호·방폭 구조성능 향상 관련이 144건, 재료개발 관련이 46건으로 파악되었음

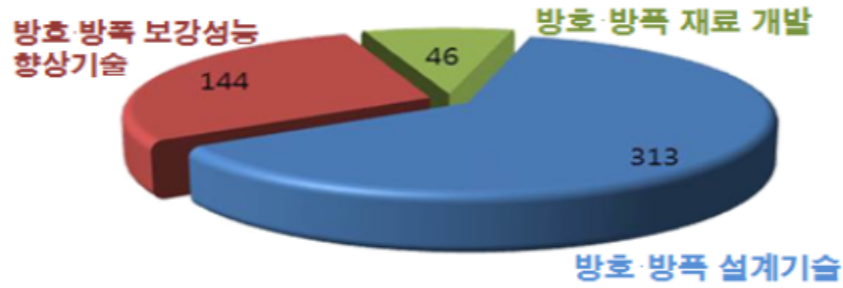


그림 41 방호·방폭 주제별 특허 등록건수 현황

- 다음 표는 방호·방폭 기술분야 및 국가별 기술력 순위를 나타낸 것으로, 미국이 거의 전 분야에서 차별화된 우위를 점하고 있는 것으로 조사되었으며, 우리나라의 경우는 해당분야에 있어서 기술력의 확보가 매우 시급한 수준임을 확인할 수 있었음

표 20 방호·방폭 분야 특허 국가 기술력 순위 (기술분야별)

기술분야	국가	특허건수		영향력지수		기술력지수	
		건수	순위	지수	순위	지수	순위
방호·방폭 설계기술	미국	145	1	0.39	1	57.17	1
	일본	53	2	0.12	3	6.42	3
	유럽	37	4	0.12	4	4.28	4
	PCT	42	3	0.31	2	12.85	2
	대한민국	24	5	0.06	5	1.50	5
방호·방폭 구조성능 향상기술	미국	74	1	0.34	2	24.81	1
	일본	29	2	0.13	3	3.82	3
	유럽	10	5	0.10	4	0.95	5
	PCT	22	4	0.35	1	7.63	2
	대한민국	23	3	0.09	5	2.10	4
방호·방폭 재료 개발 기술	미국	17	1	0.32	1	5.36	1
	일본	10	2	0.14	4	1.43	3
	유럽	5	5	0.21	3	1.07	4
	PCT	9	3	0.24	2	2.14	2
	대한민국	8	4	0.09	5	0.71	5

※ 영향력지수(Patent Impact index) PI = 해당국가 특허의 피인용비율 / 전체 피인용비율
 기술력지수(Technology Strength) TS = 특허건수 × 영향력지수

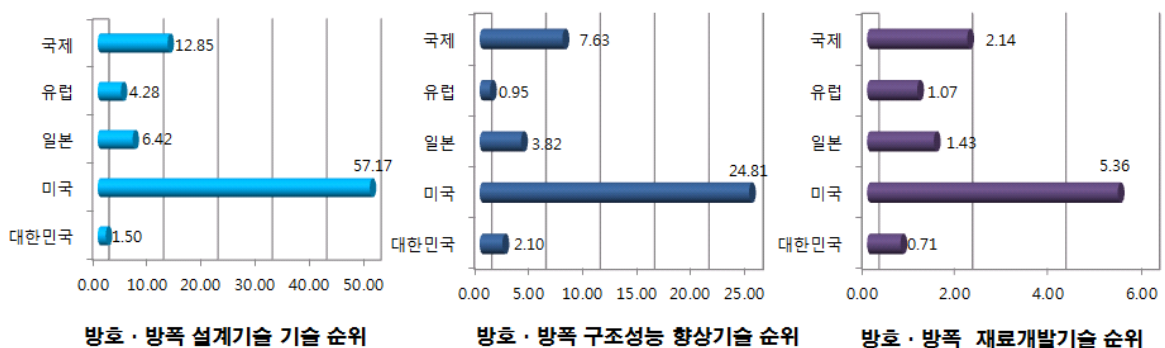


그림 42 방호·방폭 기술분야 국가별 기술 순위

- 다음 그림은 각 국가별 방호·방폭 기술분야의 특허 포트폴리오를 보여주고 있음. 미국은 2011년도 현재 성숙기에 도달해 있는 반면, 우리나라를 포함한 타 주요국가의 경우, 성장기에 머물고 있음을 알 수 있음

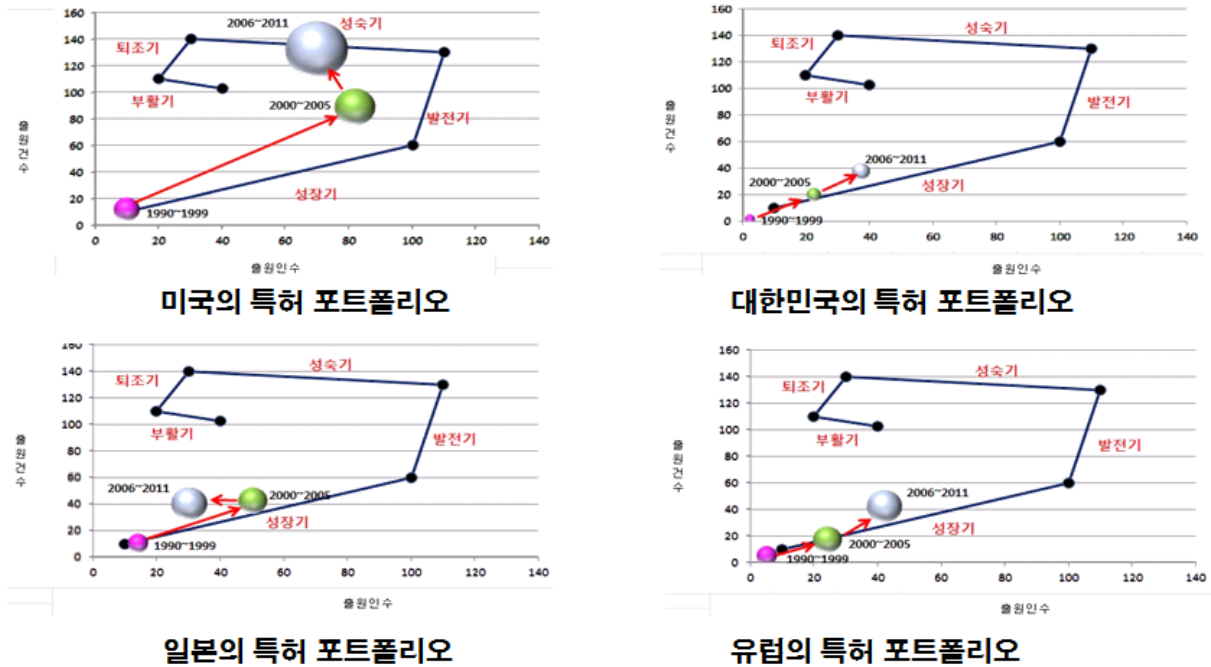


그림 43 방호·방폭 기술분야 국가별 특허 포트폴리오

- 한편, 국내에서 콘크리트와 관련된 전체 특허를 조사한 결과 일반 콘크리트 기술이 96%로서 대부분을 차지하며 고강도, 고성능 콘크리트 관련 기술은 전체 약 4%인 149건이며, 섬유보강 시멘트 복합재료와 관련된 건은 이중에서 약 20%인 30건 정도에 머물고 있음
- 특히 섬유보강 시멘트 복합재료의 경우 2000년에 들어서 출원되기 시작하였으며 한국건설기술 연구원이 20여건으로 가장 많은 부분을 차지하고 있음

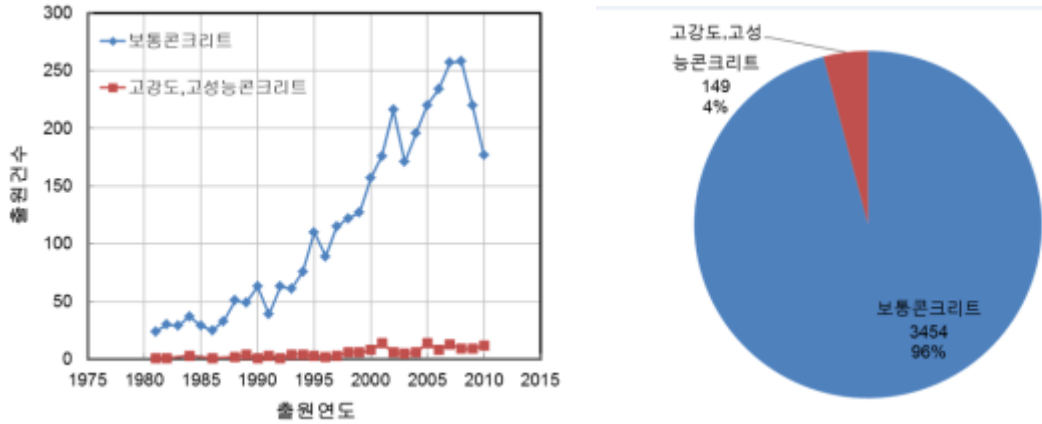


그림 44 섬유보강 콘크리트 기술의 특허출원 동향 및 점유율

(4) 논문동향분석

- 1990년도 이후의 방호·방폭 기술분야의 연구논문 동향에 있어서는 국외 총 912건과 국내 총 80건으로 집계되었으며, 최근에 있어서도 지속적으로 많은 연구가 진행되고 있음을 확인할 수 있음.

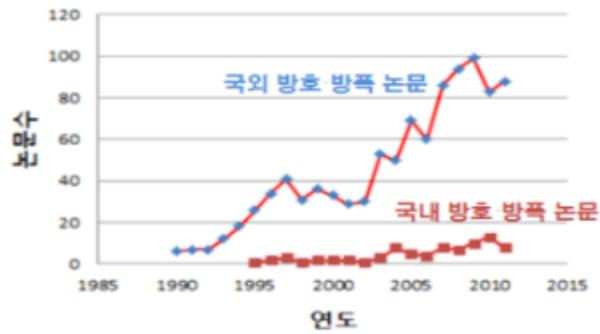


그림 45 연도별 국외 방호·방폭 관련 논문 동향

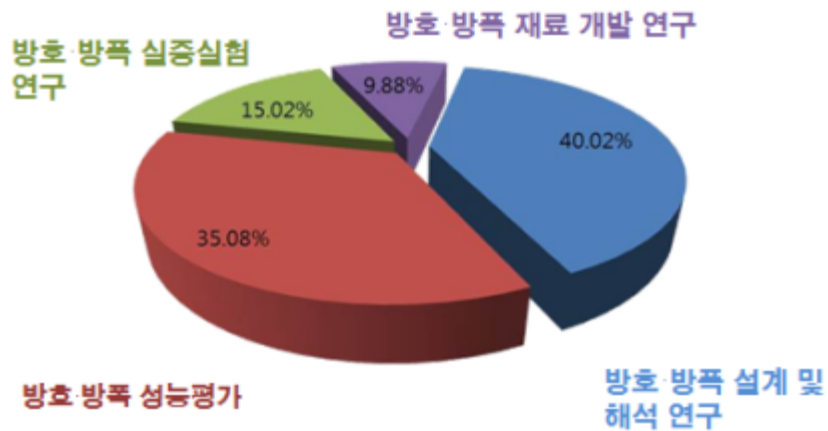


그림 46 방호·방폭 연구분야별 논문 동향

- 논문의 경우는 주로 국방부분과 대테러 측면에서 일반 철근콘크리트 구조물의 방호능력에 대한 물리적, 기계적 거동과 관련된 연구부분이 가장 많이 발표되어 있으며, 최근 고성능 섬유보강 복합재와 관련하여 내충격 성능에 대한 연구가 시작되어 소수의 논문이 발표되고 있음

표 21 방호·방폭 구조물 관련 재료 및 자재 분야 대표적 국내 논문 사례

제 목	저자	핵심 내용
철근콘크리트 패널의FRP 보강에 의한 방폭 성능 향상에 관한 실험 연구	하주형	폭발하중을 받는 FRP의 보강 효과를 측정하기 위해 시험체에 탄소섬유복합재(CFRP), 폴리우레아, 폴리우레아와 CFRP를 동시에 보강한 경우와 현무암 섬유 복합재(BFRP, basalt fiber reinforced polymer)로 보강하여 각 보강 섬유의 폭발 저항 성능을 검토함
차량 충돌 시뮬레이션에 의한 강재 및 복합소재 교량용 방호 울타리 성능 비교	김승익	복합소재 교량용 방호울타리를 개발하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 강재 교량용 방호울타리와 복합소재교량용 방호울타리의 성능을 비교함
섬유혼입을 변화에 따른 고강도 섬유보강 콘크리트의 방폭특성	이광설	섬유보강 콘크리트의 섬유 혼입률과 부재크기 등의 변화에 따른 콘크리트의 역학적특성과 방폭특성에 관한 실험적 연구
방호 구조물에 강섬유 보강 콘크리트의 적용	이제방	플랜트시설물에서 발전기 및 터빈엔진의 파괴 방지를 위한 강섬유 보강 콘크리트 개발에 관한 연구

표 22 방호·방폭 구조물 관련 재료 및 자재 분야 대표적 국외 논문 사례

제 목	저자	핵심 내용
EFFECT OF FIBER SHEET REINFORCEMENT ON SCABBING OF CONCRETE PLATES SUBJECTED TO HIGH VELOCITY IMPACT	Masuhiko Beppu	탄소 및 특수 고분자 층으로 제조된 섬유보강시트에 고속 충격실험을 수행하여 충격저항성을 평가함
MESOCAL MODELING OF FIBER REINFORCED CONCRETE MATERIAL UNDER COMPRESSIVE IMPACT LOADING	Xu, Z. Hao, H. Li	강섬유 보강 콘크리트(SFRC)에 충격 시험을 실시하여 동적 재료 특성을 분석함
REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER IMPACT	T.Krauthammer1,	지하에서 발생하는 폭발이나 충격으로 인하여 콘크리트 구조물이 외부로부터 하중을 받을 때의 거동에 관한 연구
STATIC AND DYNAMIC COMPRESSIVE BEHAVIOR OF FIBER-REINFORCED HIGH-STRENGTH CONCRETE	S h a s h a Wang	홉킨스 붕 장치를 이용하여 일반 고강도 콘크리트(HSC)와 섬유 보강 고강도 콘크리트(FRHSC)에 대한 동적 파괴 인성을 분석함

- 이와 같이, 특허 및 논문 동향을 살펴볼 경우, 특허와 관련된 기술은 기존 철근콘크리트 구조물에 대한 것으로써 어느 정도 성숙기에 도달하여 하향추세이며, 고성능 섬유보강 복합재료와 관련된 연구개발은 시작점임을 알 수 있음

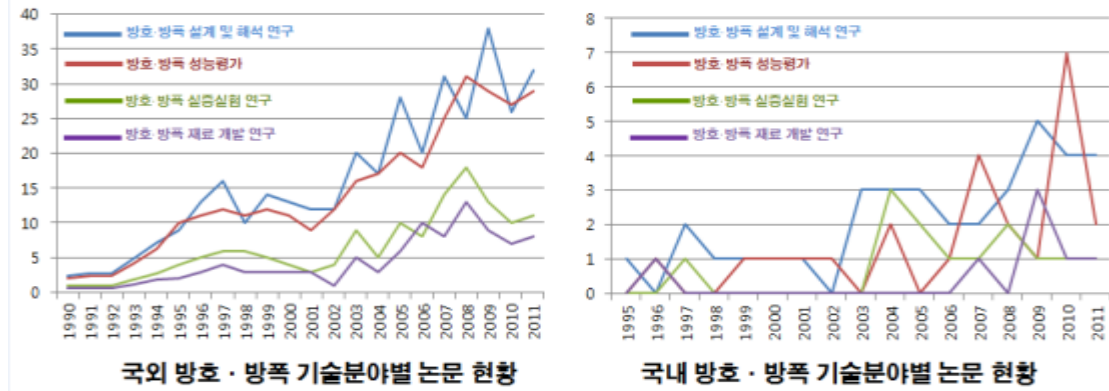


그림 47 방호·방폭 연구분야별 논문 동향

- 한편, 고성능 섬유보강 콘크리트 (UHPC) 연구분야 논문의 경우, 2000년도 이후를 기준으로 국내는 84편, 국외는 441편이 발표되었으며, 신규 연구분야로서 지속적인 증가추세를 보이고 있음

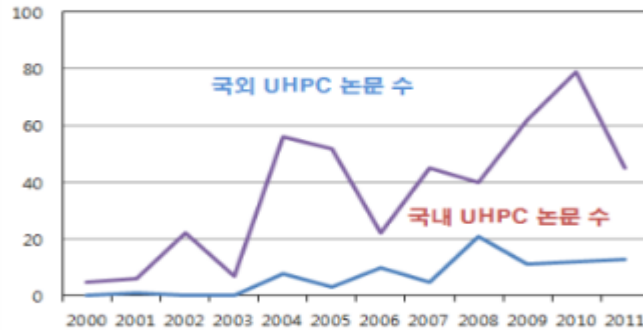


그림 48 UHPC 연구분야 국내·외 논문 현황

- 한편, 발표된 논문의 기술분야별 건수를 살펴보면, UHPC 부재 설계 및 해석연구가 277건으로 가장 많았으며 (52.76%), 성능평가 125건 (23.81%), 실증실험 68건 (12.95%), 재료개발이 55건 (10.48%) 순으로 나타났음
- 이는 UHPC 분야의 연구가 시작된지 얼마 안된 시점으로서, 개발된 고성능 섬유보강 콘크리트를 실제 구조물에 적용하기 위한 설계기술의 개발과 성능을 평가하기 위한 연구가 활발히 진행 중임을 나타내며, 이와 더불어 더욱 성능이 향상된 UHPC 재료의 개발과 관련된 연구도 진행 중임을 나타내는 것으로 판단됨

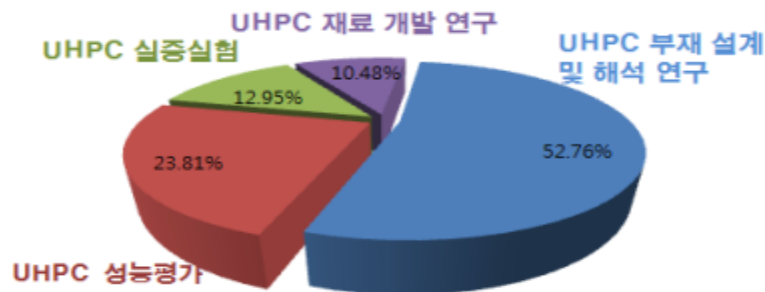


그림 49 UHPC 연구분야별 논문 동향

라. 인프라 현황 분석

- 본 과제를 진행함에 있어 활용가능한 국내 연구인프라에 대해 건설연구 인프라 운영원과 정부출연기관을 중심으로 조사 및 분석하였고 이에 대한 내용은 다음과 같음

(1) 건설연구 인프라 운영원 실험센터 실험시설 인프라 현황조사

- 국내 분산공유시설인 건설연구 인프라 운영원이 보유한 실험센터는 아래 그림과 같이 전국에 걸쳐 6개소로 나누어 구축되어 있음.
- 이 기획과제와 연관된 분야는 하이브리드 구조실험센터와 첨단건설재료실험센터 2개소로 구분할 수 있으며 이 2개 실험센터가 보유한 실험장비 현황을 조사하여 활용 가능 여부를 파악하였음

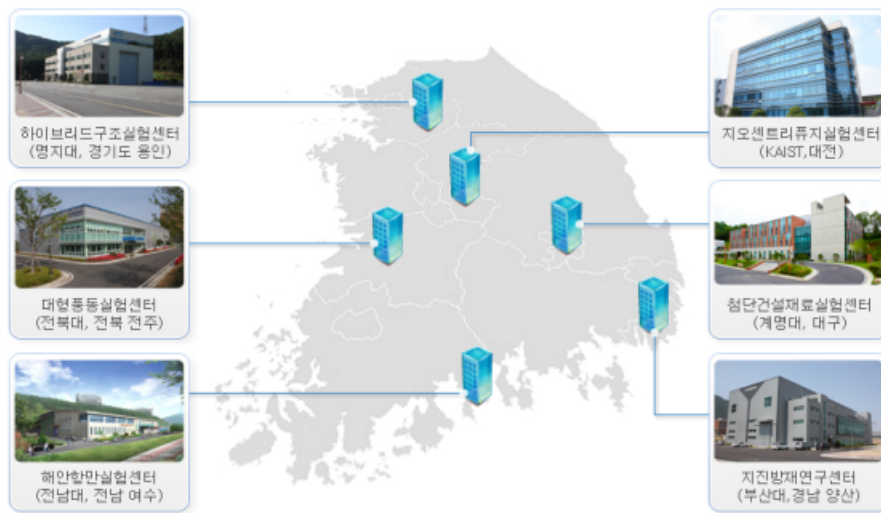


그림 50 건설연구 인프라운영원 실험센터

(가) 하이브리드 구조실험센터

- 하이브리드 구조실험센터는 대형 구조실험이 가능한 실험시설을 구축하여 특히 80m 길이의 교량거더 실험 및 3층 규모의 건축물 구조실험을 실시할 수 있는 장점이 있음
- 그러나 이 기획과제는 방호·방폭에 대한 재료개발 및 그에 따른 평가시스템 개발에 대한 내용이 주를 이루고 있어 구조실험 위주로 장비가 갖춰진 이 실험센터내의 장비들의 활용도는 다소 떨어질 것으로 판단됨. 특히, 계측장비의 경우 유사한 성능을 갖는 장비를 보유한 기관들이 많고 폭발이나 충격실험에 사용되는 계측장비의 경우는 실험에 맞는 용도로 과제를 진행하는 기관에서 따로 구매하거나 제작해야 할 것으로 예상됨


표 23 하이브리드 구조실험센터 연구 인프라 조사 현황

주요시설/장비		제원 및 특징	활용도																																										
반력구조물 시스템		<table border="1"> <tr> <td>반력바닥 (Reaction Floor)</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 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 </td> </tr> <tr> <td>반력벽 (Reaction Wall)</td> <td>Solid type [24+8]m(L)×[12+9+6]m(H) Multi-direction System</td> </tr> <tr> <td>크레인</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 300+100kN O.H.C 17l, 300kN O.H.C 17l, 30kN Mono-Rail Crane </td> </tr> <tr> <td>주 출입문</td> <td>10(W)×12m(H)</td> </tr> </table>	반력바닥 (Reaction Floor)	<ul style="list-style-type: none"> 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 (Reaction Wall)	Solid type [24+8]m(L)×[12+9+6]m(H) Multi-direction System	크레인	<ul style="list-style-type: none"> 300+100kN O.H.C 17l, 300kN O.H.C 17l, 30kN Mono-Rail Crane 	주 출입문	10(W)×12m(H)	△																																		
반력바닥 (Reaction Floor)	<ul style="list-style-type: none"> 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 (Reaction Wall)	Solid type [24+8]m(L)×[12+9+6]m(H) Multi-direction System																																												
크레인	<ul style="list-style-type: none"> 300+100kN O.H.C 17l, 300kN O.H.C 17l, 30kN Mono-Rail Crane 																																												
주 출입문	10(W)×12m(H)																																												
정·동적 유압가력기		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Classification</th> <th>Quantities</th> <th>Capacity</th> <th>Stroke</th> <th>Max. Rate of Stroke (1Hz일때 Dam)</th> <th>Servo-valve Performance</th> <th>Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>250kN Dynamic Act.</td> <td>2</td> <td>±250kN</td> <td>800mm</td> <td>약 400mm/sec</td> <td>180/15gpm</td> <td>Dual</td> </tr> <tr> <td>500kN Dynamic Act.</td> <td>2</td> <td>±500kN</td> <td>250mm</td> <td>약 70mm/sec</td> <td>90gpm</td> <td>Single</td> </tr> <tr> <td>1,000kN Dynamic Act.</td> <td>2</td> <td>±1,00kN</td> <td>800mm</td> <td>약 100mm/sec</td> <td>250/15gpm</td> <td>Dual</td> </tr> <tr> <td>2,000kN Dynamic Act.</td> <td>2</td> <td>±2,000kN</td> <td>1,000mm</td> <td>약 50mm/sec</td> <td>250/15gpm</td> <td>Dual</td> </tr> <tr> <td>5,000kN Static Act.</td> <td>2</td> <td>Comp.5,000kN Tens 3,500kN</td> <td>2,000mm</td> <td>15gpm</td> <td>90gpm</td> <td>Single</td> </tr> </tbody> </table>	Classification	Quantities	Capacity	Stroke	Max. Rate of Stroke (1Hz일때 Dam)	Servo-valve Performance	Type	250kN Dynamic Act.	2	±250kN	800mm	약 400mm/sec	180/15gpm	Dual	500kN Dynamic Act.	2	±500kN	250mm	약 70mm/sec	90gpm	Single	1,000kN Dynamic Act.	2	±1,00kN	800mm	약 100mm/sec	250/15gpm	Dual	2,000kN Dynamic Act.	2	±2,000kN	1,000mm	약 50mm/sec	250/15gpm	Dual	5,000kN Static Act.	2	Comp.5,000kN Tens 3,500kN	2,000mm	15gpm	90gpm	Single	△
Classification	Quantities	Capacity	Stroke	Max. Rate of Stroke (1Hz일때 Dam)	Servo-valve Performance	Type																																							
250kN Dynamic Act.	2	±250kN	800mm	약 400mm/sec	180/15gpm	Dual																																							
500kN Dynamic Act.	2	±500kN	250mm	약 70mm/sec	90gpm	Single																																							
1,000kN Dynamic Act.	2	±1,00kN	800mm	약 100mm/sec	250/15gpm	Dual																																							
2,000kN Dynamic Act.	2	±2,000kN	1,000mm	약 50mm/sec	250/15gpm	Dual																																							
5,000kN Static Act.	2	Comp.5,000kN Tens 3,500kN	2,000mm	15gpm	90gpm	Single																																							
만능재료시험기		<table border="1"> <tr> <td>Max. Capacity(kN)</td> <td>Force: ±5,000kN(±1,124kipf), Stroke :500mm (20in)</td> </tr> <tr> <td>Testing Space</td> <td>30,000(L)×1,500(W)×6,000(H)mm (1,181×59×236in)</td> </tr> <tr> <td>Hydraulic Pressure</td> <td>3,000psi(210bar), 400gpm(1,514lpm)</td> </tr> <tr> <td>Actuator</td> <td>Tension/Compression, 3 stage servovalve</td> </tr> <tr> <td>Max. Rate of Stroke</td> <td>100mm/sec (4in/sec)</td> </tr> </table>	Max. Capacity(kN)	Force: ±5,000kN(±1,124kipf), Stroke :500mm (20in)	Testing Space	30,000(L)×1,500(W)×6,000(H)mm (1,181×59×236in)	Hydraulic Pressure	3,000psi(210bar), 400gpm(1,514lpm)	Actuator	Tension/Compression, 3 stage servovalve	Max. Rate of Stroke	100mm/sec (4in/sec)	×																																
Max. Capacity(kN)	Force: ±5,000kN(±1,124kipf), Stroke :500mm (20in)																																												
Testing Space	30,000(L)×1,500(W)×6,000(H)mm (1,181×59×236in)																																												
Hydraulic Pressure	3,000psi(210bar), 400gpm(1,514lpm)																																												
Actuator	Tension/Compression, 3 stage servovalve																																												
Max. Rate of Stroke	100mm/sec (4in/sec)																																												
Dynamic DAQ System		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Amplifier Modules</th> <th>Quantities</th> <th>No. of Slot</th> <th>Channels per Slot</th> <th>Total Channels</th> <th>Measurable Physical Quantities</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">CRONOS PL16 5set</td> <td>8 Channels(Multi-purpose) (CROL/UNI-8)</td> <td>8</td> <td>16</td> <td>8</td> <td>64</td> <td>Strain, Displacement, Temperature Load, Vibration, Voltage, Pressure</td> </tr> <tr> <td>8 Channels(Bridge & Voltage) (CRPL/DCB-8)</td> <td>22</td> <td>44</td> <td>8</td> <td>176</td> <td>Strain</td> </tr> <tr> <td>8 Channels(Temperature) (CRPL/C-8)</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>40</td> <td>Temperature</td> </tr> <tr> <td>8 Channels(Voltage) (CRPL/LV2-8)</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>8</td> <td>40</td> <td>Voltage, Vibration</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>40</td> <td>70</td> <td></td> <td>320</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Model	Amplifier Modules	Quantities	No. of Slot	Channels per Slot	Total Channels	Measurable Physical Quantities	CRONOS PL16 5set	8 Channels(Multi-purpose) (CROL/UNI-8)	8	16	8	64	Strain, Displacement, Temperature Load, Vibration, Voltage, Pressure	8 Channels(Bridge & Voltage) (CRPL/DCB-8)	22	44	8	176	Strain	8 Channels(Temperature) (CRPL/C-8)	5	5	8	40	Temperature	8 Channels(Voltage) (CRPL/LV2-8)	5	5	8	40	Voltage, Vibration	Total		40	70		320		△			
Model	Amplifier Modules	Quantities	No. of Slot	Channels per Slot	Total Channels	Measurable Physical Quantities																																							
CRONOS PL16 5set	8 Channels(Multi-purpose) (CROL/UNI-8)	8	16	8	64	Strain, Displacement, Temperature Load, Vibration, Voltage, Pressure																																							
	8 Channels(Bridge & Voltage) (CRPL/DCB-8)	22	44	8	176	Strain																																							
	8 Channels(Temperature) (CRPL/C-8)	5	5	8	40	Temperature																																							
	8 Channels(Voltage) (CRPL/LV2-8)	5	5	8	40	Voltage, Vibration																																							
Total		40	70		320																																								
Static DAQ System		<ul style="list-style-type: none"> 총 190채널 (Strain, Resistance, Voltage, Temperature) TML : TDS-530 & Switching Box SSW-50D 	×																																										
Hybrid DAQ System		<ul style="list-style-type: none"> 총 72채널 ScramNet Remote Data Acquisition (800kS/s for 6000, 7MS/s for HS system) PI 660 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Amplifier Modules</th> <th>No. of Slot</th> <th>Remarks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">PI 660</td> <td>Strain/LVDT(Bridge Module)</td> <td>48</td> <td>Up to 10kS/s</td> </tr> <tr> <td>Accelerometer</td> <td>16</td> <td>Up to 100kS/s</td> </tr> <tr> <td>Voltage/Thermocouple</td> <td>8</td> <td>Up to 10kS/s</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>72</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Model	Amplifier Modules	No. of Slot	Remarks	PI 660	Strain/LVDT(Bridge Module)	48	Up to 10kS/s	Accelerometer	16	Up to 100kS/s	Voltage/Thermocouple	8	Up to 10kS/s	Total	72		×																									
Model	Amplifier Modules	No. of Slot	Remarks																																										
PI 660	Strain/LVDT(Bridge Module)	48	Up to 10kS/s																																										
	Accelerometer	16	Up to 100kS/s																																										
	Voltage/Thermocouple	8	Up to 10kS/s																																										
	Total	72																																											

(나) 첨단건설재료 실험센터

- 첨단건설재료 실험센터는 건설재료의 내구성능, 화학성능 및 미세구조 분석 실험뿐만 아니라 구조부재 및 콘크리트, 암석포장재료의 성능평가를 실시할 수 있는 곳임
- 이 기획과제의 특성상 재료개발에 따른 평가를 위한 일부 분야에서 활용성을 가질 수 있으나 일반강도 콘크리트 내구성 평가에 대한 장비들이 주를 이루고 있어 방호·방폭용 재료개발에 따른 평가장비로는 활용도가 떨어질 것으로 판단됨.

표 24 첨단건설재료 실험센터 연구 인프라 조사 현황



주요시설/장비	제원 및 특징	활용도
장기거동 실험실	 <p>합온합습실</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 시편에 대한 온도, 습도, 온습도 조건으로 극한상태의 조건 - 대형크기 - 온도조건(3 Type) <ul style="list-style-type: none"> · +80℃~ -50℃ · +80℃~ +20℃ · +26℃~ -20℃ 	△
	 <p>동결응력시험기</p> <ul style="list-style-type: none"> · 3면 반력벽을 갖춘 장비로 대형구조재료의 휨, 압축, 전단 실험 · 장비사양 <ul style="list-style-type: none"> - Capacity : 2,000KN - Main Size : 7,850 12,080 7,050 - Column to Column : 3,000mm - 휨 압축 시험 높이 : 4,000mm - Bending Span : 6,000mm - Actuator Stroke : 400mm - 제작사 : 삼연기술 	×
	 <p>중성화축전시험기</p> <ul style="list-style-type: none"> · 5MN 용량의 콘크리트 및 암석 등의 재료특성 실험 · 장비사양 <ul style="list-style-type: none"> - Capacity : 5MN - Pressure plates : 380x520mm - Actuator Stroke : 100mm - Load measuring range : 100 ~ 5,000kN - Piston stroke : 100mm - Deformation at max.load : 1.2mm - 제작사 : SHIMADZU 	×
구조실험실	 <p>5MN 구조재료시험기</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacity : 5MN - Force range : 6steps(x1, x2, x5, x10, x20, x50) - Main Size : 8,200(H:Max) - Column to Column : 3,000mm - 휨 압축 시험 높이 : 5,000mm - Bending Span : 23,000mm - Actuator Stroke : 500mm - Frequency : 3Hz - 제작사 : SHIMADZU 	△
	 <p>3면 반력벽</p> <ul style="list-style-type: none"> · 3면 반력벽을 갖춘 장비로 대형구조재료의 휨, 압축, 전단 실험 · 장비사양 <ul style="list-style-type: none"> - Capacity : 2,000KN - Main Size : 7,850 12,080 7,050 - Column to Column : 3,000mm - 휨 압축 시험 높이 : 4,000mm - Bending Span : 6,000mm - Actuator Stroke : 400mm - 제작사 : 삼연기술 	×
5MN 압축시험기	 <ul style="list-style-type: none"> · 5MN 용량의 콘크리트 및 암석 등의 재료특성 실험 · 장비사양 <ul style="list-style-type: none"> - Capacity : 5MN - Pressure plates : 380x520mm - Actuator Stroke : 100mm - Load measuring range : 100 ~ 5,000kN - Piston stroke : 100mm - Deformation at max.load : 1.2mm - 제작사 : SHIMADZU 	△
강재피로시험기 (500,250KN)	 <ul style="list-style-type: none"> - capacity : 500, 250KN - Stroke between grips : 950mm - Load Accuracy : 6kN to 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 - Maximum operating pressure : 21MPa - 제작사 : MTS 	△

미세구조분석 실	 XRD(X-Ray Diffractometer)	<ul style="list-style-type: none"> · 장비사양 - 4kw X-Ray Tube, Rh target - 4 analyzing crystals, LiF(200), PET, TAP, Ge - Automatic On-Off control - Mask diameter : 10, 30mm dia - Materials : SUS, Al, Ni, Cu - 제작사 : SHIMADZU 	△
	 XRF(X-Ray Fluorescence)	<ul style="list-style-type: none"> · 장비사양 - X-Ray Tube : Type - Sealed type, Anode - Cu / Rating - 3.0kW - Scan range : -6 ~ +163°(2θ) / -180 ~ +180°(θ) - Chamber for High Temperature : 1,500°C (in air) or higher - Sample atmosphere : Air, Vacuum - Heating Filament : Pt or equivalent - Reproducibility : ± 0.002° or better - 2θ range : -3 to +154° or wider - Scan speed : 50°/min or faster - Slew speed : 700°/min or faster - 제작사 : SHIMADZU 	△
	 자동비카카를시험기	<ul style="list-style-type: none"> · 장비사양 - Vicatronic Automatic Computerised vicat recording apparatus : 400x200mm - Thermostatically controlled Heating/cooling system : 615x375x400mm - The unit is manufactured with anticorrosion and tropicalised components to be used in places with humidity not below 90% and 20°C - Resolution : 0.1mm - Timer : 0 ~ 999minutes - 제작사 : MTS 	×

(2) 정부출연기관 실험시설 인프라 현황조사

- 한국건설기술연구원은 국내 최고의 재료 및 구조실험 인프라시설을 갖추고 있음. 그 중에서 이 기획과제와 관련된 분야의 실험 인프라시설은 4개의 실험동 및 관련 장비가 구축되어 있음
- 특히 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발에 필요한 실대형 고성능 콘크리트 실험동이 구축되어 있고 개발된 재료 평가에 필수적으로 사용될 압축충격 재료 파괴물성 평가 장치 등 관련 시설 및 장비가 구축되어 있어 활용도가 매우 높음

표 25 한국건설기술연구원 연구 인프라 조사 현황

주요시설	장비명	활용도
구조실험동 	<ul style="list-style-type: none"> - 하중재하프레임 - 정적계측기 및 센서 - 동적계측기 및 센서 - TILTMETER 4set - 레이저 동정적변위측정기 - 메가닥 콘솔박스 - 350톤 정적엑츄에이터 - 구조실험유압장치 - 가속도계 - 정적 데이터로거 및 스위칭 박스 - 만능시험기(100, 200ton) - 교량받침 대형시험장치 - 400KN 동적엑츄에이터 	○
윤하중실험동 	<ul style="list-style-type: none"> - 동적 액츄에이터(static actuator) - 동적 데이터로거(UCAM 500-A) - 데이터로거 	×

고성능콘크리트 실험동		<ul style="list-style-type: none"> - 초고성능 콘크리트 믹서기(1.5m³, 2대) - 집진장치 - 트윈샤프트형 콘크리트 믹서기(0.08m³) - 고인성 전용 콘크리트 믹서기(0.12m³) 	○
		<ul style="list-style-type: none"> - 압축충격 재료 파괴물성 평가 장치 	◎
재료실험동		<ul style="list-style-type: none"> - 탄소함유량계 - 동결융해시험기 - 압축강도 시험기(200ton) - 압축인장시험기 - 콘크리트 내구력 측정기 - 철근부식도 측정기 - 중성화축진 시험장치 - 건설재료 공극 구조 측정 장치 - 데이터 로거 및 스위칭박스 - 만능재료시험기(300ton) - 광학현미경 - 소성점도 측정기 - 콘크리트 고온양생기 	○

(3) 국방과학연구소 실험시설 인프라 현황조사

- 국방과학연구소는 무기체계를 주로 연구개발하는 국책 연구기관으로서 이 기획과제와 관련된 많은 실험시설을 보유하고 있음. 그러나 국방과학연구소의 실험 인프라 현황은 국가 보안사항으로 제한되어 구체적인 시설 현황을 밝히기 어려움
- 단, 소재의 충격 물성을 파악할 수 있는 충격시험기가 여러 대 갖추어져 있으며, 폭발 실험이 가능한 시스템이 갖추어져 있는 실험장이 군사 보호 시설 내에 여러 곳 갖추어져 있는 것으로 알려져 있음
- 이 기획과제에 이어 본 연구사업이 수행될 경우 적법한 보안절차에 의해 요청할 경우 실험 협력이 가능함

마. 종합분석

(1) 국내외 정책 및 시장분석

- 방호·방폭과 관련된 국내외 정책 및 시장현황을 분석한 결과는 다음과 같음

- 국내 정책의 정비 및 명확한 방호·방폭 관련 기준의 마련 시급
 - 주요시설물 및 대형 건축물에 방호·방폭 설계 및 시공을 도입하기 위해서는 적용되는 기준이 필요하나, 국내의 경우 국방산업 분야에서만 어느 정도 그 체계가 확립되어 있는 수준으로, 기준 및 제 규정의 정비 및 정립이 필요한 실정임을 확인할 수 있었음
 - 국가안보기관, 국토해양부, 지자체를 중심으로 법제정 및 제도화를 추진 중에 있으나 명확한 방호·방폭 관련 기준이 필요한 실정임
 - ↳ 행정안전부 : **정부청사 소산시설 설계지침** (방폭고려, 대외비)
 - ↳ 국토해양부 : **건축물 테러예방 설계가이드라인** 2010년 4월부터 시행
 - 또한, 향후 민간시장에 있어서 방호·방폭과 관련된 정부의 규정사항이 어려움 없이 활성화 될 수 있기 위해서는 관련된 제반 사항 등이 명확하도록 전반적인 시스템의 구축이 필요함

- 국내외 방호·방폭 관련 정책의 수립 및 반영에 대응할 수 있는 고성능 방호·방폭용 재료, 자재 필요성 증대
 - 국외의 경우, 대형 상업시설 및 대형 빌딩 등과 같은 민간시설물에 있어서도 방호·방폭 설계 및 성능부여 등과 같은 대응을 정부차원의 법제 규정을 추진하고 있으며, 국내의 경우도 점차 관련 규정을 확대 및 강화하고 있는 추세임
 - 그러나, 이러한 민간 시설물에 적용할 수 있는 방호·방폭용 재료 및 자재시장은 방폭창 분야를 제외하고는 국내 자체적으로는 거의 생성이 되어있지 않고 있었으나, 최근 들어 일부 방호·방폭용 보강자재 등을 외국으로부터 수입해서 적용하고 있는 정도의 수준임
 - 앞에서 살펴본 바와 같이 방호·방폭 시장은 국방산업 분야를 제외하더라도 상당한 성장이 예상되고, 사회기반시설 및 일반 대형 민간시설 등에 요구되는 성능을 만족하면서도 구조물 부재의 치수를 크게 증가시키지 않는 범위에서 쉽게 적용이 가능한 고성능의 방호·방폭 재료 및 자재가 요구되고 있음
 - 이와 같은 고성능의 방호·방폭 재료 및 자재가 개발될 경우, 관련 제반 법규정의 활성화 및 해당 자재 수입대체 효과, 크게는 개발제품 및 관련 기술의 수출로 이어질 수 있는 신규 시장 창출에 크게 기여할 수 있다고 판단됨

- 국내외 방호·방폭 시장 분야에서의 국제경쟁력 확보 필요
 - 현재 국내의 방호·방폭 시장은 초기단계로서 향후 큰 규모의 시장형성이 예상되고 있음.
 - 이에 국내 자체의 기술력을 향상시켜 국제경쟁력을 확보함으로써, 기존 외국기술의 도입을 지양, 수입대체 효과 및 관련기술의 수출이라는 국내외 건설산업에 일익을 담당할 수 있는 기술력을 확보할 필요성이 있음을 확인함

※ [참고-충돌 및 폭발 관련 피해 사례 및 예측]

- 구조물의 대형화에 따른 충격·폭발사고 및 테러 발생시 막대한 인명피해와 재산상의 손실을 입을 수 있음을 확인함
- 인천광역시 소방안전본부의 수습상황 보고 (2010년도)에 따르면, 연평도 사태 발생시의 피해 상황 및 재산상의 손실액은 다음과 같음

- **일 시** : 2010. 11. 23, 14:34경
- **장 소** : 연평도 일원
- **피해현황**
 - 인명피해 : 60명
 - 군인 18명 (사망2, 부상 16)
 - 민간인 42명 (사망 2, 부상 40)
 - 재산피해
 - 주택 및 공공시설물 133동(포탄 직·간접피해)
 - 임야 : 25ha(75,600여평) 소실
 - 기반시설피해
 - 도로 6개소(L=700m, B=0.4~10.5m), 종합운동장

※ 용진군청 현지조사 피해금액 (백만원)

구 분	피해액	피 해 내 역
합 계	12,256	
건축물 피해	7,430	- 133동(전파33, 반파9, 일부파손 91)
폐기물 처리	897	- 5,000톤
수산분야 피해	2,448	- 냉동냉장고파괴 2동 (396백만원) - 어업손실 46척(1,756백만원) - 어구철거 46척 (296백만원)
산불피해	781	- 사유림 25ha
도로피해	700	- 6개소 700m
차량피해	미산정	- 12대(차량 9, 중장비 3)

- 또한, 국내외 대형 사고의 사례를 참고로 현재 시점에서 유사한 사고가 발생했을 경우의 피해정도를 예상하며 다음 표에 정리하였음

사고 종류	국내 사례	해외 사례	도심지 유사 사고 시 예상 피해	
빌딩 사고	사고	1995년 삼풍 백화점 사고	1995년 오클라호마 연방청사 폭탄 테러	삼풍백화점(5층) 사고 2배 예상
	인명피해	사망 501 명, 부상 937 명, 실종 6 명	사망 168 명, 부상 800여 명	예상사상자: 1000여 명
	재산피해	부동산 피해액: 1400억 원 (건물:900억원, 시설물: 500억 원) 기타 재산 피해: 1300억 (상품, 양도세) 피해 보상 및 복구액 인적 피해 보상액: 2971억원 물적 복구 비용: 820억 원 기타 보상액: 1.5억원 총피해액 : 3800억원	총 6억5200만 달러 (약 7800억 원)	예상 피해액: 약 1조 5000억 원
	기타	붕괴 사고 이후 대한민국의 경제 호황 시기였던 1980년대와 1990년대 초에 지어진 건물들에 대한 공포와 회의적 시각이 확산	화재와 소방작업으로 인한 피해면적이 약 27만 8천 700m ² 에 달함	5년~현재 물가상승률 200% (생활물가지수: 191.4)
교량 사고	사고	94년 성수대교 사고	07년 미국 I-35W Mississippi River Bridge	성수대교 유사 상황 예상
	인명피해	사망: 32 명, 부상: 17 명	사망: 13 명, 부상: 100여 명	예상 사상자: 50여명
	재산피해	피해보상금: 72억 원 교량 재시공비: 780억 원 사고조사비: 8억 원 총 복구 비용 : 860억 원	구조 및 복구 비용 : 800만 달러 (9000억 원) 교량 재시공비 : 2억 5천만 달러 (2800억 원)	예상 피해액: 2000억 원
	기타		교량 붕괴로 인한 추가적 사회 손실 : 30만 달러 (2년간) (3억 5천만 원)	
도심 폭발 사고	사고	1995년 대구 지하철 공사장 가스관 폭발 사고	2005년 런던 지하철 폭탄 테러	대구 가스관 사고 유사 상황 예상
	인명피해	사망: 101명, 부상: 117명	사망: 52명, 부상: 700여명	예상 사상자: 200여 명
	재산피해	건물 346채, 차량 152대, 복공판 400m 붕괴 총 피해액 : 540억 원	2억 파운드(3600억 원)	예상 피해액: 1100억 원
	사고	1993년 아현동 도시가스 폭발 사고		런던 지하철 폭탄 테러 유사 상황
	인명피해	사망: 12명, 부상: 49명		예상 사상자: 800여 명
	재산피해	건물 145동 파손 총 피해액 : 6억원		예상 피해액: 4000억 원

사고 종류		국내 사례	해외 사례	도심지 유사 사고 시 예상 피해
지하철 화재 사고	사고	2003년 대구 지하철 화재	프랑스 파리 (1903): 84명 사망, 최초 사고 영국 런던(1987): 31명 사망, 50명부상 일본 도쿄(1987): 12명 사망, 3,800명부상 아제르바이잔 바쿠(1995): 289명 사망, 270명 부상 홍콩(2004): 1200명 중 14명 경상 러시아 모스크바(2004): 39명 사망, 129명 부상	대구 지하철 사고 유사 상황
	인명피해	사망: 192명, 부상: 146명		예상 사상자: 400여 명
	재산피해	전동차 복구: 192억 원 토목구조물: 89억 원 영업 손실: 114억 원		예상 피해액: 800억 원
	기타	추가적 사회 손실: 7000억 원 (대의 신인도 하락, 해외 수주의 치명적 타격, 정부 불신 등)		
산업 시설 폭발 사고	사고	2000년 여수 ○○화학 폭발사고		여수 화학 폭발 사고 유사 상황
	인명피해	사망: 7명, 부상: 18명		예상 사상자: 30여 명
	재산피해	총 피해액: 31억원		예상 피해액: 50억 원
	사고	2000년 안산 ○○화학 폭발사고		
	인명피해	사망: 5명, 부상: 48명		
	재산피해	총 피해액: 20억원		
기차역 폭발 사고	사고	1977년 이리역 폭발 사건	2004년 북한 용천역 폭발 사건	
	인명피해	사망: 59명, 부상: 1158명	사망 161명, 부상: 1300여명	
	재산피해	반경 500m 이내 건물 대부분 파괴		
기타	사고		2005년 중국 쓰촨성 등자산 고속도로 터널 공사장 폭발사고(2005년)	
	인명피해		사망 42명, 부상 10여명	
	사고		1986년 체르노빌 원전 사고	
	인명피해		사망 2만5천 명, 부상 43만 명	
	재산피해		200억 달러 (23조원)	
	사고		2011년 후쿠시마 원전 사고	
	인명피해		사망 4300여명	
	재산피해		2000~3000억 달러 (230~340조원)	

- 이와 같이 대형 시설물 및 구조물의 붕괴 혹은 충돌, 폭발과 같은 사고 발생시의 인적, 물적 피해는 상식을 뛰어넘을 정도의 수준으로써, 그에 대한 가능한 한 충분한 대책을 수립, 예상되는 피해를 최소화 할 필요성이 있음

(2) 기술개발 동향 및 인프라 분석

- 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 제조기술의 방호·방폭 분야로의 확대 필요
 - 국내 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 제조와 관련된 기술은 세계 최고수준임에도 불구하고, 방호·방폭과 같은 특수한 하중조건 하에서는 충분한 검토 및 검증이 이루어지지 못했음. 이에 본 연구에서는 기존의 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 방호·방폭 성능검증을 위한 기반 기술력을 확보함과 동시에 방호·방폭 성능을 대폭 향상시킨 고성능 재료 및 자재를 개발함으로써 국내 보유 기술력의 향상 및 방호·방폭이라는 신규시장으로의 적극적인 진출을 모색할 필요성이 있음

- 고성능 방호·방폭 보강자재의 개발 및 국산화
 - 구조물 방호·방폭용 보강자재 분야의 경우 국내는 아직 연구단계의 수준으로서, 필요한 경우 국외의 제품을 수입해서 적용하고 있는 실정임
 - 국내의 방호·방폭과 관련된 제반 법규정 등의 정비에 따라 기존 주요시설물 및 대형 민간 건축물 등에의 방호·방폭 기능 부여 및 강화가 예상되는 바, 이에 대응할 수 있는 고성능 방호·방폭용 보강자재의 개발이 필요한 시점임

- 방호·방폭 성능평가 기반 인프라 구축 필요
 - 국방산업을 제외하고는 구조물용 방호·방폭 재료, 자재 및 구조부재 등의 성능평가와 관련된 기반 인프라는 거의 구축이 되어있지 않은 상황임
 - 따라서, 주요시설물 및 대형 민간건축물 등에 방호·방폭 기능 부여라는 법제도의 적용 및 시장 활성화를 위해서는 관련된 성능평가 인프라의 구축이 필수적이라고 할 수 있음
 - 한편, 성공적으로 본 과제를 수행하기 위해서는 건설 관련 연구기관보다 상대적으로 실험시설과 인프라가 잘 갖추어져 있는 국방관련 연구기관과 협력이 필요함
 - 그렇더라도 방호·방폭 성능평가 분야는 선진국의 경우에 있어서도 제반 연구가 아직도 진행 중인 분야로서, 관련 분야에 대한 인프라 구축 및 평가기준의 정립 등을 통해 성능평가 분야에 있어서 선진국에 동등 이상의 기술력을 확보할 수 있는 분야로, 이를 통한 기술력 수출 등을 기대할 수 있음

3. 기술 수요 및 예측 조사

가. 기술수요조사

(1) 기술수요조사의 개요

- 기술수요조사는 건설분야의 방호·방폭 관련 전문가 및 본 기획연구진 등을 대상으로 기술수요조사를 시행하였으며, 구체적인 조사내용은 다음과 같음

표 26 기술수요조사의 개요

구분	내 용
조사기간	12.06.01 ~ 12.06.15
조사대상	학계, 산업계, 연구기관 소속의 방호 기술분야, 방폭 및 방폭 기술분야 전문가 124명
응답자수	53명(사전조사부분 응답자수) / 22명 (제안기술 응답자수) (42.7% / 17.7%)
조사방법	이메일을 통한 설문조사
조사항목	국내 기술수준, 기술개발 필요분야별 중요도 및 시급성, 제안기술의 개요(중점추진분야분류, 연구수행기관, 기술개발단계), 연구개발목표 및 내용, 연구개발필요성, 제안기술관련 국내외 시장/기술/정책 동향

- 본 기술수요 조사의 목적은 국방산업 분야를 제외한 주요 시설물에 대한 방호·방폭 기술분야에 있어서 미래에 국가 및 기업에서 필요성이 높을 것으로 예상되는 기술을 세부과제 또는 요소기술 수준에서 도출하기 위함임
 - 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발 과제간 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 기획 연구의 사전조사 차원에서 수행
- 기술수요조사는 아래의 절차에 따라 수행하였으며, 조사의 결과는 향후 진행될 중점추진분야의 선정 및 후보과제 선정에 활용코자 함

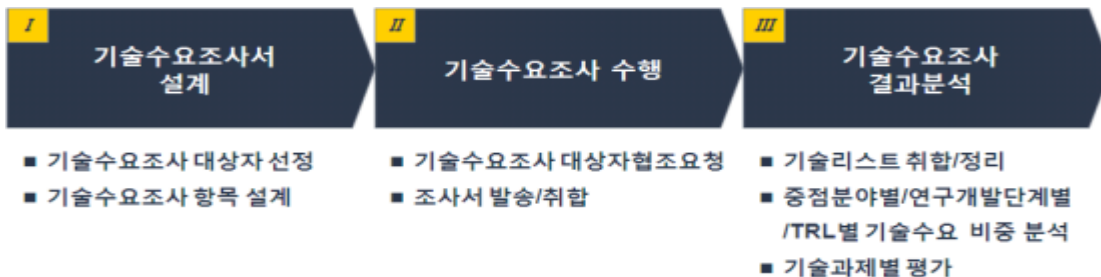


그림 51 기술수요조사 절차

(2) 기술수요조사 결과 분석

- 기술수요분석을 수행함에 있어서 사전조사의 개념으로 현재 국내의 기술수준 및 기술개발이 필요한 분야별 중요도 및 시급성 등에 대한 조사를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같음
- 국방산업 분야를 제외한 경우, 구조물 방호·방폭 관련 국내 기술수준을 선진국대비 낮거나 매우 낮다고 답한 응답자수는 전체 53명의 응답자 중 33명(약 62%)이었으며, 보통은 15명, 높다고 응답한 경우는 5명 이었음

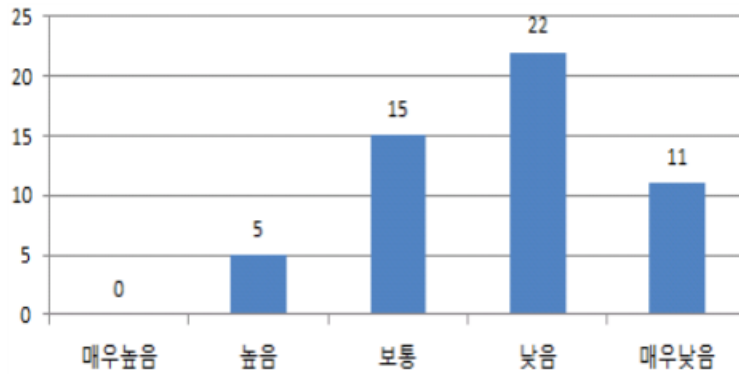


그림 52 국내 방호·방폭 기술수준 응답자수

- 국방산업 분야를 제외한 경우, 기술개발이 필요한 분야 중 중요도 및 기술개발의 시급성 순서는 방호·방폭 기준분야, 구조물용 재료 및 자재개발 분야, 설계 및 해석평가 분야 순으로 나타났으며, 그 밖의 순위로는 기존구조물 보강용 재료 및 자재 개발분야, 방호·방폭 재료 및 자재 물성 및 실증 성능평가분야, 구조물 방호·방폭 실증 성능평가 분야 및 인증분야 순으로 조사되었음

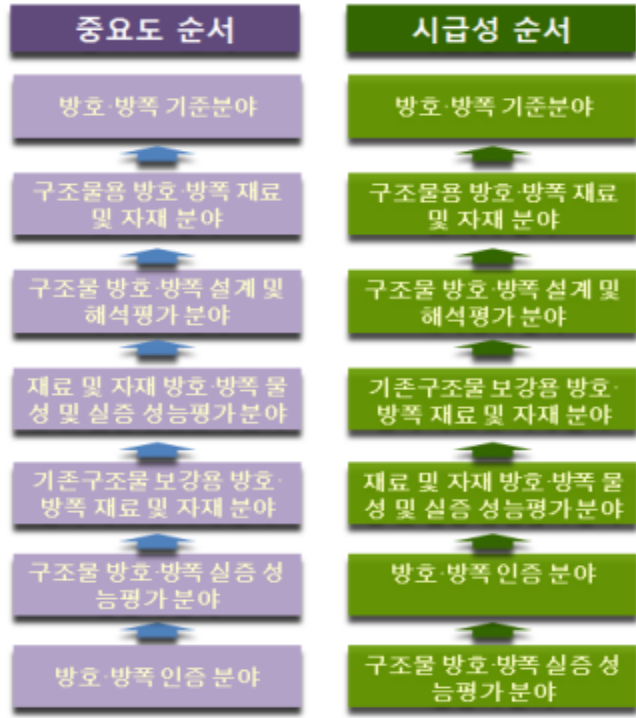


그림 53 국내 방호·방폭 기술개발 중요도 및 시급성 순서

- 또한, 국내 방호·방폭 관련 기술이 당면하고 있는 문제점으로는, 정부의 추진계획 및 정책방향, 적용기준의 미흡과 관련기술 분야의 전문가 부족, 구조물 방호·방폭에 대한 필요성 인식 및 이해의 부족을 주요 문제점으로 보고 있는 것으로 조사되었음



그림 54 국내 방호·방폭 기술분야 당면문제 중요도 순서

- 한편, 상기의 사전조사 부분을 답한 응답자 중, 제안기술을 제시한 응답자는 22명(약 17.7%, 기획연구진 제안기술 제외)으로서, 제안된 기술은 다음과 같음
 - 응답 22건의 내용을 살펴보면, 재료 및 자재 개발 분야 5건, 설계 및 해석 분야 9건, 성능평가 분야 5건, 기준 분야 2건 및 인증 분야 1건으로 구성됨
 - 성능평가 분야의 경우는 재료 및 자재 개발 연구를 포함하는 기술제안이 대부분으로서, 전체적으로는 재료/자재의 개발 및 평가 관련 분야와 설계 및 해석 분야로 크게 구분되어 제안되었으며, 기준 정립 및 인증 분야와 관련된 기술은 3건이 제안됨
 - 이는 앞에서 살펴본 바와 같이, 수요조사 회신에 참여한 전문가에 있어서 방호·방폭 기준분야가 매우 중요하다고 답했음에도 불구하고, 제안기술이 적은 이유는 기준 분야는 정부의 정책적인 뒷받침과 공동연구 없이는 성과목표의 달성에 한계가 있기 때문으로 판단됨

표 27 방호·방폭 분야 제안 기술명 : 22건

No.	중점추진 분야	제안기술명	연구개발목표
1	방호·방폭 재료 및 자재	방폭 성능 향상을 위한 에너지 흡수방식의 재료개발 기술	- 경량형 미세그물 형상의 소재를 콘크리트와 결합하여 폭풍압을 5)% 저감하고 충격파를 20% 감쇄
2		콘크리트의 취성과파괴 문제 해결을 위한 섬유보강방식의 방폭콘크리트 재료 개발	- 고인성 구조물로서 포탄, 항공기 공격에도 인명 및 물자를 보호
3		내화 및 폭발 문제 해결을 위한 고인성 방식의 복합재료 개발	- 내화 및 폭발저항성이 1.2배이상 증가된 복합 콘크리트 재료기술 개발 - 개발된 복합 콘크리트 재료기술의 현장 적용 및 실용화
4		내화 측면의 기술을 방호/방폭 기술로 활용하는 기술 개발	-내화기술 활용기술 개발
5		기존 고층건물의 방호·방폭 문제 해결을 위한 보강재료 개발	- 기존 고층건축물의 방호·방폭 성능 향상
6	방호·방폭 설계 및 해석	방폭시 구조물 보호를 위한 최소 치수 결정	- 방호 및 방폭에 대한 설계 절차 표준화
7		폭발 및 충격 문제 해결을 위한 해석 및 설계기술 개발	- 병렬계산을 통한 효율적인 방호 및 방폭 해석방식의 개발 및 구체화
8		섬유보강 시멘트 복합재료 적용 방호·방폭 구조물 설계를 위한 구조설계지침서 개발	- 섬유보강 시멘트 복합재료가 사용된 구조물의 합리적인 설계를 위한 신뢰성 있는 방호·방폭 설계지침 개발
9		섬유보강 시멘트 복합재료 적용 구조물의 폭파 피해 안전성 평가 시스템 개발	- 섬유 보강 시멘트 복합재료가 적용된 구조물의 구조안전성 확보 및 방호·방폭 구조물의 하중 이력에 따른 구조건전성 평가를 위한 원천 기술 확보
10		구조물 내구성 향상을 위한 내·외부 충격 저항성 재료의 설계 및 적용 기술 (구조물의 내·외부 충격에 의한 에너지 전달 modeling 및 해석 기술) 개발	- 구조물 내구성 향상을 위한 내·외부 충격 저항성 재료의 설계 및 적용
11		방호방폭 설계기준 확립을 위한 관련기술 통합화	- 방호방폭 설계기준 정립
12		구조물 방호방폭 평가를 위한 FEM 방식의 해석프로그램 개발	- 방호방폭 해석 알고리즘 정립 및 해석 프로그램 개발
13		방호방폭 설계기준 마련을 위한 해석기술 개발	- 방호방폭 해석기술 정립 및 설계 기준

14		원자력 구조물 방폭 방호를 위한 설계 기준 개발	- 방폭을 대비하여 원자력 구조물의 안정성을 확보하기 위한 기술 개발
15	방호·방폭 성능평가	방호구조물용 콘크리트의 충격 거동 문제 해결을 위한 공기압 추진체 충돌 방식에 의한 성능평가	- 다양한 충격체 거동에 대응하는 평가기술 개발
16		콘크리트의 방호·방폭 성능 향상 및 평가 기술 개발	- 방폭관리 대상구조물에 대해 현재의 폭발 시 피해를 50% 이하로 줄일 수 있는 고방폭성 섬유보강 콘크리트 평가기술
17		구조물 폭발하중 저항성능 평가 기술 개발	- 구조물 방호·방폭 실증 성능평가 센터 구축
18		고율변형 시험을 통한 방호·방폭 구조물용 섬유보강 시멘트 복합재료의 물성 규명 연구	- 고속 충돌에 대한 손상 및 관통을 정밀하게 평가하기 위해 변형률 속도별 물성 시험을 통한 섬유 보강 시멘트 복합재료의 변형률 속도 의존성 구성방정식과 고율변형물성/파괴변수 획득
19		방호·방폭 구조물용 섬유보강 시멘트 복합재료의 폭파 저항성 평가를 위한 부재 성능 실험 연구	- 폭발하중 저항성 증가를 위해 설계된 섬유보강 시멘트 복합재료 부재의 실제 폭파 실험을 통한 방호·방폭 구조물 성능 평가
20	방호·방폭 기준	신뢰성 기반의 설계 및 성능 평가를 위한 폭발 하중의 표준 체계도 개발	- 신뢰성 기반의 설계 및 성능 평가를 위한 폭발 하중의 표준 체계 분류도 개발
21		구조물 방호·방폭 성능 기준 제정을 위한 시뮬레이션 방식의 표준화 기술 개발	- 국내 실정에 적합한 방호 방폭 성능 기준의 제정
22	방호·방폭 인증	방호 방폭에 대한 국내 인정기준 마련 및 인증기관 확립	- 방호 방폭에 대한 국내 인정기준 마련 및 인증기관 확립을 통한 국제적인 기술을 선도

- 상기의 제안된 기술과 기획연구진의 제안기술을 기반으로 방호·방폭 기준 개발, 방호·방폭 구조물용 고성능 복합재료·자재 개발, 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료·자재 개발, 방호·방폭용 재료 및 자재 물성 및 성능 평가기법 개발, 구조물 방호·방폭 성능평가 기법 개발의 5가지 요소기술군(세부과제 수준)으로 분류하였으며, 각 분류별로 제안된 기술 및 기획연구진 제안기술 간의 중첩성 등을 고려하여, 다음과 같이 기획 대상 과제 도출을 위한 후보 구성기술 리스트를 작성하였음

표 28 구성기술 리스트 : 21건

기획과제명	세부과제	구성기술
방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 개발	방호·방폭 기준 개발	주요 구조물 방호·방폭 구조물 등급체계 및 등급 기준
		방호·방폭 관련 국내 인정기준 및 인증기관 확립
		방호·방폭 성능 인증 시스템
	방호·방폭 구조물용 고성능 복합재료·자재 개발	방호·방폭 구조물용 고성능 구조재료
		방호·방폭용 고성능 보강섬유 및 Mesh
		내화 및 폭렬 문제 해결 고인성 복합재료
		방호·방폭 구조물 설계기법
		충격·폭발시 구조체 손상 예측기법
		충격·폭발시 구조체 연쇄붕괴 가능성 평가
		방호·방폭 고려 구조부재 최소치수 결정 기법
	기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료·자재 개발	주요 시설물 방호·방폭 기능 보강용 자재
		기존 고층건물의 방호·방폭 문제 해결을 위한 보강재료 개발
	방호·방폭용 재료 및 자재 물성 및 성능 평가기법 개발	재료 물성 평가기술
		자재 물성 평가기술
		방호·방폭 성능예측을 위한 동적 충격 재료모델
	구조물 방호·방폭 성능평가 기법 개발	구조부재 내충격 성능 실증 평가 기준 및 기법
		구조부재 방폭 성능 실증 평가 기준 및 기법
		구조부재 충격손상 후 내화 성능 실증 평가 기준 및 기법
		폭발 하중 표준 체계도 개발
		구조물 방호·방폭 성능 실증 평가 기준 및 기법

나. 기술예측조사

(1) 기술예측조사의 개요

- 기술수요조사를 기반으로 하여 도출된 후보 구성기술에 대하여 다음과 같이 기술예측조사를 실시하였음
- 기술예측조사는 각 후보 구성기술에 대하여 기술의 실현시기, 기술특성의 변화속도를 정량적으로 평가하여 미래의 기술개발계획을 수립하기 위한 기초자료로 활용하는 데 목적을 두고 있음
- 기술예측조사의 조사항목으로 각 후보 구성기술에 대한 중요도, 기술적/사회경제적 실현시기, 기술획득방식, 정부개입의 필요성 및 국내기술수준으로부터 우선순위 도출, 세부기술의 선정 및 추진전략 등을 수립함

표 29 기술예측조사의 개요

구분	내 용
조사기간	12.06.18 ~ 12.07.06
조사대상	학계, 산업계, 연구기관 소속의 방호 기술분야, 방폭 및 방폭 기술분야 전문가 53명
응답자수	1차: 53명 중, 32명 (응답률 60.4%) 2차: 32명 중 30명 (응답률 93.8%)
조사방법	Mini-Delphi
조사항목	기술의 중요도, 기술적/사회경제적 실현시기, 기술획득방식, 정부개입의 필요성, 국내기술수준

□ 응답자의 구성은 대학(43%), 기업(37%), 연구소(20%) 순으로 산학연이 비교적 고르게 포함되었음

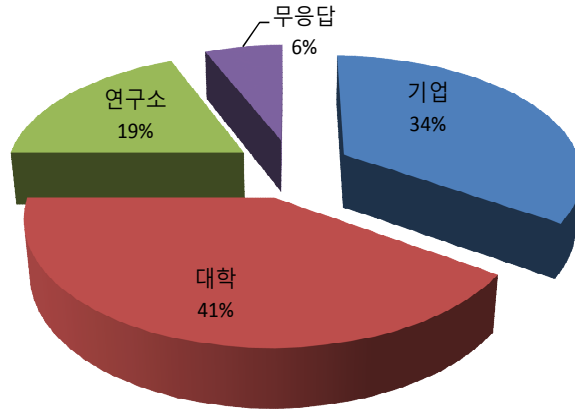


그림 55 기술예측조사 응답자 소속기관 유형

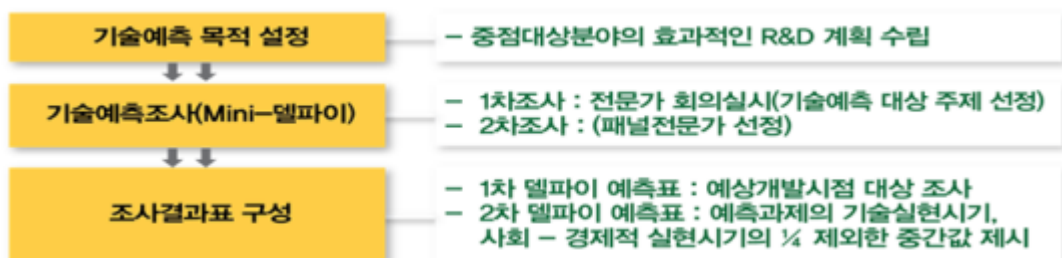
표 30 설문대상자 및 응답자 현황

구분	설문대상자	구성비	1차 조사		2차 조사	
			응답자수	응답률	응답자수	응답률
기업	17명	32.1%	12명	70.6%	11명	91.6%
대학	23명	43.4%	13명	56.5%	13명	100%
연구소	13명	24.5%	7명	53.8%	6명	85.7%
계	53명	100.0%	32명	60.4%	30명	92.4%

(2) 조사방법론

□ 본 기획연구에서는 Mini-Delphi 방법론을 적용하여 기술예측조사를 2차에 걸쳐 수행함

- 예비조사에서는 전문가의 전공과 전문분야와 함께 설문의향을 조사해서 패널을 확정함
- 확정된 패널을 대상으로 2-라운드 미니델파이 조사를 거쳐 기술예측조사를 완료하였음



(3) 기술예측조사 결과

- 전체 21개 후보기술에 대한 기술 중요도에 대한 1차조사에 있어서는 거의 모든 후보 기술에 대하여 높다고 응답, 평균 중요도지수가 97.1점 (100점 만점)로서, 차별성이 뚜렷이 구분되지 않았음
 - 이는 본 기획연구의 대상이 방호·방폭이라는 특수한 개발대상 기술 분야로서, 조사에 참여한 전문가가 공통적으로 그 중요성을 인지하고 있기 때문으로 판단되었음

- 기술적 실현시기와 관련하여서는, 방호·방폭 구조물용 고성능 구조재료 분야는 세계적 기술수준과 거의 동등 이상의 기술력을 현재 확보하고 있는 것으로 조사되었으나, 해당 재료개발 기술의 방호·방폭 분야에의 접목기술은 거의 전무하기 때문에 해당 기술의 사회경제적 실현시기에서는 실현시기의 격차를 예상하는 것으로 조사됨
 - 전체적으로 국방분야를 제외한 주요 시설물의 방호·방폭 관련 기술의 기술적 실현시기는 세계적으로는 기준 및 평가분야는 2015년에서 2025년 정도에 실현될 것으로 예상되며, 사회경제적 실현시기는 2020년 이후에 실현될 것으로 전망됨. 이는 방호·방폭 기술분야는 국가의 정책 및 전략과 밀접한 관계가 있는 기술분야로서, 사회경제적 실현을 이루기 위해서는 해당 국가정책의 수립이 중요한 인자이기 때문으로 판단됨.
 - 국내기술은 현재 상태로는 세계기술과 약 5년 정도의 격차가 있는 것으로 조사되었으며, 기술격차는 선도국을 기준으로 점차 증가추세임이 예측됨.
 - 이와 같이 기술적 실현시기 및 사회경제적 실현시기 도달에 상당한 기간을 예측하고 있으며, 이는 세계적인 관점에서 방호·방폭과 관련된 민간 기술시장을 태동기로 보는 응답자가 많았기 때문으로 판단되며, 현재 시점에서 국내의 연구개발이 활성화 될 경우, 세계적인 격차를 쉽게 따라잡을 수 있는 기회요인으로 볼 수 있음

- 정부개입의 필요성 부분에서는 전부분에 걸쳐 높은 것으로 조사결과가 나왔으며, 이는 방호·방폭 기술 분야는 정부의 주도적인 역할이 매우 필요하다는 인식을 나타내고 있다고 판단됨
 - 이러한 이유로, 기술획득 방식에 있어서도, 폭발 하중 표준 체계도 개발은 정부주도로, 그 이외의 기술은 정부민간 공동 개발 방식이 필요한 것으로 조사되었음

- 한편, 2차 구성기술의 중요도 조사에 있어서는 평균 중요도지수가 86.3점 (100점 만점)으로서, 시급성 81.9점, 핵심성 89.5점 및 기대효과 87.6점으로 나타났음
 - 1차조사의 결과와 차이를 보이는 부분은 방호·방폭 관련 인정기준, 인증기관 확립 및 인증시스템 분야가 5년 이내에 기술달성이 어려운 분야로 평가를 받아 낮은 점수를 받았기 때문이며, 전반적으로 2차 조사에서 1차 조사 보다는 보수적인 예측치가 제시됨을 확인하였음.

- 각 구성기술의 중요도 평가에 있어서는 시급성에 있어서는 방호·방폭 등급체계 및 기준 분야와 재료개발 분야가 가장 높은 점수를 획득하였으며, 인정기준/인증기관/인증시스템은 보통으로, 그 밖의 기술은 높음으로 예측되어, 기준 및 재료 개발 분야가 선행 개발대상 기술임을 확인함

표 31 기술예측조사 평가 결과 (1차조사)

번호	예측 기술명	국내 기술수준 (%)	우리나라에 서의 중요도 (1점:(낮음) ~5점(높음))	실현시기				기술획득방식(V로 표기)				정부개입의 필요성 (1점:(낮음) ~5점(높음))
				기술적 실현		사회경제적 실현		자체개발			기술도 입 및 국제 협력	
				세계	국내	세계	국내	민간 주도	정부 주도	정부 민간 공동		
1	주요 구조물 방호·방폭 구조물 등급체계 및 등급 기준	50.8	5.0	15.0	20.0	19.6	24.4			V		5
2	방호·방폭 관련 국내 인정기준 및 인증기관 확립	50.0	4.0	14.4	19.6	20.0	20.2			V		5
3	방호·방폭 성능 인증 시스템	49.6	5.0	14.6	19.6	20.0	25.4			V		5
4	방호·방폭 구조물용 고성능 구조재료	90.8	5.0	25.0	24.8	30.0	30.6			V		5
5	방호·방폭용 고성능 보강섬유 및 Mesh	60.2	5.0	25.2	30.2	30.4	35.6			V		5
6	내화 및 폭발 문제 해결 고인성 복합재료	80.4	5.0	25.4	30.4	30.4	34.4			V		5
7	방호·방폭 구조물 설계기법	48.3	5.0	19.4	23.1	24.4	30.6			V		5
8	충격·폭발시 구조체 손상 예측기법	50.2	5.0	25.4	28.2	30.2	34.6			V		5
9	충격·폭발시 구조체 연쇄붕괴 가능성 평가	48.5	5.0	24.8	28.1	30.8	35.4			V		5
10	방호·방폭 고려 구조부재 최소치수 결정 기법	49.2	4.1	20.0	22.9	25.2	30.6			V		5
11	구조부재 방호·방폭 두께 최적화 산정 기법	48.3	5.0	20.0	23.1	24.8	30.2			V		5
12	주요 시설물 방호·방폭 기능 보강용 자재	48.3	5.0	24.4	30.0	30.2	35.6			V		5
13	기존 고층건물의 방호·방폭 문제 해결을 위한 보강재료 개발	48.5	5.0	25.4	30.2	30.6	35.6			V		5
14	재료 물성 평가기술	60.0	5.0	19.6	24.8	24.4	30.0			V		5
15	자재 물성 평가기술	48.5	5.0	19.4	24.8	24.8	30.2			V		5
16	방호·방폭 성능예측을 위한 동적 충격 재료모델	58.8	5.0	20.0	24.8	24.8	30.6			V		5
17	구조부재 내충격 성능 실증 평가 기준 및 기법	48.5	5.0	15.0	20.0	19.4	24.8			V		5
18	구조부재 방폭 성능 실증 평가 기준 및 기법	49.2	5.0	14.4	20.0	20.0	25.4			V		5
19	구조부재 충격손상 후 내화 성능 실증 평가 기준 및 기법	49.6	5.0	15.0	20.0	19.6	24.8			V		5
20	폭발 하중 표준 체계도 개발	49.6	4.0	14.6	19.4	19.4	24.8		V			5
21	구조물 방호·방폭 성능 실증 평가 기준 및 기법	48.3	5.0	14.4	20.0	20.0	24.4			V		5

- 그 밖의 의견으로는 기존 시설물 보강용 재료 및 자재의 개발 분야에 있어서는 목적하는 대상구조물별 적용성을 고려하여, 세부기술 구성시 자재의 형식(외피형, 뿔철형, 패널형 등)별로 개발 대상 기술을 세분화 할 필요가 있음을 확인하였음

표 32 기술수준 및 중요도 평가 결과 (2차)

구성기술 (소분류)	기술수준조사				구성기술의 중요도 [5점척도 : 1점(매우 낮음), 2점(낮음), 3점(보통), 4점(높음), 5점(매우 높음)]		
	최고기술 보유국	우리나라 기술수준(%)	기술격차 (년도)	기술격차 (5점척도)	기술개발의 시급성	기술의 핵심성	경제적/사 회적효과
주요 구조물 방호·방폭 구조물 등급체계 및 등급 기준	미국	49.6	4.6	5.0	5.0	3.0	5.0
방호·방폭 관련 국내 인정기준 및 인증기관 확립	미국	50.8	4.6	5.0	3.1	3.0	3.1
방호·방폭 성능 인증 시스템	미국	50.0	4.8	5.0	3.1	3.1	4.0
방호·방폭 구조물용 고성능 구조재료	미국,프랑스,독	90.8	0.0	1.0	5.0	5.0	5.0
방호·방폭용 고성능 보강섬유 및 Mesh	벨기에	60.2	4.6	4.0	5.0	5.0	5.0
내화 및 폭발 문제 해결 고성능 복합재료	미국	80.4	4.6	3.0	5.0	5.0	5.0
방호·방폭 구조물 설계기법	미국	48.3	2.7	4.0	4.0	5.0	5.0
충격·폭발시 구조체 손상 예측기법	미국	50.2	2.6	4.1	4.0	5.0	5.0
충격·폭발시 구조체 연쇄붕괴 가능성 평가	미국	48.5	2.9	4.0	4.1	5.0	5.0
방호·방폭 고려 구조부재 최소치수 결정 기법	미국	49.2	2.6	4.2	4.2	5.0	5.0
구조부재 방호·방폭 두께 최적화 산정 기법	미국	48.3	2.6	4.0	4.1	5.0	5.0
주요 시설물 방호·방폭 기능 보강용 자재	미국	48.3	4.6	4.0	4.1	5.0	5.0
기존 고층건물의 방호·방폭 문제 해결을 위한 보강재료 개발	미국	48.5	4.6	4.1	4.2	5.0	5.0
재료 물성 평가기술	미국	60.0	4.8	4.0	4.1	5.0	4.0
자재 물성 평가기술	미국	48.5	4.6	4.2	4.0	5.0	4.2
방호·방폭 성능예측을 위한 동적 충격 재료모델	미국	58.8	4.6	3.0	4.2	5.0	3.0
구조부재 내충격 성능 실증 평가 기준 및 기법	미국	48.5	4.6	4.0	4.1	4.1	4.0
구조부재 방폭 성능 실증 평가 기준 및 기법	미국	49.2	4.8	5.0	4.1	4.1	4.0
구조부재 충격손상 후 내화 성능 실증 평가 기준 및 기법	미국	49.6	4.6	5.0	4.0	4.2	4.0
폭발 하중 표준 체계도 개발	미국	49.6	4.6	5.0	4.0	4.1	3.1
구조물 방호·방폭 성능 실증 평가 기준 및 기법	미국	49.6	4.6	5.0	4.1	4.1	4.1

- 2차 기술수준 조사의 결과에 따르면 방호·방폭 관련 대부분의 국내 기술수준은 최고 기술 보유국 대비 50% 내외로 정도로 분석되었음. 그러나 고성능 구조재료 부분은 다른 기술 분야와 달리 90%로 분석되었음.
 - 그 이유는 (초)고강도 콘크리트 및 (초)고성능 시멘트 복합재료의 국내 기술 수준에 대한 평가에 기인함. 국내에서는 콘크리트 또는 시멘트 복합재료의 압축강도는 200MPa 수준이 개발되어 있고, 100MPa 수준은 상용화 단계에 있음.
 - 그러나 이러한 고성능 시멘트계 재료의 경우 일반 구조물의 구조부재에 적용을 대상으로 하는 것이며 방호·방폭과 관련된 기술개발은 전무한 상태임. 또한 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 경우, 강재 및 플라스틱 단섬유만 개발되어 있어 충격 및 폭발에 대한 적용성은 매우 낮은 상태임
 - 사회기반시설물 및 건축물 등 민간시설물을 건설, 운영하는 주체의 입장에서 시설물의 공간을 효율적으로 활용하면서 동시에 방호·방폭 성능을 확보하기 위해서는 장·단섬유 및 섬유메쉬 등 다양한 섬유와 충격과 폭발에 효과적으로 대응할 수 있는 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 개발이 필요하며, 개발된 재료의 성능평가와 구조시스템의 개발이 절실함

4. 기술개발추진방향 정립

가. SWOT 분석

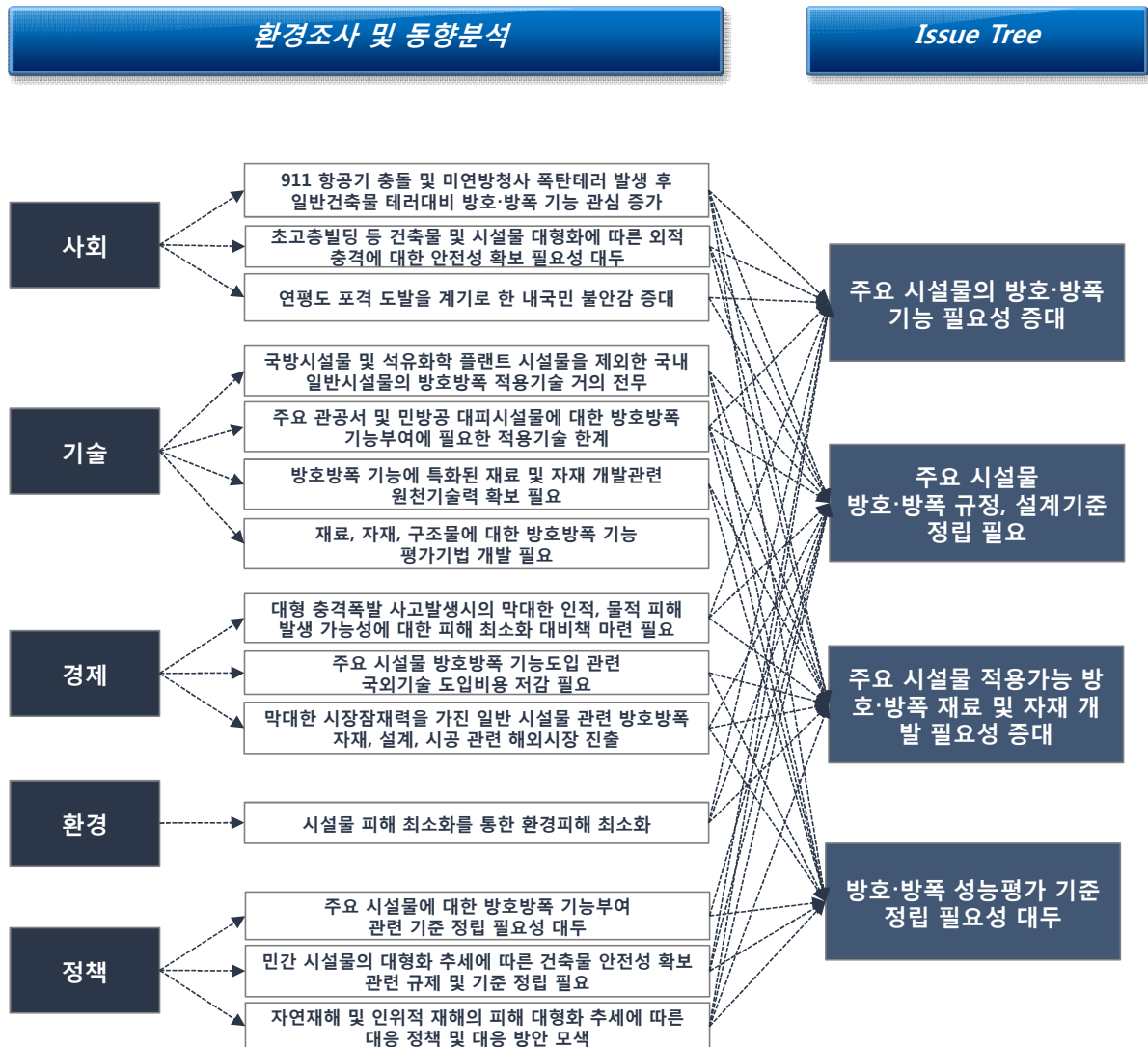
□ 2장의 현황분석 및 3장의 기술 수요 및 예측 조사 결과로부터 다음과 같이 SWOT 분석을 수행한 결과는 다음과 같음

내부 환경 분석	【 강 점(S) 】 <ul style="list-style-type: none"> 고성능 구조재료 개발기술 확보 국내의 고급 기술인력 보유 국제적 과학기술경쟁력 지속 상승 	【 약 점(W) 】 <ul style="list-style-type: none"> 국방산업 이외의 방호·방폭 관련시장의 미활성화 주요 시설물 방호·방폭 관련 기준 및 제반 규정의 정립 필요 방호·방폭 관련 전문인력 부족 방호·방폭 관련 연구 인프라시설 부족
	【 기 회(O) 】 <ul style="list-style-type: none"> 전세계적 방호·방폭 민간시장의 확대 추세 주요 시설물 대형화 추세에 따른 필수 기반 기술로서의 역할 기대 안전 및 방호에 대한 국민 관심 증대 	【 위 험(T) 】 <ul style="list-style-type: none"> 방호·방폭 기술분야 선진국과의 기술 교류 불가능 선진국과의 기술격차 확대 가능성 테러 및 인재/자연재해 발생 가능성 증대

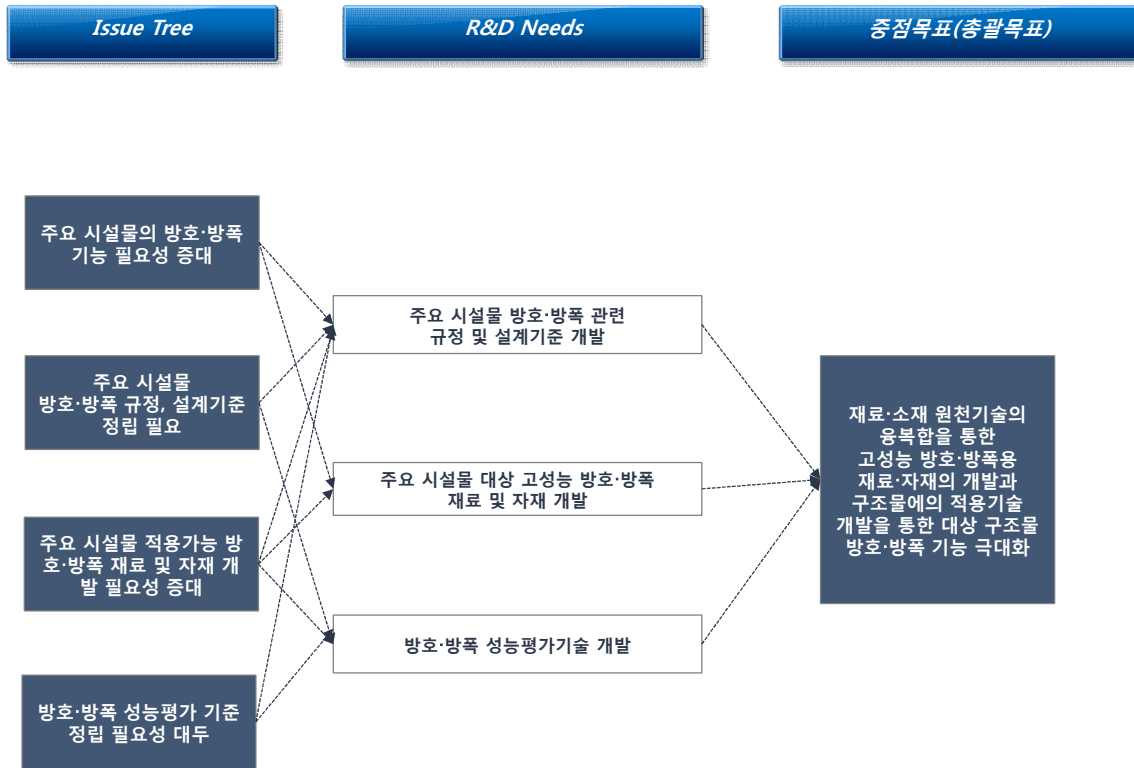
SO 전략 <ul style="list-style-type: none"> 우수 기술력 기반 연구개발 추진을 통한 국제적 기술경쟁력 확보 국외 방호·방폭 시장에서의 적극적 참여를 통한 신시장 개척 	WO 전략 <ul style="list-style-type: none"> 정부 및 민간 공동연구 수행을 통한 관련 인프라 구축 방호·방폭 분야 전문인력 양성 및 민간시장 필요기술 제공
ST 전략 <ul style="list-style-type: none"> 국내 독자적 방호·방폭 기준 정립 고부가가치분야 해외기술시장 진출 및 점유 	WT 전략 <ul style="list-style-type: none"> 정부 부처간 협력 체제 강화 R&D 투자 선순환구조 확립을 통한 세계적 기술경쟁력 확보 및 유지 방호·방폭 기준 및 제반규정 정립

나. Issue Tree

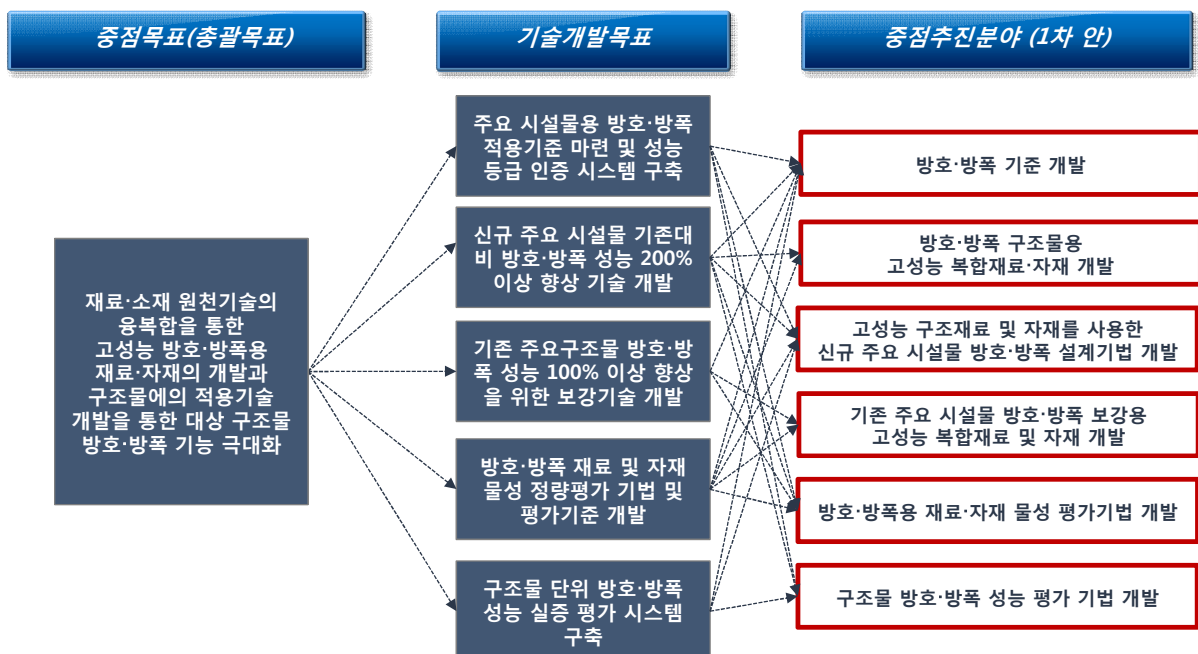
- 국내외 동향 및 환경분석, 기술 수요 및 예측 등을 통해 분석된 내용을 바탕으로 다음과 같이 Issue tree를 도출하였음



- 작성된 Issue tree 로부터 연구개발 니즈를 다음의 세가지, 즉 관련규정 및 설계기준 개발분야, 재료 및 자재 개발 분야와 성능평가기술 개발 분야로 구성하였으며, 이를 총괄하는 중점목표를 설정하였음



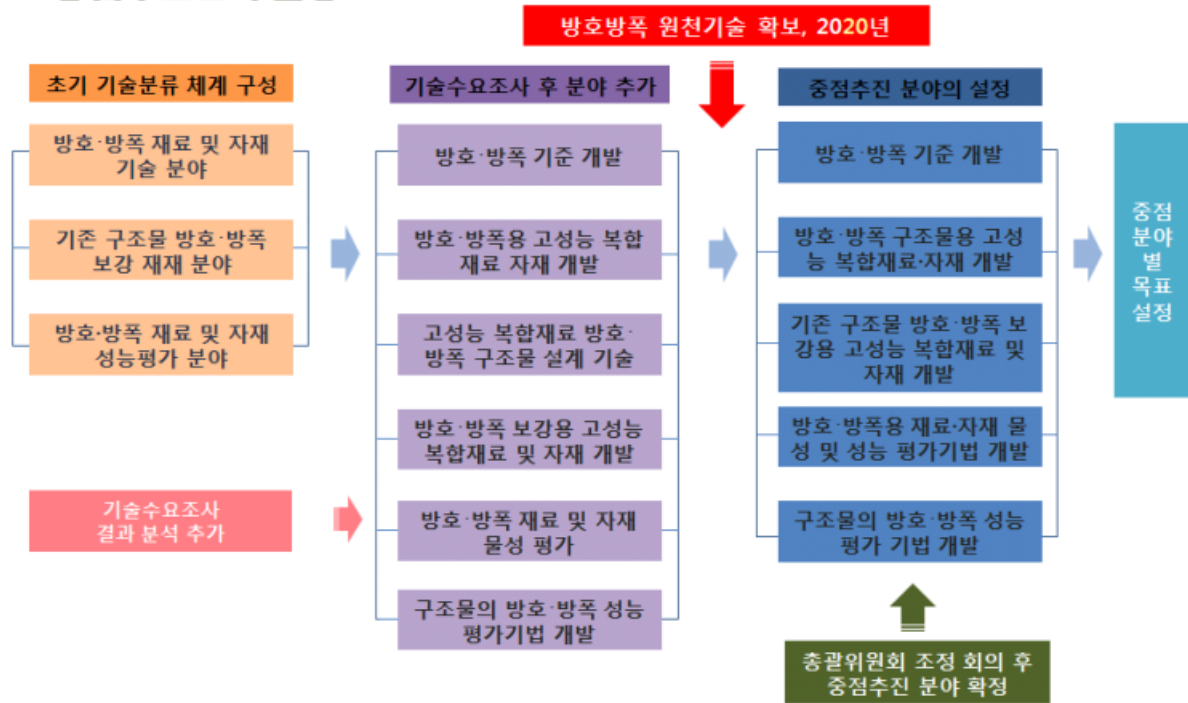
- 설정된 중점목표로부터 세부 기술개발목표를 구성하였으며, 목표달성을 위한 중점추진분야를 1차적으로 다음과 같이 6 분야로 설정하였음



- 이와 같이 도출된 기술개발 목표 및 중점추진분야와 후보과제 기술수준조사 결과 및 총괄위원회 의시 각 세부기술의 중요도, 연구기간, 연구예산의 범위 등을 고려, 우선순위 개발대상 기술을 다음과 같이 선정하였으며, 최종적인 중점추진분야를 3개 (1, 방호·방폭 등급, 기준 및 성능평가 기법 개발 분야 2. 방호·방폭 구조물용 고성능 복합재료·자재 개발 분야 3 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발 분야)로 조정하였음

우선순위 개발대상 기술 선정			
기준	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물 등급체계 및 등급기준 - 방호·방폭 성능 인증 시스템 - 방호·방폭 관련 국내 인정기준 및 인증기관 확립 	보강 자재	<ul style="list-style-type: none"> - 외피형 방호·방폭 보강자재 - 뿔철형 방호·방폭 보강자재 - 패널형 방호·방폭 보강자재
자재	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭용 고성능 보강섬유 및 섬유 Mesh - 방호·방폭용 고성능 시멘트 복합재료 - 방호·방폭용 고성능 복합자재 	물성 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 재료 방호·방폭 물성 평가기술 - 자재 방호·방폭 물성 평가기술 - 방호·방폭 성능예측을 위한 동적 충격 재료모델
해석 및 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물 설계기법 - 충격/폭발시 구조체 손상 예측기술 - 충격/폭발시 구조체 연쇄붕괴 가능성 평가기술 - 구조부재 방호·방폭 두께 최적화 선정 기법 - 방호·방폭 고려 구조부재 최소치수 결정 기법 	실증 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 구조부재 내충격 성능 실증 평가 기준 및 기법 - 구조부재 방폭 성능 실증 평가 기준 및 기법 - 구조부재 충격손상후 내화성능 실증 평가 기준 및 기법 - 구조물 방호·방폭 성능 실증 평가 기준 및 기법

◆ 중점추진분야 설정 Process



5. 연구개발과제 구성 및 추진전략

가. 비전 및 목표

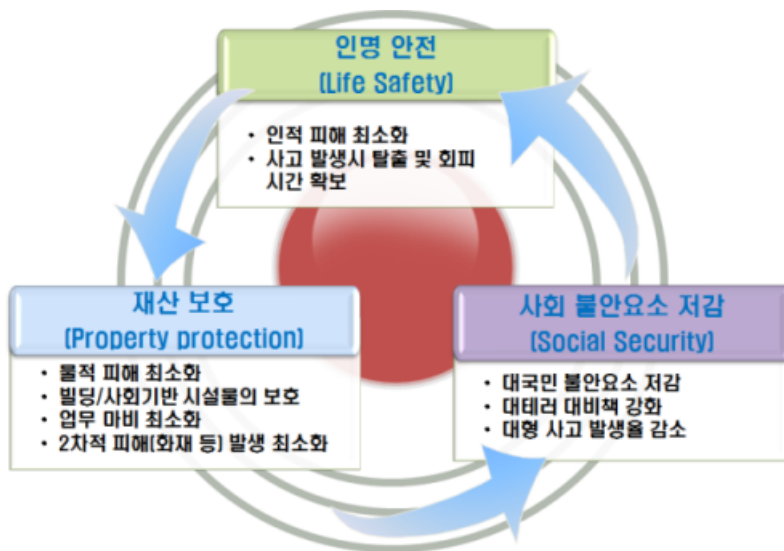
(1) 비전 및 목표

- 본 연구개발의 비전을 설정하기 위한 핵심가치(value)는 다음과 같음

[핵심가치]

“국민의 안전과 사회기반시설의 보호를 통한 안전한 국가·사회 보장”

- 인명 안전 (Life Safety) 최우선
- 사회기반시설의 보호 및 피해 최소화 (Property Protection)
- 사회 불안요소 저감 (Social Security)



- 상기 3가지의 추구하는 가치를 달성하기 위한 비전을 다음과 같이 설정하였음.

[VISION]

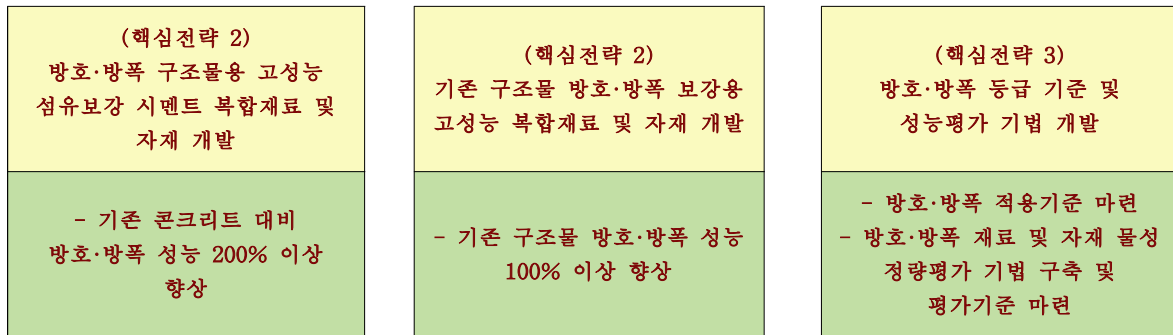
“주요 사회기반시설물과 건축물의 방호·방폭 기능 부여를 통한 안전한 사회기반 구축”

□ 핵심 전략목표 (비전의 구체화)의 설정

- 연구의 비전을 구체화한 핵심적인 전략목표는 다음과 같이 3가지로 도출하였음

(Vision) 주요 사회기반 시설물과 건축물의
방호·방폭 기능 부여를 통한 안전한 사회기반 구축

(목 표) 재료·소재 원천기술의 융·복합을 통한 고성능 방호·방폭용
재료·자재의 개발과 구조물에의 적용기술 개발을 통한 대상 구조물 방호·방폭
기능 극대화



(2) 설정근거

- 방호·방폭용 재료/자재 및 구조물 설계/시공 기술과 관련된 총괄 기술로드맵은 다음과 같음.

		방호·방폭용 재료/자재 및 구조물 설계/시공 기술					
주요 연구분야	1년차	3년차	5년차	7년차	9년차	10년차	
방호·방폭 적용 등급 기준	방호·방폭 구조물 등급 분류 체계 개발						
	충격/폭발 하중 산정						
신규 건설용 방호·방폭 구조재료/자재	방호·방폭용 HPRCC 개발		HPRCC 자재/설계/시공법 개발	방호·방폭용 유무기 복합 신소재/자재 개발			
	고기능성 강재/비철금속 재료 개발 및 시공법 개발						
	철근콘크리트 형 고성능 재료/자재 개발						
기존 시설물 보강용 방호·방폭 구조재료/자재	외피형 복합 자재/설계 및 시공법 개발			구조물 캡처형 복합자재 및 시공법 개발			
	뿔철형 복합 자재/설계 및 시공법 개발						
	패널형 복합 자재/설계 및 시공법 개발						
방호·방폭용 비구조재	방호·방폭 장호 개발		방호·방폭 door 개발		방호·방폭용 내장재 개발		
방호·방폭 성능평가 기술	HPRCC 동적 물성 시험평가	동적재료모형					
	RC 동적 물성 시험평가	HPRCC 부재별 방호·방폭 성능평가	HPRCC 적용구조물 Mock-Up 실증시험	모형 시설을 충격 및 방폭 성능평가			
방호·방폭용 구조물 설계 기술	충격/폭발 구조물 손상 예측 모델 개발		충격/폭발 구조물 연쇄 붕괴 평가 모델 개발		첨단 재료 활용 방호·방폭 구조물 설계기술		
	RC 구조물 방호·방폭 설계 지침		HPRCC 활용 방호·방폭 구조부재 설계기술				

※ 범례 :

본 연구과제 수행내용

현재 연구개발 (타과제)

후속 연구내용

- 상기의 기술로드맵에서 현재 연구개발을 수행중인 분야 및 선행기술 개발 후 이루어져야 할 후속 연구분야를 구분, 본 연구의 주요 연구개발 대상을 선정하였음
- 단, 본 연구의 연구개발 대상별 목표 성능을 정량적으로 제시하기 위하여 고려대상 폭발하중을 다음과 같이 제시함. 그러나, 국외 정책동향에서 살펴본 바와 같이 특정 외부 하중을 정하는 방식은 비합리적이기 때문에 **본 과제의 수행시, 고려대상 하중에 대한 등급분류 및 기준의 재설정이 필요하다고 판단됨**
 - 고려대상 하중의 종류 및 구조물로부터의 폭발 이격거리는 **UFC-4-023-02 상에 제시되어져 있는 중간 수준의 보호등급을 적용**하였으며, 이때의 고려대상 등가 TNT 화약량 및 구조물로부터의 이격거리는 다음과 같음.

표 33 본 과제 고려대상 등가 TNT 화약량 및 폭심 이격거리 참고 자료 (UFC-4-023-02)

TNT Equivalent Yield	Standoff in m for Medium Level of Protection
25 kg (55 lb)	1 m (3 ft)
100 kg (220 lb)	2 m (6 ft)
225 kg (500 lb)	3 m (10 ft)
450 kg (1,000 lb)	4 m (13 ft)
1,800 kg (4,000 lb)	10 m (33 ft)
18,000 kg (40,000 lb)	33 m (108 ft)

(가) 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 개발

- 기존의 방호·방폭 구조물은 주로 철근콘크리트 부재의 두께를 증가시켜 그 기능을 확보하는 방식으로 설계가 이루어지고 있음
- 그러나, 국방시설물 이외의 주요시설물 및 건축물은 제한된 공간 내에서 최대한의 사용공간을 확보하는 방식으로 건설되고 있기 때문에 기존의 부재치수 증가방식으로는 실제 적용상에 많은 문제점이 발생하게 됨
- 이러한 문제점을 극복하고 구조물의 방호·방폭 성능을 대폭적으로 향상시킬수 있는 고성능 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료를 개발하고자 함
- 개발하고자 하는 구조물용 복합재료는 기존 철근콘크리트 대비 방호·방폭 성능을 200% 이상 향상 또는 동등한 방호·방폭 성능일 경우 기존방식의 부재치수를 50% 이상 절감시킬 수 있는 성능을 확보하고자 하며, 이러한 제조기술 확보를 통한 WBT 달성을 목표로 함
- 개발된 재료·자재는 타산업(국방분야 등)에의 활용 등 신규시장 창출에 기여할 수 있음

(나) 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발

- 신설 구조물과 달리, 기존에 사용중인 사회기반시설물 및 건축물의 경우, 방호·방폭 기능을 부여하기 위해서는 별도의 대응책을 마련할 필요성이 있음
- 즉, 기존의 구조물에 대한 방호·방폭 기능 부여 및 강화를 위한 고성능 보강자재의 개발 및 적용기술이 필요함
- 개발하고자하는 고성능 방호·방폭 보강자재는 기존 구조물의 방호·방폭 성능을 100% 이상 향상시킬 수 있으면서, 보강자재 자체의 두께가 최소화 될 수 있는 최적화 기술을 요구함
- 이러한 방호·방폭용 고성능 복합재료 제조기술 확보를 통한 WBT 달성을 목표로 함
- 개발된 재료·자재의 타산업(국방분야 등)에의 활용 등 신규시장 창출에 기여할 수 있음

(다) 방호·방폭 등급 기준 및 성능평가 기법 개발

- 국가중요시설의 분류와 방호대책은 국방부훈령 제 1057호 등에서 규정하고 있으나, 방위작전 수행 개념에 국한되어 있고 시설물의 방호·방폭과 관련된 기술적 사항은 명확히 제시되지 않고 있음
- 또한, 구조물에 방호·방폭 설계를 적용함에 있어서도, 고려대상 시설물별 충격·폭발과 같은 재난의 종류, 하중의 크기 등에 대한 기준이 명확하지 않은 실정임
- 방호·방폭과 관련된 시설물 및 건축물의 등급 정비 및 기준안 마련과 함께, 각 충격·폭발 대응가능 방호·방폭 목표치 설정
- 향후 방호·방폭 구조물 설계 시 활용 가능한 기술 및 정보 확보
- 현재 방호·방폭용 재료, 자재 및 구조부재와 관련된 표준화된 성능평가 시험방법이 마련되어 있지 않기 때문에 그 성능을 검증하고자 할 경우 한계가 있음
- 또한, 구조물의 방호·방폭 설계 또는 성능 해석평가를 수행할 경우에 있어서도, 적용된 재료 및 자재의 동적 재료물성 정보가 필요하고, 수학적으로 해석하기 위한 모델식이 구축되어야 함
- 따라서, 재료, 자재 및 구조부재의 방호·방폭 성능 및 동적 재료물성 변화를 평가할 수 있는 시험평가 장비의 개발 및 구축과 시험평가기준을 마련함으로써, 방호·방폭 산업분야에 있어서의 시험·평가와 관련된 미래시장을 선도하고자 함

(3) 기존 기술(연구)과의 차별성

(가) 각 개발대상 기술별 기술 수준

- 개발대상기술의 국내외 현재수준을 고려하여 최종 성과물에 대한 성능지표를 설정하고, 기술개발의 성격(선도, 추적, 의존)을 구분함
 - 기술구분 표기 방법
 - ‘선도’ 기술 = 세계시장을 선도하는 기술에 해당
 - ‘추적’ 기술 = 선진국의 기술을 추적하는 기술에 해당
 - ‘의존’ 기술 = 해외 의존도가 높은 기술에 해당

구 분	개발대상기술	성능지표	현 기술수준(GAP)		기술 구분
			국내	최고기술선진국	
1세부 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 개발	고성능 보강섬유 재료 개발	보강섬유 인장강도 (2000 MPa 이상)	60%	벨기에	추적
	고성능 섬유보강 시멘트계 복합재료 개발	압축강도 (200 MPa) 인장강도 (15 MPa)	91%	프랑스/독일	선도
	방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합 자재 개발 및 실용화	기존 콘크리트 대비 방호·방폭 성능 향상 (200% 이상)	60%	미국	선도
	고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발	방호·방폭 최적 설계 시스템 구축	48%	미국	추적
	고성능 복합재료 적용 구조물 방호·방폭 실증실험	방호·방폭 Mock-up test	50%	미국	추적
2세부 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발	판넬형 방호·방폭 복합재료 제조기술	기존 구조물 방호·방폭 성능 향상 (100% 이상)	50%	미국	추적
	뿔철형 방호·방폭 복합재료 제조기술	기존 구조물 방호·방폭 성능 향상 (100% 이상)	50%	미국	추적
	FRP 외피형 방호·방폭 복합재료 제조기술	기존 구조물 방호·방폭 성능 향상 (100% 이상)	50%	미국	추적
3세부 방호·방폭 등급 기준 및 성능평가 기법 개발	방호·방폭 구조물 및 작용하중 등급 체계 및 기준구축	기준(안) 개발	50%	미국	추적
	방호·방폭 재료 및 자재 동적 물성 정량평가 기법 구축 및 평가기준	평가시스템 및 기준 제시	55%	미국	추적
	구조부재 방호·방폭 성능평가 기법 개발	평가시스템 및 기준 제시	50%	미국	추적
	구조시스템 방호·방폭 성능평가 기법 개발	평가시스템 및 기준 제시	50%	미국	추적

본 연구에서 개발하고자 하는 대상기술은 방호·방폭용 재료 및 자재의 고성능화, 적용기술 개발 및 평가기술 개발로서, 기존의 기술과는 다음과 같은 부분에서 차별성을 가지게 됨

구조물용 방호·방폭 재료의 고성능화

- 기존의 방호·방폭 구조물은 일반콘크리트를 사용하여 구조부재의 치수(두께)를 증가시켜 요구성능을 충족시키는 방식으로 적용되는 경우가 대부분으로써, 일반 건축물과 같이 부재치수에 한계가 있는 경우에는 직접 적용이 어려움.
- 본 연구에서는 부재치수의 큰 증가 없이도 요구되는 방호·방폭 성능을 기대할 수 있는 세계 최고성능을 지닌 섬유보강 시멘트 복합재료를 개발하고자 함
- 구조부재를 제작하는 구조재료로서 보강섬유 적용 및 활용 분야에 있어서는 세계 최고수준의 UHPC 개발 (한국건설기술연구원) 등의 기술수준을 확보하고는 있으나, 방호·방폭 구조물에

적용되는 섬유종류 및 형상설계 등, 소재 원천기술에 대하여는 새로운 연구가 필요함

- 특히, 개발되어진 섬유보강 콘크리트의 방호·방폭 성능평가에 있어서는 해당 연구가 최근 들어 서야 기초적인 수준으로 진행이 되고 있는 등, 많은 부분에 있어서의 집중적인 투자와 노력이 필요한 실정임

□ 기존 구조물 방호·방폭 보강형 고성능 복합재료 및 자재의 개발

- 신설 구조물과 달리 이미 시공되어져 사용되고 있는 시설물 및 건축물에 있어서 방호·방폭 기능 부여가 필요할 경우에 대비, 고성능을 구비하여 구조물에의 보강 적용시 추가적인 공간을 크게 차지하지 않으면서도 요구되는 성능을 만족할 수 있는 **공간절약형 방호·방폭용 재료 및 자재의 개발 및 적용기술을 개발하고자 함**
- 또한, 기존 구조물의 방호·방폭 성능 향상을 위한 보강재료의 경우 연구 초기단계의 수준으로서, 다양한 방식의 접근을 통한 기술개발이 이루어져야 하는 분야로 판단되고 있음

□ 방호·방폭 성능평가 기술의 개발

- 한편, 방호·방폭 성능평가 부분은 대부분의 연구가 국방산업 분야에 치중되어 진행된 관계로 한계성을 지니고 있으며, **구조물용 자재 및 부재 두께의 제약을 받는(국방산업의 경우 방호·방폭 자재/구조물의 치수(두께)는 주요한 제약사항이 아님) 일반 건축물 및 시설물의 여건을 고려한 방호·방폭 성능평가 기법을 개발할 필요성이 있음**
- 재료, 자재 및 구조물별로 현재까지는 명확한 성능평가 기법이 제시되고 있지 않음. 이에 본 연구에서는 **방호·방폭 성능을 평가할 수 있는 기준 및 표준화된 장비를 개발함으로써, 향후 지속적인 증가가 예상되는 국내외 방호·방폭 성능 평가 및 인증시장에서 선도할 수 있는 기술력을 확보하고자 함**
- 국외의 경우에 있어도 섬유보강 콘크리트 등 방호·방폭용 복합재료에 관련된 동적 재료모델 구축분야는 현재도 많은 연구가 진행되고 있는 분야로서, 본 연구를 통한 해석 및 평가기법의 개발을 통하여, 선진국에 동등 이상의 기술적, 학술적 성과를 달성할 수 있으리라 판단됨

□ 방호·방폭 구조부재 최적설계 기술 개발

- 또한, 방호·방폭 기능이 필요한 구조물을 구성하는 구조부재의 **최적화된 설계기법을 통한 저비용, 고성능이라는 두 가지 요구를 동시에 충족시킬 수 있는 기술을 개발함으로써 구조물의 방호·방폭 성능을 향상시킬 수 있는 계기를 마련함**

(나) 중복성 검토 및 차별화 방안

□ 기존에 국내에서 수행된 유사 연구과제와의 중복성 및 차별화 방안을 다음과 같이 검토하였음

기술 분야	유사 과제명	활용·고도화·차별화 방안		
기준	없음	활용		
		고도화		
		차별화		
재료 및 자재	부처명: 국토해양부 사업명: 건설기술혁신사업 과제명: 고인성, 고내구성 신섬유복합 모 르타르 및 구조물 보수/보강 신 기술개발	활용		- 구조물 보수보강용 섬유복합 모르 타르 개발
		고도화	●	- 방호·방폭 성능 부여 및 충격/폭 발 등 동적 물성 강화를 통한 고 도화
		차별화		
	부처명: 국토해양부 사업명: 건설기술혁신사업 과제명: 초고성능 콘크리트를 이용한 교량거더 개발	활용		- 교량 거더 개발용 UHPC 재료 응용 기술 개발
		고도화	●	- 프리텐션 PSC 교량거더 개발 - 구조물용 적정 하중 특성 강화 UHPC 개발 및 적용
		차별화		- 충격 및 폭발 등 동적 물성 강화 재 료 개발 고도화
	부처명: 국토해양부 사업명: 건설기술혁신사업 과제명: 초고강도 섬유보강 콘크리트 를 이용한 구조부재 개발 및 실용화 (고성능 다기능 콘크리트 개발 연구단)	활용		- 120~180MPa 초고강도 섬유보강 콘크 리트 배합 개발
		고도화	●	- 포스트텐션 PSC거더, 복공판, 영 구거푸집 개발
		차별화		- 강섬유 적용, 정적 물성 강화에 초점 - 충격 및 폭발 등 동적 물성 강화 재 료 개발 고도화
해석 및 설계	부처명: 지식경제부 사업명: 원전기술혁신사업 과제명: 항공기 충돌을 고려한 격납건 물용 Fiber 콘크리트 적용기 술 개발	활용	●	- 원전 격납구조물에 섬유보강 콘크 리트의 활용 및 적용 연구
		고도화		- 원전 격납구조물의 항공기 충돌 발생시의 손상도 예측 해석
		차별화		- 광범위한 충돌·폭발 시나리오 반 영, 방호·방폭 설계 및 해석에의 활용
보강 자재	부처명: 교육과학기술부 사업명: 기초연구사업 과제명: FRP Composite을 활용한 구 조물의 내폭 성능 향상 기술 개발	활용		- 기존 FRP 복합재료를 활용한 Segmented Composite 및 Layered structural element 의 개발
		고도화	●	- 충격 및 폭발 등 동적 물성 강화 재 료 개발 고도화
		차별화		
물성 평가	부처명: 지식경제부 사업명: 원전기술혁신사업 과제명: 항공기 충돌을 고려한 격납건 물용Fiber 콘크리트 적용기술 개발	활용	●	- 섬유보강 콘크리트의 내충격 물성 평가기법 연구
		고도화		- 항공기 충돌하중 상태에서의 섬유 보강 콘크리트의 동적 재료 모델 개발
		차별화		- 광범위한 충돌·폭발 하중 하의 재료 내충격 물성 모델 평가 및 정립에 의 활용
실증 성능 평가	부처명: 민간(삼표-충남대학교) 사업명: - 과제명: 초고인성시멘트복합체(ECC)를 활용한 내화·방폭 콘크리트 실용화 기술개발	활용	●	- 기존 초고인성시멘트 복합체의 내 화·방폭 성능 평가
		고도화		- 방호·방폭 성능평가 및 평가기준 의 정립에 참고자료로 활용
		차별화		

(4) 단계별 목표


- 총 연구기간은 5년으로 산정하였으며, 2단계로 구분하여 1단계에서는 방호·방폭용 재료 및 자재의 개발과 성능평가 등의 기술기반을 마련토록 하였으며, 2단계에서는 적용기술 개발과 설계 및 적용기준의 개발을 중점 추진목표로 구성하였음

	1단계(3년)	2단계(2년)
단계별 목표	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발 - 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발 - 방호·방폭 구조물 등급체계 구축 및 충격/폭발 하중 산정기술 개발 - 방호·방폭용 재료 및 자재 물성 및 성능 평가기법 개발 - 구조부재 방호·방폭 성능평가 기법 기반구축 - 충격·폭발에 따른 구조체 손상 해석 모델 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 구조부재 및 시공기술 개발 - 기존 구조물 방호·방폭 보강 최적 적용기술 개발 - 방호·방폭용 고성능 재료 및 자재 내 충격 성능평가 및 동적 재료모델 개발 - 방호·방폭 구조부재 두께 및 형상 산정 모듈 개발 - 고성능 섬유보강 시멘트 구조부재 설계지침 개발 - 구조부재/구조시스템 방호·방폭 실증 실험 및 성능평가
주요 추진 내용	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭용 고성능 섬유 개발 - 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 제조기술 개발 - 구조물 외피 보강형 (외피형, 뿔칠형, 패널형) 고성능 복합재료 및 자재 개발 - 방호·방폭 구조물 등급 체계 구축 - 충격/폭발 하중 산정 기술 개발 - 충격·폭발 발생을 고려한 동적 재료 물성 평가기법 개발 - 구조부재 내충격, 방폭 성능 실증 평가기술 기반구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 구조부재 개발 및 성능 평가 - 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 구조부재 시공기술 개발 - 구조물 외피 보강형 고성능 복합재료·자재 성능평가 및 시공기술 개발 - 방호·방폭 구조부재 두께 및 형상 산정 모듈 개발 - 구조부재/구조시스템 내충격/방폭 실증실험 - 구조물 폭발 Mock-up 실험 및 평가 - 고성능 섬유보강 시멘트 구조부재 설계지침 개발


나. 기술개발에 따른 미래상

(1) 현황 및 미래상


AS - IS



일반 콘크리트 구조물 피해 사례 (오클라호마 연방청사)




손상구역



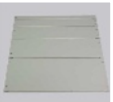
폭발/충격/테러 발생

- 방호방폭 기능 부재에 따른 대형 손상 및 파괴 발생
- 주요부재의 파괴 및 손상에 따른 구조물 연쇄붕괴 발생 가능성 높음




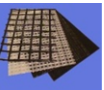
TO - Be



섬질형




판넬형







신규 구조물용 고성능 복합재료/자재 적용

보강형 고성능 복합재료 및 자재 적용



손상구역



폭발/충격/테러 발생

- 방호방폭용 고성능 구조재료 및 자재의 적용에 따른 손상피해 최소화
- 기존 구조물의 방호방폭 기능 강화에 의한 손상피해 최소화

- 85 -

(2) 기술개발 전략 및 효과

- 미래 방호·방폭 건설시장을 선도할 수 있는 기술개발 우선 추진
 - 미래시장에서 요구하는 시급성과 중요도를 고려하여 우선 추진 과제 선정
 - 최종 사용자의 요구를 만족시킬 수 있는 기술적 수준을 설정하여 추진
 - 개발된 연구성과는 기준, 매뉴얼, 시제품등 실제 성과품으로 구현되도록 추진

- 기존 선행연구의 성과를 분석하여 중복성을 피하고 전문성 및 완성도를 강화
 - 각 연구내용별 최적의 컨소시엄 및 인력구성방안 마련을 위해 필요 연구역량 분석, 전문가 자문 등을 실시
 - 산학연 협동연구, 국제공동연구 등 역량강화 및 결집방안 마련
 - 국방과학연구소 등 국방산업 분야와의 연계를 통해 기술교류 및 협력체계 구축을 추진

- 국내 연구인프라의 적극 활용 추진
 - 분산공유인프라 및 기업연구소, 정부출연 연구기관에서 보유하고 있는 시험연구장비 인프라의 활용을 유도함으로써, 연구장비에 대한 중복투자 방지 및 기존 국책사업을 통해 구축된 인프라의 활용도를 높이는 방향으로 연구 추진



(가) 중점추진분야

□ 중점추진분야 (세부과제) 는 다음과 같이 3개 분야로 설정하였음

- (세부과제 1) : 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 개발
- (세부과제 2) : 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발
- (세부과제 3) : 방호·방폭 등급 기준 및 성능평가 기법 개발

① 세부과제 1

㉠ 주요 내용

개념	방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 개발
배경	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존의 방호·방폭 구조물은 주로 철근콘크리트 부재의 두께를 증가시켜 그 기능을 확보하는 방식으로 설계가 이루어지고 있음 ○ 국방시설물 이외의 주요시설물 및 건축물은 제한된 공간 내에서 최대한의 사용공간을 확보하는 방식으로 건설되고 있기 때문에 기존의 부재치수 증가 방식으로는 실제 적용상에 많은 문제점이 발생하게 됨 ○ 상기의 문제점을 극복하고 구조물의 방호·방폭 성능을 대폭적으로 향상시킬 수 있는 고성능 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료를 개발하고자 함 ○ 개발될 구조물용 복합재료는 기존 철근콘크리트 대비 방호·방폭 성능을 200% 이상 향상 또는 동등한 방호·방폭 성능일 경우 기존방식의 부재치수를 50% 이상 절감시킬 수 있는 성능을 확보하고자 하며, 이러한 제조기술 확보를 통한 WBT 달성을 목표로 함 ○ 개발된 재료·자재는 타산업(국방분야 등)에의 활용 등 신규시장 창출에 기여할 수 있음
목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭용 고성능 섬유 재료 개발 ○ 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트계 재료 개발 ○ 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합 자재 개발 ○ 고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발 ○ 고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 실증 시험 평가
주요 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 내충격·내폭용 고강도/고인성 섬유 및 신소재 개발 - 방호·방폭 기능 강화용 Hybrid-Mesh 섬유 직조 기술 개발 - 내충격·내폭용 고강도/고인성 섬유보강 시멘트계 재료 구성 기술 개발 - 고강도/고인성 섬유보강 시멘트계 자재 제품 개발 - 고강도/고인성 섬유보강 시멘트계 재료 내충격/내폭 성능평가 ○ 고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조체 손상모델 개발 - 충격·폭발로 인한 구조물 연쇄붕괴 해석기법 개발 - 본 구조체와 방호·방폭 구조체의 상호 구조작용 해석기법 개발 - 방호·방폭 구조시스템 최적화 설계기법 개발 ○ 고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 Mock-up 실증실험 <ul style="list-style-type: none"> - Mock-up 구조물 설계 및 제작 - 방폭 성능 Mock-up 실증실험 및 평가

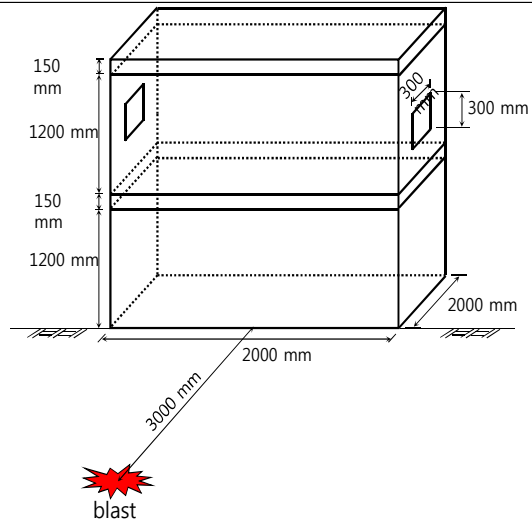
㉔ 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	○ 방호·방폭 고성능 보강섬유 개발	- 내충격성 강섬유 및 유기섬유 형상 적용 모델 구축 - 적용 대상 섬유의 시제품 제시
2차년도	○ 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발 ○ 충격/폭발에 따른 구조체 손상 예측 모델 개발	- 방호·방폭용 시멘트계 결합재 시제품 제시 - 내충격성 섬유보강 시멘트 복합재 제조 기술 확보 - 구조체 손상 예측 모델링 시스템 구축
3차년도	○ 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 제조기술 개발 ○ 구조물 연쇄붕괴 해석 모델 개발	- 섬유보강 시멘트 복합재료 제조기술 개발 - 섬유보강 시멘트 복합재의 기본 물성 및 특성 값 제시 - 구조물 연쇄붕괴 해석 모델 개발 - 실증실험 평가용 구조물 설계
4차년도	○ 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 자재 및 부재 개발 ○ 방호·방폭 구조부재 두께 및 형상 산정 모듈 개발 ○ 실증실험 평가용 구조물 모듈 설계 및 제작	- 방호·방폭 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 자재/부재 시제품 개발 - 섬유보강 시멘트 복합재료 동적 물성 및 자재/부재 내충격 성능 평가 - 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 구조물 최적 설계 모듈 개발 - 실증실험 평가용 구조물 설계 및 제작
5차년도	○ 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 자재/부재 제작 및 시공기술 개발 ○ 구조물 Mock-up 실증실험	- 방호·방폭 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 자재/부재 시공기술 개발 - 구조물 방호·방폭 Mock-up 실증실험 - 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 구조부재 설계지침 개발

[구조물 방호·방폭 Mock-up 시험(안)]

- 실증실험용 구조시스템 설계 (기둥, 벽체 및 슬래브 상세 설계 수행)
- 구조시스템 제작
- 방폭 시험 수행 (ADD 등 방폭시험장 보유 기관 협조 추진)

→ 설계, 제작, 실증 방폭 시험으로 구성, 총 3년의 연구기간 책정 (연구비 약 18억원 소요 예상)



구조시스템 방폭 Mock-up 시험(안)

② 세부과제 2

가 주요 내용

개념	기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발
배경	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신설 구조물과 달리, 기존에 사용중인 사회기반시설물 및 건축물의 경우, 방호·방폭 기능을 부여하기 위해서는 별도의 대응책을 마련할 필요성이 있음 ○ 기존의 구조물에 대한 방호·방폭 기능 부여 및 강화를 위한 고성능 보강자재의 개발 및 적용기술이 필요함 ○ 개발할 고성능 방호·방폭 보강자재는 기존 구조물의 방호·방폭 성능을 100% 이상 향상시킬 수 있으면서, 보강자재 자체의 두께가 최소화 될 수 있는 최적화 기술을 요구함 ○ 상기 방호·방폭용 고성능 복합재료 제조기술 확보를 통한 WBT 달성을 목표로 함 ○ 개발된 재료·자재는 타산업(국방분야 등)에의 활용 등 신규시장 창출에 기여할 수 있음
목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭 비구축 기존 구조물에 적용할 고성능 복합재료 개발 ○ 기존 구조물에 효율적인 방호·방폭 성능 부여 공법 개발
주요 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 패널형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭용 패널 구성재료 기술 개발 - 보강섬유와 시멘트 복합재의 합성 제조 기술 개발 - 보강섬유와 폴리합성재의 결합 기술 개발 - 패널형 2차 제품 설계 및 제작 기술 개발 - 패널형 2차 제품 내충격 및 방폭 성능평가 시험 - 패널형 방호·방폭 2차 제품 시공 기술 개발 ○ 뿔칠형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭용 뿔칠형 구성재료 기술 개발 - 뿔칠형 방호·방폭 재료 제조 기술 개발 - 고효율 뿔칠 장비 개발 및 시공 시스템 개발 - 뿔칠 보강된 구조부재의 내충격 및 방폭 성능평가 시험 ○ FRP 외피형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭용 FRP 보강섬유 및 적층 접착 재료 개발 - FRP 적층 및 두께 최적화 기술 개발 - 방호·방폭용 FRP 자재의 경제적인 제작 기술 개발 - FRP 자재의 내충격 및 방폭 성능평가 시험 - FRP 자재의 본 구체 접합 공법 개발

㉔ 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	○ 구조물 방호·방폭 보강용 외피형, 뽐칠형, 패널형 복합재료 기본설계	- 적용 공법 별 구성재료 최적화 연구 및 구성재료 시작품 개발
2차년도	○ 외피형, 뽐칠형, 패널형 복합자재 및 시공기술 개발	- 적용 공법별 복합재료 제조 기술 개발
3차년도	○ 기존구조물 방호·방폭 구조물용 고성능 복합재료 개발	- 적용공법별 2차 제품 시제품 개발 - 고효율 뽐칠 장비 개발
4차년도	○ 동적자재물성 평가기반 고성능 보강자재 성능 개선 ○ 방호·방폭 성능기반 보강자재 최적 적용기술 개발	- 적용공법별 방호·방폭 성능 평가
5차년도	○ 기존 구조물 방호·방폭 보강 최적 적용기술 개발	- 방호·방폭 보강자재 최적 적용기술 개발 - 기존 구조물에 대한 적용성 평가 - 구법별 시공지침 개발

③ 세부과제 3

가 주요 내용

개념	방호·방폭 등급 기준 및 성능평가 기법 개발
배경	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국가 중요시설의 분류와 방호대책은 국방부훈령 제 1057호 등에서 규정하고 있으나, 방위작전수행 개념에 국한되어 있고 시설물의 방호·방폭과 관련된 기술적 사항은 명확히 제시되지 않고 있음 ○ 구조물에 방호·방폭 설계를 적용함에 있어서도, 고려대상 시설물별 충격·폭발 및 충격손상 발생 후의 화재와 같은 재난의 종류, 하중의 크기 등에 대한 기준이 명확하지 않은 실정임 ○ 따라서, 방호·방폭과 관련된 시설물 및 건축물의 등급 정비 및 기준안 마련 과 함께, 각 충격·폭발 하중별 대응가능 방호·방폭 목표치 설정 필요 ○ 향후 방호·방폭 구조물 설계 시 활용 가능한 기술 및 정보 확보 ○ 현재 방호·방폭용 재료 및 자재와 관련된 표준화된 성능평가 시험방법이 마련 되어있지 않기 때문에 그 성능을 검증하고자 할 경우 한계가 있음 ○ 구조물의 방호·방폭 설계 또는 성능 해석평가를 수행할 경우에 있어서도, 적용된 재료 및 자재의 동적 재료물성 정보가 필요하며, 수학적으로 해석하기 위한 모델식이 구축되어야 함 ○ 재료 및 자재의 방호·방폭 성능 및 동적 재료물성 변화를 평가할 수 있는 시험평가 장비의 개발 및 구축과 시험평가기준을 마련 필요 ○ 방호·방폭 산업분야에 있어서의 시험·평가와 관련된 미래시장을 선도하고자 함
목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭용 구조물 등급체계 및 기준 구축 ○ 방호·방폭 재료, 자재 및 부재 물성 정량평가 기법 구축 및 평가기준 정립 ○ 충격·폭발 발생시 동적 재료물성 평가 기법 개발 ○ 방호·방폭 성능예측을 위한 동적 재료모델 개발 ○ 방호·방폭 구조부재/구조시스템 실증 성능 평가 기법 개발
주요 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭 구조물 등급 체계 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 기존 방호·방폭 등급 자료수집 및 분석 - 방호·방폭 대상구조물 설정 및 정비 - 대상 구조물의 방호·방폭 등급 분류체계 개발 - 작용 하중의 형태 분류 체계 수립 ○ 충격·폭발 발생시 동적 재료물성 평가기법 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 재료 및 자재의 내충격, 방폭 성능의 정량적 물성 시험평가 기법 개발 및 구축 - 고속 충격하중 발생시의 재료 압축·인장 재료물성 변화 시험평가기술 개발 - 고속 충격하중 발생시의 방호·방폭 자재 내충격 성능 평가기술 개발 ○ 방호·방폭 성능예측을 위한 동적 재료모델 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 구조물 방호·방폭 성능 예측 및 평가해석에 필요한 동적 재료물성 모델식 개발 ○ 구조부재 /구조시스템 방호·방폭 성능평가 기법 개발

㉔ 연차별 목표 및 내용

연차	연구목표	연구내용
1차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 구조물 방호·방폭 등급 분류 체계개발 ○ 동적 충격하의 자재 및 재료 물성 시험 평가 기반 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물 등급 체계 조사 - 방호·방폭용 재료 및 자재 물성 및 성능평가 조사
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 충격·폭발 하중 산정 및 하중 등급체계 개발 ○ 동적재료물성 평가 기술 설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물 등급 체계(안) 구축 - 동적 충격 시험평가 장비 및 지원 인프라 구축 - 동적 충격 재료 물성 시험 방법(안) 구축
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 구조물 방호·방폭 등급 체계 구축 ○ 동적재료물성 시험법 및 평가 기술 개발 ○ 구조부재/구조시스템 방호·방폭 성능평가 시험 기반 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물 등급 체계 구축 - 충격·폭발 하중 산정 기술 개발 - 동적 충격 자재 물성 시험 기준 개발 - 구조부재/구조시스템 방호·방폭 성능평가 시험 기반조사 - 구조부재/구조시스템 방호·방폭 성능평가 시험 설계 및 Process 개발
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 동적 재료모델 구축 ○ 구조부재 내충격/방폭 성능평가 실험 기법 개발 ○ 구조시스템 방호·방폭 성능평가 실험 기법 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 동적 재료모델 개발 - 고성능 섬유보강 복합재료 적용 구조부재/구조시스템 내충격/방폭 성능평가 실험법 개발 - 고성능 섬유보강 복합재료 적용 구조부재/구조시스템 내충격/방폭 실험 수행 및 평가 기법 개발
5차년도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고성능 섬유보강 복합재료 적용 Mock-up 구조물 방폭 실증 실험 지원 체계 구축 	<ul style="list-style-type: none"> - 1세부와 연계하여 구조물의 방폭 실증실험 지원 - 실증실험 Process 설계 - 실증실험 Data logging Method 지원

(3) 기대효과

(가) 주요 기대효과

각 중점추진분야(세부과제)별 대표적 목표성과물에 대한 기술 수요처 및 기대효과는 다음과 같음.

중점추진분야	세세부과제	목표성과물	기술수요처	기대효과
(세부-1) 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 개발	(세세부-1) 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발	방호·방폭 구조물용 고성능 복합재료	건설사	기존 콘크리트 대비 방호·방폭 성능 200% 이상 향상 기술 확보
		방호·방폭용 고성능 보강섬유	섬유 및 소재산업 분야, 건설사	
		방호·방폭 기능 강화용 Hybrid-Mesh	섬유 및 소재산업 분야, 건설사	
	(세세부-2) 고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발	구조부재 방호·방폭 두께 최적화 산정 모듈	건설사, 설계사	방호·방폭 성능예측 및 설계 최적화
충격·폭발시 구조체 손상예측 및 연쇄붕괴 가능성 해석평가 모델		건설사, 설계사		
방호·방폭 구조물 설계기법		건설사, 설계사		
(세세부-3) 고성능 복합재료 적용 방호·방폭 구조물 방폭 실험 및 평가	구조물 방호·방폭 실증 실험평가 기법	발주처, 건설사, 설계사	구조물 방호·방폭 성능 실증평가 기준으로의 적용	
(세부-2) 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발	(세세부-1) 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발	외피형 방호·방폭 보강자재	건설사, 자재산업 분야	기존 콘크리트 구조물 방호·방폭 성능 100% 이상 향상기술 확보
		뿔철형 방호·방폭 보강자재	건설사, 자재산업 분야	
		패널형 방호·방폭 보강자재	건설사, 자재산업 분야	
(세부-3) 방호·방폭 등급 기준 및 성능평가 기법 개발	(세세부-1) 방호·방폭 구조물 등급 체계 및 하중 산정	방호·방폭 구조물 등급체계 및 하중 산정 기준	정부기관, 시설물 관리기관 (국토해양부, 국방부 등)	국내 주요구조물 방호·방폭 등급체계 구축 기반 마련
	(세세부-2) 충격·폭발 발생시 동적 재료물성 평가기법 개발	방호·방폭 관련 동적 재료물성 평가기술	시험·평가 기관 및 연구소	재료 및 자재 물성 시험평가 기준으로의 적용
		방호·방폭·자재 물성 평가기술	시험·평가 기관 및 연구소	
		동적 재료모델	연구소, 설계사	고성능 방호·방폭 재료·자재 독자적 재료모델 제시
	(세세부-3) 구조부재/구조시스템 방호·방폭 성능평가 기법 개발	구조부재 내충격 성능평가 기준	시험·평가 기관, 연구소	구조부재/구조시스템 방호·방폭·내화 실증 성능평가 체계 구축
		구조부재 방폭 성능평가 기준	시험·평가 기관, 연구소	
		구조시스템 내충격/방폭 성능평가 기준	시험·평가 기관, 연구소	

(나) 경제적 측면

- 본 연구는 그 대상구조물을 주요 공공시설, 주요 빌딩 (초고층 포함), 대형 상업시설 및 사회기반시설물로 하고 있으며, 신규 구조물への 적용 뿐만 아니라, 기존 구조물への 방호·방폭 기능보강이라는 신규시장을 선도할 경우 그 경제적, 산업규모는 1조원 이상으로 예상되고, 미국 및 유럽 등의 선진기술 도입으로 인한 지출을 저감하며, 해당기술 수출에 따른 추가적인 수익창출이 기대됨
- 최근 초고층건물 및 원전구조물 안전 의식 증가 등으로 내충격 및 방폭에 필요한 국내 전체 시장규모는 향후 5년간 약 3조원 이상의 수준으로 예측되고, 이 중에서 건설과 관련된 방호용 자재 및 제품의 시장규모는 약 5,000억원 규모로 예측됨
 - * 국내에 2015년까지 예정된 초고층 빌딩을 10여개로 산정한 경우 예상되는 투자비를 약 44조 1천억원으로 추산한 바 있고, 초고층 빌딩 1개당 순수 구조물 공사비가 약 1조원 이상으로 감안하고 있음 (콜드웰뱅크코리아, 2008). 현재 국내 부동산 경기여건의 변화를 감안하여 향후 5년간 3개의 초고층 빌딩이 건축될 것을 가정하면 초고층빌딩 만으로 3조원이라는 전체 구조물 시장규모 최소치가 예상되고, 이 중에서 방호·방폭과 관련된 구조재료 및 자재분야를 보수적으로 15%로 잡을 경우 약 5,000억원의 시장규모가 추산됨. (관공서 등 주요시설물 및 기타 대형 시설물 등을 포함할 경우, 시장규모는 더욱 커지리라 판단되고 있음)
- 국방시설 분야에서 방호구조물 고도화 기술개발투자는 미흡한 상태이며 2012년 정부예산을 기준으로 볼 때 전체 국방예산은 약 33조 규모로써, 방호시설의 개선 및 유지관리비는 약 1% 정도에 해당하고, 이 중에서 고성능 섬유보강 복합재료로 방호·방폭 구조물 시장의 약 50% 점유가 가능하다면 연간 약1,650억원 규모의 국방 관련 방호·방폭 시장 진출이 가능함(자료출처 : 2012 정부예산 중 국방비 내역)
- 또한, 개발된 방호·방폭 건설자재의 적용에 따른 대형 충돌 및 폭발에 의한 재난 및 피해상황 발생시에 예상되는 막대한 인적, 물적 손실의 피해규모를 최소화 할 수 있기 때문에 일반적인 관점에서는 산출할 수 없는 매우 큰 경제적 효과를 기대할 수 있음

(다) 기술적 측면

- 본 연구개발을 통해 공유되지 않고 있는 방호·방폭 관련 기술의 국제적 경쟁력의 확보에 따른 국내 건설자재 및 소재산업 생산기술의 제고
- 주요 사회기반시설물의 방호·방폭 설계 및 평가 시, 본 연구에서 개발된 자재를 적용 및 활용함으로써 새로운 설계기술 개발에 기여할 수 있음
- 또한, 본 연구에서 개발될 예정인 고성능 복합재료는 방호·방폭 분야에 국한되지 않고, 다양한 형식의 고성능 구조부재료의 활용이 가능하기 때문에 그 기술적 파급효과가 매우 클 것으로 기대됨
- 방호·방폭 자재 성능평가 분야는 민간 및 건설산업에서 매우 낙후된 기술분야로써, 본 연구의 성과로부터 정립된 성능평가 기술은 향후, 일반 주요 사회기반시설물 및 건축물에 대한 방호·방폭 설계기준 및 규준의 제정, 정비시에 주요한 평가기준으로 적용 및 활용되어질 수 있음

(라) 사회적 측면

- 최근 들어 다양하게 추진 중인 초고층 빌딩, 대형 상업시설 및 주요 사회기반시설물의 경우, 방호·방폭과 관련된 보강된 대비책을 강구하는데에 적용 및 활용되어질 수 있으며, 이에 따른 대국민 불안요소를 저감시키는데에 기여할 수 있음

- 개발된 방호·방폭 건설자재의 적용으로 대형 사고의 발생 가능성을 감소시킴과 동시에 주요 민간 및 사회간접자본 시설물에 대한 대테러 대비책 강화의 일환으로 사용될 수 있음

- 주요 사회기반시설물 및 건축물의 충분한 방호·방폭 기능을 부여함으로써, 이에 발생할 수 있는 인적, 물적 피해의 최소화를 통한 사회기반 보전기능의 역할을 수행할 수 있음

다. 연구개발과제 구성

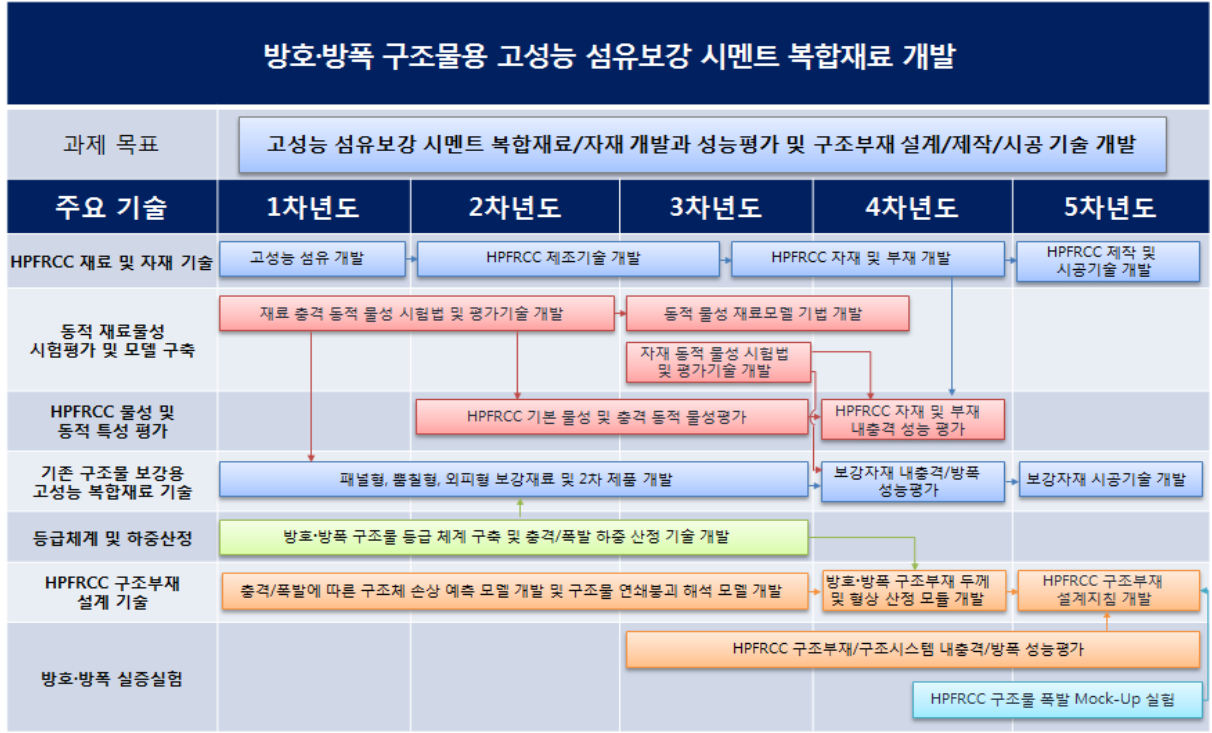
구분	과제명 및 구성기술명
1세부	방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 개발
1세세부	방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발
1구성기술	방호·방폭용 고성능 보강 섬유 개발
2구성기술	방호·방폭 기능 강화용 Hybrid-Mesh 섬유 직조 기술 개발
3구성기술	방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 배합, 제조 및 시공 기술 개발
2세세부	고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발
1구성기술	구조부재 방호·방폭 두께 최적화 산정 모듈 개발
2구성기술	충격·폭발 발생시 구조체 손상예측 모델 개발 및 구조물 연쇄붕괴 방지를 위한 해석평가 기법 개발
3구성기술	방호·방폭 구조시스템 최적화 설계 기법 개발
3세세부	고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 실증실험
1구성기술	방호·방폭 실증실험 평가용 Mock-up 구조물 모듈 개발 및 평가
2세부	기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발
1세세부	기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발
1구성기술	패널형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발
2구성기술	뿔칠형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발
3구성기술	외피형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발
3세부	방호·방폭 등급 기준 및 성능평가 기법 개발
1세세부	방호·방폭 구조물 등급 체계 및 기준구축
1구성기술	대상 구조물 방호·방폭 등급 분류체계 개발 및 정비
2구성기술	충격·폭발 하중 산정 기술 개발
2세세부	동적 재료물성 평가기법 및 재료모델 개발
1구성기술	동적 충격 재료물성 시험·평가기술 개발
2구성기술	동적 충격 자재물성 시험·평가기술 개발
3구성기술	구조물 설계 및 해석에 필요한 동적 충격 재료물성 모델식 구축
3세세부	구조부재/구조시스템 방호·방폭 성능평가 기법 개발
1구성기술	구조부재 방호·방폭 성능평가 기술 개발
2구성기술	구조시스템 방호·방폭 성능평가 기술 개발

□ 개발 대상 구성기술의 성능지표와 함께 연구개발에 대한 성과측정을 위한 핵심성과지표(KPI, Key Performance Indicator)를 도출하고, 각 KPI별 성과달성 목표가 되는 성능수준을 다음과 같이 정의하였음

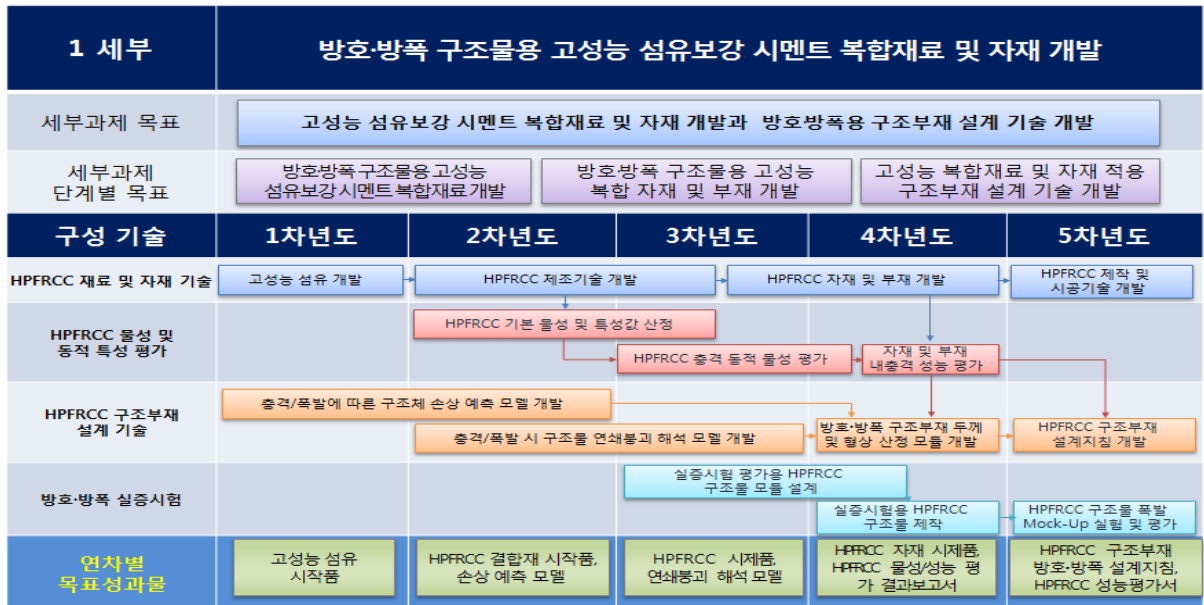
구 분	구성기술	성과물	정 의	성과지표
1세부 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 개발	방호·방폭용 고성능 보강 섬유 개발	특허, 시제품	방호·방폭용 고성능 보강섬유 제조 기술	인장강도 2000 MPa 이상
	방호·방폭 기능 강화용 Hybrid-Mesh 섬유 직조 기술 개발	특허, 시제품	방호·방폭 성능 향상을 위한 보강형 Hybrid-Mesh 섬유 직조 기술	내충격 성능 200% 이상 향상
	방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 배합, 제조 및 시공기술 개발	특허, 시제품	방호·방폭 구조물용 고성능 복합재료 제조 및 시공기술	압축강도 200MPa, 인장강도 15 MPa 이상
	고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발	최적 설계/해석 프로그램	방호·방폭 구조물 설계 및 해석평가 전용 프로그램	방호·방폭 성능 해석/설계 전용 프로그램 및 내충격 성능 200% 이상 향상 설계 기술
	고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 실증실험 및 평가	실증실험 평가용 Mock-up 구조물 모듈 설계 및 제작	방호·방폭 실증 평가용 Mock-up 구조물 모듈 설계 및 제작 후 실증실험 수행	기존 구조물 대비 방폭 피해를 50% 저감
2세부 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재개발	패널형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발	특허, 시제품	기존 구조물 방호·방폭 성능 향상을 위한 패널형 보강자재 개발 기술	기존 구조물 방호·방폭 성능 100% 이상 향상
	뿔칠형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발	특허, 시제품	기존 구조물 방호·방폭 성능 향상을 위한 뿔칠형 보강자재 개발 및 고효율 시공을 위한 뿔칠장비	기존 구조물 방호·방폭 성능 100% 이상 향상
	FRP 외피형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발	특허, 시제품	기존 구조물 방호·방폭 성능 향상을 위한 외피형 보강자재	기존 구조물 방호·방폭 성능 100% 이상 향상
3세부 방호·방폭 등급,기준 및 성능평가 기법 개발	방호·방폭 구조물 등급 체계 및 기준 구축	기준(안)	방호·방폭 구조물 및 작용하중 등급체계	조사 및 검토 보고서
	동적 재료물성 평가기법 및 재료모델 개발	평가시스템 및 재료모델	동적 재료물성 평가장비 및 평가시스템, 동적 재료모델	시스템 구축, 재료모델 D/B
	구조부재 방호·방폭 성능 실증 평가 기법	평가시스템 및 기준	구조물 방호·방폭 성능 실증 평가 시스템	최적 시험평가 시스템 구축
	구조시스템 방호·방폭 성능 실증 평가 기법	평가시스템 및 기준	부재 연결부위 등 구조시스템 방호·방폭 성능 실증 평가 시스템	최적 시험평가 시스템 구축

라. 과제별 · 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

(1) 주요기술연관도



(2) 1세부 기술로드맵 및 성과로드맵



- ※ HPFRCC (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite): 고성능 섬유보강 시멘트 복합재
- 구조부재 : 보, 기둥, 슬래브 등 각 요소 단위 부재
 - 구조시스템 : 보, 기둥, 슬래브 등, 2가지 이상의 구조부재가 결합된 구조체
 - 구조물 모듈 : 방호·방폭 실증 평가를 위한 기본단위 구조시스템 (보, 기둥, 슬래브 등 필수 구조부재 포함)
 - 성능 평가 : 재료, 자재 및 부재 단위의 방호·방폭 성능 평가
 - 실증 시험 : 실제 충격 및 폭발 Scale 을 고려한 시험 평가
 - Mock-up 시험 : 실 구조물 Scale 을 고려한 구조물 모듈 적용 방호·방폭 실증 시험

(3) 2세부 기술로드맵 및 성과로드맵

2 세부		기존 구조물 방호 방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발				
세부과제 목표	방호방폭 성능 부여가 필요한 기존 구조물에 적용할 효과적인 보강기술 개발					
세부과제 단계별 목표	방호방폭보강용복합재료 개발	방호·방폭보강용복합자재 개발	보강공법용 장비 및 시공 기술 개발			
구성 기술	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
패널형 방호방폭 복합재료 및 적용기술	패널 구성재료 개발	보강재 및 시멘트 복합재 합성 제조기술 개발	패널형 2차 제품 개발	패널 제품 내충격/방폭 성능평가	패널형 2차 제품 시공기술 개발	
폼칠형 방호방폭 복합재료 및 적용기술	폼칠 구성재료 개발	폼칠 재료 제조기술 개발	폼칠 장비 개발	폼칠 보강재 방폭 성능평가	폼칠 시공기술 개발	
FRP 보강 외피형 방호방폭 복합재료 및 적용기술	FRP 보강재료 개발	FRP+시멘트 복합재 합성기술 개발	FRP+시멘트 복합재 적용 구조시스템 개발	FRP 외피형 복합재료 내충격/방폭 성능평가	FRP 외피형 복합재료 시공기술 개발	
시험평가 및 기준	구성재료 기본 물성 시험	역학적 특성 시험평가		동적 성능시험 및 평가 ※ 성능평가시험법 3세부 연구결과 활용	기존 구조물에 대한 적용성 평가	
연차별 목표성과물	구성재료 시작품	구법별 제조기술	2차 시제품, 폼칠 장비	보강재 성능평가 결과보고서	구법별 시공지침	

(4) 3세부 기술로드맵 및 성과로드맵

3 세부		방호·방폭 등급 기준 및 성능평가 기법 개발				
세부과제 목표	방호·방폭용 구조물 등급체계 구축 및 재료/자재 성능평가 기법 개발					
세부과제 단계별 목표	방호·방폭구조물용 등급체계구축	충격 동적 재료물성 평가기법 개발	충격 동적 재료모델 개발	구조부재 방폭 성능평가 기법 개발		
구성 기술	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
등급체계 및 하중산정	방호·방폭 등급 자료조사	방호·방폭 구조물 등급 체계 구축				
동적 재료물성 시험평가 및 모델 구축	동적 물성 자료조사	충격/폭발 하중 자료조사	충격/폭발 하중 산정 기술 개발	자재 동적 물성 시험법 및 평가기술 개발		
구조부재 및 구조시스템 방호방폭 성능평가 기술		재료 충격 동적 물성 시험법 및 평가기술 개발	충격 동적 재료모델 기법 개발	내충격/방폭 성능평가 기반 구축	구조부재 내충격/방폭 성능평가 시험 구조시스템 내충격/방폭 성능평가 시험 HPFRCC 구조물 폭발 Mock-up 실험 지원	
연차별 목표성과물	등급 조사보고서	하중 조사보고서, 충격물성 시험기준	폭발 하중 기준, 자재동적 시험기준	동적 물성 재료모델 실증실험 결과보고서	구조시스템 충격/폭발 성능평가 보고서	

마. 성과의 활용방안

(1) 기술개발 성과 활용방안



□ 각 중점추진분야 및 세부과제별 목표성과물의 활용 방안은 다음과 같음

중점추진분야	세세부과제	성과물	활용방안
(1세부) 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 개발	(세세부-1) 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발	방호·방폭 구조물용 고성능 복합재료	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물 신재료로 활용 - 국방시설물 방폭 성능 증가 재료로 확대 활용 - 초고성능 섬유보강 콘크리트 구조체 성능 향상 재료로 활용
		방호·방폭용 고성능 보강섬유	
		방호·방폭 기능 강화용 Hybrid-Mesh	
	(세세부-2) 고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발	구조부재 방호·방폭 두께 최적화 산정 모듈	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조부재 설계 기술로 활용 - 충격 및 폭발에 따른 연쇄붕괴 해석 기술로 활용
		충격·폭발시 구조체 손상예측 및 연쇄붕괴 가능성 해석평가 모델	
	(세세부-3) 고성능 복합재료 적용 방호·방폭 구조물 방폭 실증실험 및 평가	방호·방폭 구조물 설계기법	구조물 방호·방폭 Mock-up 구조물 실험평가 방안

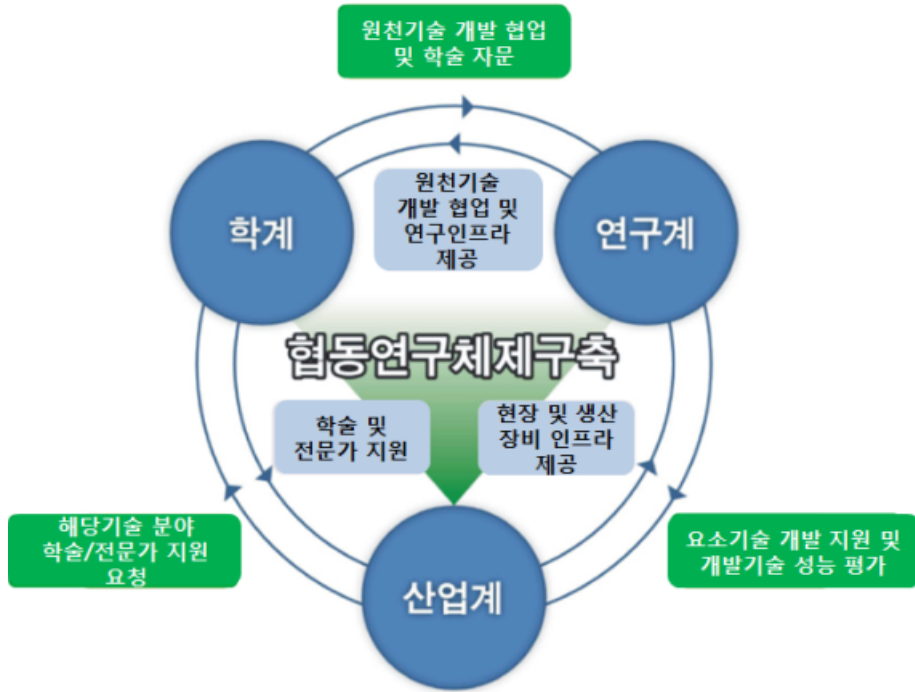
중점추진분야	세세부과제	성과물	활용방안	
(2세부) 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발	(세부과제1) 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발	외피형 방호·방폭 보강자재	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 구조물 보수보강 분야에의 확대 적용 가능 - 국방시설물 보강 분야에의 활용 가능 	
		뿔칠형 방호·방폭 보강자재		
		패널형 방호·방폭 보강자재		
(3세부) 방호·방폭 등급 기준 및 성능평가 기법 개발	(세부과제1) 방호·방폭 구조물 등급 체계 및 하중 산정	방호·방폭 구조물 등급체계 및 기준	<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 시설물에 대한 방호·방폭 관련 기준으로의 활용 및 확대 적용 가능 	
		(세부과제2) 충격·폭발 발생시 동적 재료물성 평가기법 개발	방호·방폭 재료물성 평가기술	<ul style="list-style-type: none"> - 재료 및 자재 시험평가 기준으로의 활용 - 향후 재료 및 자재 성능 평가 및 인증 기준으로의 확대 적용 가능
			방호·방폭 자재 물성 평가기술	
	(세부과제3) 구조부재/구조시스템 방호·방폭 성능평가 기법 개발	동적 재료모델	<ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 이외의 재료성능 예측 및 설계시 활용 	
		구조부재 내충격 성능 시험평가 기준	<ul style="list-style-type: none"> - 구조부재 및 구조시스템의 충격·폭발 이외의 동적 거동 시험 평가 기준으로 활용 가능 - 국방분야 시험 평가 기준으로 확대 적용 가능 	
		구조부재 방폭 성능 시험 평가 기준		
구조시스템 내충격/방폭 시험 평가 기준				

바. 연구수행체계 제안

(1) 연구수행체계

- 본 연구의 수행은 기본적으로 연구단으로 구성, 연구단 산하의 각 세부과제별로 산·학·연 협동연구체계를 구축하도록 함
 - 기존에 진행된 연구기반을 효과적으로 활용하기 위해 연구범위 및 방향을 세부과제간 상호 조율하고, 그에 따른 지속적인 연구개발 및 성과도출을 위해 필요에 따라 연구장비 및 인프라를 공유하는 방안을 마련토록 함
 - 효과적이고 합리적인 연구개발사업의 운영
 - 연구비의 중복투자 배제 및 연구개발비 투자의 효율성 제고
- 연구 추진의 효율성을 높이기 위해 세부과제별로 독자적인 워크샵 및 세부전략을 수립함과 동시에 연구단내 세부과제 사이의 상호 정보 교류를 위한 정기적인 발표회 및 워크샵 추진
- 동일한 또는 유사한 목표를 갖는 세세부 기술들 사이의 상호 접근방법을 다양하게 하여 최종 연구개발 성과의 성공률과 실용화율을 높이기 위해 부분적인 경쟁체계 도입 유도
- 산·학·연 각각의 특성에 맞는 독자적 연구분야를 설정하고, 연구단을 중심으로 각각의 연구성과를 유기적으로 종합화하여 연구효율을 극대화

세부과제별 산·학·연 협동 연구 체계 구축



연구단 조직안



(2) 시장 진입 전략

(가) 기술적용 대상 시설물 설정

- 이 연구사업에서 고려하는 적용 대상 시설물은 다음과 같은 전제 조건하에 설정함
 - 국방 안보와 관련된 국방시설물은 시설물의 용도 자체가 전투 상황을 고려한 고풍발 하중을 대상으로 하므로 본 연구사업의 적용 대상에서 제외함
- 단, [국방부훈령 제 721호(2002. 12. 3) 및 제1057호(2009. 5. 25)] 상에 지정하는 “국가중요 시설”을 기본 적용 대상 시설물로 설정하고, 본 과제를 수행하는 과정에서 등급을 구체화함

(국가중요시설의 대상)

1. 주요 국가 및 공공기관시설
2. 철강, 조선, 항공기, 정유, 중화학, 방위산업, 대규모 가스·유류 저장시설 등 주요 산업시설
3. 원자력 발전소, 대용량 발전소 및 변전소 등 주요 전력시설
4. 전국 및 지역권 방송국, 송신·중계소 등 주요 방송시설
5. 국제위성지구국, 해저통신중계국, 국가기간전산망, 전화국 등 주요 정보통신시설
6. 철도 교통관제 센터 및 지하철 종합 사령실, 교량, 터널 등 주요 교통시설
7. 주요 국제·국내선 공항
8. 대형 선박의 출·입항이 가능한 항만
9. 대형 취수·정수시설 및 다목적 댐 등 주요 수원시설
10. 종합적인 체계를 갖춘 연구시설, 핵연료 개발 연구시설 등 국가 안보상 중요한 과학연구시설
11. 교정·정착지원 시설
12. 전력, 통신, 상수도, 가스 등을 수용하고 있는 대도시 주요 지하공동구 시설
13. 기타 적에 의해 점령 또는 파괴되거나 기능이 마비될 경우 국가안보 및 국민 생활에 심대한 영향을 미치는 시설

- 또한 국방부훈령에서는 순수 민간시설물이 제외되어 있으므로 [건축법 시행령]에 제시된 다음과 같은 시설물도 적용 대상으로 설정하고 적용조건은 본 과제를 수행하는 과정에서 구체화 함
 - [건축법 시행령] 별표 1에 따른 문화 및 집회시설(동·식물원은 제외), 판매시설, 운수시설(공항 시설은 제외한다), 의료시설 중 종합병원, 업무시설, 숙박시설 중 관광숙박시설로서 같은 건축물에 해당용으로 쓰이는 바닥면적의 합계가 2만제곱미터 이상인 건축물
 - [건축법 시행령] 제2조 제15호에 따른 50층 이상 또는 건축물의 높이가 200m 이상인 초고층 건축물

- 기타 적용시설물과 상기 제시한 적용대상 시설물에 대한 등급의 구체화 등은 이 기획과제에서 모두 설정할 수 없으며, 구체적인 설정(안)은 본 과제를 진행하면서 구체화 및 부처 간 협의를 통하여 설정해야 할 것으로 판단됨

(나) 개발 기술 수요처

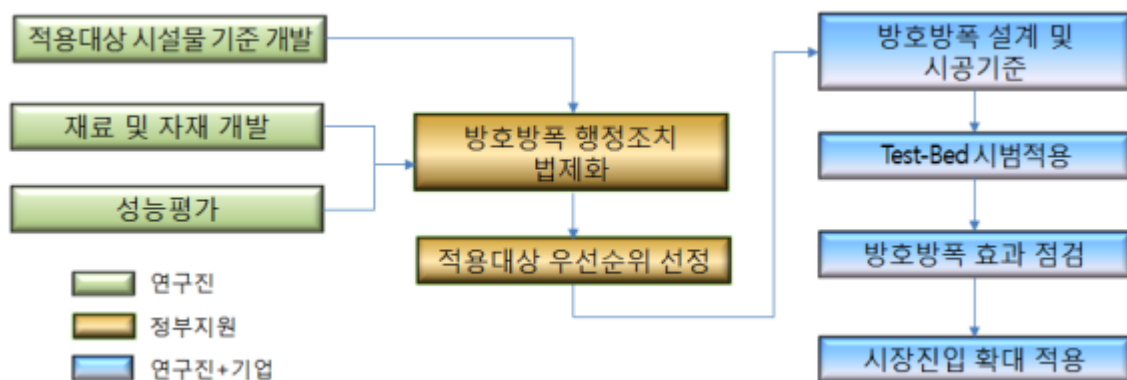
- 기술 적용 대상기관 : 개발된 기술을 이용하여 방호방폭용 구조물 시설을 설치하는 기관
 - 국가 및 공공기관 시설을 비롯하여 위의 적용대상 시설물을 관리하는 기관들과 건축법 시행령상의 개인 또는 법인의 건축물 소유자
- 기술 실시기관 : 기술을 개발하는데 참여하는 연구기관 또는 개발 기술을 실시하는 기업
 - 국공립 연구기관 및 대학과 참여기업 자격으로 연구개발을 수행하거나, 기술 이전을 받아 개발 기술을 기술 적용 대상기관에 설계 또는 시공을 실시하는 기업
 - 재료 또는 자재의 개발에 참여하거나 기술이전을 받아 방호방폭에 필요한 재료 및 자재를 생산 판매하는 기업
- 시험 평가기관 : 기술개발에 참여하거나 개발된 시험평가 기술을 적용하여 방폭방폭용 재료 및 자재와 구조부재의 방호방폭 성능을 평가하는 기관
 - 국공립 시험기관, 공인시험기관(사립 법인)에서 이 연구과제를 통하여 생산된 시험법 및 시험규격과 추가 기존 시험규격을 적용하여 재료 및 자재의 방호방폭 성능을 시험 및 평가

(다) 시장 진입 전략

- 방호방폭 성능 부여는 신규 건설 시설물의 설계 및 시공에서 구조물 고유의 하중에 대한 고려 이외 충격과 폭발 하중을 고려한 부가적인 재료 및 시공이 추가되기 때문에 우선 대상 시설물에 대한 방호방폭 적용기준이 강제성을 부여할 필요가 있음
- 이 연구개발 과제에서는 방호방폭 성능을 부여하는 수단으로서 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재를 고려하기 때문에 본 과제의 수행에서 이 재료의 적용에 대한 효율성을 검토하여야 함
- 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 효율성 검토 내용을 바탕으로 “기술적용 대상 시설물”의 적용 대상 우선순위를 선정함
 - 시설물에 방호방폭 기능을 부여하는 형태는 다음과 같이 크게 3가지로 구분할 수 있음
 - 구조물 본체 보강 : 기둥, 보, 벽체 등 구조체에 직접 충격 및 폭발 저항성을 부여
 - 방호벽 (barrier) 설치 : 시설물의 본체 구조물과 별도로 부가적인 방어벽을 설치하여 충격 및 폭발 하중에 저항하여 본체 구조물의 손상을 최소화 하는 방안
 - 대피소 (shelter) 설치 : 시설물의 일부를 충격과 폭발에 충분히 저항할 수 있는 대피소를 설치하여 충격 및 폭발 발생 시 인명피해를 극소화하는 방안

- 기술적용 대상 시설물의 형태와 기능에 따라 위의 3 가지 방호방폭 성능 부여 방안 중에서 효과적인 방안을 제시하고 이를 근거로 우선 순위를 설정함
- 위의 국가중요시설에 대하여는 위의 “기술적용 대상 시설물”의 적용 우선순위를 법, 조례 및 시행령 등 행정적인 조치를 통하여 강제성을 띠고 시행함
- [건축법 시행령]에 해당하는 적용대상 시설물에 대하여는 연구성과를 바탕으로 가장 효율적인 방호방폭 조치를 권고 시행토록 유도함
- [건축법 시행령]에 해당하는 적용대상 시설물에 방호벽을 설치하는 경우, [건축법 시행령]에서 규정하는 있는 일정 규모 이상의 바닥면적을 갖는 건축물에 부과하는 조형물 설치 규정을 방호벽으로 대체해주는 행정조치는 방호방폭 기술의 적용을 가속화할 수 있는 예가 될 수 있음
 - 이 경우 방호벽의 설치 시 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료를 활용할 경우 조형물의 제작이 가능하며, 이로 인해 조형물 설치 행정요건을 만족시키게 됨과 동시에 방호방폭 기능을 부가하는 효과도 기대할 수 있음
- 방호방폭 기능의 부가설치는 행정적 지원이 없는 적용이 어려우며, 위의 행정적 지원이 전제될 경우 조형작가, 설계자 및 시공자들에게 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 시방지침 및 설계지침을 제공하여 해당 재료 및 자재의 방호방폭 공사의 환경을 조성
- 가시적 연구성과 도출 단계에서 참여기업 또는 기술허여 기업을 통하여 재료 및 자재 공급과 설계 및 시공기술을 제공하여 소기 목적의 방호방폭 시설물 품질을 확보, 이를 통하여 방호방폭의 신규 시장을 개설하고 적용대상 시설물의 우선순위에 따라 점차 시장을 확대

□ 시장 진입 개념도



6. 사전타당성 검토

가. 정책적 타당성

(1) 국가 전략적 중요성

(가) 정부 지원의 타당성

- 중앙정부 부처 및 지방자치단체는 사회 시설물 및 건축물에 대한 방호·방폭 안전성 확보를 위한 정책 계획을 수립하고 있으나 이에 대한 명확한 등급 기준 및 대책이 미흡한 상황임
- 행정안전부, 국토해양부 등에서는 건축 및 기반시설의 건설에 있어서 화재, 지진, 태풍 등의 자연 재해에 대한 국민의 안전과 시설물의 경제적 유지관리를 위한 장수명 확보를 위하여 구조물 설계 및 내구성능의 강화를 도모하고 있음
- 폭발사고의 위험성이 상존하고 있는 석유화학 관련 산업의 해당 시설물 및 주변 건물의 안전 확보 차원의 다양한 방호·방폭 관련시장의 확대가 예상됨
- 최근 들어서는 석유화학플랜트 뿐 만 아니라, 민간 대형 시설물에도 방호·방폭 안전성 기능을 확보하는 방식으로 정책의 변화가 이루어지고 있음
- 국토해양부 ‘건축물 테러예방 설계가이드라인’ 2010년 4월부터 시행함

『Ⅲ.건축 및 실내 공간계획』

7. 건축물계획

7.1 건축물의 형태 및 구조는 폭발로 인한 피해가 최소화 되도록 계획한다.

7.2 **저층부, 로비 등에 설치되는 창문유리나 마감자재는 비산파편에 인한 인명피해가 최소화될 수 있는 자재를 사용**하도록 하는 것이 바람직하다.

8. 실내공간계획

8.1 다중이 이용하는 공간과 보안이 요구되는 주요 공간은 수직 및 수평으로 분리하여 배치하고 그 사이에 완충 공간, 혹은 강화된 벽체나 슬래브를 배치하는 것이 바람직하다.

8.2 인명 피해가 크게 우려되고 가연성 물질 등이 있는 공간은 외부의 충격에 대비하여 배치하도록 하고 건축물의 외피와의 사이에 완충공간, 혹은 **강화된 벽체나 슬래브를 배치**한다.

- 서울시의 대테러 대책 수립 관련 ‘초고층 건축기준’ 2009년부터 시행함
- 서울시에 들어서는 50층 이상, 200m 이상의 초고층 건물에 대해서는 테러 대책을 세워야 건축이 가능함

(나) 사업 추진의 시급성

- 남북 분단으로 인한 특수한 군사적 대치 상황과 연평도 포격사건 등으로 인하여 인명 및 재산피해 발생하고 있으며, 군사시설 및 국가 중요시설물에 대한 방호·방폭 기능 향상을 위한 국가적 차원의 대책이 필요한 상황임
- 국토해양부는 테러에 취약한 대중이 이용하는 건축물에 대한 테러예방 활동을 강화하기 위하여 건축물 테러예방 설계가이드라인을 마련, 건축물 설계단계에서부터 테러로 인한 피해를 예방하고 피해를 최소화 할 수 있는 건축물의 설계를 유도하고 있음
- 남북이 분단되어 휴전중인 매우 특수한 군사적 대치상황 및 테러 발생에 대한 대비책의 일환으로 행정안전부 정부청사 소산시설 설계지침 및 국방부 화생방 방호시설 설계·시공지침(2008)을 발표함
- 현재 국내 건축물의 방호기준은 1986년 미국 교범자료를 기초로 한 것으로 국방부에 한하여 방호시설관련 사업이 비공개로 진행되고 있기 때문에 일반 건축물 및 시설물에 대한 방호·방폭 설계 및 실제 적용에 있어서 많은 어려움이 발생함
- 국방산업에 있어서의 방호·방폭과 관련된 전통적인 설계방식은 구조물의 두께를 증가시킴으로써 안전성을 확보하는 것으로서, 일반 민간 시설물과 같이 건축구조물용 자재 및 부재두께의 제약을 받는 여건에는 직접적용이 힘들기 때문에, 이를 고려한 고성능의 (작은 부재 및 보강재료 두께에도 소요 성능을 발휘할 수 있는) 방호·방폭용 자재의 개발이 시급한 실정임

(2) 상위계획과의 부합성

(가) 상위 유관계획과의 부합성

- 주요 빌딩 건축물 및 다양한 민간·공공 사회기반시설물의 방호·방폭 성능의 향상을 통한 안전한 사회기반 구축을 비전으로 하고 있는 본 연구과제와 정부 상위계획과의 부합성을 확인함
- 2011년 4월 국가과학기술위원회에서는 건설·교통 분야에서 ‘친환경 건설 소재 및 핵심 설계·해석기술 개발’을 주요 이슈로 선정하였고, ‘도시화와 건축물의 재난재해에 안전한 설계기술 개발·적용을 위한 투자 강화’ 계획이 설정됨
 - 2011년 4월 국가과학기술위원회에서는 2012년 정부연구개발 투자방향(안)을 설정에서 건설·교통 분야에서는 ‘친환경 건설 소재 및 핵심 설계·해석기술 개발’과 ‘차세대 철도기술 개발’을 주요 이슈분야로 선정한 바 있음
 - 2011년도 4월 국가과학기술위원회는 정부연구개발 투자방향(안)에서는 ‘도시화와 건축물의 대형화로 인한 막대한 피해 규모를 고려하여 재난재해에 안전한 설계기술 개발·적용을 위한 투자 강화’ 계획이 설정되어 있음
- 한편, 2010년 12월 [과학기술기본계획(577전략), 2011년도 시행계획(안)]에서는 7대 R&D 분야를 선정, 이중 ‘국가주도기술 핵심역량 확보’가 포함되어 있으며, 해당 분야에서는 ‘국민생활환경 개선, 생명·재산 안전 확보 등 공익목적 달성과 첨단산업화가 동시에 가능한 첨단 건설·교통·물류 기술 개발’을 중점 추진분야로 선정

<p>2. 건설교통 분야</p> <p style="text-align: center;">《 투자 방향 개요 》</p> <p>◆ 온실가스 저감을 통한 녹색화 달성 및 핵심설계·해석기술 자립화, 미래 운송·물류 시스템 분야에 대한 선별적 투자 확대</p> <p>【투자역시점】 친환경 건설소재 및 핵심 설계·해석기술 개발</p> <p>□ 필요성</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 선진국 대비 약 90% 수준인 국내 건설사업의 시공기술은 선진국과 차이가 없으나, 설계·해석기술은 다소 부족(선진국 대비 약 70% 수준) ※ 세계 건설시장(06) : (한국) 시공분야 29%, 설계분야 16% (미국) 시공분야 17.1%, 설계분야 42.1% ○ 지구 온난화 대응 및 온실가스(CO₂) 저감을 위해 친환경 건설재료 개발에 대한 연구규모 확대 필요성 중대 추세 ※ 국내 건설·주력 분야가 국내 전체 CO₂ 배출량의 25% 차지 <p>□ 중점 투자방향</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대 교량/빌딩 건설을 위한 핵심설계 기법 및 해석기술 개발에 지속 투자 ○ 온실가스 저감을 위해 탄소저감형 고내구성 첨단 건설재료/신소재 개발에 선별적 투자 ○ 도시화와 건축물의 대형화로 인한 막대한 피복 규모를 고려하여 제단계획에 안전한 설계기술 개발·적용을 위한 투자 강화 <p>□ 효율화 방향</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기초연구와 후행 기술력 연계성이 큰 첨단 건설재료/소재개발은 대학·연구소를 중심으로 과제 수행 및 지원 ○ 선진국 연구기관과의 협동연구를 통해 원천 등 주요 시설의 내건 및 방진 기술 개발 검토
--

[정부연구개발 투자방향(안), 국과위, 2011. 4]

<p>4. 국가주도기술 핵심역량 확보 (2조 5,392억원)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 거대과학에 대한 지속투자를 통해 미래 산업·자원 확보 <ul style="list-style-type: none"> ※ 한국형발사체 개발, 우주핵심기술개발, 원자력기술개발(교과부), 다목적실용위성개발, 국제핵융합실험로 공동개발(교과부·지경부), 원자력발전기술개발(지경부) 등 ○ 국민생활환경 개선, 생명·재산 안전 확보 등 공익목적 달성과 첨단산업화가 동시에 가능한 첨단 건설·교통·물류 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> ※ 건설기술혁신사업, 교통체계효율화사업, 미래도시철도기술개발, 미래철도기술개발사업, 첨단도시개발사업(국토부) 등 ○ 미래 해양·극지 활용을 위한 해양·극지 과학기술 역량 강화 <ul style="list-style-type: none"> ※ 해양극지기초원천기술개발(56억원)(교과부), 대형해양과학조사선건조, 해양과학조사 및 예보기술개발, 해양에너지 및 자원이용 기술개발, 해양환경기술개발(국토부) 등 ○ 자주국방 역량강화와 국제경쟁력 있는 첨단무기체계 개발 및 수출기반 구축을 위한 국방과학기술 확보 <ul style="list-style-type: none"> ※ 국방연구개발(방사청)
--

[(577전략) 2011년도 시행계획(안), 2010. 12]

(3) 사업추진의지와 관련 기관 협조체계

(가) 정책적 추진의지 분석

- 일반 건축물 및 주요 빌딩 뿐 만 아니라, 도로, 교량, 터널, 댐 등의 사회기반시설물의 계획, 시공 및 유지관리 담당 주체는 국토해양부임
- 해당 시설물에 대한 안전성 관련 설계 가이드라인의 제시 또한 국토해양부 소관으로서, 시설물의 방호·방폭 기능 강화를 목표로 하는 본 연구는 국토해양부의 주도적 개발 및 지원은 필수임
- 석유·가스·화학플랜트 및 시설물을 제외한 사회기반 시설물 및 일반 건축물의 방호·방폭 기능 부여는 국가정책이 뒷받침 되지 않고서는 실제 시장에서 적용되기에 어려움이 있는 산업분야로써, 국토해양부와의 긴밀한 업무협조 하에 연구가 수행되어야 할 필요성이 있음

(4) 사업추진상의 위험요인과 대응방안

(가) 재원조달 가능성

- 국토해양부의 예산은 '08년부터 지속적으로 증가하여 '11년 R&D예산은 '10년 대비 6.0% 증가한 6,095억 원임

표 34 국토해양부 R&D 예산('10~'11)

(단위: 억 원)

구분	08예산	09예산	10예산	11예산안	증감	
					금액	비율(%)
국토해양부	4,733	5,468	5,750	6,095	345	6.0

* 출처 : 과학기술기본계획 2009년~2011년 시행계획

- 국토해양부의 7대 R&D 분야 중 국가주도기술 핵심역량 확보의 예산은 2008년부터 지속적으로 증가하여 2010년 대비 12.7% 증가하여 '11년도 예산(안)은 6,663억 원임

표 35 7대 R&D 분야별 시행계획 예산('10~'11)

(단위: 백만 원)

7대 R&D 분야	08예산	09예산안	10예산	11예산안	증 감	
					금액	비율(%)
주력기간산업 기술 고도화 (자동차·조선, 기계·제조공정, 반도체 등)	508,351	348,995	363,236	427,413	64,177	17.7
신산업창출을 위한 핵심기술개발 강화 (차세대시스템 S/W, 암 진단·치료 등)	450,931	919,646	997,075	1,161,693	164,618	16.5
지식기반서비스 산업 기술개발 확대 (융합형 콘텐츠, 첨단물류 등)	90,732	224,214	167,719	176,058	8,339	5.0
국가주도기술 핵심역량 확보 (우주 항공, 원자력, 국방, 첨단 건설 등)	1,909,104	2,195,036	2,343,861	2,539,238	195,377	8.3
현안관련 특정분야 연구개발 강화 (인수공통전염병, 부품·소재 등)	739,579	825,376	946,567	1,058,866	112,299	11.9
글로벌 이슈관련 연구개발 추진 (신재생에너지, 기후변화 예측·적응 등)	861,477	910,345	770,453	940,120	169,667	22.0
기초·기반·융합기술 개발 활성화 (바이오칩·센서, 지능형 로봇 등)	166,959	305,966	326,026	360,058	34,032	10.4
총 합 계	4,727,133	5,729,578	5,914,937	6,663,446	748,509	12.7

* 출처 : 과학기술기본계획 2009년~2011년 시행계획

- “국가주도기술 핵심역량 확보”는 민간이 투자하기에는 규모가 크고 위험부담이 높고 공익목적 달성과 첨단산업화가 가능한 분야로서, 조립식 도로포장 시스템과 연관성이 높은 분야이며 지속적으로 예산이 증가하고 있어서 본 연구를 시작하기 위한 예산 확보에는 어려움이 없을 것으로 판단됨

(나) 법·제도적 위험요인

- 방호·방폭과 관련된 법/제도는 본 기획연구의 기술개발의 필요성이나 활용성을 보다 강화시키는 작용을 할 것이기 때문에 동 사업의 위험요인으로 작용하지는 않을 것으로 판단됨
 - 서울특별시 초고층 건축물 가이드라인 (2009. 8 제정) 대응

- 서울시는 2009년도부터 서울시내에 들어서는 50층 이상, 200m 이상의 초고층 건물에 대해서는 테러 대책을 세워야 건축이 가능하도록 함
- 초고층 건축물 가이드라인 제 16조 테러 예방 및 안전관리 계획에서 방호·방폭 관련 사항을 명시하고 있으며, 그 내용은 국토해양부 건축물 테러예방 가이드라인과 유사함
- 행정안전부 정부청사 소산시설 설계지침 대응
 - 행정안전부에서 관리하는 정부청사와 같은 소산시설의 설계에 있어서 방호·방폭 설계개념을 도입하고 있음(구조물 설계와 관련된 내용은 국가안보와 직결된 내용을 담고 있어 보안문제로 대외비 사항으로 관리되고 있음)
- 방부 화생방 방호시설 설계·시공지침 (2008. 12)
 - 국방부는 국방2020계획에 의한 부대 증·창설소요에 따라 새로이 설치될 화생방 방호시설에 대해 국방부 차원에서 공통으로 적용할 수 있는 화생방 방호시설의 설계·시공 지침을 제시하였음
 - 화생방 방호시설의 설계에 있어서 고려되는 하중은 포탄과 같은 재래식 무기에 의한 충격, 폭발과 핵폭탄 폭발에 의한 폭풍 등이 있으며, 이러한 다양한 충격하중에 대한 일반 콘크리트 적용 구조물의 설계 및 시공지침을 마련하고 있으며, 충격하중의 종류에 따라 최고 4.5m의 벽체두께를 제시하고 있음
- 원자력 발전소 구조물 항공기 충돌 안전성 평가 및 설계 반영 요구 (2009)
 - 미국의 911 테러발생 이후, 미연방법 10CFR50.150(CFR : Code of Federal Regulations)을 제정하여, 신규 원전구조물의 설계시 대형 민간항공기의 충돌시 원전구조물의 안전성을 입증하도록 함
 - 항공기 충돌과 관련된 사항은 미국 뿐 만 아니라 국내외 모든 원전구조물의 인허가 사항에 필수적으로 포함되고 있고, 벽체 두께의 증가 또는 이중 격납구조 등의 보강방식을 제시하고 있음

나. 기술적 타당성

(1) 기술개발 계획의 적절성

(가) 기획연구 목표와 내용의 적절성

① 사업목표의 구체성 분석

- 비전인 “주요 사회기반시설물과 건축물의 방호·방폭 기능 부여를 통한 안전한 사회기반 구축” 달성을 위한 총괄목표를 정성적/정량적으로 제시함
- 비전 달성을 위해 총괄목표는 “재료·소재 원천기술의 융·복합을 통한 고성능 방호·방폭용 재료·자재의 개발과 구조물에의 적용기술 개발을 통한 대상 구조물 방호·방폭 기능 확대”를 제시함
- 제시된 총괄목표 달성을 위해 3개의 세부과제와 세부과제별 목표를 정량적/정성적으로 제시함

- 총괄목표를 단계별/연차별로 구분하여 목표가 설정되어 있으며, 총괄목표를 달성하기 위해 적절하게 제시함
 - 총괄목표는 방호·방폭 재료 및 자재 개발과 구조물에 적용하는 것으로써 이를 위해 총괄목표를 2단계로 구분하여 1단계(3년)는 방호·방폭용 재료 및 자재 개발과 성능평가 기반을 마련하고 2단계(2년)에는 적용기술 개발과 설계 및 적용기준 개발을 단계별로 설정하여 총괄목표와 단계별 목표간의 인과관계를 적절하게 제시한 것으로 판단됨

- 총괄목표 설정 근거는 기술동향분석결과, 시장동향분석결과 등 환경분석결과가 목표 설정 근거 자료로 활용되어 적절한 것으로 판단됨
 - 기술동향분석결과 방호·방폭을 대비한 현재 재료 및 자재 등에 대한 현황 및 문제점을 파악하고 현재 기술수준과 요구되고 있는 기술적 수준을 분석하여 제시하고 있음
 - 기존의 방호·방폭 구조물은 철근콘크리트 부재 두께를 증가시켜 구조물의 기능을 확보하는 방식으로 건설되고 있기 때문에 적용상에 문제가 많았으며, 부재치수를 50% 절감하고 기능을 200% 이상 향상 또는 동등한 방호·방폭 기능을 향상하기 위한 고성능 방포 방폭·방호 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 재료를 개발에 대한 니즈가 있음
 - 기존 사회기반시설물의 방호·방폭 기능을 부여하기 위한 보강재 개발 및 두께 최소화를 위한 기술적/사회적 니즈가 있음
 - 국방시설물 및 민간 시설물의 방호·방폭에 대한 재난의 종류, 하중의 크기 등이 기본적으로 설정되어 있으나, 많은 변수를 고려하여야 할 필요성이 있으므로 본 사업 수행시 보다 정확한 기준을 정립할 필요성이 있음
 - 시장동향분석결과 방호·방폭 성능 향상을 통해 타 산업분야의 진출 및 적용 등에 대한 파급효과 분석을 수행함
 - 방호·방폭 구조물의 고성능 복합재료·자재 개발을 바탕으로 성능평가 및 검증을 통하여 신규 시장 진출에 여의치가 않는 국방 시설물의 활용 등 신규시장에 기여할 수 있음

- 중점추진분야 및 세부과제는 총괄목표를 달성하기 위해 적절하게 충분하게 도출하였으며, 세부과제의 연구목표 달성시 총괄목표 달성이 가능할 것으로 판단됨
 - 중점추진분야 및 세부과제는 국내외 기술동향 조사, 논문 및 특허분석, 기술수요조사를 통하여 후보과제 pool을 구성하고 방호·방폭 재료 및 자재 관련 국내 전문가의 기술예측조사, 기술수준조사, 기술 중요도 평가를 통하여 우선순위 평가를 실시하여 세부과제를 도출함
 - 사업목표와 요소기술 간의 관계, 요소기술 개발 순서는 기술예측조사, 기술수준조사, 기술중요도 평가결과와 관련 분야의 전문가 브레인스토밍을 통하여 과제의 세부과제의 개발 순서를 포함한 본 기획연구의 추진방법을 제시함
 - 총괄목표를 달성하는 데 필요한 세부과제 정의 및 범위, 요소기술을 명확하게 제시하였으며, 본 과제 수행시 세부과제별 추진방법 및 전략의 보완은 필요할 것으로 판단됨

- 중점과제를 구성하는 세부과제의 대표성과물을 측정할 수 있는 성과목표 및 성과지표의 경우, 설정 근거가 다소 부족함. 따라서 성과목표 및 성과지표를 보다 구체화 할 필요가 있음

② 사업 내용의 논리성 및 적절성

□ 사업 내용이 총괄목표를 달성하기 위해 구체적인 계획을 제시하였음

- 본 사업은 대형 충격 및 폭발시 국가 사회기반시설 및 건축물의 피해를 최소화하기 위해 시설물 및 건축물의 방호·방폭 성능 향상을 위해 재료 및 자재 개발과 이를 적용하기 위한 성능평가 및 인증 기술을 개발하는 것으로서 정의함
- 기술개발 범위를 건설재료 및 자재, 성능평가, 구조물의 적용으로 한정하여 추진함
 - 건설재료 및 자재는 기존의 구조부재 두께 증가 방식에서 탈피하여, 구조적 기능상의 최적화된 부재두께 만으로도 방호·방폭 요구성능을 만족할 수 있는 구조용 신재료 및 자재의 개발과 기존 구조물의 기능강화를 위한 보강자재의 개발로 한정함
 - 성능평가는 재료, 자재, 구조부재 각 단계별 내충격성능, 방폭성능 및 충격·폭발 발생 후의 내화성능에 대한 정략적, 정성적 시험평가 기법 개발로 제시함
 - 구조물의 적용을 위해 시설물 및 구조물 중요도별 등급 분류체계 구축, 대상 충격 및 폭발 하중별 방호·방폭 등급 체계화, 및 해석평가 및 설계기법의 구축 등을 통한 구조물 방호·방폭 성능부여 체계 구축을 제시함
- 국내외 동향조사결과를 바탕으로 중점분야별로 목표 및 주요내용을 제시함

(나) 사업추진전략의 적절성

① 사업추진 위험요소를 고려한 추진전략 및 추진체계의 적절성

□ 본 기획연구의 추진전략은 외부전문가 활용, 산·학·연 협력조직체 구성 및 활용, 기술 및 시장동향 파악을 통한 요구사항 도출 등을 기반으로 수립되어 적절성이 높은 것으로 판단됨

- 본 연구는 재료 및 자재 개발, 성능평가를 위해서는 방호·방폭 성능 향상을 위한 구조물의 등급 체계 및 부족한 연구인력 및 장비를 위해서는 산·학·연 협력체계 구축이 필요하여 이를 위한 추진전략을 구성함
 - 본 기획연구의 연구성과물의 수요자의 의견을 반영하기 위해 기업 및 대학과의 공동연구를 수행하였고 그 이외의 수요조사를 통하여 의견을 수렴함
 - 사회 기반시설물 선정 및 등급 설정을 위해 본 연구의 참여 연구기관, 국토해양부, 국방부 등으로 구성된 방호·방폭 구조물 등급 체계 제정위원회(WG)를 구성하고 국외 기준을 바탕으로 국내 구조물의 특성에 적합한 대상구조물 분류체계를 개발함
 - 관련 학회, 건설사를 중심으로 개발된 방호·방폭 구조물 등급 체계 적합성 검토위원회와 방호·방폭 성능평가 검토위원회를 구성하여 실효성 있는 등급 체계 구축을 구축함
 - 선행 유사연구 경험이 있는 국방과학연구소, 육사 화랑대 연구소 등의 실험시설 및 인프라를 활용하고 해당 기관의 전문가를 활용함으로써 고성능 섬유보강 복합재료 성능평가 기술 개발의 효율적 수행 기반 마련함
 - 섬유소재, 시멘트 복합재, 화학혼화제 회사와 주관기관 공동으로 구성재료의 개발과 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 원천기술 개발함
 - 기존 구조물의 방호·방폭 등급 설정에 따른 소요 성능을 주관연구기관과 설정하고 이를 바탕

으로 공동연구기관 중심으로 소재 및 자재를 개발함

- 자재 개발을 위해서는 민간 기업의 참여가 필수적이며 한정된 국내 건설용 FRP 제조 기업의 참여를 유도함
- 섬유와 접착제의 다양한 조합의 개발 범위를 효율적으로 진행하기 위해서는 정적 물성의 성능과 동적 물성의 성능에 대한 상관관계를 미리 설정하는 선행 연구를 연구기간 초기에 수행함
- 실증실험은 본 과업을 수행하는 연구기관이 독자적으로 확보하기는 불가능함에 따라 국방시설본부, 국방과학연구소의 연구 개발 협력 체계를 구축, 실증실험장의 협조체계를 구축함

② 성과 평가 및 관리체계의 적절성

□ 본 연구가 진행될 경우 기대되는 성과의 활용도와 활용계획을 제시함으로써, 기술의 전파에 긍정적 영향을 줄 수 있을 것으로 판단됨

- 중점추진분야별로 성과활용 방안을 구체적으로 제시하였음
 - 기술개발을 통한 성과 활용방안은 방호·방폭 구조물 등급 체계 기준 및 규격 활용, 설계 및 성능예측 활용, 공인평가 및 인증시스템 활용, 구조 부재 및 구조물 방호·방폭 내화 실증 평가 기준 활용으로 활용할 계획임
- 본 연구를 통해 개발된 기술의 시장진입전략을 기술적용 대상 시설물 설정, 개발기술수요처 등을 구체적으로 제시함
 - 개발된 기술의 기술적용 대상 시설물은 [국방부훈령 제 721호(2002. 12. 3) 및 제1057호(2009. 5. 25)] 상에 지정하는 “국가중요시설”을 기본 적용 대상 시설물로 설정하고, 본 과제를 수행하는 과정에서 등급을 구체화함
 - [건축법 시행령] 별표 1에 따른 문화 및 집회시설(동·식물원은 제외), 판매시설, 운수시설(공항시설은 제외한다), 의료시설 중 종합병원, 업무시설, 숙박시설 중 관광숙박시설로서 같은 건축물에 해당용도로 쓰이는 바닥면적의 합계가 2만제곱미터 이상인 건축물로 함
 - [건축법 시행령] 제2조 제15호에 따른 50층 이상 또는 건축물의 높이가 200m 이상인 초고층 건축물로 함
 - 기타 적용시설물과 상기 제시한 적용대상 시설물에 대한 등급의 구체화 등은 이 기획과제에서 모두 설정할 수 없으며, 구체적인 설정(안)은 본 과제를 진행하면서 구체화 및 부처 간 협의를 통하여 설정해야 할 것으로 판단됨
- 개발된 기술의 수요처는 기술 적용 대상기관, 기술 실시기관, 시험 평가기관으로 구분하여 제시함
 - 기술 적용 대상기관은 개발된 기술을 이용하여 방호·방폭용 구조물 시설을 설치하는 기관으로 국가 및 공공기관 시설을 비롯하여 적용대상 시설물을 관리하는 기관들과 건축법 시행령상의 개인 또는 법인의 건축물 소유자로 함
 - 기술 실시기관은 기술을 개발하는데 참여하는 연구기관 또는 개발 기술을 실시하는 기업으로 함
 - 시험평가기관은 기술개발에 참여하거나 개발된 시험평가 기술을 적용하여 방호·방폭용 재료 및 자재와 구조부재의 방호·방폭 성능을 평가하는 기관으로 국공립 시험기관, 공인시험기관(사립 법인)에서 이 연구과제를 통하여 생산된 시험법 및 시험규격과 추가 기존 시험규격을 적용하여 재료 및 자재의 방호방폭 성능을 시험 및 평가 함

(다) 기술개발로드맵의 우수성

① 연구개발계획의 완성도

- 기술개발로드맵은 중점추진분야목표와 세부과제 목표의 5차년도까지의 개발 일정을 수립하였음
 - 개발 타임스케줄에 한정된 로드맵이 아니라 세부과제별 구체적인 산출물을 제시하여 중점추진과제와 세부과제, 산출물 간의 선후관계 및 연관성을 도식화하였음
 - 각 세부과제별 로드맵은 연차별 연구개발 목표를 제시하여 연구가 수행된 후 연차별로 성과물을 예측할 수 있도록 구성되어 있음

(2) 기술수준 및 성공가능성

(가) 기술수준 및 역량분석

① 보유기술수준 및 기술개발의 기대수준

- 최고기술보유국 대비 국내 기술수준, 최고기술국, 국내기술수준의 경쟁력 평가 분석을 정성적/정량적으로 파악하여 세부과제별 기술개발방향 설정에 반영함
 - 기술수준분석은 관련 전문가를 대상으로 설문조사 형태로 세부과제별 최고기술보유국 대비 국내 기술수준, 최고기술국, 국내기술수준의 경쟁력 평가 분석을 수행함
 - 설문조사 대상자는 산학연 관련 분야 전문가를 대상으로 실시함
 - 기술수준조사 분석결과를 바탕으로 기술격차 해소를 위한 대응전략으로 기술개발전략을 수립함
 - 미래 방호·방폭 건설시장을 선도할 수 있는 기술개발 우선 추진

- 미래시장에서 요구하는 시급성과 중요도를 고려하여 우선 추진 과제 선정
- 최종 사용자의 요구를 만족시킬 수 있는 기술적 수준을 설정하여 추진
- 개발된 연구성과는 기준, 매뉴얼, 시제품등 실제 성과품으로 구현되도록 추진

- 기존 선행연구의 성과를 분석하여 중복성을 피하고 전문성 및 완성도를 강화

- 각 연구내용별 최적의 컨소시엄 및 인력구성방안 마련을 위해 필요 연구역량 분석, 전문가 자문 등을 실시
- 산학연 협동연구, 국제공동연구 등 역량강화 및 결집방안 마련
- 국방과학연구소 등 국방산업 분야와의 연계를 통해 기술교류 및 협력체계 구축을 추진

- 국내 연구인프라의 적극 활용 추진

- 분산공유인프라 및 기업연구소, 정부출연 연구기관에서 보유하고 있는 시험연구장비 인프라의 활용을 유도함으로써, 연구장비에 대한 중복투자 방지 및 기존 국책사업을 통해 구축된 인프라의 활용도를 높이는 방향으로 연구 추진

- 본 과제 수행시 기술격차 해소 방안, 특허회피 및 방어전략 대응방안에 대해 구체적으로 수립하는 것이 필요함

(나) 기술개발의 성공가능성

① 기술적 위험요인

- 본 기획연구의 기술적 위험요인 및 문제점을 사전 분석하고 이를 대응하기 위한 연구개발 추진 전략을 수립하여 기술개발 성공가능성을 높이고자 함
 - 미래 방호·방폭 건설시장을 선도할 수 있는 기술개발 우선 추진 전략을 수립
 - 미래시장에서 요구하는 시급성과 중요도를 고려하여 우선 추진 과제 선정
 - 최종 사용자의 요구를 만족시킬 수 있는 기술적 수준을 설정하여 추진
 - 개발된 연구성과는 기준, 매뉴얼, 시제품등 실제 성과품으로 구현되도록 추진
 - 기존 선행연구의 성과를 분석하여 중복성을 피하고 전문성 및 완성도를 강화를 위한 전략 수립
 - 각 연구내용별 최적의 컨소시엄 및 인력구성방안 마련을 위해 필요 연구역량 분석, 전문가 자문 등을 실시
 - 산학연 협동연구, 국제공동연구 등 역량강화 및 결집방안 마련
 - 국방과학연구소 등 국방산업 분야와의 연계를 통해 기술교류 및 협력체계 구축을 추진
 - 국내 연구인프라의 적극 활용 추진을 위한 전략 수립
 - 분산공유인프라 및 기업연구소, 정부출연 연구기관에서 보유하고 있는 시험연구장비 인프라의 활용을 유도함으로써, 연구장비에 대한 중복투자 방지 및 기존 국책사업을 통해 구축된 인프라의 활용도를 높이는 방향으로 연구 추진

② 기술개발 성공 가능성

- 본 기획연구의 시장진출을 위한 목표 대상물의 등급을 설정하여 목표 시장을 명확히 제시함
 - 국방부훈령 제 721호(2002. 12. 3) 및 제1057호(2009. 5. 25)] 상에 지정하는 “국가중요시설”을 기본 적용 대상 시설물로 설정하고, 본 과제를 수행하는 과정에서 등급을 구체화함
 - 국가 주요 공공기관시설, 원자력발전소, 전력시설, 교량 및 터널 교통시설, 공항, 항만 등의 방호방폭 성능향상을 목표시설물로 설정하여 기술개발 성공가능성을 높임
- 기술 개발의 경제적, 기술적, 사회적 측면의 파급효과 등을 구체적으로 제시함
 - 경제적 측면에서 초고층 빌딩 및 국방시설분야의 신규시장 창출 및 선도가 가능하며, 인적/물적 손실의 피해규모 최소화가 가능함
 - 기술적 측면에서 건설자재 및 소재 생산성 향상과 적용을 위한 설계기술 개발에 기여가 가능하며 다양한 구조물의 활용이 가능할 것으로 기대됨
 - 방호·방폭 성능 향상을 통하여 국민의 불안요소 저감 및 테러 대비책 강화 등 인적, 물적 피해의 최소화의 역할을 수행할 수 있을 것으로 예상됨

(3) 중복성 검토

(가) 기존 사업과의 중복성

- 기존 사업과의 중복성 회피를 위해 본 기획연구와 유사한 정부과제들을 조사, 검토하고 차별화 방안을 모색함
 - 본 연구에서 개발하고자 하는 대상기술은 방호·방폭용 재료 및 자재의 고성능화, 적용기술 개발 및 평가기술 개발로서, 기존 기술과는 다음과 같은 부분에서 차별성을 제시함
 - 기존 연구는 방호·방폭 구조물은 일반콘크리트의 구조부재의 치수(두께)를 증가시켜 요구성능을 충족시키는 방식으로 적용되는 경우가 대부분으로써 일반 건축물의 부재 치수를 늘리는데 한계가 있었으나, 본 연구에서는 부재 치수의 증가 없이 방호·방폭 성능을 향상시킬 수 있는 섬유보강 시멘트 복합재료 개발을 하는 것으로써 차별성이 있음
 - 기존 구조물 및 시설물의 방호·방폭 기능 향상이 필요할 경우, 기존 구조물의 추가적인 공간을 필요로 하지 않으며, 요구성능을 만족할 수 있는 공간절약형 방호·방폭용 재료 및 자재의 개발 및 적용기술을 개발함
 - 현재까지 재료, 자재 및 구조물별 명확한 성능평가 기법이 제시되지 못하고 있으므로, 방호·방폭 성능을 평가할 수 있는 기준 및 표준화된 장비를 개발, 성능 평가 및 인증이 가능함

다. 경제적 타당성

(1) 경제성 분석

(가) 비용편익 분석

- 분석방법 : 비용/편익 분석(Benefit/Cost Analysis)
 - B/C ratio는 분석 대상에 비용규모 대비 혜택규모의 비율로 1보다 높으면 경제성이 높은 것으로 판단할 수 있음
- 분석대상
 - 방호방폭 기획 연구의 목표 대상 구조물 시장에 대해 비용/혜택 분석 결과를 도출함
- 편익범위
 - 본 기획연구의 기술개발에 의한 편익은 미래 시장규모 추정이 가능한 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 증대이므로 시장접근법을 사용함
 - 본 연구단의 연구기간을 2013년~2017년으로 가정하고, 실용화 기간을 3~4년으로 볼 때 본 연구단의 결과물이 시장에 반영되는 시기는 2020년 이후라 볼 수 있음
 - 각 세부과제별로 2020년~2029년(10년간) 시장을 예측하여 반영하였음

□ 비용의 설정

- 각 세부과제의 향후 5년간 예산(안)으로 정부출연금과 민간참여금의 합한 금액으로 산정함

□ Benefit 산출을 위한 요소

- R&D에 의한 부가가치의 증대를 환산하기 위하여, 추가창출시장규모, 부가가치비중, 시장점유율, 기술기여도, 기술개발성공률, R&D기여도, 할인율 고려함

$$\text{Benefit} = (\text{국내시장규모} \times \text{시장점유율} \times \text{기술성공률} \times \text{기술기여도}) \times (\text{부가가치비중} \times \text{R\&D기여도})$$

(연구개발사업 추진으로 인한 추가창출 생산액 기댓값) (부가가치창출비용)

- 추가창출시장규모 : 기술개발과제 추진을 통한 연구결과물이 파급되는 산업의 시장 규모
 - 시장 점유율 : 해당 산업의 관련 국내 시장에서의 점유비율
 - 기술개발성공률 : 2010년 산업기술연구회 등에 대한 국정감사 결과에 의하면 정부 연구개발(R&D)성과의 사업화 성공률이 30% 수준으로 조사되었으며, 이를 준용하여 적용함
 - 부가가치 비중 : 부가가치 비중은 한국은행의 2009년 산업연관표를 기준으로 건설업종의 40.1%를 적용함
 - R&D 기여도 : 본 연구 과제를 통해 달성된 기술 개선 비중³⁾
 - 기술기여도 : 제품/공법에서 기술이 차지하는 비중⁴⁾
 - 할인율 : 할인율은 10년만기 국고채금리인 4.3%와 KDI 일반지침(2007년) 상의 5.5% 중 KDI 일반지침(2007년) 5.5%를 적용함

(나) 경제성 분석 결과

□ 세부과제 별로 적용 시장을 구분하여 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 산정하고, 이를 취합하여 연구단 전체 B/C ratio를 산정함

□ 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치와 R&D 예산을 고려한, 본 기획연구의 경제성 분석 결과는 B/C ratio가 1.10로 나타나, 본 사업의 경제성 측면에서 긍정적으로 판단됨

- 연도별 시장재화에 대한 추가 창출 부가가치 및 R&D 예산을 고려한 금액 및 B/C ratio 산출식의 산정 결과는 다음과 같음

- 편익 = 시장규모의 현재가치(11,771억원) × 시장점유율 × 기술개발성공률(30%) × 부가가치 비중(40.1%) × R&D기여도(10.9%) × 기술기여도(25%)
- 비용(361억원) = 연도별 소요 예산의 현재가치
- 편익/비용 = 1.10

3) KISTEP에서 작성된 “09 R&D분야 예비타당성 조사 수행을 위한 지침연구”의 R&D사업의 효과분석 사례에서는 R&D기여도를 10.9% 혹은 30.6%로 적용하였음. 본 분석에서는 10.9% 적용함

4) 기술가치 평가과정에서 기술기여도 적용방법은 전문가의 주관적 판단에 의하거나 관행적으로 적용하는 방법이 있음. 전문가 판단법의 일종인 AHP를 적용하여 기술기여도를 산정한 이영찬(2006)의 연구에서는 사업가치 구성요소를 기술자산, 시장자산, 인적자산으로 구분하고 이중 기술자산의 상대적 중요도(기술기여도)를 29.7%로 산출한바 있음. 기술기여도를 일률적으로 적용하는 방법은 일반적으로 33%나 25%를 적용함. 본 분석에서는 25%적용함

구분	Benefit (단위: 백만 원)		
	국내		
연도	시장전망	시장점유율	Market Penetration
2020	1,425,745	25%	336,121
2021	1,497,032	28%	414,980
2022	1,571,883	32%	500,885
2023	1,650,477	36%	594,343
2024	1,733,001	39%	668,956
2025	1,819,651	41%	749,546
2026	1,910,634	44%	836,521
2027	2,006,166	44%	878,347
2028	2,106,474	48%	1,018,622
2029	2,211,798	54%	1,183,864
NPV			11,771

(2) 파급효과

(가) 경제적 측면

- 경제적 측면에서 초고층 빌딩 및 국방시설분야의 신규시장 창출 및 선도가 가능하며, 인적/물적 손실의 피해규모 최소화가 가능함
 - 대상구조물을 주요 공공시설, 주요 빌딩 (초고층 포함), 대형 상업시설 및 사회기반시설물로 하고 있으며, 신규 구조물에의 적용뿐 아니라, 기존 구조물에의 방호·방폭 기능 보강이라는 신규시장을 선도할 경우 그 경제적, 산업규모는 1조원 이상으로 예상되고, 미국 및 유럽 등의 선진기술 도입으로 인한 지출을 저감하며, 해당기술 수출에 따른 추가적인 수익창출이 기대됨
 - 최근 초고층건물 및 원전구조물 안전 의식 증가 등으로 내충격 및 방폭에 필요한 국내 전체 시장규모는 향후 5년간 약 3조원 이상의 수준으로 예측되고, 이 중에서 건설과 관련된 방호용 자재 및 제품의 시장규모는 약 5,000억원 규모로 예측됨. 국내시장예측은 향후 국내건축물 시장을 중심으로 분석한 것으로서 공중별 비중을 감안하여 현실성 있는 예측을 수반하고 있음
 - 국방시설 분야에서 방호구조물 고도화 기술개발투자는 미흡한 상태이며 2012년 정부예산을 기준으로 볼 때 전체 국방예산은 약 33조 규모로써, 방호시설의 개선 및 유지관리비는 약 1% 정도에 해당하고, 이 중에서 고성능 섬유보강 복합재료로 방호·방폭 구조물 시장의 약 50% 점유가 가능하다면 연간 약1,650억원 규모의 국방 관련 방호·방폭 시장 진출이 가능함. 특히 본 연구개발이 완성되면 국방분야의 방호구조물 개념 재정립을 위한 기술적 근거를 제공하여 국방 방호구조물의 고도화 투자를 유도할 것으로 예측됨
 - 개발된 방호·방폭 건설자재의 적용에 따른 대형 충돌 및 폭발에 의한 재난 및 피해상황 발생시에 예상되는 막대한 인적, 물적 손실의 피해규모를 최소화 할 수 있기 때문에 일반적인 관점에서 산출할 수 없는 매우 큰 경제적 효과를 기대할 수 있음

(나) 기술적 측면

- 기술적 측면에서 건설자재 및 소재 생산성 향상과 적용을 위한 설계기술 개발에 기여가 가능하며 다양한 구조물의 활용이 가능할 것으로 기대됨
 - 본 연구개발을 통해 공유되지 않고 있는 방호·방폭 관련 기술의 국제적 경쟁력의 확보에 따른 국내 건설자재 및 소재산업 생산기술의 제고
 - 주요 사회기반시설물의 방호·방폭 설계 및 평가 시, 본 연구에서 개발된 자재를 적용 및 활용함으로써 새로운 설계기술 개발에 기여할 수 있음
 - 고성능 복합재료는 방호·방폭 분야에 국한되지 않고, 다양한 형식의 고성능 구조부재료의 활용이 가능하기 때문에 그 기술적 파급효과가 매우 클 것으로 기대됨
 - 방호·방폭 자재 성능평가 분야는 민간 및 건설산업에서 매우 낙후된 기술분야로써, 본 연구의 성과로부터 정립된 성능평가 기술은 향후, 일반 주요 사회기반시설물 및 건축물에 대한 방호·방폭 설계기준 및 규준의 제정, 정비시에 주요한 평가기준으로 적용 및 활용되어질 수 있음

(다) 사회적 측면

- 방호·방폭 성능 향상을 통하여 국민의 불안요소 저감 및 테러 대비책 강화 등 인적, 물적 피해의 최소화의 역할을 수행할 수 있을 것으로 예상됨
 - 최근 들어 다양하게 추진 중인 초고층 빌딩, 대형 상업시설 및 주요 사회기반시설물의 경우, 방호·방폭과 관련된 보강된 대비책을 강구하는데에 적용 및 활용되어질 수 있으며, 이에 따른 대국민 불안요소를 저감시키는데에 기여할 수 있음
 - 개발된 방호·방폭 건설자재의 적용으로 대형 사고의 발생 가능성을 감소시킴과 동시에 주요 민간 및 사회간접자본 시설물에 대한 대테러 대비책 강화의 일환으로 사용될 수 있음
 - 주요 사회기반시설물 및 건축물의 충분한 방호·방폭 기능을 부여함과 동시에 사고 발생시에 발생할 수 있는 2차적 피해(화재 등)를 감소시킴으로써, 이에 발생할 수 있는 인적, 물적 피해의 최소화를 통한 사회기반 보전기능의 역할을 수행할 수 있음

(3) 예산 적정성 분석

- 유사사업 등과의 비교 등을 활용한 정부연구개발 투자비 규모의 적정성, 세부 사업/과제별 사업비의 적정성을 분석하였음
 - 국토해양부에서 수행한 유사사업의 연구비를 비교분석한 결과 연구기간 대비 사업비 규모는 기존의 유사한 연구단과의 연구 규모 등을 고려한다면 사업비 규모는 적정한 것으로 판단됨
 - 연구의 성공은 예산 지원 정도에 따라 결정될 수 있기 때문에 과제지원기관의 적극적인 예산 지원은 매우 중요할 것임

구분	연구비	연구기간	세부과제수	세세부과제수	연구내용
친환경 도로	173억 원	5년	2	11개	환경친화적 도로포장 및 저소음 포장공법 개발
탄소저감형 건설재료 기술개발 연구단	182억 원	5년	3	10개	건설재료 CO2 저감 기술

라. 사전타당성 검토 결과

- 남북 분단으로 인한 특수한 군사적 대치 상황과 연평도 포격사건 등으로 인하여 인명 및 재산피해가 발생하고 있으며, 일반 대중 및 군사시설 이외의 중요시설물을 대상으로 한 테러 가능성이 증대되고 있으나, 사회 기간 시설물 및 건축물에 대한 명확한 방호·방폭 대책 마련이 미흡한 실정임
- 이러한 사유로 중앙정부 부처 및 지방자치단체에서는 주요 사회 기간 시설물 및 건축물에 대한 방호·방폭 안전성 확보를 위한 정책 계획을 수립하고 있으나, 해당 정책을 현실화 할 수 있는 제반 적용기술의 확보가 시급함
- 특히, 국방 시설물 분야와 같이 방호·방폭 기능 부여를 위하여 구조물의 두께를 증가시키는 방식은 일반 민간 시설물과 같이 건축구조물용 자재 및 부재 두께의 제약을 받는 여건에서는 직접 적용이 힘들기 때문에, 이를 고려한 고성능의 방호·방폭용 재료 및 자재의 개발이 필수적이라 할 수 있음
- 또한, 방호·방폭 분야는 시설물 및 건축물 공사비의 증가가 필수적으로 수반되기 때문에 경제성 논리보다는 안전한 사회기반 구축이라는 국가적 차원에서의 정책지원 하에 수행되어야 할 필요성이 있음
- 최근 초고층건물 및 원전구조물 안전 의식 증가 등으로 내충격 및 방폭에 필요한 국내 전체 시장규모는 향후 5년간 약 3조원 이상의 수준으로 예측되고 있으며, 이 중에서 건설과 관련된 방호용 자재 및 제품의 시장규모는 약 5,000억원 규모로 예측되고 있으며, 해당 연구의 결과물이 시장에 반영되는 시기인 2020년 이후에는 연간 1조원~2조원 정도의 시장이 형성되리라 예측됨
- 이에, 해당 연구의 성공적 수행이 이루어질 경우, 직접적으로는 방호·방폭 기능의 강화에 따른 인적/물적 손실의 피해규모 최소화 뿐 만 아니라 대국민 불안요소의 저감기여 및 미국, 유럽 등의 선진기술 도입으로 인한 지출을 저감하며, 해당기술 수출에 따른 추가적인 수익창출이 기대됨
- 또한, 기술적인 측면에서는 국제적으로 공유되지 않고 있는 방호·방폭 관련 기술의 국제적 경쟁력의 확보에 따른 국내 건설자재 및 소재산업 생산기술의 제고 및 방호·방폭 성능평가 기술의 정립에 따른 향후 일반 주요 사회기반시설물 및 건축물에 대한 방호·방폭 설계기준 및 규준의 제정, 정비 시 주요한 평가기준으로 적용 및 활용되어질 수 있으리라 기대됨

7. 인력투입계획 및 소요예산 산정

가. 연구일정에 따른 인력투입계획

- 최소 연구단위인 세부기술과제를 수행하는데 소요되는 적정 투입인력을 산정하고, 이를 토대로 세부과제의 투입인력을 산정하여 총 소요인력 규모를 확정함

(1) 전체사업 인력투입계획

(가) 연차별 투입 연구인력

(단위 : 명)

분 류		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
총 괄		18.7	20.9	27.1	30.6	29.1	126.4
1세부	1세세부	3.2	4.8	6.4	6.8	7.2	28.4
	2세세부	3.6	3.6	2.8	2.8	2.8	15.6
	3세세부	-	-	4.0	5.0	5.5	14.5
	계	6.8	8.4	13.2	14.6	15.5	58.5
2세부	1세세부	4.5	4.5	3.3	4.5	4.5	21.3
	계	4.5	4.5	3.3	4.5	4.5	21.3
3세부	1세세부	4.4	3.2	2.8	-	-	10.4
	2세세부	3.0	4.8	4.2	5.1	2.7	19.8
	3세세부	-	-	3.6	6.4	6.4	16.4
	계	7.4	8	10.6	11.5	9.1	46.6

(나) 상세 투입연구인력

① 총괄 투입연구인력

분 류	총 개발인력(명)						비 고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
책임연구원	3.4	3.7	5.6	5.2	4.9	22.8	
연구원	5.3	5.5	7.4	8.6	7.7	34.5	
연구보조원	5	6.4	8	8.7	8.1	36.2	
보 조 원	5	5.3	6.1	8.1	8.4	32.9	
합 계	18.7	20.9	27.1	30.6	29.1	126.4	

② 1세부 투입연구인력

분 류		총 개발인력(명)						비 고
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계	
계	책임연구원	0.8	0.8	2.2	2.2	2.2	8.2	
	연구원	2.0	2.0	3.4	4.3	4.3	16.0	
	연구보조원	2.0	2.8	4.2	4.7	4.7	18.4	
	보 조 원	2.0	2.8	3.4	3.4	4.3	15.9	
	합 계	6.8	8.4	13.2	14.6	15.5	58.5	
1세세부	책임연구원	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	3.2	
	연구원	1.2	1.2	1.6	2.0	2.0	8.0	
	연구보조원	0.8	1.6	2.4	2.4	2.4	9.6	
	보 조 원	0.8	1.6	1.6	1.6	2.0	7.6	
	합 계	3.2	4.8	6.4	6.8	7.2	28.4	
2세세부	책임연구원	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	2.0	
	연구원	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	4.0	
	연구보조원	1.2	1.2	0.8	0.8	0.8	4.8	
	보 조 원	1.2	1.2	0.8	0.8	0.8	4.8	
	합 계	3.6	3.6	2.8	2.8	2.8	15.6	
3세세부	책임연구원	-	-	1.0	1.0	1.0	3.0	
	연구원	-	-	1.0	1.5	1.5	4.0	
	연구보조원	-	-	1.0	1.5	1.5	4.0	
	보 조 원	-	-	1.0	1.0	1.5	3.5	
	합 계	-	-	4.0	5.0	5.5	14.5	

③ 2세부 투입연구인력

분 류		총 개발인력(명)					비 고	
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		계
계	책임연구원	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	4.5	
	연구원	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	6	
	연구보조원	1.2	1.2	0.6	1.2	1.2	5.4	
	보 조 원	1.2	1.2	0.6	1.2	1.2	5.4	
	합 계	4.5	4.5	3.3	4.5	4.5	21.3	
1세세부	책임연구원	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	4.5	
	연구원	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	6	
	연구보조원	1.2	1.2	0.6	1.2	1.2	5.4	
	보 조 원	1.2	1.2	0.6	1.2	1.2	5.4	
	합 계	4.5	4.5	3.3	4.5	4.5	21.3	

④ 3세부 투입연구인력

분 류		총 개발인력(명)					비 고	
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		계
계	책임연구원	1.7	2.0	2.5	2.1	1.8	10.1	
	연구원	2.1	2.3	2.8	3.1	2.2	12.5	
	연구보조원	1.8	2.4	3.2	2.8	2.2	12.4	
	보 조 원	1.8	1.3	2.1	3.5	2.9	11.6	
	합 계	7.4	8.0	10.6	11.5	9.1	46.6	
1세세부	책임연구원	0.8	0.8	0.8	-	-	2.4	
	연구원	1.2	0.8	0.8	-	-	2.8	
	연구보조원	1.2	1.2	0.8	-	-	3.2	
	보 조 원	1.2	0.4	0.4	-	-	2.0	
	합 계	4.4	3.2	2.8	-	-	10.4	
2세세부	책임연구원	0.9	1.2	0.9	0.9	0.6	4.5	
	연구원	0.9	1.5	1.2	1.5	0.6	5.7	
	연구보조원	0.6	1.2	1.2	1.2	0.6	4.8	
	보 조 원	0.6	0.9	0.9	1.5	0.9	4.8	
	합 계	3.0	4.8	4.2	5.1	2.7	19.8	
3세세부	책임연구원	-	-	0.8	1.2	1.2	3.2	
	연구원	-	-	0.8	1.6	1.6	4.0	
	연구보조원	-	-	1.2	1.6	1.6	4.4	
	보 조 원	-	-	0.8	2.0	2.0	4.8	
	합 계	-	-	3.6	6.4	6.4	16.4	

나. 소요예산 산정

(1) 산정 개요

- 세부과제별 상향식(Bottom up) 방법으로 전체사업 소요예산 산출
- 최소 연구단위인 세부기술과제를 수행하는데 소요되는 적정 연구비를 산정하고, 이를 토대로 세부과제의 투입 연구비를 산정하여 총 소요연구비 규모를 확정함
- 항목별 예산산정을 위하여 ‘국토해양부소관 연구개발사업 운영규정’에 포함되어 있는 ‘별표 2 연구개발비 비목별 계상기준’을 작성기준으로 활용
 - 인건비 기준은 2011년 학술연구용역 표준단가를 기준으로 하여 작성함

(2) 전체사업 소요예산

※ 뒷장에 계속

(가) 총괄 소요예산

(단위 : 천원)

분 류	1차년도		2차년도		3차년도		4차년도		5차년도(max)		합 계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
총괄	1,300,000	450,000	2,100,000	725,000	2,400,000	830,000	2,400,000	830,000	2,200,000	765,000	10,400,000	3,600,000
1세부	500,000	175,000	760,000	263,000	930,000	320,000	1,269,000	437,000	1,254,000	439,000	4,713,000	1,634,000
1-1세세부	300,000	105,000	510,000	177,000	470,000	164,000	549,000	189,000	549,000	192,000	2,378,000	827,000
1-2세세부	200,000	70,000	250,000	86,000	190,000	66,000	200,000	70,000	165,000	57,000	1,005,000	349,000
1-3세세부	-	-	-	-	270,000	90,000	520,000	178,000	540,000	190,000	1,330,000	458,000
2세부	270,000	95,000	440,000	150,000	350,000	120,000	300,000	105,000	276,000	96,000	1,636,000	566,000
2-1세세부	270,000	95,000	440,000	150,000	350,000	120,000	300,000	105,000	276,000	96,000	1,636,000	566,000
3세부	530,000	180,000	900,000	312,000	1,120,000	390,000	831,000	288,000	670,000	230,000	4,051,000	1,400,000
3-1세세부	290,000	100,000	240,000	84,000	185,000	65,000	-	-	-	-	715,000	249,000
3-2세세부	240,000	80,000	660,000	228,000	295,000	100,000	345,000	118,000	170,000	60,000	1,710,000	586,000
3-3세세부	-	-	-	-	640,000	225,000	486,000	170,000	500,000	170,000	1,626,000	565,000

(나) 예산 항목별 소요예산

(단위 : 천원)

예 산 항 목	세 부 항 목	구 분						소 계	비 율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
			인원× 참여율/ 100	인원× 참여율/ 100	인원× 참여율/ 100	인원× 참여율/ 100	인원× 참여율/ 100		
인 건 비	책임연구원	67,289	228,781	248,967	376,817	349,901	329,714	1,534,180	11%
	연구원	51,596	273,457	283,776	381,807	443,724	397,287	1,780,051	13%
	연구보조원	34,490	172,450	220,736	275,920	300,063	279,369	1,248,538	9%
	보조원	25,869	129,342	137,103	157,799	209,537	217,298	851,079	6%
소 계			804,030	890,582	1,192,343	1,303,225	1,223,668	5,413,848	39%
직 접 비	연구장비/재료비		301,690	1,010,700	1,023,500	861,500	757,600	3,669,300	26%
	연구활동비		192,000	275,000	238,000	267,000	245,300	1,067,000	8%
	연구수당		160,805	194,035	280,441	309,841	272,845	1,217,968	9%
소 계			654,495	1,479,735	1,541,941	1,438,341	1,275,745	6,390,258	46%
간 접 비			291,475	454,683	495,716	488,434	465,587	2,195,894	16%
합 계			1,750,000	2,825,000	3,230,000	3,230,000	2,965,000	14,000,000	100%

다. 세부과제별 소요예산

(1) 예산 산정방법

- 세부과제별 상향식(Bottom up) 방법으로 전체사업 소요예산 산출
- 최소 연구단위인 세부기술과제를 수행하는데 소요되는 적정 연구비를 산정하고, 이를 토대로 세부과제의 투입 연구비를 산정하여 총 소요연구비 규모를 확정함
- 항목별 예산산정을 위하여 '국토해양부소관 연구개발사업 운영규정'에 포함되어 있는 '별표 2 연구개발비 비목별 계상기준'을 작성기준으로 활용
 - 인건비 기준은 2011년 학술연구용역 표준단가를 기준으로 하여 작성함

(2) 중점추진분야별 소요예산

(가) 1세부 소요예산

① 1세부 총괄

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	단가 (연봉)	구분					소계	비율
			1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
			인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100		
인건비	책임 연구원	67,289	53,830	53,830	148,035	148,035	148,035	551,765	9%
	연구원	51,596	103,191	103,191	175,425	221,862	221,862	825,531	13%
	연구 보조원	34,490	68,980	96,572	144,858	162,103	162,103	634,616	10%
	보조원	25,869	51,737	72,432	87,954	87,954	111,236	411,313	6%
소계			277,738	326,025	556,272	619,954	643,236	2,423,225	38%
직접비	연구장비/재료비		149,300	351,400	254,500	526,100	490,300	1,771,600	28%
	연구활동비		80,000	110,000	120,000	152,000	149,000	611,000	10%
	연구수당		55,547	65,204	137,308	154,172	156,759	563,989	9%
소계			284,847	526,604	511,808	832,272	796,059	2,951,589	47%
간접비			112,415	170,371	181,920	253,774	253,705	972,186	15%
합계			675,000	1,023,000	1,250,000	1,706,000	1,693,000	6,347,000	100%

② 1-1세세부 : 방호·방폭 섬유보강 복합재료 개발

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차	2차	3차	4차	5차		
			년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100		
인건비	책임 연구원	67,289	26,915	26,915	53,831	53,831	53,831	215,323	7%
	연구원	51,596	61,915	61,915	82,553	103,192	103,192	412,767	13%
	연구 보조원	34,490	27,592	55,184	82,776	82,776	82,776	331,104	10%
	보조원	25,869	20,695	41,390	41,390	41,390	51,738	196,603	6%
소계			137,117	185,404	260,550	281,189	291,537	1,155,797	36%
직접비	연구장비/재료비		113,000	270,100	135,900	180,800	167,800	867,600	27%
	연구활동비		60,000	80,000	80,000	97,000	100,000	417,000	13%
	연구수당		27,423	37,080	78,165	86,420	86,420	315,507	10%
소계			200,423	387,180	294,065	364,220	354,220	1,600,107	50%
간접비			67,460	114,416	79,385	92,591	95,243	449,096	14%
합계			405,000	687,000	634,000	738,000	741,000	3,205,000	100%

※ 2차년도 연구장비 : 섬유보강 복합재료 전용 고밀도 믹서기 150,000천원 구매

③ 1-2세세부 : 방호·방폭 구조물 설계기법 개발

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차	2차	3차	4차	5차		
			년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100		
인건비	책임 연구원	67,289	26,915	26,915	26,915	26,915	26,915	134,575	10%
	연구원	51,596	41,276	41,276	41,276	41,276	41,276	206,380	15%
	연구 보조원	34,490	41,388	41,388	27,592	27,592	27,592	165,552	12%
	보조원	25,869	31,042	31,042	20,695	20,695	20,695	124,169	9%
소계			140,621	140,621	116,478	116,478	116,478	630,676	47%
직접비	연구장비/재료비		36,300	81,300	53,600	60,300	26,300	257,800	19%
	연구활동비		20,000	30,000	20,000	25,000	19,000	114,000	8%
	연구수당		28,124	28,124	23,295	23,295	23,295	126,133	9%
소계			84,424	139,424	96,895	108,595	68,595	497,933	37%
간접비			44,955	55,955	42,627	44,927	36,927	225,391	17%
합계			270,000	336,000	256,000	270,000	222,000	1,354,000	100%

※ 2차년도 연구장비 : 충돌 해석 전용 프로그램 2조, 40,000천원 구매

3차년도 연구장비 : 충돌 해석 전용 프로그램 추가모듈 2조, 20,000천원 구매

④ 1-3세세부 : 방호·방폭 구조물 실증 성능평가

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
			인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100		
인건비	책임 연구원	67,289	-	-	67,289	67,289	67,289	201,867	11%
	연구원	51,596	-	-	51,596	77,394	77,394	206,384	12%
	연구 보조원	34,490	-	-	34,490	51,735	51,735	137,960	8%
	보조원	25,869	-	-	25,869	25,869	38,803	90,541	5%
	소계		-	-	179,244	222,287	235,221	636,752	36%
직접비	연구장비/재료비		-	-	65,000	285,000	296,200	646,200	36%
	연구활동비		-	-	20,000	30,000	30,000	80,000	4%
	연구수당		-	-	35,848	44,457	47,044	127,349	7%
소계		-	-	120,848	359,457	373,244	853,549	48%	
간접비		-	-	59,908	116,256	121,535	297,699	17%	
합계		-	-	360,000	698,000	730,000	1,788,000	100%	

(나) 2세부

① 2세부 총괄

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
			인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100		
인건비	책임 연구원	67,289	60,560	60,560	60,560	60,560	60,560	302,800	14%
	연구원	51,596	61,915	61,915	61,915	61,915	61,915	309,575	14%
	연구 보조원	34,490	41,388	41,388	20,694	41,388	41,388	186,246	8%
	보조원	25,869	31,042	31,042	15,521	31,042	31,042	139,689	6%
	소계		194,905	194,905	158,690	194,905	194,905	938,310	43%
직접비	연구장비/재료비		42,290	207,800	171,300	73,700	48,200	590,000	27%
	연구활동비		28,000	50,000	30,000	30,000	28,000	114,000	5%
	연구수당		38,981	38,981	31,738	38,981	38,981	187,662	9%
소계		109,271	296,781	233,038	142,681	115,181	896,952	41%	
간접비		60,824	98,314	78,272	67,414	61,914	366,738	17%	
합계		365,000	590,000	470,000	405,000	372,000	2,202,000	100%	

② 2-1세세부 : 기존 구조물 보강용 고성능 복합재료 개발

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차 년도	2차 년도	3차 년도	4차 년도	5차 년도		
			인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100		
인건비	책임 연구원	67,289	60,560	60,560	60,560	60,560	60,560	302,800	14%
	연구원	51,596	61,915	61,915	61,915	61,915	61,915	309,575	14%
	연구 보조원	34,490	41,388	41,388	20,694	41,388	41,388	186,246	8%
	보조원	25,869	31,042	31,042	15,521	31,042	31,042	139,689	6%
소계			194,905	194,905	158,690	194,905	194,905	938,310	43%
직접비	연구장비/재료비		42,290	207,800	171,300	73,700	48,200	590,000	27%
	연구활동비		28,000	50,000	30,000	30,000	28,000	114,000	5%
	연구수당		38,981	38,981	31,738	38,981	38,981	187,662	9%
소계			109,271	296,781	233,038	142,681	115,181	896,952	41%
간접비			60,824	98,314	78,272	67,414	61,914	366,738	17%
합계			365,000	590,000	470,000	405,000	372,000	2,202,000	100%

※ 2차년도 시작품 제작비 : 뿔칠장비, FRP 가공장비, 패널제작 거푸집 등 3조, 90,000 천원 구매

3차년도 시작품 제작비 : 뿔칠장비, FRP 가공장비, 패널제작 거푸집 등 개선시제품 3조, 120,000천원 구매

(다) 3세부

① 3세부 총괄

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차	2차	3차	4차	5차		
			년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100		
인건비	책임 연구원	67,289	114,391	134,577	168,222	141,306	121,119	679,615	12%
	연구원	51,596	108,351	118,670	144,467	159,947	113,510	644,945	12%
	연구 보조원	34,490	62,082	82,776	110,368	96,572	75,878	427,676	8%
	보조원	25,869	46,563	33,629	54,324	90,541	75,020	300,077	6%
소계			331,387	369,652	477,381	488,366	385,527	2,052,313	38%
직접비	연구장비/재료비		110,100	451,500	597,700	261,700	219,100	1,307,700	24%
	연구활동비		84,000	115,000	88,000	85,000	68,300	342,000	6%
	연구수당		66,277	89,850	111,396	116,688	77,105	461,317	8%
소계			260,377	656,350	797,096	463,388	364,505	2,541,717	47%
간접비			118,236	185,998	235,523	167,246	149,968	856,970	16%
합계			710,000	1,212,000	1,510,000	1,119,000	900,000	5,451,000	100%

② 3-1세세부 : 방호·방폭 등급체계구축

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차	2차	3차	4차	5차		
			년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100	년도 인원× 참여율 /100		
인건비	책임 연구원	67,289	53,831	53,831	53,831	-	-	161,493	17%
	연구원	51,596	61,915	41,276	41,276	-	-	144,467	15%
	연구 보조원	34,490	41,388	41,388	27,592	-	-	110,368	11%
	보조원	25,869	31,042	10,347	10,347	-	-	51,736	5%
소계			188,176	146,842	133,046	-	-	468,064	49%
직접비	연구장비/재료비		53,200	48,800	25,700	-	-	127,700	13%
	연구활동비		46,000	45,000	23,000	-	-	114,000	12%
	연구수당		37,635	29,368	26,609	-	-	93,613	10%
소계			136,835	123,168	75,309	-	-	335,313	35%
간접비			64,989	53,990	41,645	-	-	160,623	17%
합계			390,000	324,000	250,000	-	-	964,000	100%

③ 3-2세세부 : 방호·방폭 동적 재료 물성 평가 및 재료모델 개발

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차	2차	3차	4차	5차		
			년도	년도	년도	년도	년도		
			인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100		
인건비	책임 연구원	67,289	60,560	80,746	60,560	60,560	40,373	302,799	13%
	연구원	51,596	46,436	77,394	61,915	77,394	30,957	294,096	13%
	연구 보조원	34,490	20,694	41,388	41,388	41,388	20,694	165,552	7%
	보조원	25,869	15,521	23,282	23,282	38,803	23,282	124,170	5%
	소계		143,211	222,810	187,145	218,145	115,306	886,617	39%
직접비	연구장비/재료비		56,900	402,700	69,700	79,200	30,000	590,000	26%
	연구활동비		38,000	70,000	35,000	45,000	23,300	114,000	5%
	연구수당		28,642	60,481	53,348	62,644	23,061	228,177	10%
	소계		123,542	533,181	158,048	186,844	76,361	1,077,977	47%
	간접비		53,247	132,009	49,807	58,011	38,333	331,406	14%
	합계		320,000	888,000	395,000	463,000	230,000	2,296,000	100%

※ 2차년도 연구장비 : SHPB 시험기 (직경 75mm), 300,000천원 구매

④ 3-3세세부 : 구조부재 및 구조시스템 방호·방폭 성능 평가

(단위 : 천원)

예산 항목	세부 항목	구분						소계	비율
		단가 (연봉)	1차	2차	3차	4차	5차		
			년도	년도	년도	년도	년도		
			인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100	인원× 참여율 /100		
인건비	책임 연구원	67,289	-	-	53,831	80,746	80,746	215,323	10%
	연구원	51,596	-	-	41,276	82,553	82,553	206,382	9%
	연구 보조원	34,490	-	-	41,388	55,184	55,184	151,756	7%
	보조원	25,869	-	-	20,695	51,738	51,738	124,171	6%
	소계		-	-	157,190	270,221	270,221	697,632	32%
직접비	연구장비/재료비		-	-	502,300	182,500	189,100	590,000	27%
	연구활동비		-	-	30,000	40,000	45,000	114,000	5%
	연구수당		-	-	31,438	54,044	54,044	139,526	6%
	소계		-	-	563,738	276,544	288,144	1,128,426	52%
	간접비		-	-	144,072	109,235	111,635	364,942	17%
	합계		-	-	865,000	656,000	670,000	2,191,000	100%

※ 3차년도 연구장비 : 구조부재 충격시험장비 (Gas gun 시험장치 등) 300,000천원 구매
4,5차년도 연구장비 : 계측 장비 구축비

8. 과제 제안요구서

가. 과제 제안요구서(RFP)

(1) 총괄 RFP

과제명	방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 기술 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭용 고성능 건설섬유 개발 ○ 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발 ○ 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합소재 개발 ○ 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 개발 ○ 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 물성 시험법 구축 ○ 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 성능평가 기법 개발 ○ 고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발 ○ 구조부재/시스템 방호·방폭 성능평가 기술 개발 ○ 구조물 단위 방폭 실증실험 및 평가 기술 개발 ○ 방호·방폭용 시설물 등급체계 구축
2. 연구개발 필요성 및 기술동향 <input type="checkbox"/> 연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 연평도 포격과 여수·안산 화학단지의 폭발사고 등으로 인해 국방시설물 이외 일반 국가중요시설의 사고 및 테러에 대한 안전성 확보에 대한 사회적 요구가 급증하고 있음. - 또한 산업시설의 확충과 플랜트 생산 용량의 고도화로 인해 폭발 사고 시 피해 예상액은 기하 급수적으로 증가함. 예를 들면 국내 석유화학 관련 산업은 생산량 및 수출시장의 증가가 대폭 이루어지고 있으며, 석유화학제품의 원료인 에틸렌 생산능력이 세계 5위에 달함. - 그러나, 이러한 국가중요시설의 효율적인 방호·방폭 시스템을 구성하는 재료 및 자재에 대한 물성평가 기술이 미비하며, 또한 이들 재료 및 자재로 제작된 방호·방폭 구조부재 및 구조물에 대한 실증 성능에 대한 평가기술은 전무함. - 국내에서는 국방부 훈령 제1057호(2009.5.25)에 국가중요시설을 지정하고 있음. 여기에는 공공기관시설, 산업시설, 전력시설, 정보통신시설, 교통시설, 공항, 항만, 수원시설, 과학연구시설 및 지하공동구 등을 국가중요시설 대상으로 설정하고 있음. - 이 훈령은 군을 중심으로 행정기관에서 방위작전을 수행하기 위한 분류일 뿐 충격이나 폭발 작용하중 중심으로 구성된 구조물의 방호·방폭 등급체계는 전혀 구성되어 있지 않은 실정임. - 국가중요시설에 대한 방호·방폭 체계를 구축하기 위해서는 시설물의 규모, 시설물의 활용도 및 시설물에 작용하는 충격·폭발 하중의 포함된 하

중의 크기와 시설물에 가해질 수 있는 외부 작용하중 등에 따라 등급체계를 분류할 필요가 있음.

- 한편, [건축법시행령] 제2조 제15호에 따르면 50층 이상 또는 200m 이상의 높이를 갖는 초고층 건축물은 테러 대책을 세워야 하며 이를 위해서 보안시스템을 설계상에 반영하도록 명기하고 있음
- 기존 구조물의 방호 개념은 콘크리트 두께를 늘리는 방식으로 구성되어 있으나 이 경우 구조물의 두께가 두꺼워져 구조물 고유의 기능성이 약화됨, 효과적인 방호·방폭 기술을 확보하기 위해서는 고성능 복합재료의 개발이 필수적이며 특히, 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 경우 국내 기술 기반이 비교적 우수하여 개발 가능성과 적용성이 높음.
- 각종 소재의 내충격 성능과 관련된 충격매체의 충격속도 및 충격하중에 대한 기준은 명확하지 않으며, 특히 국내의 경우 내충격 및 방폭성능에 대한 정량적 평가 관련 연구는 매우 미미한 수준
- 방호·방폭용 재료 및 자재의 정적 기본 물성을 시험·평가할 수 있는 시험장비 및 해석프로그램 등은 기존 재료역학 시험 및 분석 인프라를 활용할 수 있으나 동적 물성에 대한 인프라와 실제 실험자료 등은 매우 부족
- 이 연구개발을 통하여 전혀 체계화되어 있지 않은 시설물의 방호·방폭 등급 체계를 구축하고, 등급별로 요구성능을 도출하여 구조물의 활용성에 대한 저해 요소를 최소화하기 위해서는 고성능의 섬유보강 시멘트 복합재료와 자재의 개발이 절실히 요구되며, 개발된 재료와 자재의 성능평가 기술을 개발하여 향후 사고 및 테러로부터 국민의 생명과 재산을 보호할 수 있는 원천기술의 기술의 개발이 시급함.

○ 국외 환경 측면의 필요성

- 미국에서는 항공기를 이용한 충돌 및 폭발 (911 미국, 2001), 차량폭탄 테러 (오클라호마 연방청사 차량폭탄테러 등, 1995) 등 다양한 방식의 불특정 다수를 겨냥한 테러가 급증함에 따라, 민간시설물을 포함한 다양한 방호·방폭 대비책을 강구하고 있음.
- 유럽도 미국과 함께 국제 테러에 상당히 노출되어 있음. 이에 따라 유럽의 각국은 지하시설물과 일반 상업시설을 중심으로 방호·방폭 등급을 체계화하고 있음.
- 중동, 아프리카, 서아시아 및 동남아시아 등 회교권의 반 서방 테러가 점차 격화되고 이에 따라 미국을 비롯한 유럽은 방호·방폭용 구조부재 및 구조물의 건설과 보강에 많은 예산을 사용하고 있음.
- 국제적으로 사고의 규모가 대형화되고 테러에 동원되는 폭발력이 증가함에 따라 효과적인 방호·방호 재료/자재에 관심이 고조되고 있으며, 주로 섬유보강 시멘트 복합재가 가장 적용성이 높은 재료로 여겨짐.
- 미국과 유럽을 중심으로 방호용 구조재료로 섬유보강 시멘트 복합재료의 기술적 우위를 유지하는 전략에 대응하는 국내 연구개발 기반 마련이 필요함.
- 국외의 방호·방폭에 관련된 등급은 우리나라와 마찬가지로 주로 국방과 관련된 방호시설물에 대한 규정에 따라 등급을 설정하여 적용하고 있음.
- 미국의 경우 국방성(DoD)에서는 폭발하중에 대한 기준을 UFC에 수록하여 방호시설물의 등급기준을 제시하고 있음. 지금은 이 기준을 민간시설물에

- 적용할 수 있는 등급기준으로 변환하고 있으며 이 기준이 설정될 경우 주로 테러를 대상으로 방호시설물의 규격을 제시할 것으로 판단됨.
- 미국은 911 사건을 계기로 정부 중요 청사와 대규모 상업구역을 중심으로 출입구에 복합재료와 콘크리트 및 강재가 합성된 Barrier을 설치하거나 시설물 근무자의 인명 손상을 최소화하기 위해서 대피소(Sheter)를 설치하고 있으며, Shelter는 고성능 복합재료가 시험적으로 적용되고 있음.
- 미국방부 공병연구소에서는 실 구조부재 및 실 구조물을 대상으로 충격 및 폭발 실증실험에 의한 Macro 수준의 실험결과를 확보하고 있지만, 재료의 정적·동적 역학거동과의 상관관계를 규명하는 Micro 연구결과는 부족 아직 부족한 실정임.
- 유럽과 일본의 경우도 재료·자재 수준에서 동적 물성에 대한 연구개발 결과가 정확히 정립되어 있지 않으며, 각국에서 주로 발생하는 충격 및 폭발 하중을 기준 하중으로 가정하여 비 표준화된 시험방법으로 동적 물성을 시험평가 하고 있음.
- 방호·방폭을 위한 재료 및 자재에 대한 성능평가 기법은 세계적으로 아직 정확히 정립되어 있지 않음. 따라서 이 연구개발사업을 통하여 체계화된 성능평가 기법을 개발하게 되면 방호·방폭 재료 및 자재 개발과 활용 부분에서 국제 수준의 기술 확보를 위한 기반을 마련할 수 있음.

□ 기술동향

- 국내기술동향
 - 국방부에서는 ‘국방부 훈령 제1057호(2009.5.25.)’에 국가중요시설의 방호 등급을 체계화하였음. 그러나 이 훈령은 사고의 발생 이전에 대한 작전수행 규칙을 지정하기 위한 것으로서, 본 연구에서 수행하고자 하는 구조물의 방호·방폭 등급과는 구성에서 차이가 있음.
 - 1997년에 제정된 산업안전기준법에 따르면 산업시설물의 방폭 제어시설물의 설계를 위한 기준으로 미국의 방폭기준을 인용하여 ‘10 psi for 20ms’ 폭발압력에 견딜 수 있도록 방폭벽을 설계하도록 규정하고 있으나 일반시설물의 경우 충격이나 폭발하중에 대한 규정도 없는 실정임.
 - 국내 방호·방폭용 재료 및 자재와 관련된 연구는 극히 초보 단계이며 최근 RC구조체 또는 일반 강재의 충격물성에 대하여 연구를 시작하고 있으며, 방호·방폭용 첨단 재료에 대한 연구개발은 초보 단계를 벗어나지 못하고 있음
 - 한국건설기술연구원에서는 초고성능 섬유보강 시멘트 복합재료에 대한 원천 기술과 교량을 중심으로 한 활용기술은 상당한 수준에 있음. 또한 “ 항공기 충돌을 고려한 격납건물용 섬유보강 콘크리트 적용 기술” 연구개발을 통하여 일반 섬유보강 콘크리트에 대한 성능평가를 수행 중임.
 - 고려대에서는 FRP composite와 FRC를 활용하여 기존 구조물의 방폭 성능을 향상 시키는 기초 연구를 한국연구재단의 지원을 받아 수행중(2009~)이며, 충남대-(주)삼표 연구팀은 ECC 계열의 섬유보강 시멘트 복합재를 활용하여 기존 구조물의 방폭 성능을 보강하는 기초 연구를 수행한 바 있음.
 - 연세대-현대건설은 기존 구조물의 방호·방폭 성능을 향상시키기 위한 섬유와 폴리우레탄이 결합된 복합재료를 기존 구조물에 부착, 방폭 성능을 향상시키는 기초 연구를 진행한 바 있음.
 - 그 외 강원대 연구팀과 기타 대학연구팀에서 기존 구조물의 구조부재에

섬유보강 복합재를 활용하여 방호·방폭 기능을 보장하는 연구를 수행한 바 있으나, 연구의 뚜렷한 성과는 아직 제시되지 못하고 있음.

- 한편, 세종대에서는 섬유보강 복합재료의 동적 인장거동에 대한 기초 연구를 수행 중이며, KAIST에서는 고성능 콘크리트의 동적 물성과 재료 모델 및 성능평가 기법에 대한 초기 연구를 수행중임.
- 국방과학연구소, 한국건설기술연구원에서는 압축충격용 시험장비를, 세종대학교에서는 인장충격용 시험장비를 보유하고 있으며, 고려대, 연세대에서는 충격 시험장치 등을 갖추고 콘크리트 계열의 재료에 대한 동적 물성 특성에 대한 초기 연구를 수행하고 있음.
- 한편, 방폭용 구조부재에 대한 기초 자료를 확보하기 위해서 국내에서는 고려대, 연세대 및 한국건설기술연구원 등에서 초보적인 방폭 실험을 수행한 바 있음. 그러나 폭발하중에 대한 기준이 정해지지 않은 상태, 방폭 실험의 제한적 환경 등으로 인해 실제 적용이 가능한 연구결과를 충분히 확보하지 못한 상태임.

○ 국외기술동향

- 방호·방폭 기준은 미국을 중심으로 주로 국방시설물에 대하여 적용하기 위하여 UFC 기준을 개발하여 적용하고 있으며, 적용되는 하중과 방호 구조시스템 등은 국방시설물을 대상으로 하기 때문에 민간시설물에 바로 적용하지 못하고, 최근 사회기반시설물, 민간 건축물 등에 적용할 수 있도록 수정 개발 중임.
- 영국에서도 방폭기준에 적용하는 하중은 미국과 유사하며 기타 유럽 국가들도 대부분 이 규정하중을 적용하고 있음. 또한 적용하는 방호·방폭 체계는 주로 미국에서 개발한 UFC, FEMA 등의 기준을 적용함.
- 일본은 건축학회 및 토목학회를 중심으로 최근(2009년 이후) '내충격·폭발설계 가이드라인 작성 WG (Working Group)'을 운영하고 있으며, 또한 충격하중을 받는 구조물의 내충격성능 정의, 정량적인 평가법 등의 확립을 위한 실험·해석적 검토를 실시 진행 중임.
- 미국은 911 사고 시 항공기 충돌에 의한 중요시설물의 파괴가 발생한 경험이 있어 원전시설물에 대하여 규정 10CFR50.150에 따라 항공기(B76-400) 및 충돌속도 (150m/s) 등의 조건하에서 격납건물의 구조 안전성을 보장하기 위하여 섬유보강 콘크리트의 적용을 규정
- 독일에서는 기존 콘크리트 구조물에 고인성 직조 섬유를 부착하고 시멘트 복합재를 활용한 보강공법의 일환인 SIMCON, DUCON 등을 개발하여 기존 구조물의 방호·방폭 보강용으로 활용한 바 있으며, 이 재료는 2차 제품화하여 신규구조물의 방호·방폭 보강 자재로 활용한 바 있음.
- 한편, 초고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 경우 1990년 대 말부터 개발되기 시작하여 현재는 교량, 건축물 및 터널 등에 방호·방폭 성능을 고려하지 않은 상태로 구조적 성능만을 고려하여 적용 초기 단계에 임. 따라서 동적 물성을 중심으로 하는 방호·방폭 분야에 다소 생소한 부분임.
- 성능평가 실험 및 실증 실험분야에서는 미국의 경우 Army, Navy 및 Air force 가 함께 공동으로 방폭구조물에 대한 실증실험을 수행하고 이를 기준으로 미 유해공군 군사시설물 방폭관련 기준인 UFC 3-340-02를 개발

적용하고 있고, 호주의 경우 2004년도부터 호주정부 산하 호주연구위원회 (ARC)에서 다양한 방호·방폭 연구를 수행하고 있으며 INIEES 시스템을 통해 충격 및 폭발, 화재 등의 극한 하중에서의 구조물의 방호 성능을 평가할 수 있는 실증실험연구를 호주 중부 사막지역에서 꾸준히 수행 중

- 그러나 세계적으로 정부청사 건물, 일반 산업시설물 및 주거 대상 구조물 등, 군시설물을 제외한 민간시설물에 대해 실증 충격 및 폭발 실험연구는 충분하지 않은 상황임.
- 이와 같이 미국을 비롯한 방호·방폭 기술 선도국에서도 아직 고성능 섬유보강 시멘트 복합방호도 아직 정량적인 내충격 및 방폭성능에 관한 일괄 기준을 마련하고 있지 않으며, 국방용으로 개발된 방폭 재료에 대한 규정을 현재 재정립하고 있는 수준임.

3. 연구개발 내용

- 방호·방폭 구조물 등급 체계 구축
 - 방호·방폭 대상구조물 설정 및 정비
 - 대상 구조물의 방호·방폭 등급 분류체계 개발
 - 작용 하중의 형태 분류 체계 수립
 - 충격·폭발 하중 산정 및 등급체계 개발
- 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발
 - 내충격·내폭용 고강도/고인성 섬유 및 신소재 개발
 - 방호·방폭 기능 강화용 Hybrid-Mesh 섬유 직조 기술 개발
 - 내충격·내폭용 고강도/고인성 섬유보강 시멘트계 재료 구성 기술 개발
 - 고강도/고인성 섬유보강 시멘트계 자재 제품 개발
 - 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 배합/제조/시공기술 개발
- 기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 개발
 - 패널용 고성능 복합재료 제조 기술 개발
 - 패널형 2차 제품 설계/제작/시공 기술 개발
 - 뿔칠형 고성능 복합재료 제조 기술 개발
 - 고효율 뿔칠 장비 개발 및 시공 시스템 개발
 - FRP 외피형 방호·방폭 복합재료 제조 기술 개발
 - FRP 적층 설계 및 접합 공법 개발
- 방호·방폭 재료/자재 물성 평가 기법 개발
 - 동적 물성 시험평가용 장비 및 시설 구축
 - 동적 충격 재료/자재 물성 시험법 개발
 - 동적 충격 후 고열조건의 재료 및 자재 물성변화 평가기술 개발
 - 고성능 섬유보강 복합재료 충격/폭발 재료물성 변화 모델 개발
 - 보강용 고성능 복합자재 성능평가 기술 개발
- 구조부재 및 구조물 방호·방폭 성능평가 기법 개발
 - 구조부재 내충격/폭발 성능평가 기술 개발

- 구조시스템 내충격/폭발 성능평가 기술 개발
- 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 Mock-up 구조물 폭발 실증실험
- 방호·방폭 구조체 손상모델 개발
- 충격·폭발로 인한 구조물 연쇄붕괴 해석기법 개발
- 본 구조체와 방호·방폭 구조체의 상호 구조작용 해석기법 개발

(참고-용어의 구분)

- 구조부재: 보, 기둥, 슬래브 등 부재단위 구조물
- 구조시스템: 보, 기둥, 슬래브 등에 있어서 2가지 이상의 구조부재가 결합된 구조물
- 구조물: 기본단위 구조시스템 (예: 보, 기둥, 슬래브 등 건축물 필수 부재 포함)

4. 연구개발 추진방법

추진전략

- 연구단 참여 연구기관, 국토해양부, 국방부 등으로 구성된 방호·방폭 구조물 등급 체계 제정위원회 WG를 구성하고 국외 기준을 바탕으로 하고 국내 구조물의 특성에 적합한 대상구조물 분류체계 개발
- 관련 학회, 건설사를 중심으로 개발된 방호·방폭 구조물 등급 체계 적합성 검토위원회와 방호·방폭 성능평가 검토위원회를 구성하여 실효성 있는 등급 체계 구축
- 선행 유사연구 경험이 있는 국방과학연구소, 육사 화랑대 연구소 등의 실험시설 및 인프라를 활용하고 해당 기관의 전문가 활용으로 고성능 섬유보강 복합재료 성능평가 기술 개발의 효율적 수행 기반 마련
- 섬유소재, 시멘트 복합재, 화학혼화제 회사와 주관기관 공동으로 구성 재료의 개발과 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 원천 기술 개발
- 기존 구조물의 방호·방폭 등급 설정에 따른 소요 성능을 주관연구기관과 설정하고 이를 바탕으로 공동연구기관 중심으로 소재 및 자재를 개발
- 자재 개발을 위해서는 민간 기업의 참여가 필수적이며 한정된 국내 건설용 FRP 제조 기업의 참여를 유도
- 섬유와 접착재의 다양한 조합의 개발 범위를 효율적으로 진행하기 위해서는 정적 물성의 성능과 동적 물성의 성능에 대한 상관관계를 미리 설정하는 선행 연구를 연구기간 초기에 수행
- 실증실험은 본 과업을 수행하는 연구기관이 독자적으로 확보하기는 불가능함. 이에 따라 국방시설본부, 국방과학연구소의 연구 개발 협력 체계를 구축, 실증실험장의 협조를 확보

추진체계

- 정부기관과 연계를 고려하여 국공립연구기관 또는 정부출연연구기관이 연구계획 및 수행 총괄
- 연구성과의 타당성 확보를 위해 민간, 정부 및 학회를 중심으로 한 검토위원회 구성
- 물성평가 및 성능평가는 대학 연구기관 주도로 수행
- 소재 및 개발은 주관연구기관 및 민간기업에서 주도적 수행
- 민간 참여기업 및 공공시설물 관리 주체의 Test-bed 구축 협조 유도

- 국토해양부를 중심으로 재료 및 자재 물성 성능평가 기준 법제화 추진
- 공청회 및 검토자문회의를 통한 타당성 구축
- 국방과학연구소, 국방시설본부 등, 국방 관련 기관의 협력체계 구성

5. 최종성과물

주요

최종성과물

<관련 연구의 연차별 성과물>

- (1) 차년도
 - 방호·방폭 구조물 등급 체계 조사보고서
 - 방호·방폭용 기존 재료/자재 조사보고서
- (2) 차년도
 - 방호·방폭 구조물 등급 체계 제정(안)
 - 방호·방폭용 보강섬유 시제품
 - 방호·방폭용 시멘트계 결합재 시제품
 - 기존 구조물 보강용 보강재료 시제품
 - 동적 충격 시험 장비 및 인프라 구축
 - 동적 충격 재료 물성 시험법(안)
- (3) 차년도
 - 방호·방폭 구조물 등급 체계 법제화
 - 섬유보강 시멘트 복합재료의 정적 및 동적 물성 특성값 보고서
 - 기존 구조물 보강용 보강자재 공법별 시제품
 - 동적 충격 후 고온 환경 자재 물성 시험법(안)
 - 내충격 실증 실험용 고성능 섬유보강 복합재료 구조부재 시제품
 - 방폭 실증 실험용 고성능 섬유보강 복합재료 구조부재 시제품
- (4) 차년도
 - 방호·방폭용 고성능 섬유보강 복합재료 구조부재 설계 예제
 - 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합자재 시제품
 - 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 물성 해석 프로그램
 - 기존 구조물 보강 적용공법별 시공장비 시제품
 - 기존 구조물 보강자재 제조/제작/시공 표준 매뉴얼
 - 고성능 섬유보강 시멘트 복합 구조부재 내충격/내폭발 실증실험 보고서
- (5) 차년도
 - 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합자재 구조시스템 설계 지침
 - 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료/자재 동적 물성 시험평가 절차서
 - 고성능 섬유보강 복합재료 구조부재 방호·방폭 성능평가 매뉴얼
 - 고성능 섬유보강 복합재료 구조물/구조시스템 방호·방폭 실증 성능평가 보고서

6. 연구기간 및 지원예산	
<input type="checkbox"/> 전 체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총 연구기간 : 2013년 1월 ~2017년 12월(5년) ○ 연구비 예산 : 140억원 (정부출연금 : 104억원, 기업부담금 36억원)
7. 기 타	

(2) 세부과제 RFP

(가) 1 세부과제 RFP

세부과제명	방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 자재 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭용 고성능 건설 섬유 개발 ○ 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트계 재료 개발 ○ 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합 자재 개발 ○ 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발 ○ 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 적용 방호·방폭 Mock-up 구조물 폭발 실증실험
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
<input type="checkbox"/> 연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 국가중요시설물의 방호 등급 분류는 있으나 일반 철근콘크리트 구조체에 의존하여 효율적인 방호·방폭 기술 부족, 국가중요시설의 효과적인 방호·방폭 기술을 확보하기 위해서는 고성능 복합재료의 개발이 필수적 - 일반 철근콘크리트를 방호·방폭용 구조물로 설계/시공 시 구조체의 두께가 두꺼울 수 밖에 없으며 구조체의 두께가 두꺼울 질 경우 구조물의 활용성이 낮아짐. - 국내에서는 구조체 재료로서 섬유보강 시멘트계 재료를 개발하였으나 극히 짧은 시간에 변화하는 응력계에 대한 섬유보강 시멘트계 재료의 물성에 대한 연구는 전무함. - 방호·방폭 기술은 정부정책의 견인 없이는 실효성을 거두기 어려우며 방호·방폭 구조물의 등급 및 적용 기준에 적합한 재료와 자재의 개발이 필요함. - 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료의 실용화를 위해서는 방호·방폭 구조물 적용에 한정된 설계기법의 개발이 반드시 필요함. ○ 국외 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 최근 국외 방호·방폭 구조물에 적용되는 재료 및 자재는 기존 철근콘크리트 구조체 기술에서 탈피하여 섬유보강 복합재료를 개발이 주류를 이룸. 국제적 기술수준을 유지하기 위해서는 재료기술의 연구개발이 필요함. - 국제적으로 사고의 규모가 대형화되고 테러에 동원되는 폭발력이 증가함에 따라 효과적인 방호·방호 재료/자재에 관심이 고조되고 있으며, 주로 섬유보강 시멘트 복합재가 가장 적용성이 높은 재료로 여겨짐. - 미국과 유럽을 중심으로 방호용 구조재료로 섬유보강 시멘트 복합재료의 기술적 우위를 유지하는 전략에 대응하는 국내 연구개발 기반 마련이 필요함. - 제한적인 개발은 있으나 구조부재와 구조물에 대한 충격 및 폭발의 실증실험연구를 통하여 정부청사, 주요 산업시설 및 인구 밀집 상업시설에 대한 안전성을 확보하기 위해 노력하고 있음.
<input type="checkbox"/> 기술동향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내기술동향

- 국내 방호·방폭용 재료 및 자재와 관련된 연구는 극히 초보 단계이며 기존 구조재료에 활용된 재료의 적용성 검토 수준임.
 - 국내 출연연에서 “항공기 충돌을 고려한 격납건물용 섬유보강 콘크리트 적용 기술” 연구개발 중이며 대학에서 “초고인성 시멘트 복합체를 활용한 내화·방폭콘크리트 실용화 기술”을 연구개발한 바 있음.
 - 구조재료를 중심으로 한 섬유보강 시멘트 복합재료에 대한 원천 기술의 국내수준은 국제수준에 근접하고 있어서 방호·방폭 분야에 대한 재료기술 기반은 마련되어 있음.
 - 국내의 방호·방폭 구조물 설계기술은 국방시설물에 한정하여 보통강도의 철근콘크리트 구조물에 적용할 수 있는 “화생방 방호시설 설계·시공지침 (2008, 국방부)”이 마련되어 있으나 전체적인 구조물 설계와 정비가 필요함.
- 국외기술동향
- 미국을 중심으로 한 방호·방폭 기준은 주로 국방시설물에 대한 재료 및 자재 기준이 개발되어 있으며, 국방시설물에 적용되는 재료 및 자재에 대한 기준은 사회기반시설물, 민간 건축물 등에 적용할 수 있도록 수정 개발 중
 - 기계 및 화학 분야에서 개발된 신소재를 활용하여 방호·방폭 구조물용 소재로 활용하는 적용성 연구가 시작되고 있으며, 대표적인 예로 탄소섬유의 활용성 연구를 들 수 있음.
 - 방호·방호 구조물 설계기준은 국외에서도 완전히 정립되어 있지 못한데, 이것은 충격·폭발 하중에 대한 기준이 각국마다 다르며, 정확히 정립되어 있지 못하기 때문으로 판단됨.
 - 최근 미국에서는 정부 청사 건물의 신축 혹은 보강 시 폭발 재해에 대비하는 설계를 요구하고 있으며, 건축물의 방폭과 관련된 설계기준서로는 대표적으로 ‘Architectural Engineering Design Guidelines (5 Volumes), U.S. Department of State, Bureau of Diplomatic Security’, ‘UFC 4-010-01 DoD Minimum Antiterrorism Standards for Buildings, U.S. Department of Defense’, ‘Interim Antiterrorism/Force Protection Construction Standards-Progressive Collapse Guidance’ 및 ‘Physical Security Criteria for Federal Facilities (FOUO), 2010’ 등이 있음.
 - 미국에서는 국방부 국방부를 중심으로 충격 및 방폭 실증실험을 구조부재 및 모형 구조물을 대상으로 꾸준히 수행하고 있음. 그러나 정부 청사 건물, 일반 산업시설물 및 주거 대상 구조물 등에 대한 실증실험 연구는 충분하지 않은 상황임.

3. 연구개발 내용

- 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 개발
 - 내충격·내폭용 고강도/고인성 섬유 및 신소재 개발
(인장강도 2000 MPa 이상)
 - 방호·방폭 기능 강화용 Hybrid-Mesh 섬유 직조 기술 개발
 - 내충격·내폭용 고강도/고인성 섬유보강 시멘트계 재료 구성 기술 개발
(압축강도 200MPa, 인장강도 15MPa 이상)
 - 고강도/고인성 섬유보강 시멘트계 자재 제품 개발

(기존 콘크리트 대비 방호·방폭 성능 200% 이상)

- 고강도/고인성 섬유보강 시멘트계 재료 내충격/내폭 성능평가
- 방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 배합/제조/시공기술 개발
- 고성능 복합재료·자재 적용 방호·방폭 구조물 설계기법 개발
- 방호·방폭 성능 평가용 고성능 섬유보강 복합재료 적용 구조 시스템 모듈 개발
- 방호·방폭 구조체 손상모델 개발
- 충격·폭발로 인한 구조물 연쇄붕괴 해석기법 개발
- 본 구조체와 방호·방폭 구조체의 상호 구조작용 해석기법 개발
- 방호·방폭 구조시스템 최적화 설계기법 개발
- 구조물 방호·방폭 성능 실증 평가 기법 개발
- 방호·방폭 실증 평가용 구조물 모듈 설계
- 방호·방폭 실증 평가용 구조물 모듈 Mock-up 시험체 제작
- 방호·방폭 실증 시험 평가 수행 (방폭 시험 평가)

4. 연구개발 추진방법

추진전략

- 섬유소재, 시멘트 복합재, 화학혼화제 회사와 주관기관 공동으로 구성 재료의 개발과 실용화 기술 개발
- 기존 구조용 섬유의 실험적, 해석적 연구를 통한 충격·폭발 물성의 변화 특성 분석, 이를 통한 방호·방폭 용도의 적용성 평가
- 일반 구조용 섬유 이외 신소재 개발에 대한 원천기술도 병행 연구개발
- 실증실험은 본 과업을 수행하는 연구기관이 독자적으로 확보하기는 불가능함. 이에 따라 국방시설본부, 국방과학연구소의 연구 개발 협력 체계를 구축, 실증실험장의 협조를 확보
- 실증실험에 충분한 실험비용을 연구비에서 확보, 충실한 연구성과를 도출할 수 있는 기반을 마련
- 실증실험 이전 가상의 실증실험을 수행할 수 있는 시뮬레이션 연구를 통하여 실험의 효과를 극대화

추진체계

- 정부출연연구기관의 연구계획 및 수행 총괄 수행
- 강섬유, 유기섬유 및 시멘트계 재료 등 소재 기업 참여
- 대학 및 국공립 전문연구기관의 내충격 및 내폭 성능평가 참여
- 국방 및 민간 국가중요시설물 관리주체와 Test-bed 구축
- 국방시설본부, 국방과학연구소의 실험장 및 실험 용역 부분 의뢰
- 실증실험 결과에 대하여 핵심연구진 및 국토해양부, 전문기관 및 국방부 관계자 보안 검토위원회 구성

5. 최종성과물

주요

최종성과물

<관련 연구의 연차별 성과물>

- (1)차년도
 - 내충격성 강섬유 및 유기섬유 형상 적용 모델 구축
 - 적용 대상 섬유의 시작품 제시
- (2)차년도
 - 방호·방폭용 시멘트계 결합재 시작품 제시
 - 내충격성 섬유보강 시멘트 복합재 제조 기술 확보

<ul style="list-style-type: none"> ○ (3) 차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 섬유보강 시멘트 복합재의 기본 물성 및 특성값 제시 - 섬유보강 시멘트 복합재의 내충격/내폭 성능 특성값 제시 ○ (4) 차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 섬유보강 시멘트 복합 자재 시제품 - 방호·방폭 섬유보강 시멘트 복합 부재 시제품 - 방호·방폭 평가용 고성능 섬유보강 복합재료 구조시스템 설계(안) - 방호·방폭 평가용 고성능 섬유보강 복합재료 구조물 모듈 시제품 ○ (5) 차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 섬유보강 시멘트 복합 자재 - 방호·방폭 섬유보강 시멘트 복합자재 설계/제작/시공 기준 - 방호·방폭 섬유보강 시멘트 복합자재 적용 구조물 폭발 Mock-up 실증 실험 및 평가결과 보고서 	
6. 연구기간 및 지원예산	<ul style="list-style-type: none"> □ 전 체 <ul style="list-style-type: none"> ○ 총 연구기간 : 2013년 1월 ~2017년 12월(5년) ○ 연구비 예산 : 63.5억원 (정부출연금 : 47.1억원, 기업부담금 16.4억원)
7. 기 타	

(나) 2 세부과제 RFP

세부과제명	기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭 비구축 기존 구조물용 고성능 복합재료 개발 ○ 방호·방폭 비구축 기존 구조물용 고성능 복합자재 개발 (기존 구조물 방호·방폭 성능 100% 이상 향상) ○ 보강공법용 장비 및 시공기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
<input type="checkbox"/> 연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 국방시설물과 화학플랜트 시설물의 일부를 제외하고 대부분의 기존 국가 중요시설물들은 방호·방폭 조치가 미흡한 실정임. 이것은 방호·방폭 조치에 대한 정책적, 법적 규정이 강제성을 띠고 있지 않으며, 평상 시 시설물의 운용과는 상관없는 부가적인 조치이기 때문임. - 일반 건축물의 경우 공간활용에 대한 제약으로 인해 방호·방폭 조치는 매우 미흡한 상황이며 최근 초고층 건축물을 대상으로 신설 건축물에 대한 규정이 강화되면서 방호·방폭 조치 중 대피소를 설계에 반영 - 또한 최근 지방정부의 청사 건설 시 기 설계에서 저층부의 콘크리트 벽체와 기둥의 두께를 늘리고 철근의 배근량을 높이는 방향으로 방호·방폭 조치를 강화하는 추세임. - 타 세부과제인 '방호·방폭 기준의 개발과 함께 기존 국가중요시설에 대한 방호·방폭 기준을 반영하고 동시에 기존 구조물의 공간활용을 최대한 확보하기 위해서는 보강용 고성능 복합재료의 개발 또는 응용활용에 대한 연구개발이 반드시 필요함. ○ 국외 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 미국은 911 사건을 계기로 정부 중요 청사와 대규모 상업구역을 중심으로 방호·방폭 보강조치를 취하고 있음. 대표적인 예로서 청사 출입구에 복합재료와 콘크리트 및 강재가 합성된 Barrier을 설치하여 충격에 대비 - 한편, 테러에 대한 내폭 성능을 강화하기 위해서 시설물 근무자를 대상으로 하는 대피소 Shelter를 설치하고 있으며, Shelter에는 고성능 복합재료가 시험적으로 적용되고 있음. - 영국을 비롯한 유럽연합 국가들도 대체로 미국의 조치를 따르고 있으며 국가별로 선행 연구개발된 복합재료 기술을 적용하여 방호·방폭 조치가 필요한 시설물에 대한 보안 강화를 확대해 나가고 있음.
<input type="checkbox"/> 기술동향	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내기술동향 <ul style="list-style-type: none"> - 고려대에서는 FRP composite를 활용하여 기존 구조물의 방폭 성능을 향상시키는 기초 연구를 한국연구재단의 지원을 받아 수행중 (2009~) - 연세대-현대건설 연구 연합은 기존 구조물의 방호·방폭 성능을 향상시키기 위한 섬유와 폴리우레탄이 결합된 복합재료를 기존 구조물에 부착, 방폭 성능을 향상시키는 기초 연구를 진행한 바 있음. - 충남대-(주)삼포 연구팀은 ECC 계열의 섬유보강 시멘트 복합재를 활용하여 기존 구조물의 방폭 성능을 보강하는 기초 연구를 수행한 바 있음. - 그 외 강원대 연구팀과 기타 대학연구팀에서 기존 구조물의 구조부재에

섬유보강 복합재를 활용하여 방호·방폭 기능을 보강하는 연구를 수행한 바 있으나, 연구의 뚜렷한 성과는 아직 제시되지 못하고 있음.

- 국외기술동향
 - 미국은 911 사고 시 항공기 충돌에 의한 중요시설물의 파괴가 발생한 경험이 있어 원전시설물에 대하여 규정 10CFR50.150에 따라 항공기 (B76-400) 및 충돌속도 (150m/s) 등의 조건하에서 격납건물의 구조 안전성을 보강하기 위하여 섬유보강 콘크리트의 적용을 규정
 - 독일에서는 기존 콘크리트 구조물에 고인성 직조 섬유를 부착하고 시멘트 복합재를 활용한 보강공법의 일환인 SIMCON, DUCON 등을 개발하여 기존 구조물의 방호·방폭 보강용으로 활용한 바 있으며, 이 재료는 2차 제품화하여 신규구조물의 방호·방폭 보강 자재로 활용한 바 있음.
 - 미국, 유럽 등에서도 방호·방폭 기준을 실구조물에 직접 적용하는 기준은 아직까지 미흡하며, 일부 중앙정부 및 지방정부의 지원 하에 시설물 관리 주체의 필요성 인식에 따라 시행되고 있는 상황임.

3. 연구개발 내용

- 패널형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발
 - 방호·방폭용 패널 구성재료 기술 개발
 - 보강섬유와 시멘트 복합재의 합성 제조 기술 개발
 - 보강섬유와 폴리합성재의 결합 기술 개발
 - 패널형 2차 제품 설계 및 제작 기술 개발
 - 패널형 2차 제품 내충격 및 방폭 성능평가 시험
 - 패널형 방호·방폭 2차 제품 시공 기술 개발
- 뿔칠형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발
 - 방호·방폭용 뿔칠형 구성재료 기술 개발
 - 뿔칠형 방호·방폭 재료 제조 기술 개발
 - 고효율 뿔칠 장비 개발 및 시공 시스템 개발
 - 뿔칠 보강된 구조부재의 내충격 및 방폭 성능평가 시험
- FRP 외피형 방호·방폭 복합재료 및 적용기술 개발
 - 방호·방폭용 FRP 보강섬유 및 적층 접착 재료 개발
 - FRP 적층 및 두께 최적화 기술 개발
 - 방호·방폭용 FRP 자재의 경제적인 제작 기술 개발
 - FRP 자재의 내충격 및 방폭 성능평가 시험
 - FRP 자재의 본 구체 접합 공법 개발

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - 기존 구조물의 방호·방폭 등급 설정에 따른 소요 성능을 주관연구기관과 설정하고 이를 바탕으로 공동연구기관 중심으로 소재 및 자재를 개발
 - 자재 개발을 위해서는 민간 기업의 참여가 필수적이며 한정된 국내 건설용 FRP 제조 기업의 참여를 유도
 - 섬유와 접착재의 다양한 조합의 개발 범위를 효율적으로 진행하기 위해서는 정적 물성의 성능과 동적 물성의 성능에 대한 상관관계를 미리 설정하는 선행 연구를 연구기간 초기에 수행
 - 전문기관과 주관연구기관 및 참여기업이 공동으로 시험적용 Test-Bed를

<input type="checkbox"/> 추진체계	<p>연구 초기부터 섭외하여 자재 개발 완료 단계에서 바로 시험적용 가능한 방안을 강구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 산·학·연 연구체계를 분명히 구성. 필요에 따라 기업연구소 주관 대학 및 연구기관 공동 수행 체계도 적절함 ○ 강섬유, 유기섬유 및 FRP 전문 기업의 참여 유도 ○ 대학 및 국공립 전문연구기관의 내충격 및 내폭 성능평가 참여 ○ 국가중요시설물을 관리하는 정부기관에서 Test-bed 제공하도록 유도
5. 최종성과물	
<input type="checkbox"/> 주요 최종성과물	<p><관련 연구의 연차별 성과물></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (1)차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 적용공법별 구성재료 최적화 기술보고서 ○ (2)차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 적용공법별 복합재료 제조 기술 및 시작품 ○ (3) 차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 적용공법별 2차제품 시제품 ○ (4) 차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 적용공법별 방호·방폭 성능 평가 결과 - 고효율 시공장비 시작품 - 적용공법별 제조/제작/시공 표준 매뉴얼 ○ (5) 차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 시험적용 및 적용공법별 실용화 및 기술이전
6. 연구기간 및 지원예산	
<input type="checkbox"/> 전 체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총 연구기간 : 2013년 1월 ~2017년 12월(5년) ○ 연구비 예산 : 22.0억원 (정부출연금 : 16.3억원, 기업부담금 5.7억원)
7. 기 타	

(다) 3 세부과제 RFP

세부과제명	방호·방폭 등급 기준 및 성능평가 기법 개발
1. 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방호·방폭용 구조물 등급체계 구축 ○ 충격 및 폭발 하중 산정 및 적용하중 등급체계 개발 ○ 충격·폭발 발생 시 재료의 동적 물성 평가기법 개발 ○ 방호·방폭 재료 및 자재의 동적 물성 모델 개발 ○ 방호·방폭 재료 및 자재의 동적 물성 시험평가 장비 구축 ○ 구조부재 단위 방호·방폭 성능 실증평가 기술 개발 ○ 구조시스템 단위 방호·방폭 성능 실증평가 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
<input type="checkbox"/> 연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 국내에서는 국방부 훈령 제1057호(2009.5.25)에 국가중요시설을 지정하고 있음. 여기에는 공공기관시설, 산업시설, 전력시설, 정보통신시설, 교통시설, 공항, 항만, 수원시설, 과학연구시설 및 지하공동구 등을 국가중요시설 대상으로 설정하고 있음. - 또한 이 훈령에서는 국가중요시설의 등급을 가,나,다 등급으로 분류하고 있으나, 등급의 분류가 시설의 규모 또는 형태에 대한 분류보다는 군을 중심으로 행정기관에서 방위작전을 수행하는 수준에 대한 분류임. - 국가중요시설에 대한 방호·방폭 체계를 구축하기 위해서는 시설물의 규모, 시설물의 활용도 및 시설물에 작용하는 충격·폭발 하중의 포함된 하중의 크기와 시설물에 가해질 수 있는 외부 작용하중 등에 따라 등급체계를 분류하고자 함. - 방호·방폭용 재료 및 자재의 정적 기본 물성을 시험·평가할 수 있는 시험장비 및 해석프로그램 등은 기존 재료역학 시험 및 분석 인프라를 활용할 수 있으나 동적 물성에 대한 인프라와 실제 실험자료 등은 매우 부족 - 개발될 방호·방폭용 재료 및 자재의 성능을 파악하고 이를 이용하여 방호·방폭 구조물을 설계/시공하기 위해서는 재료 및 자재의 내충격, 방폭에 대한 정적, 동적 물성 평가 기술을 개발하며, 이를 위해서 국내 기반이 매우 취약한 동적 물성 시험장비와 지원 인프라 구축이 반드시 필요함 - 개발된 고성능 방호·방폭 재료 및 자재를 활용하여 제작된 구조부재 및 구조물의 내충격·방폭 성능을 충분히 입증하기 위해서는 실증실험연구가 반드시 수반되어야 함. ○ 국외 환경 측면의 필요성 <ul style="list-style-type: none"> - 국외의 방호·방폭에 관련된 등급은 우리나라와 마찬가지로 주로 국방과 관련된 방호시설물에 대한 규정에 따라 등급을 설정하여 적용하고 있음. - 미국의 경우 국방성(DoD)에서는 폭발하중에 대한 기준을 UFC 기준에 수록하여 방호시설물이 등급 기준을 제시하고 있음. 이 기준을 민간시설물에 적용할 수 있는 등급기준으로 변환하는 과정에 있으며 이 기준이 설정될 경우 주로 테러를 대상으로 방호시설물의 규격을 제시할 것으로 판단됨. - 유럽도 미국과 함께 국제 테러에 상당히 노출되어 있음. 이에 따라 유럽의 각국은 지하시설물과 일반 상업시설을 중심으로 방호·방폭 등급을 체계화하고 있음.

- 이와 같이 외국 각국에서도 아직까지 정확한 방호·방폭 등급 체계를 구성하고 있지는 못하지만 체계적인 방호체계 구축을 위하여 방호·방폭 등급 체계의 구축을 서두르고 있으며, 이에 적합한 재료/자재의 개발 연구에 많은 노력을 기울이고 있음.
- 방폭 기준과 재료 및 자재에 대한 관련 연구개발 분야는 미국이 가장 앞서가고 있으며, 자동차 및 폭탄테러에 대비하기 위해 개발된 방호·방폭 자재와 부재에 대한 실물 실증실험을 수행하고 있음.
- 미국방부 공병연구소에서는 실 구조부재 및 실 구조물을 대상으로 충격 및 폭발 실증실험에 의한 Macro 수준의 실험결과를 확보하고 있지만, 재료의 정적·동적 역학거동과의 상관관계를 규명하는 Micro 연구결과는 부족 - 유럽과 일본의 경우도 재료·자재 수준에서 동적 물성에 대한 연구개발 결과가 정확히 정립되어 있지 않으며, 각국에서 주로 발생하는 충격 및 폭발 하중을 기준 하중으로 가정하여 비 표준화된 시험방법으로 동적 물성을 시험평가 하고 있음.
- 방호·방폭을 위한 재료 및 자재에 대한 성능평가 기법은 세계적으로 아직 정확히 정립되어 있지 않음. 따라서 이 연구개발사업을 통하여 체계화된 성능평가 기법을 개발하게 되면 방호·방폭 재료 및 자재 개발과 활용 부분에서 국제 수준의 기술 확보를 위한 기반을 마련할 수 있음.
- 중동, 아프리카, 서아시아 및 동남아시아 등 회교권의 반 서방 테러가 점차 격화되고 이에 따라 미국을 비롯한 유럽은 방호·방폭용 구조부재 및 구조물의 건설과 보강에 많은 예산을 사용하고 있음.

□ 기술동향

○ 국내기술동향

- 국내 방호·방폭용 등급은 국방부가 중심이 되어 체계를 구성하고 2009년에 개정된 방호를 이한 국가중요시설을 구체적으로 분류하고 이에 대한 등급을 체계화하였음.
- 국방부 훈령에 따라 제시된 국가중요시설에 대한 방호 등급 체계는 사고의 발생 이전에 대한 작전수행 규칙을 지정하기 위한 것으로서, 본 연구에서 수행하고자 하는 구조시스템의 체계 구성과 차이가 있음.
- 방호시설물에 대한 등급 체계가 미비하기 때문에 방호·방폭용 재료 및 자재에 대한 품질과 성능을 인증할 수 있는 시스템은 전혀 구축되어 있지 못함.
- 국방부와 육사 화랑대 연구소를 중심으로 방호등급 체계에 대한 연구를 2000년대 후반부터 지속적으로 수행하고 있지만, 그 적용 범위는 국방시설물에 한정되어 있음.
- 1997년에 제정된 산업안전기준법에 따르면 산업시설물의 방폭 제어시설물의 설계를 위한 기준으로 미국의 방폭기준을 인용하여 '10 psi for 20ms' 폭발압력에 견딜 수 있도록 방폭벽을 설계하도록 규정함.
- 이와 같이 국내 국가중요시설에 대한 방호·방폭 기준은 미흡한 상태이며 방호·방폭 등급을 설정하기 위한 체계적인 연구가 필요함
- 국방분야에서는 지금까지 일반 콘크리트 구조체를 대상으로 방호·방폭 성능평가를 수행하였음. 또한 공격용 탄두 개발을 중심으로 콘크리트 구조체를 대상 타겟으로 활용한 것이 대부분임.
- 콘크리트와 같은 구조재료를 대상으로 충격·폭발 하중이 작용하는 극한하중 (10-10⁴ m/s) 조건하의 재료물성의 변화 평가를 위한 대표적인 실험장치

로서 SHPB (Split Hopkinson Pressure Bar) Test를 들 수 있음.

- 국방과학연구소, 한국건설기술연구원에서는 압축충격용 시험장비를, 세종대학교에서는 인장충격용 시험장비를 보유하고 있으며 주로 콘크리트를 대상으로 동적 물성에 대한 기초 시험연구를 수행하고 있음.
- 한편, 석유·화학 관련 플랜트 등에서는 국방 분야에 적용하고 있는 재료·자재의 동적 물성평가 방법은 준용하여 기초적인 성능평가만을 수행하고 있는 실정임.
- 국내에서는 국방시설물을 제외하고 방호·방폭 구조물 관리기준에 체계가 명확히 갖추어져 있지 않고 최근 이에 대한 필요성을 인지하고 국가안보기관, 국토해양부, 지자체를 중심으로 법제정 및 제도화를 발의 추진 중. (행정안전부 : 정부청사 소산시설 설계지침 (방폭고려), 국토해양부 : 건축물 테러예방 설계가이드라인 2010년 4월부터 시행)
- 국내의 경우 방폭 기준에 있어서 국방관련 이외에는 석유·가스·화학 플랜트 시설물에 국한되어 일부 적용되어지고 있으며, 그 적용기준 또한 외국의 10여년 전에 마련된 기준을 (미국 교범자료, 1986) 따르고 있는 등, 한정적인 관계로 이에 대한 정비도 시급한 실정임.
- 한편, 방폭용 구조부재에 대한 기초 자료를 확보하기 위해서 국내에서는 고려대, 연세대 및 한국건설기술연구원 등에서 초보적인 방폭 실험을 수행한 바 있음. 그러나 폭발하중에 대한 기준이 정해지지 않은 상태, 방폭 실험의 제한적 환경 등으로 인해 실제 적용이 가능한 연구결과를 충분히 확보하지 못한 상태임.

○ 국외기술동향

- 미국을 중심으로 한 방폭기준에는 적용 폭발하중에 대한 규정을 벽체용과 슬래브용으로 나누어 적용하고 있으며 구조체 m^2 당 17.5 tonf와 7.0tonf의 폭발하중을 설정하고 있음
- 영국에서도 방폭기준에 적용하는 하중은 미국과 유사하며 기타 유럽 국가들도 대부분 이 규정하중을 적용하고 있음. 그러나 충격에 대한 기준은 별로 제정되어 있지 못함.
- 또한 미국은 방폭성능실험을 근거로 방호설계기준(UFC)를 설정하여 국방부의 대테러 최소기준으로 활용하고 있음.
- 그러나 미국도 아직 정량적인 내충격 및 방폭성능에 관한 일괄 기준을 마련하고 있지 않으며, 국방용으로 개발된 방폭 재료에 대한 규정을 현재 재정립하고 있는 수준임.
- 미국의 경우 Army, Navy 및 Air force 가 함께 공동으로 방폭구조물에 대한 실증실험을 수행하고 이를 기준으로 미 유해공군 군사시설물 방폭관련 기준인 UFC 3-340-02를 개발 적용하고 있음.
- 일본건축학회 구조위원회 응용역학운영위원회의 운영하여 ‘충돌·폭발 등의 충격적인 외력에 의한 구조피해의 저감화에 관련한 소위원회(2009)’를 개최한 바 있으며, ‘내충격·폭발설계 가이드라인 작성 WG (Working Group)’을 운영한 바 있음.
- 일본토목학회는 ‘구조공학위원회 구조물의 내충격 성능평가 소위원회’를 운영하고 있으며, 여기서는 충격하중을 받는 구조물의 내충격성을 정의하

고, 그 정량적인 평가법 확립을 위한 실험·해석적 검토를 실시하고, 구체적인 평가방법의 제시를 통한 구조물의 내충격 설계법 확립을 목적으로 활용하고 있음

- 호주의 경우 2004년도부터 호주정부 산하 호주연구위원회(ARC)에서 다양한 방호·방폭 연구를 수행하고 있음. 또한, INIEES 시스템을 통해 충격 및 폭발, 화재 등의 극한 하중에서의 구조물의 방호 성능을 평가할 수 있는 실증실험연구를 호주 중부 사막지역에서 꾸준히 수행 중

3. 연구개발 내용

- 방호·방폭 구조물 등급 체계 구축
 - 국내외 기존 방호·방폭 등급 자료수집 및 분석
 - 방호·방폭 대상구조물 설정 및 정비
 - 대상 구조물의 방호·방폭 등급 분류체계 개발
 - 작용 하중의 형태 분류 체계 수립
- 충격·폭발 발생시 동적 재료물성 평가기법 개발
 - 재료 및 자재의 동적 물성 시험평가용 장비 및 인프라 설계
 - 동적 물성 시험평가용 장비 제작 및 지원시설 구축
 - 동적 충격 재료 물성 시험·평가 기술 개발
 - 동적 충격 자재 물성 시험·평가 기술 개발
- 방호·방폭 성능예측을 위한 동적 재료모델 개발
 - 고성능 섬유보강 복합재료 충격 재료물성 변화 모델 개발
 - 고성능 섬유보강 복합재료 폭발 재료물성 변화 모델 개발
- 구조부재 방호·방폭 성능평가 기법 개발
 - 구조부재 내충격 성능평가 기술 개발
 - 구조부재 방폭 성능평가 기술 개발
- 구조시스템 방호·방폭 성능평가기법 개발
 - 모듈 구조시스템의 내충격 성능평가 기술 개발
 - 모듈 구조시스템의 방폭 성능평가 기술 개발

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
- 연구단 참여 연구기관, 국토해양부, 국방부 등으로 구성된 방호·방폭 구조물 등급 체계 제정위원회 구성
 - 구조물 등급체계 제정위원회 WG를 중심으로 국외기준을 바탕으로 하고 국내 구조물의 특성에 적합한 대상구조물 분류체계 개발
 - 관련 학회, 건설사를 중심으로 한 검토위원회를 구성하여 개발된 방호·방폭 구조물 등급 체계 적합성 검토
 - 국토해양부를 중심으로 국방시설을 제외한 정부관리 시설물 및 민간시설물을 대상으로 한 구조물 방호·방폭 등급체계를 법제화
 - 전문연구기관, 대학을 중심으로 방호·방폭 재료 및 자재 물성 평가기법 연구개발
 - 선행 유사연구 경험이 있는 국방과학연구소, 육사 화랑대 연구소 등의 전문가 활용으로 고성능 섬유보강 복합재료 성능평가 기술 개발의 효율적 수행 기반 마련
 - 관련 학회 내충격 방폭 성능평가 검토 소위원회 구성을 건의, 소위원회

<input type="checkbox"/> 추진체계	<p>서는 본 과업과 관련된 성능평가 산출물에 대한 검토를 수행</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 대학 및 연구기관이 등급체계 Working Group을 구성 연구 수행 ○ 학회를 중심으로 등급체계 및 하중의 적합성을 검토 ○ 국토해양부를 중심으로 방호·방폭 구조물 등급 체계 법제화 추진 ○ 공청회 및 검토자문회의를 통한 타당성 구축 ○ 대학 및 연구기관을 중심으로 성능평가 연구 수행 ○ 공청회 및 검토자문회의를 통한 타당성 구축
5. 최종성과물	
<input type="checkbox"/> 주요 최종성과물	<p><관련 연구의 연차별 성과물></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ (1)차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물 등급 체계 조사보고서 - 방호·방폭용 재료 및 자재 물성 및 성능평가 조사보고서 ○ (2)차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물 등급 체계 제정(안) - 방호·방폭 구조물 등급 체계 제정(안) 검토보고서 - 동적 충격 시험평가 장비 및 지원 인프라 구축 ○ (3) 차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭 구조물 등급 체계 법제화 (예: 국토해양부 시행령) - 동적 충격 자재 물성 시험법(안) - 내충격 실증 실험용 고성능 섬유보강 복합재료 구조부재 시작품 - 방폭 실증 실험용 고성능 섬유보강 복합재료 구조부재 시작품 ○ (4) 차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 고성능 섬유보강 복합재료 동적 물성 모델 보고서 - 고성능 섬유보강 복합재료 구조부재 내충격 실증실험 보고서 - 고성능 섬유보강 복합재료 구조부재 내충격 실증실험 보고서 ○ (5) 차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 방호·방폭용 재료 및 자재 동적 물성 시험평가 절차서 - 방호·방폭 구조물 설계 및 해석을 위한 동적 재료물성 평가기술 (보고서) - 구조부재 방호·방폭 성능평가 매뉴얼 - 구조시스템 방호·방폭 성능평가 매뉴얼
6. 연구기간 및 지원예산	
<input type="checkbox"/> 전 체	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총 연구기간 : 2013년 1월 ~2017년 12월(5년) ○ 연구비 예산 : 54.5억원 (정부출연금 : 40.5억원, 기업부담금 14.0억원)
7. 기 타	

나. 평가기준의 설정

1. 평가항목

기준항목	세 부 항 목
연구개발목표 (10점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 적절성·타당성(5점)
	성과지표 설정의 명확성 및 적정성(5점)
연구개발내용 (20점)	RFP와의 적합성(5점)
	과제목표달성을 위한 세부과제 구성 및 상호연계성(5점)
	연구개발내용의 완성도 및 실현가능성(5점)
	연차별 연구내용의 차별성 및 창의성(5점)
추진전략 및 계획 (20점)	연구수행체계 적정성 및 연구진 전문성(5점)
	연구추진 전략의 구체성 및 타당성(5점)
	연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성(5점)
	연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성(5점)
개발기술의 실용성 및 경제성 (40점)	개발기술의 혁신성 및 차별성(10점)
	활용방안의 적절성 및 구체성(10점)
	개발기술의 실용성 및 사업성(10점)
	개발기술의 경제적 기대성과(투자 및 파급효과 등)(10점)
연구책임자의 전문성 및 관리능력 (10점)	연구전문성 및 해당분야 실적(5점)
	연구과제 관리 및 운영 능력(5점)

※ 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

부합성 평가	평가위원 과반수 이상이 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수 이상이 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치

가. 연구개발 목표

- 국민의 안전과 사회기반시설과 건축물의 방호·방폭 기능 부여를 통한 안전한 사회기반구축이라는 시대적 요구에 부응하는 고성능 섬유보강 복합재료 기술개발의 최종목표에 부합되도록 각 과제의 구성과 연차별 목표 및 최종목표를 설정하여 제시
- 연차별 목표 및 최종목표의 달성에 대한 정량적인 평가를 위하여 국토해양부의 '건설교통 R&D 성과지표'에 따라 명확한 성과지표 설정과 평가기준 제시

나. 연구개발 내용

- 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 복합재료 기술개발과 실현을 위한 체계적이고 실천적인 과제 구성이 필요함
- 기획과제에서 제시한 연구목표 및 기술개발 요청사항에 대하여 제안과제의 적정성, 상향된 목표 제시여부 평가
- ‘방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 복합재료 기술’에 대한 ‘방호·방폭 기준 개발’, ‘방호·방폭 구조물용 고성능 복합재료 및 자재 개발’, ‘기존 구조물 방호·방폭 보강용 고성능 복합재료 및 자재 개발’ 및 ‘방호·방폭 재료/자재 및 구조물 성능평가 기술 개발’ 등과 같이 체계적인 과제구성여부 평가
- 최종목표 달성을 위한 각 과제간 연계 여부 및 과제간 개발사항의 중복 여부 및 차별성, 적정성 평가

다. 추진전략 및 계획

- 연구개발 성과목표·지표체계, 실용성 검증 및 사업화 추진계획 등을 연구개발계획서에 필히 제시하며 이를 통해 향후 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 지원한 기관 및 연구진은 기초/원천기술, 응용기술, 실용화기술 등 과제성격에 따른 성과물을 얻을 수 있는 기관 및 연구진 판단
- 방호·방폭 구조물용 고성능 섬유보강 복합재료 기술개발의 성공적 수행을 위한 산, 학, 연, 군의 기관구성의 적정성 및 연계성
- 과제의 단계별 추진사항이 연구목표 달성을 위해 타당한가를 평가하고 연구개발사항과 이를 위한 구체적 추진방안 수립 여부
- 과제의 목표달성을 위한 연구기간의 단계설정과 연구개발비의 적정하게 편성 여부

라. 개발기술의 실용성 및 경제성

- 기관선정의 우선순위는 방호·방폭 기준 개발과 재료 및 자재 성능평가 등에 대한 기반기술 원천기술을 확보할 수 있고 방호·방폭용 고성능 섬유보강 복합재료 핵심기술 및 활용 기술개발로 새로운 방호·방폭 재료 및 자재 시장을 개척할 수 있는 실용성을 동시에 만족할 수 있는 연구개발 계획이 수립되어 있는 지에 초점을 두어 선정함
- 현재 기술수준과 비교하여 목표한 개발기술의 향상 정도, 기술선도국 대비 예상수준, 기술의 경쟁력 수준 등에 대하여 정성적 또는 정량적 평가 여부
- 연구성과를 통한 사회기반시설 및 건축물의 방호·방폭 정책적 근거를 마련할 가능성과 참여기관을 통한 개발기술의 실용화 방안이 성과지표의 구체적 항목으로 제시 여부

- 개발되는 과제 결과는 실험실 내의 제한된 범위와 조건과는 달리 현장의 여건과 환경을 고려한 실질적이고 실현가능한 기술 여부
- 개발기술의 경제적 기대성과 뿐 아니라 사회적 파급효과 등에 대한 평가방안이 구체적으로 제시 여부

마. 연구책임자의 전문성 및 관리능력

- 연구책임자는 과제 내의 세부과제 및 세세부과제 간에 유기적인 결합이 원활하게 추진되도록 할 필요가 있음
- 연구책임자는 각 과제의 연구기관과의 협조체제구축은 물론 과제 내에서 진행되는 과제 관리, 대외기술협력 등 해당 사업의 원활한 추진을 위한 역할을 수행해야 함
- 연구책임자는 국토해양부에서 실시하는 해당분야의 산업육성, 발전정책 및 종합계획 수립 등 관련 업무 추진 시, 기술자문 및 적극적인 업무협조 역할을 수행해야 함
- 연구책임자는 본 과업의 특성 상, 국방 관련 정부부처 및 전문연구기관과 공고한 협력체계를 구성할 수 있는 역할을 수행해야 함

2. 가점 및 감점 기준

가. 연구수행 형태에 따른 가점

(1안) 일반적인 기준

○ 본 과업은 과업 특성 상 기업이 주관연구기관일 경우 별도의 가점을 부여하지 않음. (단, 국토해양기술 연구개발 관리지침의 준수 여부는 전문기관에서 별도로 정한다.)

나. 총연구개발비에 대한 연구신청기관의 연구개발비 부담비율에 따른 가점

- 총연구개발비에 대한 연구신청기관이 부담하는 연구개발비(현금)의 비율에 따라 신청기관 별로 가점 부여(단, 경쟁응모인 경우에 한함)
- 신청기관 중 연구개발비(현금) 부담비율이 가장 높은 기관 : 1.0점
- 그 외 기관은 최대 연구개발비(현금) 부담비율을 기준으로 연구개발비(현금) 부담비율에 따른 가점 부여

$$\text{부여가점} = 1.0 \times \frac{\text{해당 기관 연구개발비 부담비율}}{\text{신청기관 중 최대 연구개발비 부담비율}}$$

다. 추적평가결과에 따른 가점

- 국토해양부기술 연구개발사업 관리지침의 가점 및 감점 기준에 따르되, 이 지침 시행 이전에 협약체결된 과제의 추적평가결과에 따른 가점 및 감점은 종전 지침에 의함

라. 보안과제 등과 관련된 가점 및 감점

- 현재 개정 작업중에 있는 「국토해양부소관 연구개발사업 관리지침」이 신청서 접수전에 완료될 경우에 한하여 반영하되, 이 경우 가점 및 감점기준은 별도 공지 예정

* 『국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정('11.3.28)』 제7조 4항 1호 및 [별표 1의3] 관련

마. 기타

- 기획과제에 대한 과제제안자가 본 과제의 주관(공동)연구책임자로 참여시 : 가점 2점(기업 여부)
- 여성연구자가 신규과제 주관연구책임자로 참여시 : 가점 1점
- 최근 3년 이내에 우수 논문(임팩트팩터 15 이상) 실적이 있는 연구책임자가 신규과제를 신청할 경우 : 가점 1점
- 연구개발과제 선정 후 협약포기 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토해양기술 연구개발사업 관리지침」 제정('09. 6. 30) 이후 협약과제 대상) : 3점 감점
- 연구개발과제의 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 주관 또는 협동연구책임자나 기업의 경우(「국토해양기술 연구개발사업 관리지침」 제정('09. 6. 30) 이후 협약과제 대상) : 3점 감점

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.