

<표지>

3cm	번호제	4cm	한국건설교통기술평가원 기획연구 영역과제
	풍력발전타워의 설계 및 시공기술개발 2011. 6	Development of Design & Construction Technique for Wind Tower	R&D / 0000-0000
5cm	국토해양부		2011. 06. 21.
3cm			주관연구기관 / 상명대학교 산학협력단
			국토해양부 한국건설교통기술평가원

<표지- 뒷면>

주 의

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

제 출 문

국토 해양부 장관 귀하

이 보고서를 "풍력발전 타워의 설계 및 시공기술 개발" 기획 과제
의 보고서로 제출합니다.

2011. 06.

주관연구기관명 : 상명대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 박종섭

연구원 : 이기세, 김종민, 최진희

연구원 : 박이슬, 유상량

기획위원 : 황민오, 김경식

기획위원 : 최병호, 오홍섭

기획위원 : 이상열, 조두용

기획위원 : 심종성, 강영종

기획위원 : 김기두, 이만섭

기획위원 : 이성철, 신동구

기획위원 : 박선규, 김원근

자문위원 : 한택희외 다수

보 고 서 요 약 서

과제고유번호		해 당 단 계 연 구 기 간	2010.12.27. ~ 2011.06.26	단 계 구 분	
연 구 사 업 명		건설교통기술평가원 기획연구 용역과제			
연 구 과 제 명	대 과 제 명	풍력발전 타워의 설계 및 시공기술 개발			
	세부과제명				
연 구 책 임 자	박종섭	해당단계 참 여 연구원수	총 : 6명 내부 : 3명 외부 : 3명	해당단계 연 구 비	정부:70,000천원 기업: 0원 계:70,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 6명 내부 : 3명 외부 : 3명	총연구비	정부:70,000천원 기업: 0원 계:70,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	상명대학교 건설시스템공학과		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	141
- 자원의 고갈과 이산화탄소 배출이 심각한 환경문제로 대두됨에 따라 전 세계적으로 신재생 에너지 개발에 대한 필요성이 이슈화 되고 있는 가운데 풍력 발전은 전력 생산량 대비 발전단가가 낮아 대체에너지로서의 가치를 인정받고 있는 실정임. - 세계적인 풍력발전 타워시장의 규모는 2014년 134조에 달할 것으로 예측되어 에너지 정책 뿐 아니라 기술력에 기반을 둔 국익창출에도 영향을 미칠 수 있을 것이라 전망됨. - 국내 풍력발전은 대부분 수입기술에 의존하고 있어 기술적인 경쟁력이 뒤떨어지고 있는 실정임. - 본 연구에서는 해상 및 육상 풍력발전 타워에 있어 설계 및 시공 전반에 걸친 기술력 확보를 목표로 고도첨단 설계기반 구축 및 유지관리 기술, 대용량 대형화 강재 풍력타워 기술, 급속시공 고성능 콘크리트 풍력타워 기술, 신형식 합성/복합구조 풍력타워 개발, 실증단지 풍력타워 Test Bed구축 기술로 후보과제를 세분화하여 연구를 진행 할 수 있도록 연구계획을 수립함.					
색 인 어 (각 5개이상)	한 글	풍력타워, 강재, 콘크리트, 실증단지, 유지관리, 설계			
	영 어	Wind Tower, Steel, Concrete, Test Bed, Maintenance, Design			

목 차

1장. 기술의 정의 및 필요성	1
1절. 기술의 정의	1
1. 풍력타워	1
2. 기술의 범위	1
2절. 기술의 필요성	3
1. 연구의 필요성	3
2장. 국내외 동향 및 환경분석	6
1절. 국내외 정책동향	6
1. 국내 정책 동향	6
2. 국외 정책동향	7
2절. 국내외 시장 현황 및 전망	9
1. 국내 시장 현황 및 전망	9
2. 국외 시장현황 및 전망	10
3절. 기술동향 분석	13
1. 국내 기술 동향	13
2. 국외 기술 동향	15
4절. 연구개발 인프라 분석	18
1. 특허분석	18
2. 논문 분석	22
3. 기술수요 및 기술예측 조사	23
5절. 종합분석	27
1. 국내외 정책동향	27
2. 국내외 시장현황 및 전망	27
3. 기술동향 분석	27
4. 연구개발 인프라 분석	27
3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	28
1절. 비전 및 목표	28
1. 비전	28
2. 연구 목표	29
2절. 기술개발에 따른 미래상	30
1. 기술발전 시나리오	30

2. 미래상	30
3절. 연구개발과제 구성	31
1. 핵심기술 도출 및 분석	31
2. 후보과제 구성 및 평가	32
4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략	36
1. 1세부과제 개요 - 풍력타워 설계 및 유지관리 기술개발	36
2. 2세부과제 개요 - 저비용 고효율 풍력타워 기술개발	52
4장. 사전 타당성 검토	87
1절. 정책적 타당성	87
2절. 기술적 타당성	88
1. 유럽의 풍력발전	88
2. 해상 풍력 발전	88
3. 설계	89
4. 시공 및 유지관리	89
3절. 경제적 타당성	90
1. 시장 조사에 따른 경제적 타당성	90
2. 기술 개발에 따른 경제적 파급효과	92
5장. 인력투입 계획 및 소요 예산 산정	94
1절. 연구 일정에 따른 인력 투입 계획	95
2절. 연구개발과제 소요예산	98
1. 연구단 예산안	98
2. 세부과제별 연구비 총괄표	99
3. 비목별 연구비 총괄표	100
4. 세부과제별 비목별 연구비	101
5. 직접비 내역	103
6장. 과제제안 요구서 작성 및 평가기준 설정	117
1절. 과제제안 요구서	117
2절. 평가기준 설정	126

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의

1. 풍력타워

- 풍력발전기를 지탱해주는 구조물로 수평축 풍력발전기의 경우 로터부를 지상에서부터 일정한 높이에 위치시켜 지탱해주는 역할을 하는 구조물이며 경우에 따라 회전축의 역할 수행. 대형 타워의 경우 내부에 엘리베이터 시스템 등 여러 가지 유지보수를 위한 장치들이 장착되기도 함

- 풍력타워의 구조는 대부분 강구조물로 제작되어 설치, 시공되고 있으며 그 구조는 다른 요소들에 비하여 구조적으로 간단하다 할 수 있으나, 파손에 의하여 유발되는 손실이 매우 크고 발전기 전체가격의 25%를 차지하는 등 자체의 단가도 매우 높으므로 안전한 타워를 개발하는 것이 중요함.

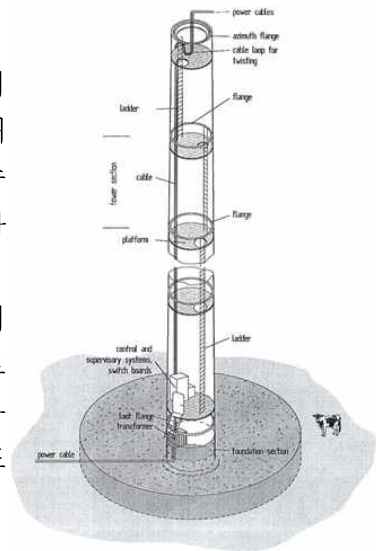


표 1. 풍력발전기의 구성요소

TowerL	Rotor blades	Rotor hub	Rotor Bearings
Main shaft	Main frame	Gearbox	Generator
Yaw system	Pitch system	Power converter	Transformer
Brake system	Nacelle housing	Cables	Screws

2. 기술의 범위

가. 적용가능 소재

현재까지의 풍력타워는 대부분 강재를 이용하여 왔으나, 규모 및 용도, 환경조건에 따라 콘크리트, FRP등 타 소재의 적용이 필요하며, 경우에 따라 이를 혼용한 하이브리드형식의 풍력타워 적용 검토가 필요



그림 1. 풍력타워 적용 가능 소재 검토

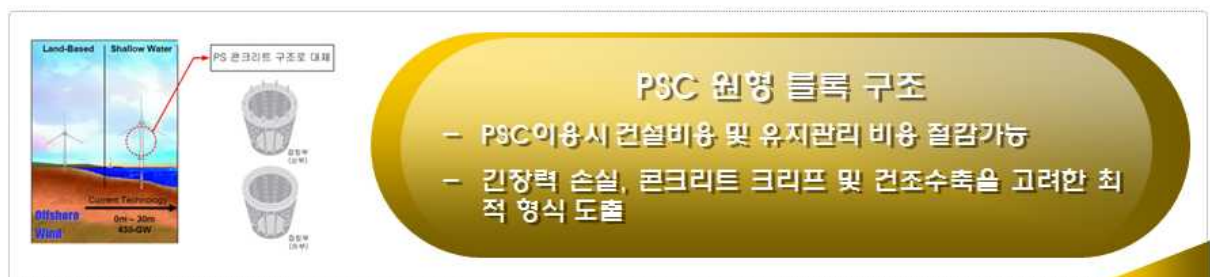
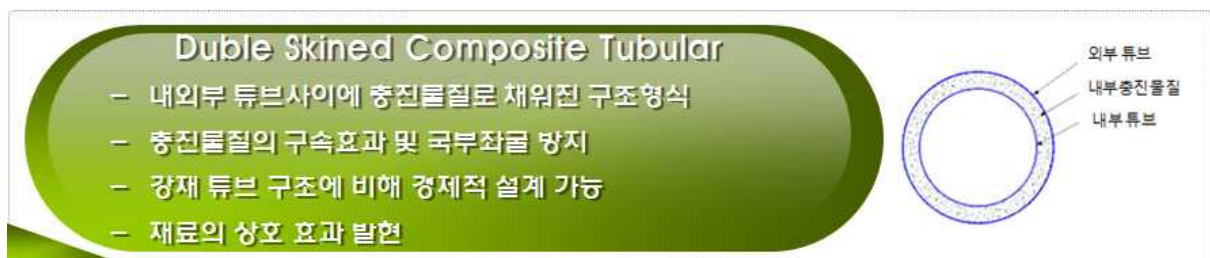
나. 실용화 연구

현재 국내에서의 풍력발전 타워에 대한 연구는 매우 미비한 실정이며, 이에따라 본 과제에서는 그림. 과 같이 설계, 시공, 유지관리 전반에 걸친 연구 수행 예정



다. 구조 형식별 검토

경제적이고 구조적으로 효율적인 새로운 형식의 풍력타워 개발을 통하여 그 적용사례를 증진시켜나갈 예정



2절. 기술의 필요성

1. 연구의 필요성

2008년 12월 발표된 제3차 신재생 에너지 기본계획에서 정부는 2012년부터 신재생에너지 의무할당제도(RPS)를 도입하는 방안을 예고하는 한편, 이후 “녹색뉴딜”사업, “녹색기술 연구개발 종합계획”, “신 성장 동력비전 및 발전전략”, “녹색성장 국가전략 및 5개년 계획”을 발표, 신재생 에너지 보급을 점진적으로 확대할 계획. 신재생 에너지에 대한 관심이 높아짐에 따라 기존 석탄에너지를 대체할 수 있는 방안으로, 풍력, 태양열, 지력, 조력 등 다양한 분야에 대한 연구가 진행되고 있으나, 풍력발전 중 풍력 타워에 국한된 연구는 매우 미흡한 상태. 따라서 국내의 환경 여건을 고려한 경제적 풍력 타워 시스템에 관한 연구가 필요.

1975년부터 2005년까지 약 30년간 풍력발전기에서 발생한 사고 데이터는 262건으로 정리되며 사고 내역은 표2.와 같음

표 2. 1975~2005년 풍력발전기 사고내역

원인	사고 수	빈도
블레이드손상	85	32.5
구조적손상	45	17.2
화재	37	14.1
인명사고	36	13.7
Ice로 인한 손상	23	8.8
구성요소 결함	9	3.4
도로에서 사고	7	2.7
환경오염	6	2.3
기계결함	4	1.5
기타	10	3.8
계	262	100

구조적 손상은 블레이드 이외의 다른 부분이 내부적 또는 외부적 원인으로 구조에 손상을 주어 피해를 발생 시킨 것을 의미하며, 타워는 이중 26.7%의 큰 비중을 차지하고 있음. 일본 등에서는 태풍으로 인한 타워의 붕괴사례가 보고된 바 있음. 타워의 파괴 요인으로서는 잦은 진동 및 하중변화의 영향, 유지관리소홀, 자연 재해에 의한 손상 등이 있음(그림 3).



그림 2. 잦은 하중변화(좌)와 유지관리의 소홀(우)로 인한 타워 붕괴



그림 3. 자연재해(태풍)으로 인한 타워 붕괴

- 교량, 댐, 초고층 빌딩 등과 같은 타 거대 구조물에서는 활발히 유지관리 기술들이 연구되고 실용화가 되었지만, 풍력발전 타워의 대형화로 타워의 비용은 증가함에도 불구하고 장수명화를 위한 유지관리 기술들이 많이 부족하며 연구가 초기단계이므로 풍력발전타워에 대한 유지관리 기술 개발이 필요함.
- 경제성 향상 대형 단면구조 개발 필요: 기존 단순 Tube형 단면 외의 다각형셀구조, 강합성구조, 단면 보강기술
- 원주방향 단면 모듈화 기술개발 통한 직경제한 한계 극복: 제작성 및 피로성능 측면에서 보다 유리
- 새로이 출현되는 고강도 강재의 활용방안 검토: 최적·최소단면 구현방안 개발
- 고내구성 강재 적용 기술: 장수명화, 유지관리비용 및 온실가스 배출 최소화 가능
- 풍력 발전 용량이 5MW 이상이 설치될 경우 블레이드의 길이가 길어지고 나셀의 중량이 점점 무거워져 타워의 직경이 대형화되어야 하고 또한 높이가 80m이상이 되어야 하므로 이에 대한 기술 개발이 필요. 강재의 경우 원통형 실린더의 좌굴, 피로하중, 두께의 증가로 인한 기술적인 문제와 경제적인 문제를 야기하여 PS 콘크리트

타워가 대안으로 제시되고 있음. PS 콘크리트 타워는 강재 타워에 비하여 피로 파괴 및 좌굴현상이 없고 내구성이 좋아서 약 100년 이상의 수명을 가지고 있으며 강재의 한계 높이를 초과하여 건설 가능. 육상에서 이미 양질의 바람을 얻기 위하여 유럽에서 100 m 이상의 높이로 설치되고 있음.

따라서 80m 이내에서는 일반적으로 강재 타워가 적합할 것으로 생각되나 80m 이상 높이에서 타워를 시공하기 위하여서는 고강도 PS 콘크리트를 이용한 첨단 설계 및 시공 기술력 개발이 필수적일 것으로 판단. 그리고 육상에서 이러한 기술력을 활용하여 경제적인 해상시공방법이 개발되면 해상풍력 시장에도 많이 적용될 전망.

- 해상 및 육상 풍력타워 발전단지에 적용되었던 타워구조는 주로 해저자원채취를 담당했던 중공업계가 주도하면서 강재 원형(Steel Tubular) 타입이 주로 채택.
- 발전기의 대형화에 따라 블레이드의 길이는 길어지고, 나셀의 중량은 커지고 있어 이들을 받치고 지지하는 타워구조 또한 대형화/고도화를 피할 수 없는 추세.
- 기존 강재만을 이용한 원통형 구조타입에 대한 극한강도의 증대를 위한 연구와 더불어 강재와 콘크리트, FRP와 같은 복합신소재의 재료별 강점을 최대한으로 활용할 수 있는 신형식 축방향복합구조 타워 및 합성단면구조 타워에 대한 형식 개발이 동시에 요구.
- 경량, 내부식, 고내구성을 가지는 복합신소재를 적용한 새로운 풍력타워 시스템은 원천기술 확보 및 해외 수출 성공 가능성이 매우 높을 것으로 예측.
- 특히 해상풍력단지에는 substructure와 타워구조에 대한 제작, 운반, 거치 및 기타 현장시공 등에 대한 부문은 turbine제작과는 구별되는 건설영역 고유업무로서, 그동안 축척된 역량이 우수한 강구조 및 콘크리트 합성구조에 기술적 접목을 시도하는 것이 풍력기술을 앞당기는데 매우 효율적이므로 이 부문에 대한 연구개발이 시급히 진행되어야 함.
- 본 연구과제를 통해 개발된 풍력발전 타워에 대하여 최종적인 성능 및 비용을 검증하기 위하여 실 프로젝트 적용을 통한 검증이 필요함. 실 프로젝트 적용을 통하여 인증에 필요한 설계요건을 만족시키는 수준의 설계도서 구축 및 이에 대한 검증이 필요하며, 설계 결과를 반영한 제작을 통하여 개발기술의 제작비용 절감효과를 정량적으로 검증할 수 있음. 또한 실 프로젝트 시공을 통하여 시공상 문제점 유무를 확인할 수 있으며, 개발된 기술의 최종적인 경제성을 확인할 수 있음. 시공 후 거동 분석 및 설계시 반영하였던 구조물 거동과의 비교를 통하여 설계방법의 적절성을 확인할 수 있음.

2장. 국내외 동향 및 환경분석

1절. 국내외 정책동향

1. 국내 정책 동향

석탄연료의 고갈로 인한 유가상승, 환경문제에 대한 관심 증가로 전 세계적으로 녹색 성장에 대한 관심이 고조됨에 따라 정부는 2030년 신재생 에너지를 이용한 발전량이 총 발전량의 26%가 되도록 하는 제1차 국가 에너지 기본계획을 2008년 수립. 더불어 신재생 에너지 의무할당제도(RPS)를 도입하여, 2012년에는 총 전력생산량의 3%, 2020년에는 10%가 될 수 있도록 신재생에너지 발전 계획을 세움. 그중 가장 경제성 있는 에너지원은 풍력으로, 신재생 에너지 총투자 비용의 45%정도 수준만으로 전력생산량은 신재생 에너지 총량의 82%가 될 것이라 전망하는 기관도 있음.

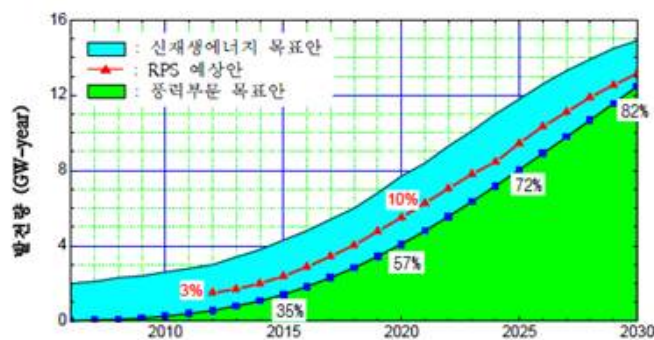


그림 4. 신재생 에너지 대비 풍력발전 전력 생산량 전망

그린에너지 분야 투자는 매년 최고 80%증가 하고 있으며 특히 풍력사업에 대하여 정부는 중장기적인 기술개발 계획 및 이용보급계획을 수립하여 추진 중이며 특히 해상풍력 사업에 집중 투자할 것으로 예상. 그러나 유망분야인 풍력발전 수입의 의존도는 2007년 기준 99.6%로 국내 기술의 확보가 시급한 실정.



그림 5. 풍력발전 기술개발 계획



그림 6. 풍력발전의 보급 계획

2. 국외 정책동향

지구온난화 규제 및 방지의 구체적 방안으로 선진국의 온실가스 감축 목표치를 규정하는 교토의정서 발표를 기점으로 세계적으로 기후변화에 따른 온실가스 감축을 위한 대응은 하나의 Trend로써 완전히 자리 잡음.

표 3. 환경 변화 관련 국제사회의 대응

1992.06	‘92 리우회의의 기후변화 협약 채택
1995.03	제1차 당사국 총회 - 온실가스 감축 협상그룹 설치
1997.12	제3차 당사국 총회 - 교토의정서 채택
2005.02	‘05 교토의정서 발효 - Annex 1 국가의 구속적 감축
2005.11	제11차 당사국 총회 - 포스트 교토체제 협상 본격화
2007.11	G8세계 경제 포럼 - IPCC 4차 보고서 발표
2007.12	제13차 당사국 총회 - 발리 로드맵 채택
2009.12	제15차 당사국 총회 - 기후변화 대응목적 파트너십 결성

선진국에서는 온실가스 감축 및 그린에너지 산업화를 위한 기술개발 프로그램을 준비하고 있음. 미국의 경우 CCTP(Climate Change Technology Program)을 통하여 민간/정부의 협력체계를 강조하는 한편, 일본의 경우 Cool Earth(Cool Earth-Innovative Energy Technology Program)을 통하여 2050년까지 온실가스의 50%를 절감하려는 계획을 세우고 있음. 유럽은 Set Plan(Strategic Energy Technology Plan)을 통하여 기술혁신을 통하여 세계 탄소시장을 선점하려는 계획을 가지고 있으며, 캐나다의 경우 풍력발전은 2000년에서 2006년까지 7년간 연평균 성장률이 51%로 상당히 높았으며, 덴마크의 경우 1970년대부터 풍력발전 장려정책을 실시하여 향후 해상풍력에 주력할 것으로 전망. 독일의 경우 2015년까지 7GW, 2030년까지 30GW규모의 해상풍력발전을 증축할 계획.

아시아 국가로써 우리와 인접한 중국의 경우 21세기에 들어와 풍력발전을 장려, 풍력 발전에 대한 세율을 낮추고, 단지 조성에 대한 노력을 기울여, 2006년 2550MW규모의 풍력발전 시설을 확보. 이러한 정책을 바탕으로 2006년 이후 급속도로 풍력발전에 의한 전력 생산이 증대 되고 있음

표 4. 각국의 풍력발전 정책

미국	Vision for 2025 : A Frame Work for Change - 에너지 요구량 50%감소 ; 5조원의 경제적 효과 - 매년 자동차 9천만대분의 온실가스 감소 The American Recovery and Reinvestment Act - 신재생 에너지 발전 기업에게 세금 감면 혜택 Reduction of GHGs - 2020년까지 이산화탄소 15~20% 절감
캐나다	Feed-in-Tariff - 신재생 에너지 장려책 풍력발전은 2000년에서 2006년까지 매년 51%성장 Eco-energy Renewable Power Program - 1 cent/kW 의 신재생 에너지 생산 장려금 지원 (우리나라 1인당 연간 전력 소비량은 7607kWh)
덴마크	1970년대부터 풍력발전 장려 정책 실시 육상풍력발전에서 해상풍력발전으로 전환 - 2030년 4000MW규모의 해상풍력발전 단지 조성 예정. 향후 풍력 발전은 해상이 주력
독일	1980년대 Feed-in-Law 정책 - 세금혜택 및 저리 대출 정책으로 풍력발전 장려 Renewable Energy Sources Act - Feed-in-tariff 모델과 유사 2015년까지 7GW규모의 육상풍력발전 증축 2030년까지 30GW 규모의 해상풍력발전 증축
터키	Renewable Energy Resources for the Generation of Electrical Energy - 신재생 에너지 관세 절감 정책

2절. 국내외 시장 현황 및 전망

1. 국내 시장 현황 및 전망

풍력에너지의 경우 가용 잠재량 대비 기술적 잠재량의 비중은 50%를 상회하여 타 에너지에 비해 이용 가치가 높으며, 절대적인 사용 가능량 또한 수력 및 바이오, 해양에너지에 비해 월등한 것으로 집계됨. 국내 풍력 시장의 경우 2010년 현재 수요는 2.9%에 그치고 있으나 2030년에는 전체 수용이 12.6%를 차지할 것으로 예상됨.

정책적인 측면에서 풍력발전의 연평균 증가율은 18.1%로 해양, 지열, 태양열에 이어 4번째로 높은 것으로 나타났으나, 기술적 잠재량과 가용잠재량의 절대적인 수치는 세 번째로 높아 신재생 에너지 중 상당한 비율을 차지하고 있음.

표 5. 국내 신재생 에너지 수요전망 및 목표안 (단위 : 천TOE, %)

	2008	2010	2015	2020	2030	연평균 증가율
태양열	33 (0.5)	40 (0.5)	63 (0.5)	342 (2.0)	1,882 (5.7)	20.2
태양광	59 (0.9)	138 (1.8)	313 (2.7)	552 (3.2)	1,364 (4.1)	15.3
풍 력	106 (1.7)	220 (2.9)	1,084 (9.2)	2,035 (11.6)	4,155 (12.6)	18.1
바이오	518 (8.1)	987 (13.0)	2,210 (18.8)	4,211 (24.0)	10,357 (31.4)	14.6
수 력	946 (14.9)	972 (12.8)	1,071 (9.1)	1,165 (6.6)	1,447 (4.4)	1.9
지 열	9 (0.1)	43 (0.6)	280 (2.4)	544 (3.1)	1,261 (3.8)	25.5
해 양	0 (0.0)	70 (0.9)	393 (3.3)	907 (5.2)	1,540 (4.7)	49.6
폐기물	4,688 (73.7)	5,097 (67.4)	6,316 (53.8)	7,764 (44.3)	11,021 (33.4)	4.0
합 계	6,360	7,566	11,731	17,520	33,027	7.8
1차에너지 (백만TOE)	247	253	270	287	300	0.9
비 중	2.58%	2.98%	4.33%	6.08%	11.0%	

출처 : 제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용/보급 기본계획(2008, 지경부)

표 6. 재생에너지별 잠재량

	후보지	규모	추진 일정
전남	신안, 영광 무안, 함평	5GW육해상 풍력단지 100MW 해상단지	‘10.7 투자협약 체결 (45개 기업, 약 20조원)
제주도	김녕	30MW급 해상단지	’13년까지 완성 (수력원자력, 두산중 투자)
부산	목도 다대포	20MW급 해상단지 다대포 대규모	’15년까지 완성 (남부발전과 MOU)
인천	무의도	97.5MW급 해상단지	’12년 상업운전 (사업비 4,500억원 책정)
충남	태안	97.2MW급 해상단지	’12년까지 완성 (태안종합에너지특구 조성사업)
포항	영일만 호미곶 동해안	영일만 10기 호미곶15기 동해안 부유식	’09.10 사업타당성 검토 착수

2. 국외 시장현황 및 전망

가. 미국

미국 DOE(Department of Energy)에서는 2030년에 미국 전력 수요의 20%를 풍력발전이 충당할 것이라고 예상됨. 10여개의 풍력 발전 연구소를 설립하여 풍력발전에 대한 R&D를 수행하고 있음. 미국은 환경 여건상 육상 풍력발전이 대다수를 이룰 것으로 예측됨.

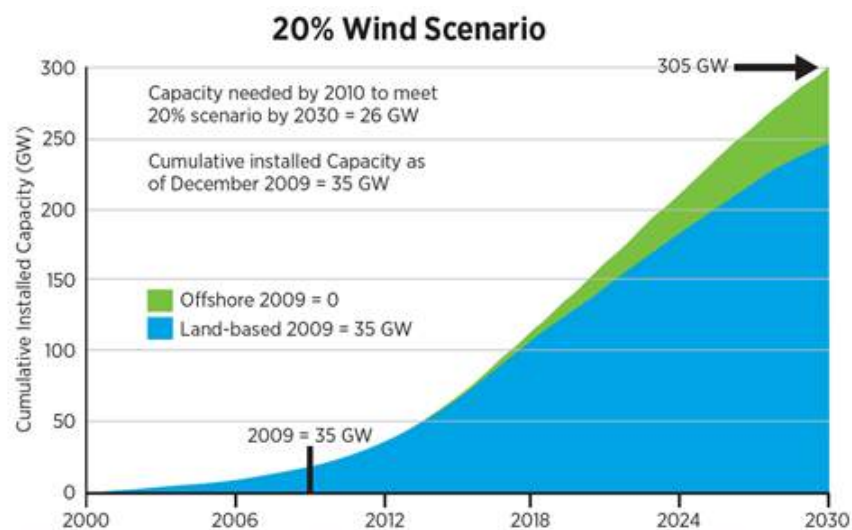


그림 7. 미국의 풍력발전단지 조성 계획

나. 유럽

유럽의 연간 풍력발전 증가율은 대략 33%로 1990년대부터 급격한 성장하고 있으며 현재까지 대부분의 풍력발전은 육상형식이었으나 2010년에는 해상풍력 전환의 과도기, 2015년에는 육지에서 5~40km 떨어진 해상에서도 풍력발전이 이루어질 것이라 예측되며, 2003년까지 21.8GW였던 풍력발전 용량은 2020년까지 250GW규모로 확대되고 수심 100m까지 건설할 수 있는 기술이 확보될 것이라 전망됨.

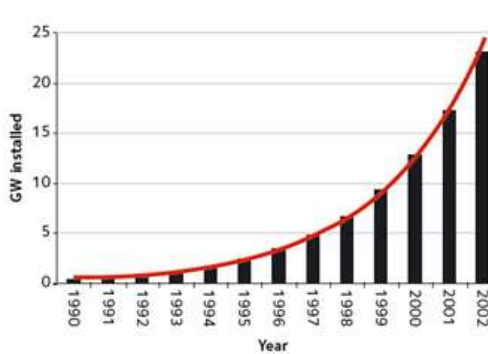


그림 8. 유럽의 풍력발전 증가율

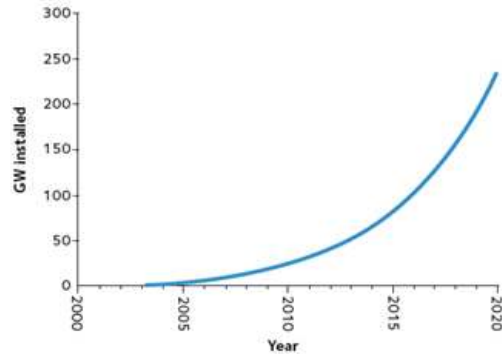


그림 9. 유럽의 풍력발전 증가 전망

다. 풍력발전 시스템 비용 구성

풍력발전비용은 터빈, 토목공사비, 그리드 등으로 나뉘며, 해상풍력에서는 이외에도 해상 전력공급, 시공관리 등 더 세분화된 비목이 있음. 이중 풍력타워의 건설비용은 터빈에 포함되어 있으며, 육상의 경우 터빈이 차지하는 비용은 총 비용의 75%, 해상풍력의 경우 51%정도로 추산.

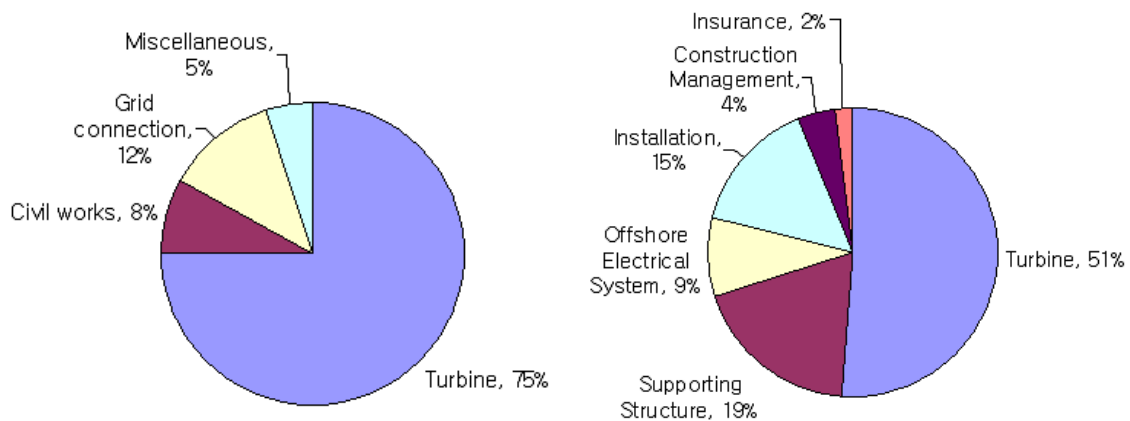


그림 10. 육상풍력(좌)과 해상풍력(우)의 발전 및 건설비용

풍력발전 타워가 차지하는 비용은 터빈비용 중 20%를 차지하고 있음. 1MW당 건설비용은 육상의 경우 20억원, 해상의 경우 30억원이며, 이중 풍력 타워가 차지하는 비용은 육상과 해상 모두 3억원/MW라고 개략적으로 계산됨. 이에 따라 세계 각국에 대한 풍력 타워 발전 비용은 표 7과 같이 계산될 수 있음.

라. 전세계 시장 전망

세계 각국의 풍력타워 건설 현황 및 계획은 표 8과 같이 2014년까지 꾸준히 증가할 전망. 특히 2009년 유럽의 절반수준에 그쳤던 동남아시아의 경우 2014년에는 미국을 뛰어넘어 유럽과 거의 같은 수준이 될 것으로 예상되며, 미국서부, 태평양 주변 OECD국가, 미국 서부 등 수출 대상이 될 수 있는 지역의 수요 증가는 국내 기술 경쟁력 확보가 시급함을 시사. 풍력타워만의 발전비용을 계산해 볼 때, 전세계 시장은 134조3000억원으로, 풍력타워 기술 발전은 국내뿐 아니라 해외 시장에서도 국가의 이익을 창출 할 수 있는 수단이라 할 수 있음. 석탄 자원의 고갈 및 개발도상국의 신재생 에너지 개발 정책 등 여러 가지 상황을 고려해 볼 때, 이러한 양상은 가속화 될 것이라 판단되며, 자국의 기술력 확보는 중요하다 할 수 있음.

표 7. 풍력발전 타워가 차지하는 비용

	2009년 누적발전량(MW)	2009년 신설발전량(MW)	2010~2014년 예상 발전량					2010~2014 누적발전량(MW)	2014년 누적발전량(MW)	풍력타워에 대한 총 비용(천억원)
	2009	2009	2010	2011	2012	2013	2014	sum	accu.	Cost
미주	40351	11433	10000	12600	18400	18900	22100	82000	122351	367.05
유럽	76553	10738	13305	16000	18025	20500	21250	89080	165633	496.90
동남아	37147	14991	16700	17850	19600	21300	23100	98550	135697	407.09
OECD (태평양)	4873	620	1200	1500	1850	2350	2450	9350	14223	42.67
기타	1161	321	825	1100	1600	2350	2750	8625	9786	29.36
총량	162094	38103	42030	49050	59475	65400	71650	287605	447689	1343.07
총비용 (천억원)	486.28	114.31	126.09	147.15	178.43	196.2	214.95	862.82	1343.07	

3절. 기술동향 분석

1. 국내 기술 동향

해외 대비 풍력발전 기술에 대한 국내 개발 현황을 비교하였을 때, 규모, 기술력, 실용화 모든 측면에서 상당히 뒤쳐져 있는 것을 알 수 있음. 대부분의 주요 기술은 개발중이거나 개발이 필요한 실정이며, 현재 풍력 발전기의 시공은 해외기술 의존도가 매우 높음.

표 8. 국내외 기술수준

핵심기술	국외현황	국내개발현황
블레이드	- 길이 40m 내외 대형 개발완료 - 30년의 피로수명 유지	- 공력, 구조, 피로, 소음설계 등을 포함한 중형급 개발 중
증속기	- 2~3단으로서 95% 이상의 전달효율을 지닌 2500kw급 증속기 실용화	- 감속기기술을 활용한 중형급증속기 개발중 - 신뢰성 향상 및 평가기술의 개발이 필요한 수준임
발전기	- 2500kw급 권선형 유도발전기기 전력연계기술 실용화 - 1800kW급 Ring 발전기 실용화	- 750kW권선형 유도기기 개발중 - 750kW Ring 발전기 개발중
전력연계장치	- 2500kW급 권선형 유도발전기기 전력 연계기술 실용화 - 1800kW급 연계형 전력변환기기 실용화	- 750kW 권선형 유도발전기기 연계기술 개발중 - 750kW 연계형 전력변환기 기술개발 완료/평가단계
타워	- 90~100m의 스틸, 콘크리트 타워 개발 - 다양한 용도, 다양한 형태의 저가형 타워 개발 중	- 풍력타워의 시공은 외국 기술력을 수용하여 단순한 제작만을 하는 수준에 그침 - 해석기술 보완 필요
시스템조합	- 2500kW급 용량의 시스템 조합 및 실용화	- 750kW 시스템 조합기술 개발 중이나 신뢰성확보 및 평가기술 개발 필요
시스템 해석	- ADAMS/Wt. Bladed등 다양한 해석 Tool 실용화 - 5MW급의 개념설계 완료수준	- 외국기술에 의한 해석 Tool활용 및 응용단계 - 750kW급에 대한 적용단계

국내에도 다양한 기업에서 풍력발전 시스템을 보유하고, 그러나, 대부분 해외 선진 엔지니어링사를 통한 시스템 개발 혹은 해외 업체 인수를 통하여 풍력발전 시스템을 보유. 국내 자체적인 엔지니어링을 통한 풍력발전 시스템 개발은 불가능한 상태. 풍력발전 타워도 시스템의 일부로서 동일한 기술수준.

풍력발전 타워 설계기준 측면에서는 국내에 별도의 설계기준 미비. 해외의 경우 IEC 기준을 기본으로 하중을 산정하고, Eurocode나 DIN 등의 구조물 설계기준을 적용하여 구조설계. IEC 하중기준을 살펴보면 풍력발전시스템의 구분을 Class 1, 2, 3 등으로 구분하여 평균풍속 및 최대풍속 규정. 평균풍속이 낮고 태풍 등에 의해 최대풍속이 높은 국내 환경을 고려하면 평균풍속은 Class 3 수준을 적용하고, 최대풍속은 Class 1을 적용하는 것이 가장 적합. 이 또한 국내 환경을 정확히 반영한 것은 아니며, 국내에 가장 적합한 적용 풍속은 다양한 검토를 통하여 제시 필요. 기존 IEC 구분을 그대로 적용한다면, 과도한 안전측 설계나, 불안전측 설계가 될 가능성이 높아 비경제적인 구조물 시공 혹은 구조물의 안전성을 확신할 수 없는 경우가 발생. 이는 국내뿐 아니라 유럽 이외의 해외에서는 동일한 상황으로 향후 수출을 고려한다면 풍력발전단지 지역 특성에 맞는 하중기준을 적용한 타워 설계가 국가 경쟁력을 높일 수 있는 방안이 될 수 있음.

구조물 설계기준의 경우도 국외 엔지니어링사에 따라 각기 다른 기준을 적용하고 있어 국내에 시공되는 풍력발전 타워별 안전도에 차이가 발생. 국내 구조물 설계기준을 확립하여 국내 시공 풍력발전 타워의 동일수준 안전도 확보 필요. 국내 구조물 설계기준의 경우 IEC에서 제시하는 구조물 관련 규정을 현재의 상태로 적용하기 힘든 상태. IEC에서 제시하는 LRFD 개념의 풍력발전 타워 설계기준을 국내 실정에 맞게 제시하여, 국내 사업에 적용할 필요가 있음.

국내 보유중인 풍력발전시스템의 풍력타워는 100% 강재 Tubular 형식임. 국외에서도 강재 Tubular 형식이 일반적이나, 100m 이상의 타워에 대해서는 콘크리트 Tubular, 강재-콘크리트 하이브리드, Lattice 타워의 형식이 일부 적용중. 풍력타워와 같은 구조물의 경우 소재비, 제작 설비 및 인건비, 현장 시공비용이 지속적으로 변화하여 형식별, 소재별 경제성은 고정적이지 않음.

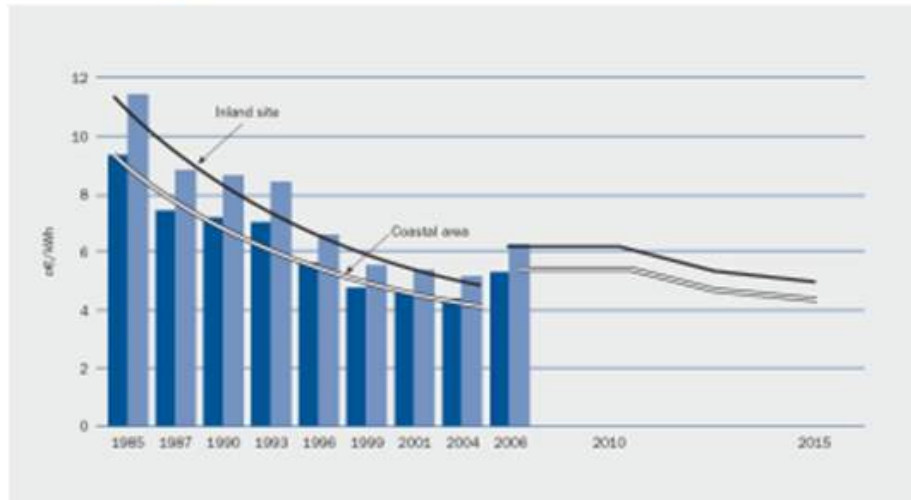
현재 국내 보유중인 풍력발전시스템은 최대 3MW급이며, 현재 다양한 업체에서 5MW 이상급 풍력발전 시스템을 해상풍력발전단지용으로 개발중. 현재 2~3MW급 풍력발전기를 지지하는 타워는 보통 80m 내외의 높이로 강재 Tubular 형식임. 2~3MW급 풍력발전시스템의 높이를 100m 이상으로 적용하는 방안에 대한 고려도 되고 있음.

강재 Tubular 형식 이외의 타소재 및 타단면 풍력타워는 일반적이지 않으나, 대표적인 건설용 소재인 콘크리트 타워의 적용방안에 대한 검토는 시급한 것으로 판단됨. 또한 최근 많이 활용되고 있는 FRP 소재의 경우도 국외의 경우 풍력발전 타워는 아니지만 유사한 형태의 교량 주탑 등에 활용이 되고 있는 실정으로 함께 검토가 필요함.

2. 국외 기술 동향

풍력타워는 규모가 커질수록 설치 단가대비 발전 단가가 저감되므로(로터 지름 3배 증가 시 용량 4.3배 증가) 전반적으로 크기는 증대되고 있는 추세임. 해상풍력타워의 경우 육지에서 먼 곳에 건설될수록 바람의 강도가 강해져 발전 효율이 커지므로 수심이 깊은 곳까지 건설할 수 있는 기술력을 확보하고 있는 추세임.

FIGURE 1.27: Using experience curves to illustrate the future development of wind turbine economics until 2015.



Costs are illustrated for an average 2 MW turbine installed either at an inland site or at a coastal position.

Source: Rose DTU

그림 11. 풍력발전 크기 증가대비 발전 단가 저감(EWEA, 2010)

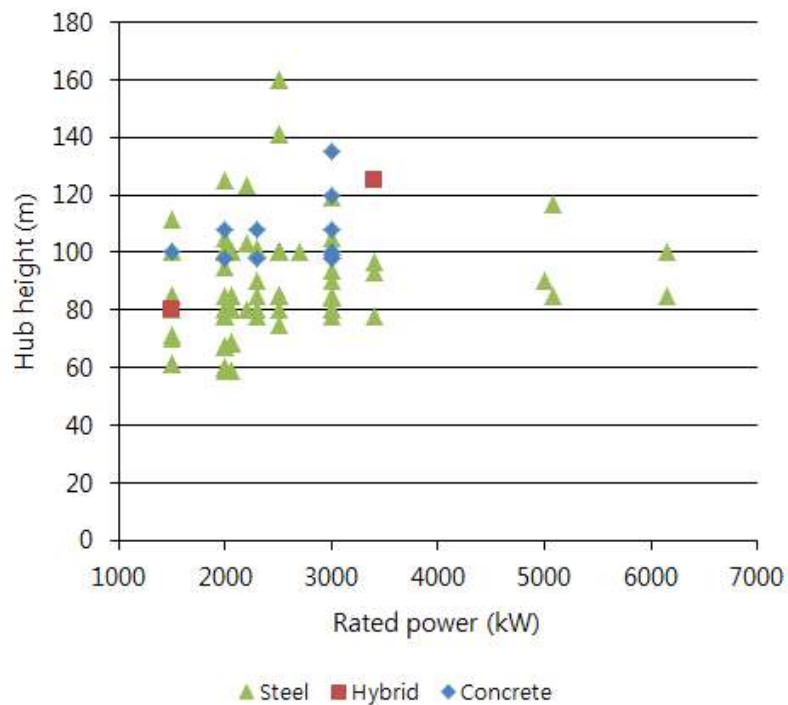


그림 12. 재료별 풍력타워의 높이

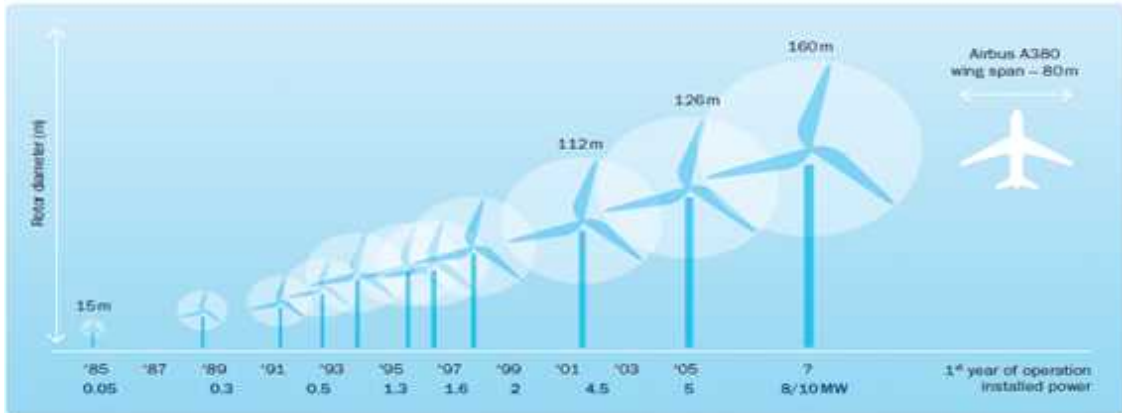


그림 13. 풍력타워 용량별 규모 도식

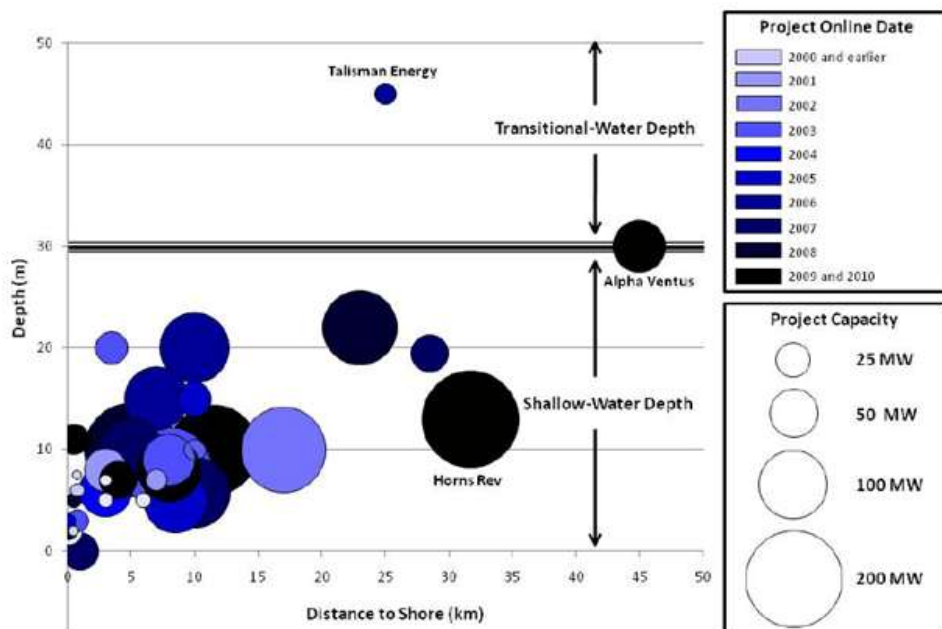


그림 14. 해외의 풍력타워 규모 변화

현재까지 풍력타워는 육상의 경우 80m높이의 풍력타워가 일반적이고, 해상의 경우 80~90m내외 규모의 풍력타워가 대부분임. 콘크리트 타워와 Hybrid타워는 극소수이며 대부분 강재 튜브 형식을 사용해 왔으나, 이러한 형식은 100m이상의 타워를 건설할 경우 강재 중량이 기하급수적으로 증가하여 경제적인 측면에서 불리하다. 또한 건설에도 O&M비용이 증가하여 비용 문제 발생하고 해상 풍력타워의 경우, 100m이상의 타워를 건설하기 위한 높이를 확보할 수 있는 크레인의 이용이 제한적이므로 대형 풍력타워의 건설이 어려운 실정임.

따라서 육상의 경우 100m이상 규모의 육상풍력타워를 건설할 수 있는 신형식 개발시 발전 효율 증가에 따른 경제성 확보가 예상되며, 해상의 경우 100m이상의 타워를 건설할 수 있는 시공 방법 개발 시 높이 확대가 가능할 것으로 예상됨.

풍력발전 시스템 건설기술은 유럽 국가들을 중심으로 발전해 왔으며, 현재는 5MW급 이상의 풍력발전 시스템에 대한 노력이 주가 되고 있음. 2MW급 풍력발전 시스템은 현

제 거의 일반화된 상태이며, 해상의 경우 발전 용량이 클수록 경제적이므로 대형 풍력타워에 대한 기술 개발이 시급한 실정임.

표 9. 각 국가별, 규모별 기술보유 현황

제조사	국가	해상용 풍력발전 시스템				
		4MW급	5MW급	6MW급	7MW급	8MW이상
Repower	독일		5MW	6MW		
Multibrid	프랑스		5MW			
Eneroon	독일	4.5MW		6MW		
Bard	독일		5.2MW		7MW	
Vestas	덴마크	4.5MW				
GE Wind	미국		5MW			8MW
Gamesa	스페인	4.7MW				
Simens	독일		3MW Upscaling중			
Clipper	미국		5MW			
Darwind	네덜란드					
Misubishi	일본			5MW		

4절. 연구개발 인프라 분석

1. 특허분석

NDSL 및 한국건설교통기술평가원에서 제공하는 Land-Scope를 활용한 기술 분야별, 국가별 특허출원동향에서 풍력발전에 대한 특허는 원동기 분야가 72%를 차지하며, 풍력 타워에 대한 발명은 아직 미미한 상태라는 결과를 얻음. 대부분의 특허는 미국이 가지고 있으며 유럽, 일본 순으로 나타남. 한국이 보유한 특허는 거의 없는 것으로 집계됨.

표 10. NDSL 특허 DB구축현황

구분	수록내용	수록기간	구축건수
한국특허	한국 출원, 공개/등록, 실용신안, 의장	1983-현재	3,472,461
미국특허	미국 공개/등록 특허	1976-현재	6,923,751
유럽특허	유럽 공개특허	1976-현재	2,368,498
국제특허	WIPO PCT 특허	1976-현재	2,114,927
일본특허	일본 공개특허	1976-현재	8,864,388
소계			23,744,025



그림 15. 기술분야별, 국가별 출원동향

표 11. IPC 분류

IPC	상세설명
F03D	풍력원동기
E04H	특정목적의 건축물 또는 유사한 건축물
H02P	전동기, 발전기, 회전변환기의 제어 또는 조정
F03B	액체용 기계 또는 기관
H02K	발전기, 전동기

2009년 풍력발전 관련 특허는 2001년의 6.6배에 달할 정도로 기하급수적으로 증가함으로써 풍력발전에 대한 관심이 증가하고 있다는 사실을 반증. 국제특허의 경우 미국이 총 특허의 57%를 차지하는데 비해 한국은 1.6%에 그쳐 정량적 부분에서 뒤쳐지고 있음.



그림 16. 연도별 특허 출원 수



그림 17. 국가별 특허 출원 수

풍력 타워에 관한 특허 조사를 위해 검색어를 “((wind power generation) OR (wind power system) OR (wind power energy) OR (wind power plant) OR (wind generation) OR (wind turbine) OR (wind turbines)) AND ((tower) OR (pole))”로 지정. 풍력관련 특허 중 Tower를 언급한 경우는 12%(한국의 경우 4%)에 그쳐, 타워에 대한 관심 및 개발이 저조하다는 결과를 얻음

표 12. 검색어 적용 국가별 특허검색 결과 수

한국	미국	유럽	국제	일본	전체
28	1,188	231	481	242	2,170
(1%)	(55%)	(11%)	(22%)	(11%)	(100%)

표 13. 국가별 Tower관련 특허 수

구분	한국	미국	유럽	국제	일본	전체
풍력특허	624	7,221	1,977	3,333	4,640	17,795
Tower 언급 특허	28	1,188	231	481	242	2,170
Tower 언급율	4%	16%	12%	14%	5%	12%

IPC분류 중 풍력타워 관련 특허는 E04H¹⁾로, 이에 대한 특허 검색 실시.

표 14. E04H에 해당하는 특허 검색(IPC분류 분석)

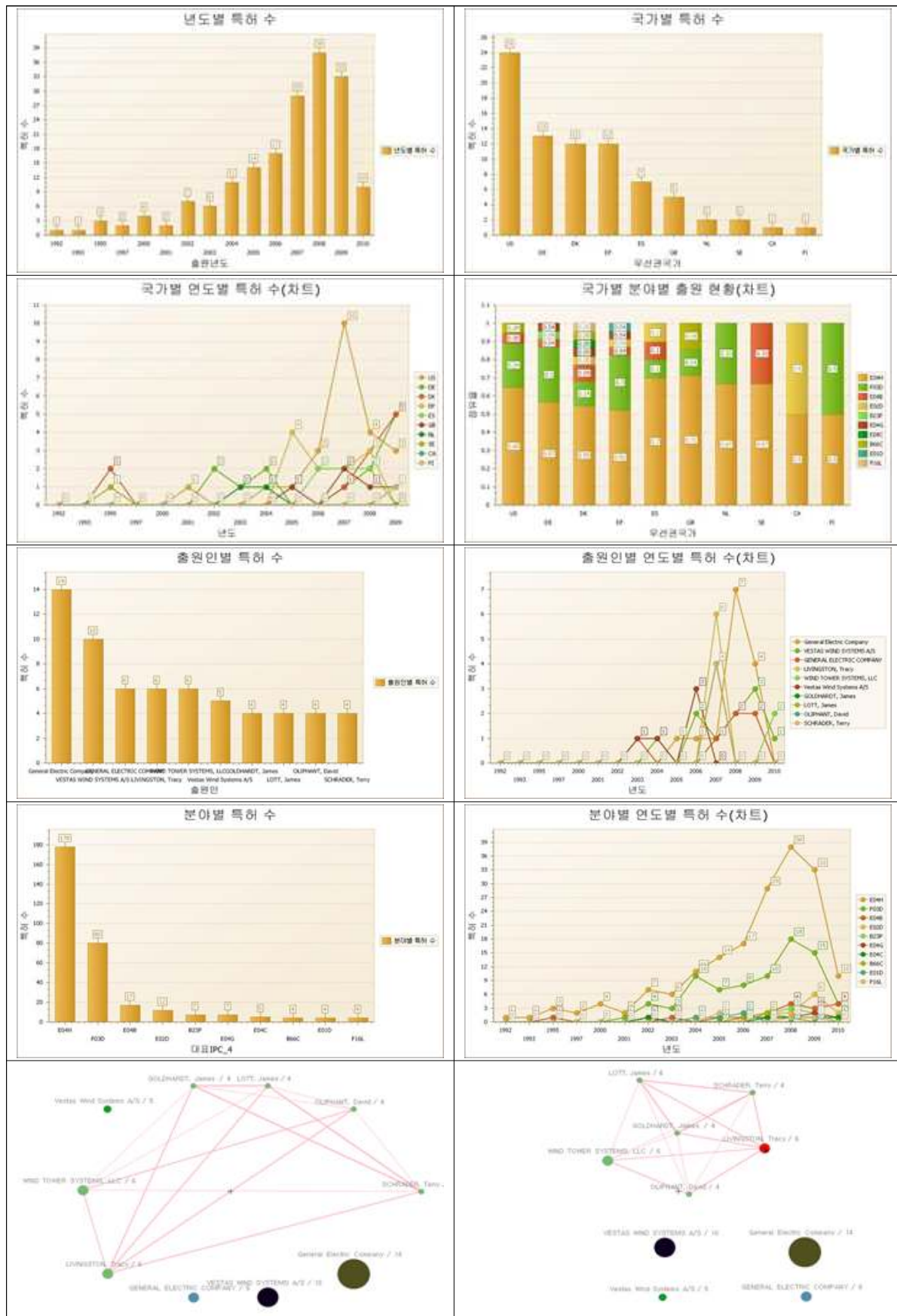
구분	한국	미국	유럽	국제	일본	전체
Tower 언급 특허	28	1,188	231	481	242	2,170
IPC 분류 E04H	3	82	22	49	27	183
E04H 율	11%	7%	10%	10%	11%	8%

년도 별 특허 수, 국가별 특허 수, 국가별연도별 특허 수, 국가별 분야별 출원현황, 출원인별 특허 수, 출원인별 연도별 특허 수, 분야별 특허 수, 분야별 연도별 특허 수, NetWork분석 등을 LandScope를 이용하여 분석 실시함.

Network분석을 통하여 풍력타워는 주로 주도업체의 독자적인 특허를 보유하고 있는 것으로 분석됨. 언급한 바와 같이 국내의 풍력타워 관련 특허가 매우 적은 실정이므로 국가 경쟁력 확보를 위한 노력이 필요 하다 판단됨.

1) E04H : 특정 목적의 건축물 또는 유사한 구축물(構築物); 수영(水泳) 또는 물놀이용 수조(水槽) 또는 풀(pool); 마스트(mast); 울타리; 텐트 또는 차양 일반(기초 E02D) 12/00 탑(塔); 마스트, 폴(Pole); 굴뚝; 급수 탑(塔); 그러한 구조물을 건조하는 방법 냉각탑(冷却塔) 5/12; 신호용 지지물 E01F 9/011; 기초 말뚝 E02D 5/22; 마스트, 포울(pole) 또는 굴뚝에 대한 기초 E02D 27/42; 구조용 장척(長尺) 부재 일반 E04C 3/00; 고정된 등반용(登攀用) 철물 E06C 9/04; 석유 채굴의 망루(derrick) E21B 15/00)

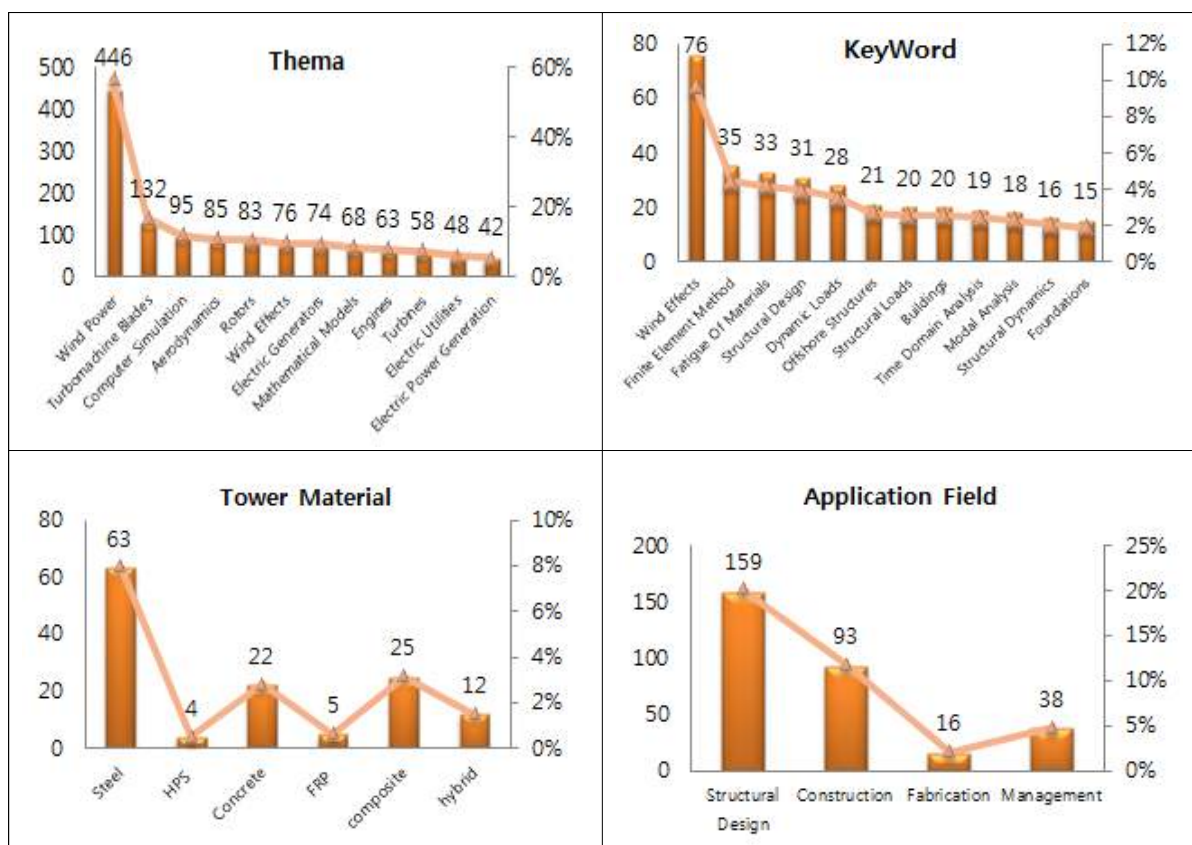
표 15. Landscape를 이용한 분류 분석



2. 논문 분석

현재까지는 터빈, 블레이드, 발전시스템에 관한 연구 분야에 주력, 구조분야에 대한 연구는 전반적으로 미비한 실정이며 해석이나 설계분야에 관련된 논문은 4%미만인 것으로 집계. 풍하중의 영향이나, 원통형 쉘구조에 대한 해석방안 관련 논문은 소수 있는 실정. 해상풍력 및 기초 지반관련 연구는 매우 미흡하며, 고성능강, 복합신소재, 콘크리트 적용 연구는 초기단계인 것으로 판단. 더불어 신형식 및 대형 타워구조의 극한강도 및 강도 설계기준에 대한 연구는 미흡하며, 창의적인 설계나 제작/시공관련 참고문헌 또한 부족한 것으로 판단됨. 전반적으로 “풍력타워”에 대한 언급을 한 논문은 상당 수 있으나, 풍력타워 관련 연구는 거의 없는 실정임. 특히 콘크리트나 신소재에 대한 연구는 극소수임.

표 16. 국내외 논문분석



3. 기술수요 및 기술예측 조사

기술 수요 및 기술예측조사는 다양한 분야의 전문가를 활용한 Focus Group Interview를 통하여 이루어짐. 분야는 발전사업자, 터빈제작, 타워제작사, 설계사, 인증사, 소재공급사, 단지시공사, 부품공급사, 타워 시공사 등 총 9개로 나누어 진행하였으며, 풍력발전타워의 주요기능, 기본확보성능, 추가확보성능, 풍력발전기 용량의 전망, 용량확대 저해요소, 풍력타워 높이의 발전전망 및 높이 확대 저해요소, 풍력타워의 문제점, 육상과 해상 타워의 차이점, 해양환경의 영향 및 고려방안, 해상풍력타워 고려사항, 하부구조형식에 따른 타워 하중 영향 및 고려방안 등 총 14개 분야에 대하여 질의함.

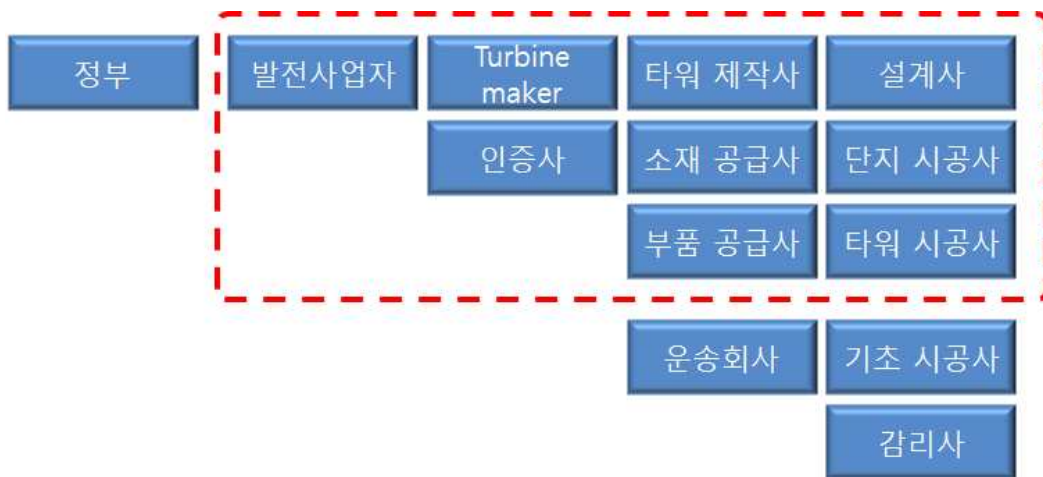


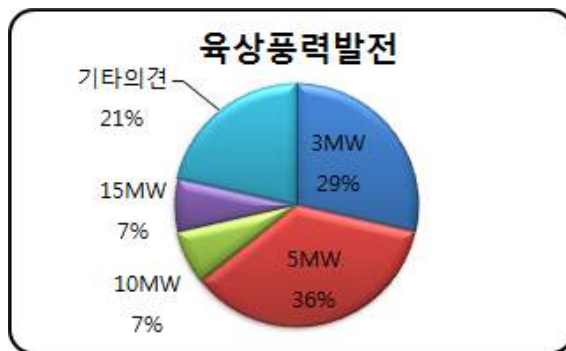
그림 18. Focus Group Interview 대상 분야



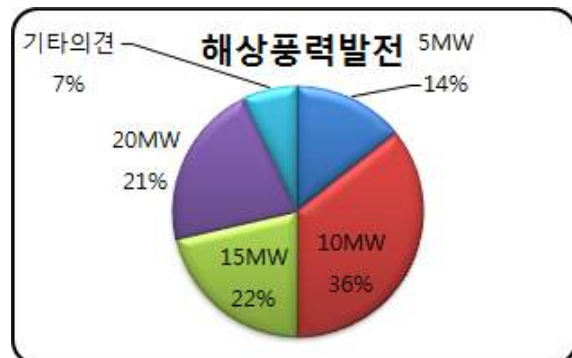
그림 19. Focus Group Interview 실시 전문가

가. 풍력발전기 용량 및 풍력발전 타워 높이의 발전 전망

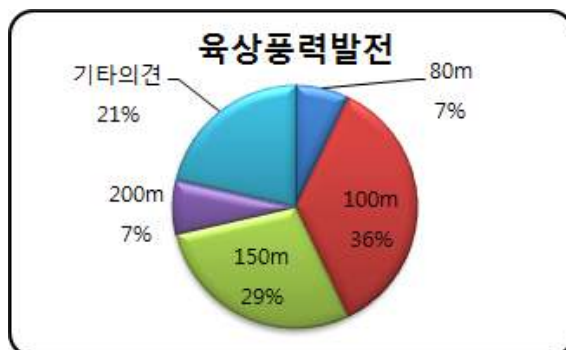
- EWEA 2011에서 조사한바, 풍력발전기 용량은 향후 20MW급까지 추진 예정에 있음.
- 해상풍력은 규모증가대비 발전효율 증가폭이 육상풍력에 비해 크므로 타워 규모의 증가폭이 클것으로 전망됨.
- 발전 효율성을 위한 블레이드 크기의 증가로 타워 높이의 고도화는 불가피할 것으로 전망됨.
- 타워 높이 증가에 따른 비용 증가 문제의 해결방안 마련이 시급함.



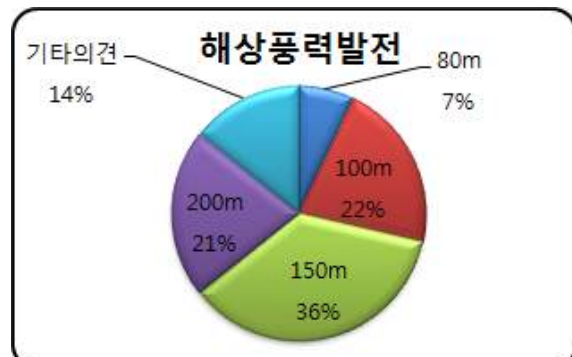
풍력발전기 용량의 발전 전망
5MW와 3MW가 지배적



풍력발전기 용량의 발전 전망
대용량화로 이어질것으로 예측



풍력발전 타워 높이의 발전 전망
100~150m가 지배적



풍력발전 타워 높이의 발전 전망
육상에 비해 더 높을것

나. 풍력발전타워의 높이증대 저해요소

- 운송장비의 특성을 감안하여 타워의 운반성 및 조립성을 고려해야 함.
- 시공성 증대를 위한 신형식 타워 개발 및 신소재 적용성에 대한 연구가 이루어 져야 할 것으로 판단됨.
- 타워 제작의 모듈화는 현재 가장 문제시 되는 시공 관련 사항을 해결할 수 있을 것으로 예측됨.
- 타워의 높이 증가 추세를 뒷받침해야 할 기술은 설계 기술 뿐만 아니라, 시공 및 재료 관련 기술 또한 필수적임.

- 설계시 전력 수율과 높이에 따른 타워가격의 경제성이 비교되어야 함.
- 현재 사용되고 있는 강재 타워의 비용 증가에 따른 문제점에 대한 해결방안 촉구.
- 현재 풍력타워에 관한 유지관리 기술 적용은 그 사례가 적어 높이 발전 저해 요소로 분류되는 데에는 무리가 있음.

표 17. 풍력타워의 높이 저해요소

저해요소	순위
타워 운송 곤란	1
현장 건설 장비 미비	2
타워 소재 변화 필요	3
타워 제작 기술 부족	4
타워 설계 기술 부족	5
유지관리 어려움	6

다. 풍력발전 타워의 주요기능 및 요구성능

(1) 풍력발전 타워의 주요기능

- 해상풍력타워의 경우 세굴방지대책, TP(transition piece) 장기적 안정성 확보가 추가적으로 고려해야 하는 기능
- 풍력발전 시스템 전체의 미관 향상 기능

(2) 풍력발전타워의 요구성능

- 현재에는 기초 연결부 및 타워 자체의 내구성 및 안전성이 가장 중요
- 파랑하중에 의한 영향 고려 : Substructures 설계시 고려 필요.
- 이 요구성능 외에 경제성향상, 경량화, 운송용이성, 수송 편의성이 필요

표 18. 풍력발전타워의 주요기능

주요기능	순위
블레이드및타워에작용하는풍하중지지	1
블레이드,나셀,타워등자중지지	2
지면과 풍력발전기 간의 간격 유지	3
작업자 및 전력선 통로	4
하부 전기자재 보호	5

표 19. 풍력발전타워의 요구성능

요구성능	순위
피로강도 성능	1
진동 성능	2
단면강도 성능	3
이음부강도성능	4
시공 용이성	5
제작 용이성	6
소재 내구성능	7
이음부 내구성능	8
유지관리 용이성	9
도장 내구성능	10
미관	11

(3) 육상 및 해상 풍력타워의 차이점

- 해상풍력타워는 육상에 비해 건설비용이 더 크나, 이는 하부공사에 관련된 사항으로 하중의 특징을 제외하면 육상과 해상 동시에 사용할 수 있는 일반적인 기술 개발이 가능할 것임..
- 해상풍력의 경우 부식 및 파랑, 조류 등의 해상환경에 대한 대비와 추가되는 하중을 고려해야 함.

(4) 하중 외 해상 풍력타워의 고려사항

- 해수에 의한 부식 방지 및 염해 대책
- 지반조건에 따른 다양한 하부기초형식별 기초부
- 하부구조물과 연계한 구조/진동 해석
- 해상 시공장비 확보 가능성 및 시공성
- 세굴 평가 및 방지대책

(5) 풍력타워 관련 필요 연구 의견

- 다양한 하부기초 형식별 설계 및 시공 기법
- 고강도/경제적/내부식성 풍력 타워 구조 기술
- 반복하중에 의한 장기 거동 안정성 평가 (타워, 기초 등)
- 다방향 풍속에 유리한 다층 수직축 블레이드 해상풍력 타워 개발
- 해상풍력 기초 및 타워 염해 저항성 평가
- 다양한 외부 하중 조합 방안

5절. 종합분석

1. 국내외 정책동향

전 세계적으로 환경문제에 대한 관심이 높아짐에 따라 세계 각국에서는 신재생 에너지의 발전의 토대가 되는 정책적 발판을 마련하고 있음. 중국에서는 풍력 발전에 대하여 세금 완화정책을 실시함에 따라 풍력발전에 의한 전력 생산량은 급격히 증가하고 있는 추세이며, 우리나라에서도 신재생에너지 의무할당제도(RPS)의 시행으로 석유 석탄에너지의 고갈에 대한 방안을 강구하고 있음.

2. 국내외 시장현황 및 전망

풍력발전은 신재생 에너지중 투자대비 효율이 가장 높아 유럽과 미국등지에서 빠른 성장세를 띄고 있음. 미국에서는 육상풍력 형식이 주를 이루고 있는 한편, 유럽에서는 현재 해상풍력에 대한 관심이 높아져 감에 따라 앞으로의 풍력타워는 대형, 대용량화 될 전망. 우리나라 또한 RPS의 시행으로 풍력 발전에 대한 투자가 늘어갈 전망이며, 2030년까지 총 생산 전력량의 10%내외를 풍력발전이 차지할 것으로 전망됨.

3. 기술동향 분석

유럽의 경우 2MW급의 중대형 풍력발전기를 거쳐 현재에는 8MW급의 풍력발전기까지 제작, 시공할 수 있는 기술력을 갖추고 있는 한편 우리나라는 대부분의 기술을 외국의 것을 그대로 활용하는 수준에 머무르고 있어, 앞으로 규모가 늘어날 풍력발전 시장에서 상당히 뒤쳐질 것으로 예상됨.

그러나 타워의 경우, 국내외적으로 연구가 미비하여, 연구가 진행될 경우, 국내 기술력 증진 뿐만 아니라 세계적으로 경쟁력을 갖출 수 있을 것으로 전망됨.

4. 연구개발 인프라 분석

Focus Group Interview결과 현시점에서 풍력발전은 대형, 대용량화 되어가고 있으며 이러한 경향에 대한 기술발전이 필요한 것으로 전망됨. 타워의 용량은 높이와 밀접한 연관이 있으며, 풍력발전 타워의 높이 증대를 위해서는 기본적으로 시공기술이 뒷받침 되어야 함. 이에 따라 시공성 증대를 위한 신형식 타워의 개발이 필요한 실정.

풍력타워의 개발에서 가장 중요한 사항은 피로 및 진동 성능 확보이며 이는 풍력타워의 주요기능이라 판단되는 풍하중 지지와 관련되어 있음.

종합적으로, 대형 풍력발전 타워의 건설은 향후 전망과 관련지어 볼 때 불가피한 요소이며 이에 대한 대책으로 다양한 형태에 대한 기술력이 확보되어야 하며 부가적으로 해상풍력타워에 대한 내부식성 및 염해 저항성 평가가 이루어져야 할 것임.

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표

1. 비전

○ 국내외 국가들의 시장, 정책, 기술동향 분석을 통해 우리나라의 현재를 파악하고 실현 가능한 연구 비전 제시

○ 석탄 연료의 고갈과 국제적으로 이슈화 되는 탄소 절감 정책에 대한 중요한 전략의 하나로 풍력타워의 설계 및 시공 기술 개발을 통하여 친환경적 개발의 초석을 마련하는 한편 세계적으로 경쟁력 있는 기술을 확보

○ 토목 분야에서 녹색성장의 기조에 맞는 연구를 진행 하여 기존의 노동력 집중 산업에서 Green-High-Technology로의 인식 전환

○ 토목 분야에서의 고도 기술을 접목 시켜 안전하고 효율적인 에너지 생산을 유도함으로써 미래 에너지 산업의 귀감이 되는 기술 개발

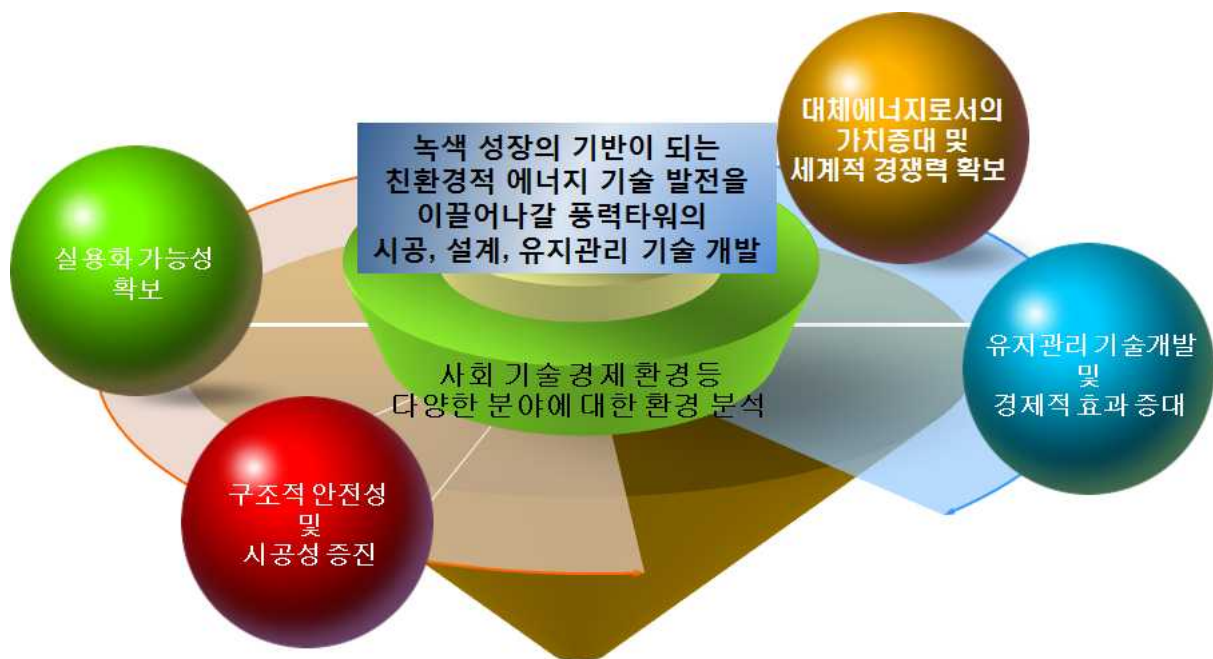


그림 20. 연구 비전

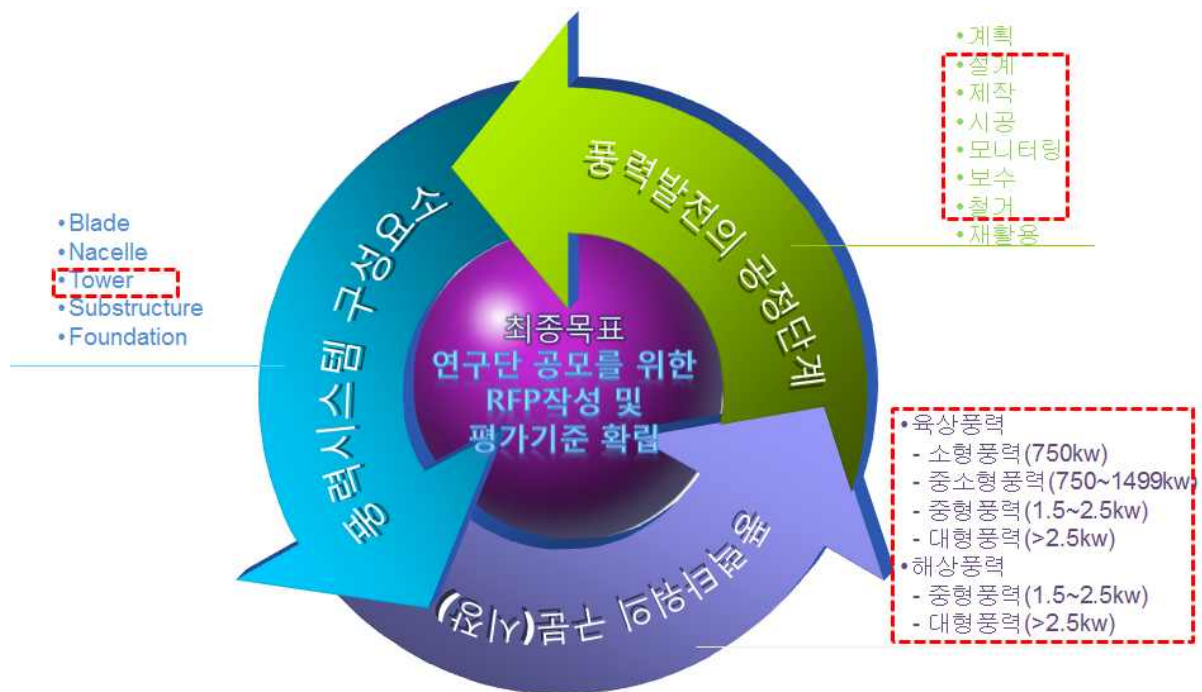
○ 비전 : 녹색성장의 기반이 되는 친환경적 에너지 기술발전을 이끌어 나갈 풍력타워의 시공, 설계, 유지관리 기술개발

- 세부 Target Value
 - 실용화 가능성 확보

- 구조적 안전성 및 시공성 증진
- 유지관리 기술개발 및 경제적 효과 증대
- 대체에너지로서의 가치증대 및 세계적 경쟁력 확보

2. 연구 목표

본연구의 최종 목표는 풍력발전 타워 전반에 걸친, 설계, 시공 및 유지관리 기술개발에 있으며, 연구 범위는 풍력발전의 공정단계, 풍력시스템의 구성요소 및 풍력타워의 시장구분으로 나누어서 설정함. 구성요소 측면에서의 연구 범위는 풍력발전 중 타워 부분의 구조적인 문제에 한함. 풍력타워는 육상과 해상 모두 해당되며, 소형, 중형 대형에 이르기까지 모든 규모에 대한 재료별, 구조형식별 타워의 신형식 개발에 중점을 둬. 풍력발전의 생애주기는 계획, 설계, 제작, 시공, 모니터링, 보수, 철거, 재활용의 8단계로 나눌 수 있으며, 이중 설계에서 철거에 이르기까지의 단계를 연구 범위로 설정함.



2절. 기술개발에 따른 미래상

1. 기술발전 시나리오

현재 풍력타워의 높이는 육상과 해상 모두 80m수준의 것이 대부분이나 이는 점차 증대되어 각각 120m, 100m가 될 전망이며 용량 또한 현재 수준보다 늘어날 것으로 전망됨. 적용 소재 또한 현재는 대부분이 강재로 이루어져 있으나, 크기별, 구조형식별에 따라 이외에도 다양한 소재가 적용될 것으로 예상됨.

표 20. 풍력타워의 기술발전 전망

구분		현재		미래	
타워높이	육상	80 m		120 m	
	해상	80 m		100 m	
용량	육상	2 MW		3 MW	
	해상	2 MW		5 MW	
형식		강재	98%	강재	50%
				콘크리트	20%
		콘크리트	2%	합성	20%
				기타	10%
발전단가		3억원/MW		2.5억원/MW	

2. 미래상

풍력발전 타워 전반에 걸친 기술 개발을 통한 녹색성장의 기반을 구축하고 국내 기술 자립도를 확보하는 한편 기술력 수출에도 이바지 할 수 있는 신형식 풍력타워 및 유지관리 시스템 개발

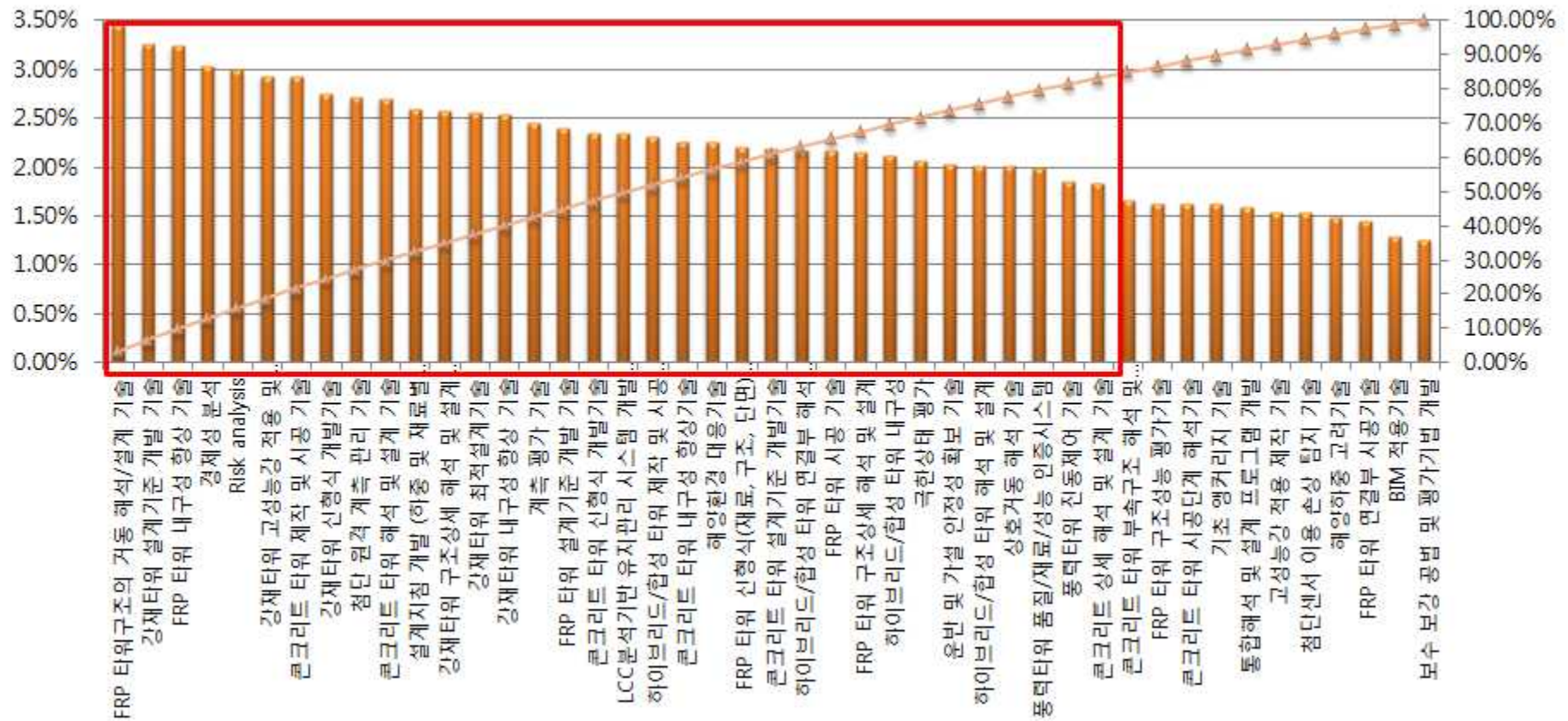


3절. 연구개발과제 구성

1. 핵심기술 도출 및 분석

AHP분석, QFD평가, 팔레토 분석을 통한 핵심기술 선정

표 21. 팔레토 분석



2. 후보과제 구성 및 평가

가. 후보과제 평가기준 확립

평가기준 설정 및 AHP분석을 통한 평가기준의 가중치 결정

요구특성	세부과제 간 유기적 연관관계 +효율적협조	세부과제 간 기술 중복성 회피 및 성과의 통합	세부과제별 기대성과 가능	대상 시장의 구분 명확성 및 시장별 적용차이 반영	목표성과물 구분 명확성	세부과제 수행주체 명확	민간기업의 참여 유도	기하 평균	가중치	우선순위
세부과제 간 유기적 연관관계 +효율적협조	1.0	0.3	0.3	3.0	0.3	5.0	5.0	1.11	11.83%	3
세부과제 간 기술 중복성 회피 및 성과의 통합	3.0	1.0	3.0	5.0	3.0	3.0	9.0	3.23	34.52%	1
세부과제별 기대성과 가능	3.0	0.3	1.0	5.0	3.0	5.0	9.0	2.50	26.72%	2
대상 시장의 구분 명확성 및 시장별 적용차이 반영	0.3	0.2	0.2	1.0	3.0	3.0	5.0	0.92	9.79%	4
목표성과물 구분 명확성	3.0	0.3	0.3	0.3	1.0	0.3	5.0	0.74	7.91%	5
세부과제 수행주체 명확	0.2	0.3	0.2	0.3	3.0	1.0	3.0	0.61	6.55%	6
민간기업의 참여 유도	0.5	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	1.0	0.25	2.67%	7

나. Pugh Matrix를 통한 후보과제 결정

항 목	1	2	3	4	5	6	7	8
세부과제 간 유기적 연관관계 + 효율적 협조	+	0	0	-	-	-	-	+
세부과제 간 기술 중복성 회피 및 성과의 통합	-	+	0	+	+	0	+	+
세부과제별 기대성과 가능	+	+	0	-	-	+	+	0
대상 시장의 구분 명확성 및 시장별 적용차이 반영	-	-	0	0	-	+	+	+
목표성과물 구분 명확성	0	0	0	0	+	0	0	0
세부과제 수행주체 명확	0	0	0	+	0	0	0	-
민간기업의 참여 유도	-	-	0	+	0	-	0	+
SUM (가중치 적용)	-8.4	+48.7	0	+5.2	-5.9	+22.0	+59.2	+52.6

다. 후보과제 결정 및 연구수행 체계

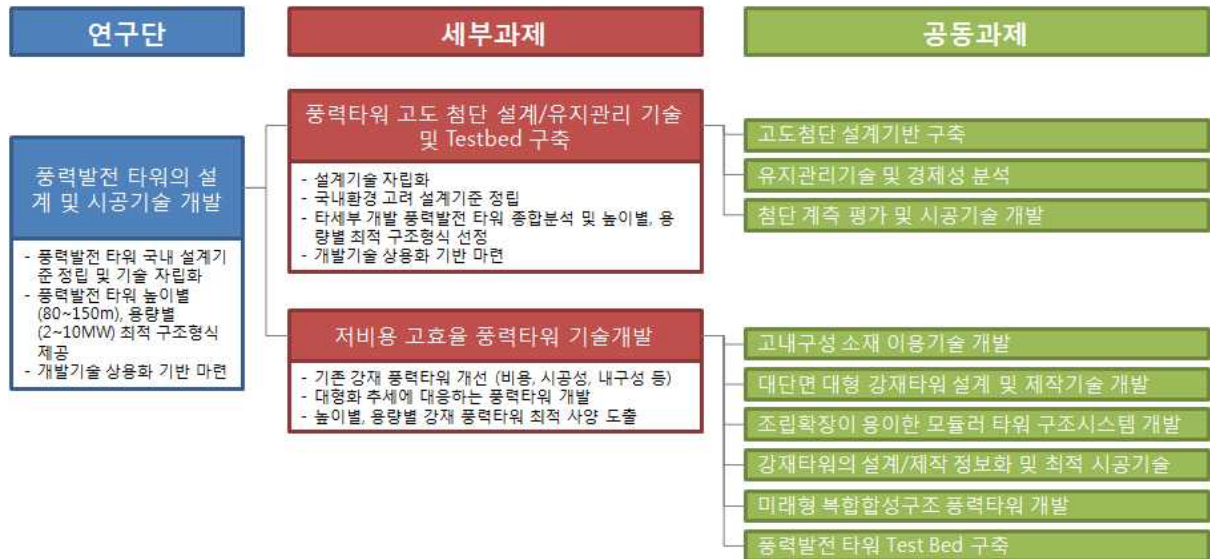
해상 및 육상 풍력발전 타워에 있어 설계 및 시공 전반에 걸친 기술력 확보를 목표로 고도첨단 설계기반 구축 및 유지관리 기술, 대용량 대형화 강제 풍력타워 기술, 급속시공 고성능 콘크리트 풍력타워 기술, 신형식 합성/복합구조 풍력타워 개발, 실증단지 풍력타워 Test Bed구축 기술로 후보과제 세분화함.

연구단	세부과제
풍력발전 타워의 시공 및 설계 기술 개발	풍력타워 고도첨단 설계기반구축 및 유지관리 기술
	대용량 대형화 강제 풍력타워 기술
신형식 풍력타워 개발 및 시공, 유지관리 시스템등 풍력발전타워 전반에 대한 기술을 확보하고 실증단지 조성을 통하여 실용화 방안 수립	급속시공 고성능 콘크리트 풍력타워 기술
	신형식 합성/복합구조 풍력타워 개발
	실증단지 풍력타워 Test Bed 구축기술

상기 도출된 세부과제 구성에 대하여 다음의 기획타당성검토위원회 의견을 반영하여 세부과제 구성 및 연구내용 수정

- 1단계(1~3차년도) 설계기술 개발 및 지침서 개발, 2단계(4~5차년도) Test bed 구축 및 검증으로 구분
 - 1단계는 풍력타워 설계 해석 기법 개발 위주로 추진
 - 2단계는 향후 추진될 해상풍력단지와 연계하여 추진
- 예산 적정성 검토 결과
 - 총 정부출연금 14,963백만원은 1단계(3년) 5,783백만원, 2단계(2년) 1,686백만원으로 조정
 - 시작품제작 비용 타당한 근거제시 및 연구과제별로 구조해석 관련 SW 예산에 대한 재검토 필요
- 세부과제별 검토의견
 - 1세부과제 : 과제명을 ‘풍력타워 설계 및 유지관리 기술 개발’로 변경하고 1-1, 1-2, 1-3 과제를 1단계로 추진
 - 2세부과제 : 과제명을 ‘저비용 고효율 풍력타워 기술개발’로 변경하고 2-2, 4-1 과제를 1단계로 추진하고 1-4 과제는 2단계로 추진
 - 3세부과제 : 콘크리트 타워 기술은 세계적 추이에 맞지 않고, 특히 해상풍력에 적합하지 않으므로, 향후 시장성을 고려하여 추진 보류
 - 4세부과제 : 공동연구과제(세세부과제) 규모로 축소하고 2세부과제에 포함하여 추진

- 본 과제 추진을 위한 RFP에 연구대상, 목표성능을 명확히 제시하고, 지경부 등 타 부처 추진 과제 및 국토부의 기존 관련 과제와 연계 추진 방안을 마련토록 명시



<수정된 과제구성 체계도>

수정된 연구수행 체계내에서 다음과 같은 추진전략 수립. Test Bed를 제외한 모든 연구활동은 1~3차년도의 1단계에서 완료 후 2단계에서 Test Bed 구축.

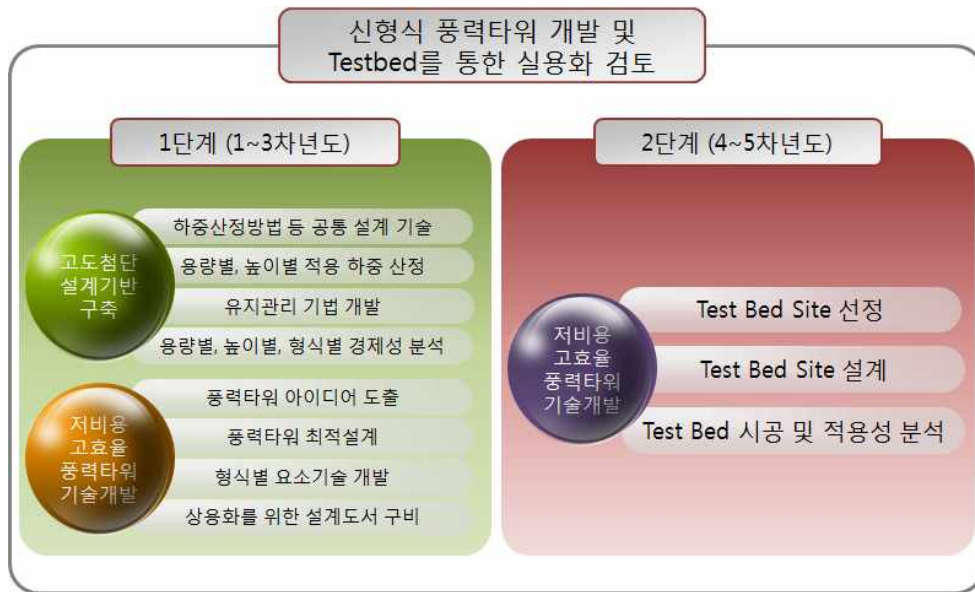
- 1단계(1~3차년도)와 2단계(4~5차년도)로 나누어 추진

- 1단계(1~3차년도) : 공통 설계기반 구축 및 후보 구조형식별 핵심 요소기술 개발

- 풍력발전기 용량별/타워높이별 최적설계 실시 및 최고 경쟁력 타워 구조형식 선정
- 풍력발전기 용량 범위 : 과제 종료시점에서 최대시장을 형성할 것으로 보이는 2~3MW급에서 최대 발전기 용량으로 예상되는 10MW급까지 포함
- 풍력발전 타워의 높이 범위 : 80~150m
- 목표 성능 : 풍력타워 설계기술 자립화 및 기존 풍력타워 대비 경제성 10% 향상
- 지경부 등 타부처 과제 및 국토부의 기존 관련 과제와 연계하여 추진

- 2단계(4~5차년도) : Test Bed를 통한 상용화 기반 마련

- 4차년도 : 선정된 타워형식에 대한 국제공인 인증기관의 Design Evaluation 수준 설계도서 작성 및 Test Bed Site 선정
- 5차년도 : 공통 설계기준/시공시방서, 구조형식별 설계지침 정립 및 Test Bed 추진
- Test Bed는 향후 추진될 해상풍력 단지와 연계하여 추진



〈세부과제 추진 및 과제간 연계도〉

대상	비고	사업 주체	종합
제주도 육상풍력단지	2014~15년 3MW, 10EA 시공 예정	KOPEC	다양한 풍력발전 프로젝트를 대상으로 Test Bed 계획 필요하나, 형식인증 및 인허가의 문제 선결 필요
국토부 해상풍력 실증단지	현재 KIMST 기획중 2014~16년 시공예상	KIMST	
지경부 해상풍력 실증단지	2013~15년 시공예상 발전기 용량 및 기수 미정	한전	
지경부 천해용 Substructure Test Bed	2013~14년 시공예상 5MW 이상급 추진중	RIST	

〈Test Bed 구축 방안〉

4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 1세부과제 개요 - 풍력타워 설계 및 유지관리 기술개발

가. 연구 개발목표

- 설계기술 자립화
- 국내 환경 고려 설계기준 정립
- 타세부 개발 풍력발전타워 종합 분석 및 높이별, 용량별 최적 구조형식 선정

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 기술수준 분석 및 GAP평가

(가) 성능 지표의 설정

성능지표(단위)	정의
교통, 안전, 부대시설의 국가성능 기준 만족여부(%)	시설물의 국가성능 기준 및 설치 기준 만족여부
풍력발전용량(MW)	현재 제작 가능한 풍력발전전기 용량
유지관리 및 보수 관련 요소 중요도	풍력타워 유지관리 수준선정을 위한 요소 중요도 및 AHP기법을 통한 보수 우선순위 결정
첨단 계측 장비를 이용한 장기 계측시 풍력타워 거동에 대한 계측 오차율(%)	3축 가속도계의 변위 대비 3축 GPS에 대한 상대적 변위 오차율
모니터링 시스템에 의한 풍력타워 동적 변위의 단주기와 장주기에 대한 신뢰도 지수(%)	GPS와 가속도계의 동적 변위의 단주기, 장주기에 대한 평균편차, 표준표차의 비
풍력타워 접합부의 위험도	스마트센서를 이용한 풍력타워 건전성 모니터링시스템에 의한 접합부의 손실·무손실 임피던스의 차
풍력타워 설계자립도 (%)	인증요건을 충족하는 타워 설계 국내 수행 가능 여부

(나) 기술 수준의 분석

세부기술 (세세부)	성능지표 (단위)	기술개발수준			비고
		국내	선진	목표	
고도첨단 설계기반	교통, 안전, 부대시설의	-	80	100	- 현재 국내에는 풍력타워의 설계 및 시공관련 설계기준은 마련되어

구축	국가성능 기준 만족여부(%)				있지 않으며, 건축물의 설계기준을 사용하고 있는 실정
	풍력발전용량(MW)	0.75	8	10	- 유럽은 8MW급 풍력발전 단지를 조성할 수 있는 기술력을 갖추고 있으나, 우리나라의 경우 설계 및 시공은 외국에 의존
유지관리 기술 및 경제성 분석	풍력타워 유지관리 및 보수 우선 순위	×	○	○	- 델파이 기법 및 AHP기법을 통하여 유지관리 및 보수 중요도에 의사결정 중요도를 가중하여 요소 선정에 있어 적절한 요소의 도출 및 합리적 선정
첨단계측 평가 및 시공기술	풍력타워 동적 변위에 대한 GPS와 가속도계 통합 모니터링 시스템 신뢰도	×	×	○	- GPS와 가속도계를 통합하여 모니터링에 사용한 경우는 아직 국내외에서 주로 교량에서 연구하는 단계이고 최근에 정확도를 검증하는 연구가 진행 - GPS와 가속도계를 통합하여 모니터링할 경우 풍력타워의 종합적인 거동 파악 가능
	스마트센서를 통한 풍력타워 접합부의 위험도	×	×	○	- 스마트 센서인 압전센서는 강 또는 콘크리트로 만들어진 구조물의 국부적인 손상을 계측하는데 많은 연구 진행됨 - 아직까지 풍력타워에 접목되어 연구가 진행된 바가 없음

(2) 연구 개발의 필요성

교량, 댐, 초고층 빌딩 등과 같은 타 거대 구조물에서는 활발히 유지관리 기술들이 연구되고 실용화가 되었지만, 풍력발전 타워의 대형화로 타워의 비용은 증가함에도 불구하고 장수명화를 위한 유지관리 기술들이 많이 부족하며 연구가 초기단계이므로 풍력발전 타워에 대한 유지관리 기술 개발이 필요함.

(3) 정부 지원의 필요성

개발하고자하는 기술인 유지관리, 첨단 원격 계측 평가기술, 재해 시뮬레이션 구축 등은 특정 단체나 개인이 보유하고 있는 기술력으로는 연구의 진행에 어려움이 있으므로 정부 주도의 지원이 필요함.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

(1) 국내 연구동향 및 연계 방안

유사연구	유사점 및 연계방안
- 김석현, 남운수, 은성용, “750kW 풍력발전기 타워 구조의 진동특성”, 2004, 한국소음진동 공학회 2004년도 추계 학술발표대회 논문집, pp.429~434 → 레일레이 에너지법(Rayleigh energy method)를 적용하여 다양한 풍황 및 작업속도 하에서 타워 구조의 진동 응답상태를 측정하여 구조 안정성 및 발전 효율과 관련하여 향후 풍력발전기의 국산화 개발 단계에서 필요한 타워 구조의 설계 정보 제공	- 풍력타워 적용 풍속을 고려한 동특성 파악
- 박광필외 4명, “탄성 다물체 동역학을 기반으로 한 부유식 풍력발전기 타워의 구조해석”, 2010, 대한기계학회 춘추 학술대회, Vol.2010, No.11, pp.611~616 → 부유식 풍력 발전기의 운동 방정식을 구성, 동적 거동을 고려하여 외팔보로 단순화된 타워 모델에 대해 구조해석 수행.	- 해양환경을 고려한 대수심 풍력타워 해석연구에 보완, 적용
- 문정희외 3명, “풍력발전시스템 성능 해석 S.W 개발에 관한 연구”, 2008, 한국항공우주학회, Vol.36, No.2, pp.202~209 → 새로운 형식의 풍력발전시스템의 성능 예측 및 제어 시스템 실험을 위한 시뮬레이션 소프트웨어를 소개.	- 발전 시스템 관련 문헌으로, 본 연구와 큰 연관 없음
- 이현주, 고장욱 “750kW 풍력 발전 시스템용 Tower의 구조 해석” 대한기계학회 2004년도 고체 및 구조역학 부문 학술대회 논문집, 2004.10, pp.103-107 → 피로해석을 수행, 설계에 반영함으로써 시스템의 신뢰성을 확보 위해 풍력터빈 시스템의 동역학적 시뮬레이션을 통해 외력 계산후 유한요소법을 통해 구조강도 해석	- 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석부문 적용 검토
- 한동영외 3명, “풍력 발전 시스템 타워의 용접부 강도 연구”, 2006, 한국신재생에너지학회 2006년도 춘계학술대회, pp.304~307 → 유한요소해석 통해 타워의 Top Flange 와 Can 용접부에 대한 강도를 평가. Top Flange 와 타워 Can을 연결하는 용접부에 대해 응력과 모멘트 사이의 비선형 관계를 고려함. 용접부에 대한 수명을 평가하기 위해 Bladed S/W 활용됨.	- 풍력타워 품질/재료/성능 인증 시스템 부문 적용 검토
- 박강균외 3명, “MW급 풍력발전기타워의 지진기반가진 진동해석”, 2009, 한국풍공학회 학술발표회 논문집, No.12[2009], pp.164~169	- 타워의 극한거동 검토 시 적용하중관련 부분 적용 검토

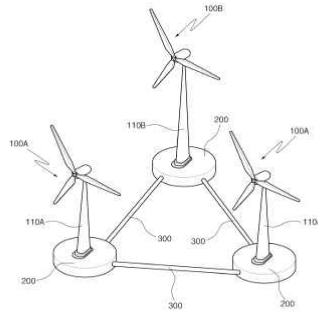
→ SAMCEF을 통하여 풍력발전기에 대한 시간이력 지진해석 수행, 블레이드에 작용하는 풍하중을 동시에 적용시켜 풍력발전기 운전 시 지반가진이 발생하는 조건을 가정하여 해석을 수행.	
- 박치영, "GPS를 이용한 사장교 거동 모니터링 분석", 2009, 동아대학교 대학원 석사학위논문	- GPS를 이용하여 사장교의 거동을 모니터링 하는 부분 유사
- 이인수, "계절별 RTK GPS의 Mapping 정확도 평가", 2005한국 GIS 학회지, 제 13권 제 1호, pp. 19~29	- 상시 장기간 GPS를 이용하기 위해서는 RTK-GPS를 사용하는 것이 더 효율적임
- 1.5 MW 급 풍력 발전기의 지진에 따른 진동 특성 연구 → 내진 해석의 방법은 스펙트럼 해석법을 사용 하였으며 유한요소 범용 프로그램인 Ansys V11을 활용하여 1.5MW 급 풍력 발전기 해석을 수행	- 동적변위 계측을 위한 모니터링 이전에 수행 되어야할 풍력발전 타워의 동특성을 연구
- 박기정, "구조물 및 지반 거동 감시를 위한 GPS 상시 관측 시스템 구축", 2004, 한국방재학회지, 기술기사 → GPS 상시 관측 시스템의 장, 단점 및 시스템 구축, 활용 등에 대해서 논함	- GPS를 활용하여 장기적으로 상시시스템 설치의 가능성을 확인
- 김석현, "풍력발전기 타워 구조의 진동 특성", 2009, 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp.49~59 → Accelerometer를 이용하여 중대형과 소형 풍력발전기 타워 구조의 진동 특성을 검토	- Accelerometer를 이용함이 유사하지만 변위데이터는 변환하여 보여주지 않음
- 이진학, 박승희, 윤정방, 노용래, 임피던스 계측을 통한 구조물의 손상 평가, 2004, 한국구조물진단학회 봄학술발표회 논문집, pp.517-522	- 압전센서를 활용한 임피던스측정을 통한 국부손상 계측
- 김대민, "압전소자를 이용한 콘크리트 구조물의 손상추정법에 관한 연구", 2008, 경북대학교 대학원 공학석사학위논문	- 압전센서를 활용한 임피던스측정을 통한 콘크리트 손상 계측
- 홍용, "스마트 재료를 이용한 손상 탐지 기법과 구조물의 건전성 평가에 관한 연구", 2009, 전북대학교 공학박사학위논문	- 압전센서를 활용한 임피던스측정을 통한 건전성 평가

(2) 국외 연구동향 및 연계 방안

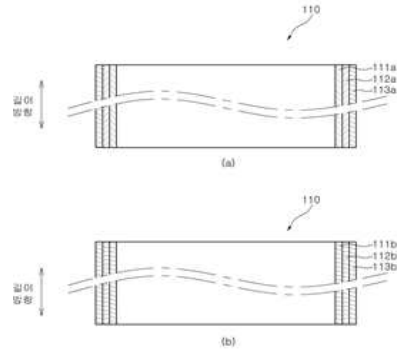
유사연구	유사점 및 연계방안
- Chou, JS “Failure analysis and risk management of a collapsed large wind turbine tower” Engineering Failure Analysis Vol 18, Issue 1, 2011, pp. 295-313 → 태풍으로 인한 타워 재해 예방 차원에서 설계 지침, 풍력타워 설계 보고, 풍하중 이력, 타워의 구조해석 등의 데이터를 이용하여 위험도 분석 실시	- 시뮬레이션 및 위험도 분석의 사례로 활용
- X Zhao , P Maißer “Seismic response analysis of wind turbine towers including soil-structure interaction” Highwire Press, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K: Journal of Multi-body Dynamics Vol, 220 Issue:1 pp.53-61 → 지반과 구조물의 상호작용을 고려, 선형탄성해석 및 비선형해석을 수행하여 타워 구조물의 지진응답 특성 규명	- 상호거동 해석기술에 적용 검토
- Xiao-bo Chen, Jing Li and Jian-yun Chen “Wind-induced response analysis of a wind turbine tower including the blade-tower coupling effect” Journal of Zhejiang University SCIENCE A 2009 → 동해석을 수행하여 블레이드와 타워사이의 상호작용을 고려 했을 때와, 단순히 질량을 추가했을 때, 두가지 경우를 비교	- 상호거동 해석기술에 적용 검토
- M Benedetti, V Fontanari and D Zonta “Structural health monitoring of wind towers remote damage detection using strain sensors” Smart Materials and Structures Vol. 20, 2011, pp.1~13 → 변형을 센서를 이용해서 구조물의 위험한 균열을 감지하고 다양한 바람의 변화를 다룰수 있는 방안 제시	- 센서를 사용한 구조물 유지관리 기술에 적용 검토

(3) 도출된 과제의 국내특허분석 및 중복성 검토

유사특허	유사점 및 연계방안
- 부유식 멀티 풍력터빈(10-2007-0107226) - 일방의 풍력터빈에 형성된 난류에 의한 타방의 풍력터빈의 간섭을 최소화하여 타워 제작시 구조물의 재료량을 줄임으로써 생산비용을 줄일 수 있음	- 재료비 절감을 통한 생산비용 감축 - 재료비 절감 효과 검토 후 수정 보완하여 활용

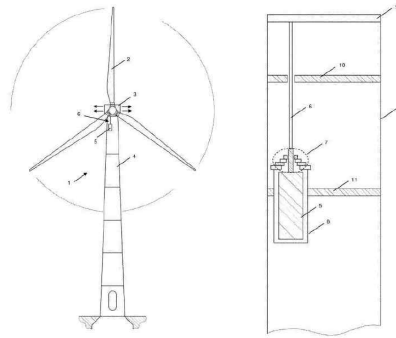


- 복합재료 풍력타워 및 그 제조 방법(10-2010-0099262)
- 맨드릴 위에 장섬유를 감아 제조하는 복합재료 풍력 타워 및 그 제조 방법



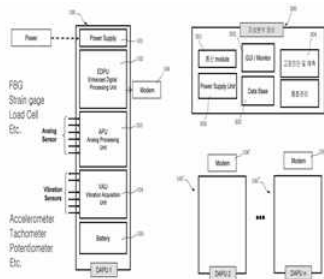
- 타워의 모듈화를 통한 시공기간 절감 및 경량화 재료를 사용한 운반비 감축
- 신형식 타워 적용성 검토 후 보완하여 활용

- 풍력 터빈의 진동감쇠 방법(10-2010-7014006)
- 풍력 타워 및 터빈에서 진동을 감쇠 시키는 방법



- 상부 타워 부분에 고정되게 부착된 플랫폼을 제공하는 단계를 수정 보완하여 적용 가능성 검토

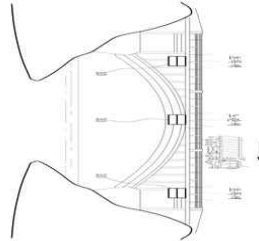
- 풍력발전설비 상태 감시 시스템(Health and usage monitoring system for wind turbine)(10-2009-0102366)
- 풍력발전 설비의 주요장치에 대한 실시간 상태감시시스템으로, 이상징후의 조기 발견 및 사고예방



- 센서를 이용한 실시간 감시시스템으로, 이를 참고하여 더욱 진보적인 구조물 상태 감시 전용 관리 시스템 개발

- 대형 시설물 유지관리를 위한 안전감시 신호장치 및 그 제어방법 (Safety observation signal apparatus for management of large facilities and control method of it) (10-2006-0052561)

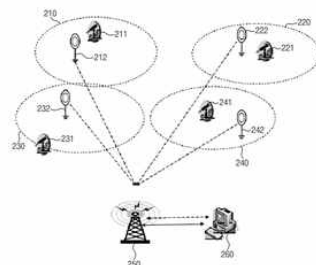
- 복잡한 상시감시 시스템을 설치 하지 않고 신호장치를 이용하여 시설물 유지관리를 효율적으로 수행할 수 있도록 한 대형 시설물 유지관리를 위한 안전감시 신호장치 및 그 제어방법



- 풍력타워의 유지관리 시스템에 적용성 검토

- 무선센서네트워크를 이용한 구조물 관리시스템 및 구조물 관리방법 (SYSTEM FOR MANAGING STRUCTURE USING WIRELESS SENSOR NETWORK AND METHOD OF MANAGING STRUCTURE) (10-2009-0009800)

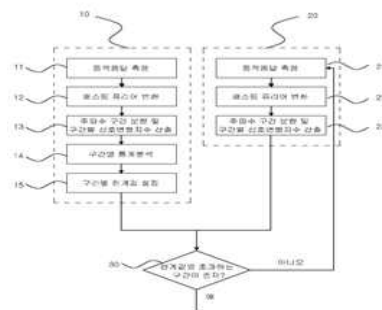
- 무선센서 네트워크를 이용한 구조물 관리 시스템 및 구조물 관리 방법



- 풍력타워의 유지관리 시스템에 적용성 검토

- 인공신경망을 사용한 동적신호의 스펙트럼 패턴 비교를 통한 구조물의 상태평가방법 (Structural Evaluation Method using Artificial NeuralNetwork and Dynamic-Signal Spectrum Pattern Comparison) (10-2004-0009970)

- 구조물의 수학적 모형과 발생가능성이 높은 구조계의 손상(또는 변화) 시나리오, 그리고 이를 이용하여 학습된 인공신경망을 이용하여 실제 구조물로부터 측정된 동적 신호를 분석하고 최종적으로 구조계의 변화 여부와 그 위치를 추적하는 방법



- 풍력타워의 유지관리 시스템에 적용성 검토

(4) 기존 국가 연구 과제와의 중복성 검토

기존연구과제		중복도	연계방안
과제명	세부연구내용		
최적설계기법을이용한한국형풍력블레이드디자인기초연구	Vortex와 후류, 난류를 포함하는 풍력발전용 회전익의 복잡한 유동장 해석 프로그램 개발 - RSM (Response Surface Method)를 이용한 풍력 블레이드 플렌폼 최적화 기법 개발 - 한국형 풍력 블레이드 플렌폼 디자인 연구	0	- 블레이드 관련 연구로, 본 과제와 연관 없음
30MW급이상Offshore용대형풍력발전기 개념및기본설계	비공개자료	0	- 대형 풍력타워의 발전기 관련 연구로, 본 과제와 연관 없음
풍력 발전 단지 설계 최적화 기술 개발	양성자 교환막 연료전지용 새로운 최적 저가 복합 나노구조 전극 개발	0	- 본 과제와 연관 없음
풍력 블레이드 설계 및 소재 공정 핵심기술 국산화 개발	Outer Rotor PMSG를 적용한 2MW급 해상풍력발전 시스템용 블레이드를 대상으로 핵심기술을 국산화 개발하여 상용화 실현	0	- 블레이드 관련 연구로, 본 과제와 연관 없음

(5) 요약

현재, 풍력타워를 대상으로 하는 설계 및 유지관리 분야의 연구는 국내외적으로 부족한 실정이며, 국내에서는 대형 풍력발전에 적용되는 풍력 타워에 관한 연구는 전무. 국내에서는 풍력발전 분야의 연구는 대부분 발전효율 및 그리드 시스템에 치우쳐 있으며, 타워에 관한 구조해석 연구는 소형 풍력타워에 그침. 국외에서는 지진 및 태풍, 폭우에 관련된 해석 연구가 이미 진행된바 있으며, 나셀부 및 기초부와 타워부의 상호작용해석까지 진행되어, 풍력타워 분야에 대한 관심은 우리나라보다 높음.

라. 연구개발 주요내용

(1) 고도첨단 설계 기반 구축

(가) Risk Analysis를 통한 풍력타워 적용 풍하중 산정 및 터빈-타워-기초 다물체 유탄성 해석을 포함한 설계지침 마련

- 해상 풍력타워의 풍하중 산정 기법 : 풍력타워의 규모에 따른 정적 풍하중 산정을 통한 설계풍속 결정

표 22. 건축학회 기준에 의한 정적 풍하중 산정의 예²⁾

높이 (m)	사다리꼴 면적 (m ²)	풍하중 수압면 (m ²)	층 실 울	풍력 계수	기본 풍속 도 (m/s)	가 스 트 영 향 계수	고도 분포 계수1	고도 분포 계수2	중요도 계수	풍속 환 계수 (K _{z1})	정적 풍하중 (kgf)
6.5	66.00	8.506	0.1288	3.306	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.52	6107.90
9.5	26.76	3.148	0.1176	3.361	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.51	2699.06
12.5	24.42	2.461	0.1007	3.445	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.51	2425.61
15.0	18.56	2.558	0.1378	3.262	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.51	2572.62
17.5	16.93	2.271	0.1340	2.280	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.50	2444.93
20.0	15.31	2.053	0.1340	3.280	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.50	2331.61
24.0	21.12	3.236	0.1532	3.189	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.49	3838.78
27.2	13.99	2.534	0.1824	3.056	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.49	3022.80
30.0	9.96	2.381	0.2388	2.818	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.48	2718.37
31.5	4.72	1.484	0.3142	2.540	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.48	1556.12
34.3	8.40	2.266	0.2697	2.699	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.48	2603.65
35.8	4.27	1.361	0.3185	2.526	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.47	1487.44
38.1	6.25	1.812	0.2897	2.626	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.47	2104.66
39.6	3.87	1.083	0.2800	2.661	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.47	1292.80
41.1	3.70	0.884	0.2386	2.819	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.46	1132.48
42.6	3.55	0.842	0.2368	2.826	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.46	1094.68
44.1	3.48	0.872	0.2581	2.771	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.46	1125.97
46.4	4.92	1.221	0.2481	2.782	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.45	1609.15
47.9	3.00	0.756	0.2520	2.767	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.45	1001.43
49.3	2.64	0.626	0.2367	2.827	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.45	855.94
50.7	2.52	0.619	0.2460	2.790	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.45	843.89
52.2	2.55	0.551	0.2161	2.911	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.45	790.34
54.2	3.14	0.775	0.2469	2.787	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.44	1077.15
55.7	2.17	0.633	0.2912	2.620	35	2.2	0.45	0.22	1.1	1.44	834.79

- 공개된 NREL 5MW 풍력 Turbine을 활용하여 5MW 급 풍력발전타워 하중 산정
- NREL 5MW 풍력 Turbine을 upscale, downscale 하여 2~10MW 풍력발전 터빈 모사 후 풍력발전시스템 하중해석 S/W 활용 타워 하중 산정 (이 때 풍력발전 전문가 자문을 통하여 하중 적정성 평가 필수)

2) 조강표외 5명, “송전철탑 설계를 위한 풍하중산정비교”, 2005, 한국풍공학회 학술대회

- 해상 풍력타워의 지진하중 산정 기법

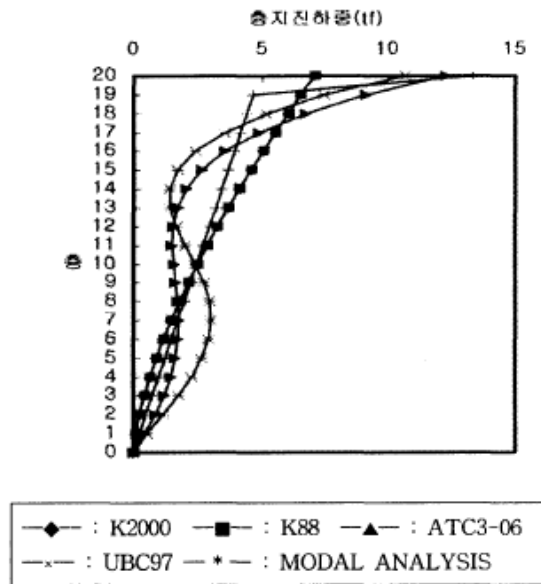


그림 21. 국내외 내진설계 비교(총 지진하중 : tf)

(나) 상호거동 해석 기술

- 기초-타워, 나셀-타워의 상호작용 관련 해석기술

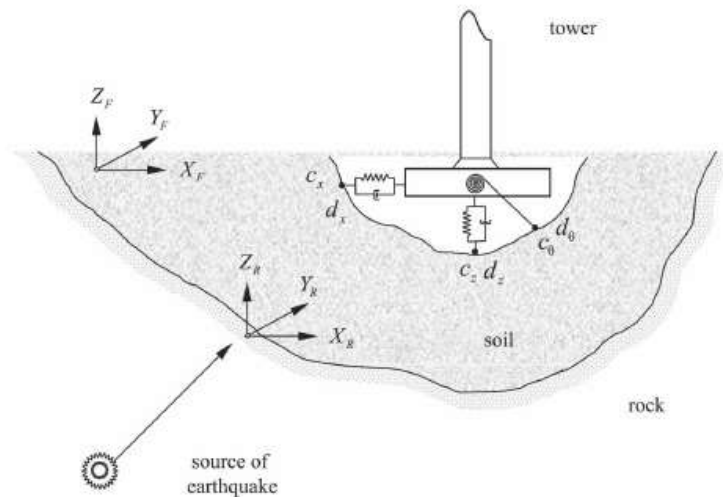


그림 22. 기초-타워 상호작용³⁾

(다) 극한상태 평가

- 산정된 하중을 바탕으로, 풍력타워의 재료적, 구조적 특성을 반영한 극한상태 평가 기법 개발
- 신형식 풍력타워의 거동특성 규명을 통한 경제적, 효율적 설계 유도

3) X. Zhao, "Seismic response analysis of wind turbine towers including soil-structure interaction"

- 다양한 하중조건을 반영하여 구조물의 위험 상태 평가

(라) 설계지침 개발(하중 및 재료별 설계 가이드)

- 육상 및 해상 풍력타워에 대하여 환경특성을 고려한 설계 가이드 제시
- 개발된 신형식 풍력타워의 특성을 반영한 설계지침 마련
- 풍력타워 적용 설계 지침 마련을 통한 경제적 설계 유도

(2) 경제성 분석 및 풍력발전 타워 시공기술

(가) LCC분석기반 유지관리 시스템 개발 기술

- 객관적 상태 변화를 예측 할 수 있는 유지관리 전략 제시
- 실용적인 잔여수명 예측 및 생애 주기 비용 분석
- 시간 경과에 따른 현재·미래 시점에 발생하는 외관상태평가 및 구조성능평가

(나) 경제성 분석

- 개발된 신형식 풍력타워의 경제성 분석을 통한 기술의 신뢰성 확보
- 계획, 설계, 시공, 유지관리에 이르기까지의 비용분석을 통한 실용화 가능성 증대
- 신형식 풍력타워의 개발과의 피드백을 통한 경제적 제품 개발에 일조

(다) 풍력타워 품질/재료/성능 인증 시스템

- 개발된 풍력타워의 품질 및 성능을 검토하여 실용화 가능한 제품 개발

(라) Risk Analysis

- 태풍 시뮬레이션을 통한 위험도 분석
- 해상풍력타워의 선박충돌 위험도 검토
- 쓰나미 발생에 의한 풍력타워의 취약도 분석

(3) 첨단 원격 계측평가 및 유지관리 기술

(가) 첨단 원격 계측관리 기술

- 풍력타워의 실시간 유지관리 시스템 구축을 위한 필요 DB선정
- 기존 원격 계측관리 장비 분석
- 풍력타워에 적용 가능한 계측 기기 선정 및 DB확보 방안마련
- 데이터 처리를 위한 S/W 개발

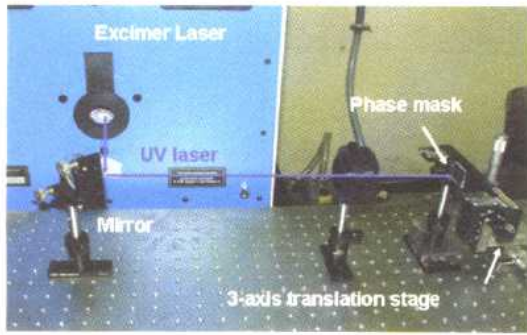


그림 23. FBG(Fiber Bragg Grating)센서⁴⁾

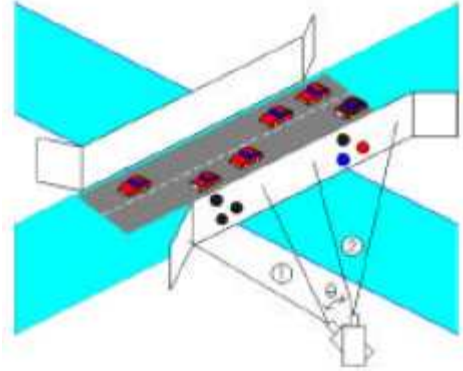


그림 24. 영상 처리기술⁵⁾

(나) 계측 평가 기술

- 변위, 가속도등 수집된 DB를 활용한 구조물의 상태평가 기법 연구
- 장/단기 거동 평가를 통한 풍력타워의 수명 예측
- 구조물의 건전도 평가를 통한 보수 시점 예측

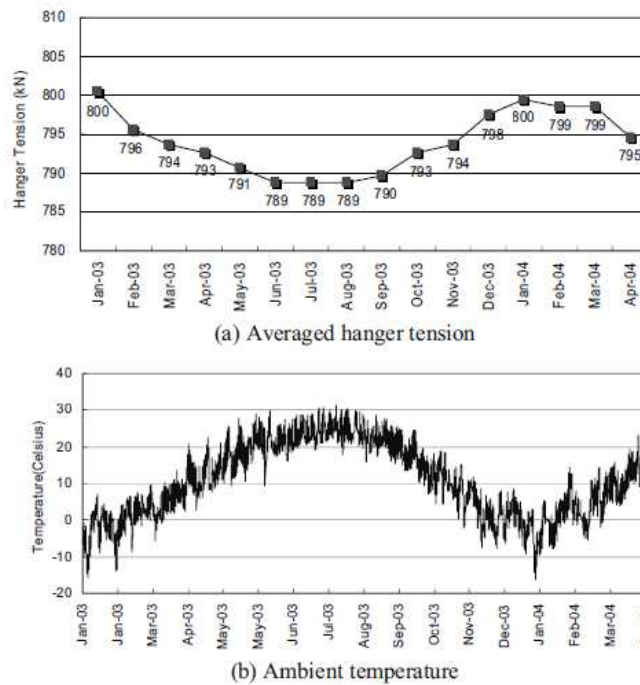


그림 25. 15개월간 관측한 현수교의 장력 및 온도 변화⁶⁾

4) 최은수 외, "FBG센서 응답을 이용한 단순보의 동적 변위 및 동특성 추정", 2006, 한국강구조학회 논문집, Vol.18, No.4, pp.503~514

5) 김성욱 외, "영상 처리기술을 이용한 건축구조물의 실시간 변위측정 시스템의 개발", 2003, 대한기계학회 2003년도 춘계 학술대회 논문집

6) Sungkon Kim et al. "Monitoring results of a self-anchored suspension bridge", 2005, Farhad ansari, Sensing issues in Civil Structural Health Monitoring, pp.475~484

(다) 풍력타워 진동 제어 기술

- 하중 특성을 반영한 신형식 풍력타워의 진동 성능 평가
- 지진 및 풍하중에 대한 진동 제어 기술 연구
- 면진 및 제진 장치 적용 검토

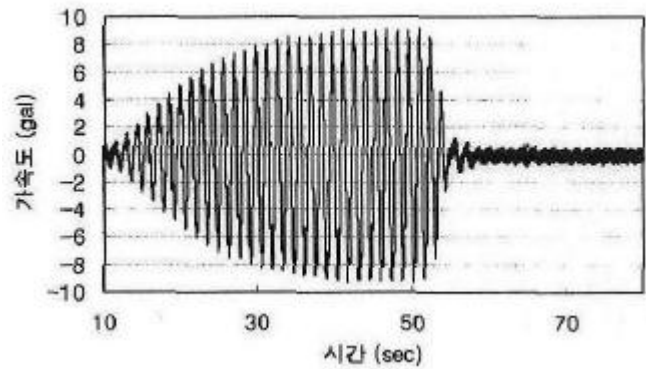


그림 26. 등가감쇠비 15%인 경우 제어성능⁷⁾

(라) 운반 및 가설 안전성 확보 기술

- 신형식 풍력타워의 시공성 확보를 위한 운반 및 가설 안전성 확보 마련



그림 27. 풍력타워 가설장면

7) 황재승외, “제진장치에 의한 타워형 구조물의 진동제어 성능개선에 관한 연구”,

마. 연구개발과제 TRM

세세부과제명	추진일정					년차별 성과물	연구내용
	1년	2년	3년	4년	5년		
고도첨단 설계기반 구축						풍력발전 타워 국내 설계 기준 및 국제인증을 위한 설계 가이드	Risk Analysis를 통한 풍력 타워 적용 풍하중 산정 및 터빈-타워-기초 타물체 유 탄성 해석을 포함한 설계지 침 마련
						풍력발전타워의 생애주기 비용 예측기법을 통한 성 능평가 기술 알고리즘	풍력발전타워의 생애주기비 용 예측기법을 통한 성능평 가 기술 알고리즘 제시
						풍력타워 보수보강 의사 결정 알고리즘	풍력타워 보수보강 의사결 정 알고리즘 제시
						재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석 알고 리즘	재해 시뮬레이션을 통한 구 조물 위험도 분석 알고리즘 제시
경제성 분석 및 풍력발전 타워 시공기술						풍력타워 경제성	LCC분석을 통한 풍력타워 의 경제성 평가
						풍력발전타워의 시공지침 서	풍력발전타워의 시공지침서 제안
첨단계측 평가 및 유지관리 기술						첨단 계측 기법	첨단 계측 기법 제시 및 활 용방안 분석
						풍력발전 타워의 유지관 리 모듈	계측을 통한 풍력발전 타워 의 유지관리 모듈 개발

바. 최종 성과물 및 성과지표

(1) 목표 성과물 제시

세세부과제	요소기술	목표성과물
고도첨단 설계기반 구축	- 해양환경 대응기술 - 상호거동 해석 기술 - 극한상태 평가 - 설계지침 개발(하중 및 재료 별 설계 가이드)	- 풍력타워 적용 풍하중 산정 및 적용 설계지침
경제성 분석 및 풍력발전 타워 시공기술	- LCC분석기반 유지관리 시 스템 개발 기술 - 경제성 분석 - 풍력타워 품질/재료/성능 인 증 시스템	- 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석 지 침 - 풍력발전 타워의 유지관리 및 표준설계 매뉴얼 - 풍력발전 타워의 안전성과 품질 확보를 위해 풍 력발전 타워의 생애주기비용(LCC) 예측기법을 성

	- Risk Analysis	능평가 기술 개발 - 풍력발전 타워가 보수·보강이 되었을 경우 이에 대한 성능을 평가할 수 있는 기술 및 성능개선을 위한 의사결정에 대한 알고리즘을 개발
첨단계측 평가 및 유지관리 기술	- 첨단 원격 계측관리 기술 - 계측 평가 기술 - 풍력타워 진동 제어 기술 - 운반 및 가설 안전성 확보 기술	- 풍력발전 타워의 유지관리 및 표준설계 메뉴얼 - 풍력발전 타워의 장기계측시스템을 도입하여 이를 위한 운영 및 유지관리 지침서 개발

(2) 성능 지표 및 KPI 도출

목표성과물	성능지표	성과지표(KPI)
- 풍력타워 적용 풍하중 산정 및 적용 설계지침 - 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석 지침 - 풍력발전 타워의 유지관리 및 표준설계 메뉴얼 - 풍력발전 타워의 안전성과 품질 확보를 위해 풍력발전 타워의 생애주기비용(LCC) 예측기법을 성능평가 기술 개발 - 풍력발전 타워가 보수·보강이 되었을 경우 이에 대한 성능을 평가할 수 있는 기술 및 성능개선을 위한 의사결정에 대한 알고리즘을 개발 - 풍력발전 타워의 유지관리 및 표준설계 메뉴얼 - 풍력발전 타워의 장기계측시스템을 도입하여 이를 위한 운영 및 유지관리 지침서 개발	- 유지관리 비용 비율 - 현장공사기간 절감율 - 환경조건을 고려한 설계 가능성 여부 - 위험도 분석 알고리즘 - 유지관리 관련 의사결정 알고리즘	- 신소재/신공법 - 기술이전건수 - 특허출원건수 - SCI논문수 - 국내 논문 게재 건수 - 학술발표 건수 - 연구개발 홍보건수 - 기술메뉴얼 발간건수 - 현장적용건수 - 설계지침 발간 건수

사. 성과물 검증방안

- 인증기관의 설계도서 검증
- 자체평가 위원회 구성을 통한 자문 및 검증
- 프로토타입 제작을 통한 적용성 평가
- 참여기업 및 관련 업체의 기존자료 분석과의 대비를 통한 공기 절감율 검증
- 경제성 분석을 통한 LCC대비 유지관리 비용 비율 산정

아. 기술수요처 및 실용화 방안

성과물	실용화구분	대상기업	비고
- 풍력타워 적용 풍하중 산정 및 적용 설계지침	기술자료 홍보	설계사 설계사 설계사 시공사 참여기업/유지관리 관련기업/시공사 설계사 참여기업/유지관리 관련기업/시공사	
- 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석 지침	기술자료 홍보		
- 풍력발전 타워의 유지관리 및 표준설계 매뉴얼	일반		
- 풍력발전 타워의 안전성과 품질 확보를 위해 풍력발전 타워의 생애주기비용(LCC) 예측기법을 성능평가 기술 개발	기술이전		
- 풍력발전 타워가 보수·보강이 되었을 경우 이에 대한 성능을 평가할 수 있는 기술 및 성능개선을 위한 의사결정에 대한 알고리즘을 개발	기술이전		모듈이전 기업에 이전
- 풍력발전 타워의 유지관리 및 표준설계 매뉴얼	일반		
- 풍력발전 타워의 장기계측시스템을 도입하여 이를 위한 운영 및 유지관리 지침서 개발	일반		

2. 2세부과제 개요 - 저비용 고효율 풍력타워 기술개발

가. 연구 개발목표

- 기존 강재 풍력타워 개선 (비용, 시공성, 내구성 등)
- 대형화 추세에 대응하는 풍력타워 개발
- 높이별(80~150m), 용량별(2~10MW) 풍력타워 최적 사양 도출

나. 연구개발 필요성 및 정부지원 필요성

(1) 기술수준 분석 및 GAP 평가

(가) 성능 지표의 설정

성능지표(단위)	정의
타워 단위높이당 가설공기(일/m)	현장에서의 총 가설 기간을 타워 높이로 나눈 값(일/m)
MW당 제작비용 지수(%)	풍력발전용량(Mw)당 제작비용 상대지수(%). 2.5Mw 급 기존 테이퍼강관 풍력타워의 제작비용을 기준으로 함.
강재중량(ton)당 운반비용지수(%)	풍력타워 단위강중(ton)당 100km 운반비용에 관한 지수. 25톤 트럭비용을 기준함.
재도장주기(년)	타워 강구조의 공용중 재도장 주기
시공가능 용량 (MW)	자체 기술력으로 설계, 시공이 가능한 풍력 발전기 용량
시공 가능 높이 (m)	자체 기술력으로 설계, 시공이 가능한 풍력 발전기 높이
Test Bed 풍력타워 제작 비용 (억원/MW)	풍력타워 제작에 소요되는 소재비, 제작비, 표면처리비, 내부 부속 설치비 등 총 비용
Test Bed 풍력타워 시공 기간 (hr/m)	풍력타워의 현장도착에서 나셀설치 직전까지의 시공 기간을 타워 높이로 나눈 값
Test Bed 풍력타워의 실거동 일치성 (%)	100% - (실구조물 거동 예측치>설계하중 적용 구조물 거동 예측치)인 경우의 비율

(나) 기술 수준의 분석

세부기술 (세세부)	성능지표 (단위)	기술개발수준			비고
		국내	선진	목표	
고내구성 강재 및 이용기술 개발	재도장주기(년)	10	30	40	- A1010 등 고내식성 소재적용, 아연도금 및 클래딩 처리, 고내후성도장재료 등의 각종 기법을 통해 재도장 최소화(30년 이상) 기술개발 가능 판단.
대단면 대형 강재타워의 설계 및 제작 기술 개발	Mw당 제작비용 지수(%)	120	100	90	- 2010년 2.5Mw급 풍력발전타워 국내외 평균 제작비용 기준
	시공가능용량 (MW)	3	8	10	- 2010년 현재 시공 가능한 국내, 선진국의 시공 가능 용량
	시공가능높이 (m)	80	100	150	- 10MW 풍력발전기에 적합한 높이 설정
조립확장 용이한 모듈러 타워구조시스템 개발	강재중량(ton)당 운반비용지수(%)	-	100	100	- 아직 국내 대형 풍력타워 실적 없음. 선진국 수준 도달 목표.
	타워 단위높이당 가설공기(일/m)	0.5	0.5	0.5	- Test Bed 가설공기로 비교 - 일반강관 풍력타워와 동일한 시공속도를 목표로 함.
	Mw당 제작비용 지수(%)	150	100	80	- 2010년 2.5Mw급 풍력발전타워 국내외 평균 제작비용 기준
고성능 강재타워의 설계/제작 정보화 및 최적시공기술	타워 단위높이당 가설공기(일/m)	0.5	0.5	0.5	- 가조립테스트 또는 Test Bed 가설공기 로 비교 - 일반강관 풍력타워와 동일한 수준의 시 공속도를 기본목표로 함.
강/콘크리트 축방향복합 튜브타워 시스템	신개념 아이디 어 설계자립도	45	90	100	- 유럽의 경우 하부에 콘크리트튜브 로 거치하고 상부에 강재튜브를 설치 하는 하이브리드 형식이 실용화 수준 에 있음.
	현장 적용성 및 시공성	45	90	100	
	재료의 활용정 도 및 제작성	45	85	100	
	전체공정을 고 려한 경제성	45	85	100	
멀티기둥 복합 타워시스템	신개념 아이디 어 설계자립도	50	85	100	- 세 개의 주기둥 부재가 중간 다이하프램으로 일정 간격 지지되는 Tripod 타워 구조는 대형 조명용 타워 구조 등에 사례가 있음.
	현장 적용성 및 시공성	45	80	100	
	재료의 활용정 도 및 제작성	45	85	100	
	전체공정을 고 려한 경제성	45	80	100	
합성단면	신개념 아이디	50	85	100	- CFT(Concrete-Filled-Tube),

타워시스템	어 설계자립도				강-콘크리트-FRP 등의 조합구성의 DS(Double Skin CFT) CFT에 대해서는 활발한 연구가 진행되고 있으나 풍력타워구조로 적용사례는 아직 없음.
	현장 적용성 및 시공성	50	90	100	
	재료의 활용정도 및 제작성	50	90	100	
	전체공정을 고려한 경제성	50	85	100	
대상 Site 및 발전기 선정 및 실시설계	풍력타워 설계 자립도 (%)	50	100	100	- 현재 해외 설계사 의존 설계 - 풍력타워 설계 완저 자립화 목표
Test Bed 적용 풍력타워 제작	Test Bed 풍력타워 제작 비용 (억원/MW)	3	3	2.7	- 풍력타워 제작비용 10% 절감 목표
Test Bed 풍력타워 운송 및 현장 설치	Test Bed 풍력타워 시공 기간 (hr/m)	10	10	8	- 풍력타워 시공기간 20% 절감 목표

(2) 연구 개발의 필요성

- 경제성 향상 대형 단면구조 개발 필요: 기존 단순 Tube형 단면 외의 다각형셀구조, 강합성구조, 단면 보강기술
- 원주방향 단면 모듈화 기술개발 통한 직경제한 한계 극복: 제작성 및 피로성능 측면에서 보다 유리
- 새로이 출현되는 고강도 강재의 활용방안 검토: 최적·최소단면 구현방안 개발
- 고내구성 강재 적용 기술: 장수명화, 유지관리비용 및 온실가스 배출 최소화 가능
- 하이브리드 강재 타워의 합성기술 및 시공법: 효율적 고도화 시스템 구축
- 기존 강재만을 이용한 원통형 구조타입에 대한 극한강도의 증대를 위한 연구와 더불어 강재와 콘크리트, FRP와 같은 복합신소재의 재료별 강점을 최대한으로 활용할 수 있는 신형식 축방향복합구조 타워 및 합성단면구조 타워에 대한 형식 개발이 동시에 요구.
- 경량, 내부식, 고내구성을 가지는 복합신소재를 적용한 새로운 풍력타워 시스템은 원천기술 확보 및 해외 수출 성공 가능성이 매우 높을 것으로 예측.
- 특히 해상풍력단지에는 substructure와 타워구조에 대한 제작, 운반, 거치 및 기타 현장시공 등에 대한 부문은 turbine제작과는 구별되는 건설영역 고유업무로서, 그동안 축척된 역량이 우수한 강구조 및 콘크리트 합성구조에 기술적 접목을 시도하는 것이 풍력기술을 앞당기는데 매우 효율적이므로 이 부문에 대한 연구개발이 시급히 진행되어야 함.

(3) 정부 지원의 필요성

- 개발하고자하는 풍력발전 타워구조는 국가의 승인 및 허가 하에 진행되는 주요 SOC구조물의 일부로서, 그 계획 및 해석, 설계의 과정에 필요한 경우 국가적 기준이 제시되어야 할 필요가 있음.
- 풍력발전단지 및 발전기 설치사업은 기초 및 상부타워를 담당하는 건설업과 나셀 및 블레이드를 담당하는 중공업 등이 종합적으로 기여하는 플랜트 사업으로 국가산업 기반에 기여도가 높은 사업.
- 풍력발전사업은 이산화탄소 배출이 전혀 없는 친환경 사업으로 세계 각국에서 경쟁적으로 주도권 확보를 위한 경쟁이 치열한 상황으로 산학연의 자체 수행뿐 아니라 국가적 지원하에 조직화되고 일관된 연구의 진행이 요구.
- 복합신소재를 적용한 풍력타워 형식은 국내외적으로 개발 사례가 미미하므로 초기 개발단계에서 원천기술의 확보가 향후 해외수출로 이어질 가능성이 예상되므로 정부의 일정정도의 역할이 요구됨.
- 정부 주도로 개발된 풍력발전 타워에 대하여 최종적인 구조성능 및 제작/시공성을 검증하기 위하여 개발 과제 내에서의 실 프로젝트 적용을 통한 검증이 필요함. 이때 새로 개발된 풍력발전 타워 제품의 초도적용임을 감안하면 다양한 계측 및 분석을 통한 성능검증 데이터 확보가 필요하며, 이를 통하여 본 연구과제로부터 개발된 풍력발전 타워 제품에 대한 최종적인 상용화 기반 완성 가능.

다. 기존 연구와의 중복성 및 연계방안

(1) 국내 연구동향 및 연계 방안

유사연구	유사점 및 연계방안
- 김석현, 남윤수, 은성용, “750kW 풍력발전기 타워 구조의 진동특성”, 2004, 한국소음진동 공학회 2004년도 추계 학술발표대회 논문집, pp.429~434 → 레일레이 에너지법(Rayleigh energy method)를 적용하여 다양한 풍향 및 작업속도 하에서 타워 구조의 진동 응답상태를 측정하여 구조 안정성 및 발전 효율과 관련하여 향후 풍력발전기의 국산화 개발 단계에서 필요한 타워 구조의 설계 정보 제공	- 풍력타워 적용 풍속을 고려한 동특성 파악
- 박광필외 4명, “탄성 다물체 동역학을 기반으로 한 부유식 풍력 발전기 타워의 구조해석”, 2010, 대한기계학회 춘추 학술대회, Vol.2010, No.11, pp.611~616 → 부유식 풍력 발전기의 운동 방정식을 구성, 동적 거동을 고려하여 외팔보로 단순화된 타워 모델에 대해 구조해석 수행.	- 해양환경을 고려한 대수심 풍력타워 해석연구에 보완, 적용
- 이강수외 3명, “해상 풍력 발전용 Tubular와 Jacket Type Tower의 진동 특성에 관한 연구”, 2006, 한국전산구조공학회논문집 Vol.20, Page615~622 → 풍력 발전 분야는 앞으로 에너지 대란에 있어서 이를 해결해 줄 중요한	- Jacket Type 타워의 진동특성 분석.

돌과구 중의 하나이다. 지금까지 연구되어 온 풍력발전기의 Tower에 대한 분야는 정적인 해석에 그치고 있다. 본 연구에서는 타워의 형태를 크게 두 가지 Tubular Type와 Jacket Type으로 정하고 이것에 대한 각각의 특성을 파악하며, 그 경향을 찾아내 이를 실제 설계 및 제작에 적용하고자 하였다. 본 논문에서는 타워의 모드별 고유진동수를 파악하고 이것에 대한 특성을 연구하였으며, 작동 중 발생하는 하중과 해상 설치 시 작용하는 부가질량의 영향에 대하여 고려하여 그 특성을 파악하였고 두가지 유형의 타워의 특성을 비교하여 그 경향을 예측 할 수 있었다.	
- 이현주, 고장욱 “750kW 풍력 발전 시스템용 Tower의 구조 해석” 대한기계학회 2004년도 고체 및 구조역학 부문 학술대회 논문집, 2004.10, pp.103-107 → 피로해석을 수행, 설계에 반영함으로써 시스템의 신뢰성을 확보 위해 풍력터빈 시스템의 동역학적 시뮬레이션을 통해 외력 계산후 유한요소법을 통해 구조강도 해석	- 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석부문 적용 검토
- 한동영외 3명, “풍력 발전 시스템 타워의 용접부 강도 연구”, 2006, 한국신재생에너지학회 2006년도 춘계학술대회, pp.304~307 → 유한요소해석 통해 타워의 Top Flange 와 Can 용접부에 대한 강도를 평가. Top Flange 와 타워 Can을 연결하는 용접부에 대해 응력과 모멘트 사이의 비선형 관계를 고려함. 용접부에 대한 수명을 평가하기 위해 Bladed S/W 활용됨.	- 풍력타워 품질/재료/성능 인증 시스템 부문 적용 검토
- 박중빈 외 3명, “원통형 쉘구조 해상풍력타워의 좌굴 및 후좌굴해석”, 한국해양과학기술협의회 2010년도 공동학술대회 발표집, pp.1695~1699 → 일반적인 원통형 타워구조의 기초좌굴거동에 대한 검토 수행	- 튜브형식의 타워구조에 대한 극한강도산정방법과 연계
- 김남형; 진정운, “해상 풍력발전타워에 작용하는 파력과 풍력에 관한 기초연구”, 대한토목학회 2010년도 정기학술대회 논문집, pp.536-539 → 해상풍력발전기 설치시 고려되는 바람으로 인해 발생하는 파력과 풍력이 타워구조에 미치는 영향에 대한 분석	풍하중영향 고려시 연계방안 모색
- 김석현, “풍력발전기 타워 구조의 진동 특성”, 국소음진동공학회 2009년도 춘계학술대회논문집, pp. 49-59 → 750kW 및 6kW 소형 풍력터빈용 타워구조물에 대한 진동특성을 측정과 해석기법에 의한 기초적 검토	하이브리드 타워구조의 진동특성연구에 연계모색
- 김민주; 강남철, “풍력발전기 타워와 블레이드 연성계의 진동 해석”, 한국소음진동공학회 2010년도 추계학술대회논문집, pp. 122~123 → 블레이드-타워의 상호작용을 고려한 타워구조의 진동거동해석 기법 제안	블레이드-나셀-타워의 상호작용분석시 연계
- 송준엽 외 2명, “반복하중을 받는 콘크리트 충전 강합성 기둥의 연성에 관한 연구”, 2001, 한국지진공학회논문집 : Vol.5 No.6, pp. 11~19 → 일정한 축하중과 반복적인 횡하중을 받는 콘크리트 충전 강합성 기둥의 내진성능에 관한 실험적 연구	합성 타워구조개발 연계
한택희 외 3명, “강합성 중공 기둥의 내진 성능”, 2008, 국강구조학회 논문집 : Vol.20 No.2, pp. 215-226 → 강관이 삽입된 강합성 중공 기둥의 내진 성능 평가를 위한 준정적 실험을 통하여 일반 중실 RC기둥의 내진 성능을 비교 평가	합성 타워구조개발 연계
- 정인근 외 3명, “SRC합성기둥의 P-M상관도 분석을 위한 실험”, 2005, 대한토목학회 논문집 : Vol.25 No.3A, pp. 555-563 → 콘크리트에 강재를 매입한 합성기둥에 대한 압축 및 휨에 대한 상관관계 분석을 위한 실험 수행	합성 타워구조개발 연계
- 박국동 외 3명, “콘크리트 충전형 압축부재의 단면특성에 따른 구속효과 평가”, 2010, 한국강구조학회 논문집 : Vol.22 No.4, pp. 365~375	합성 타워구조개발 연계

→ 압축하중 상태에서 콘크리트 충전 합성부재의 콘크리트의 구속효과와 강재의 국부좌굴에 대한 실험적 연구	
- 이명재, "SM570TMC강을 이용한 콘크리트충전강관 합성기둥의 설계기준 항복강도", 2008, 한국강구조학회 논문집 : Vol.20 No.1, pp. 205~213 → M570TMC 강재를 합성부재로 사용할 경우 항복강도를 저감시키지 않고 공칭강도를 그대로 사용할 수 있는지를 정량적으로 평가	합성 타워구조개발 연계
- 주형중 외 3명, "콘크리트 충전 FRP 원통관의 압축거동에 관한 실험적 연구", 2008, 한국복합재료학회 논문집 : Vol.21 No.3, pp. 24~30 → 기둥이나 말뚝 등에 효율성을 갖는 CFFT(Concrete Filled FRP Tube) 형식을 제안하여 구조성능을 분석하고 평가함.	복합신소재 풍력타워 개발로 연계
- 최진우 외 5명, "FRP 콘크리트 합성말뚝의 압축강도에 관한 실험적 연구", 2008, 한국복합신소재구조학회 논문집 : Vol.2 No.1, pp. 30~39 → FRP 콘크리트 합성 말뚝을 제작하여 기존 재료의 단점을 보완하고 휨과 압축에 대한 성능을 분석함	복합신소재 풍력타워 개발로 연계

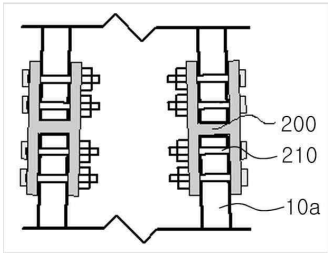
(2) 국외 연구동향 및 연계 방안

유사연구	유사점 및 연계방안
- Reinhard Harte, Gideon P.A.G. Van Zijl "Structural stability of concrete wind turbines and solar chimney towers exposed to dynamic wind action" Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 95, Issues 9-11, October 2007, Pages 1079-1096 → 콘크리트 타워에 대한 연구 논문.	- 연구방법론 및 검토사항 참고
- I. Lavassas, G. Nikolaidis, P. Zervas, E. Efthimiou, I.N. Doudoumis, C.C. Baniotopoulos "Analysis and design of the prototype of a steel 1-MW wind turbine tower" Engineering Structures, Volume 25, Issue 8, July 2003, Pages 1097-1106 → 강재풍력타워의 prototype을 Eurocode 구조설계기준에 따라 검토 수행한 연구논문. 특히 동적거동 및 피로 검토에 관한 내용이 포함됨.	- 연구방법론으로써 참고
- Th.A. Winterstetter, H. Schmidt "Stability of circular cylindrical steel shells under combined loading" Thin-Walled Structures, Volume 40, Issue 10, October 2002, Pages 893-910 → 대형원형강관 구조물의 해석 및 이의 설계기준과 비교평가	-대형단면 타워 개발 및 검토 위한 연구방법론 및 설계기준 비교평가 결과의 참고
- P.E. Uys, J. Farkas, K. J'armai, F. van Tonder "Optimisation of a steel tower for a wind turbine structure" Engineering Structures, Volume 29, Issue 7, July 2007, Pages 1337-1342 → 풍력발전타워의 경제적 설계 방안에 대한 논문. Eurocode에 따라 설계. 특히 flat buckling and local buckling of flat ring-stiffeners에 대해 논함.	-경제적인 타워부재의 설계 특히 flat ring-stiffeners 설계 및 성능 검토 시에 내용 참조.

- Tetsuhiko Aoki, Yasugiro Migita, Yuhshi Fukumoto "Local Buckling Strength of Closed Polygon Folded Section Columns" Journal of Constructional Steel Research, Volume 20, Issue 4, 1991, Pages 259-270 → 다각형 단면의 극한강도 평가 방안. 특히 유러피안 코드 준용에 따른 결과분석.	- 대형단면 타워 개발 및 검토 위한 연구방법론 및 설계기준 비교평가 결과의 참고
- I.V. Andrianov, V.M. Verbonol, J. Awrejcewicz "Buckling analysis of discretely stringer-stiffened cylindrical shells", International Journal of Mechanical Sciences, Volume 48, Issue 12, December 2006, Pages 1505-1515 → 원형강관 단면의 스트링거 보강 방안에 관한 해석적 실험적 연구논문	- 대형단면 타워 개발 및 검토 위한 연구방법론 및 설계기준 비교평가 결과의 참고
- Yutaka Okamoto, Shunichi Nakamura "Static and seismic studies on steel/concrete hybrid towers for multi-span cable-stayed bridges" Journal of Constructional Steel Research, Volume 67, Issue 2, 2011, pp.203-210 → 60m급 사장교 주탑에 강재와 콘크리트를 부분 중공 하이브리드기법을 적용	- 하이브리드 타워 개발에 적용 검토
- J.G. Teng, T. Yu, Y.L. Wong, S.L. Dong "Hybrid FRP-concrete-steel tubular columns: Concept and behavior", Composite Structures, Volume 57, Issues 1-4, 2002, pp.357-365 → 강재 및 FRP 이중 튜브를 콘크리트로 충전한 중공 CFT에 대한 다양한 형식을 제안하고 실험을 수행	- 하이브리드 타워 개발에 적용 검토
- Hoang Van Long, Demonceau Jean-Francois, Ly Dong Phuong Lam, Rossi Barbara "Field of application of high strength steel circular tubes for steel and composite columns from an economic point of view", Journal of Constructional Steel Research, Volume 67, Issue 6, 2011, pp.1001-1021 → 고강도 강재 및 콘크리트로 단면구성된 합성 기둥 시스템에 대한 경제적 측면에서 분석	- 합성타워 단면 개발에 적용 검토
- A. Kryz̧anowski, S. Schnabl, G. Turk, I. Planinc, "Exact slip-buckling analysis of two-layer composite columns", International Journal of Solids and Structures, Volume 46, Issues 14-15, 2009, pp. 2929-2938 → 두 개의 층으로 구성된 합성단면에서 각 단면사이 면내거동에 대한 해석모델을 제시함	- 축대칭 합성단면에 대한 해석 기법에 응용 검토
- X Zhao , P Maißer "Seismic response analysis of wind turbine towers including soil-structure interaction" Highwire Press, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K: Journal of Multi-body Dynamics Vol, 220 Issue:1 pp.53-61 → 지반과 구조물의 상호작용을 고려, 선형탄성해석 및 비선형해석을 수행하여 타워 구조물의 지진응답 특성 규명	- 상호거동 해석기술에 적용 검토
- Polyzois DJ, "Static and dynamic characteristics of multi-cell jointed GFRP wind turbine towers", Composite Structures, Vol. 90, 2009, pp.34-42 → 유리섬유 복합소재를 이용하여 소형 풍력타워에 적용할 수 있는 세그먼트화된 단면을 개발, 정동적 실험 및 유한요소 해석 수행	- 복합소재를 풍력타워에 적용하였다는 점에서 유사함, 기초와의 연결부 설계를 응용가능

- University Of California, San Diego, “concrete-filled carbon shell system” → 탄소섬유 쉘에 콘크리트를 충전하여 하이브리드 쉘 시스템을 개발하여 대형 말뚝기초, 사장교 주탑 등에 적용	- 복합소재를 적용한 합성 말뚝, 복합소재 현수교 및 사장교 주탑, 복합 유리섬유관, 복합소재 송전 철탑 기술 등을 풍력타워에 연계 가능
--	--

(3) 도출된 과제의 국내특허분석 및 중복성 검토

유사특허	유사점 및 연계방안
- 복합재료 풍력타워의 결합방법 (10-2009-0054723) (Joining method of composite wind tower) - 이 발명은 상하단부가 평평하게 구성된 분할된 복합재료 풍력타워를 서로 결합하는 복합재료 풍력타워의 결합방법으로서, 내부에서 서로 연결되는 2중 원통 구조를 갖되 그 종방향 단면이 H형 단면을 갖는 클립 결합장치의 내부에 접착제를 도포하는 단계와, 분할된 복합재료 풍력타워를 클립 결합장치의 상하부에 각각 끼워 넣는 단계, 및 분할된 복합재료 풍력타워 및 클립 결합장치에 각각 형성된 다수의 볼트 구멍에 볼트들을 각각 끼우고 조여 일체화하는 단계로 구성된다. 이 발명은 타워간의 결합을 위해 금속재 풍력타워에서와 같은 플레이트를 부착하는 용접공정이 이루어지지 않으므로 경제적이고, 복합재료를 습식 레이업(wet lay-up) 방식으로 제작한 H형 단면의 클립 결합장치 또는 원통 구조의 한 쌍의 보강재를 사용함으로써, 부식에 대해 우수하며, 시공기간이 단축되는 효과를 얻을 수 있다. 	- 신형식 타워구조 개발 시에 참고
- PREFABRICATED MODULAR TOWER (20060743451) - Prefabricated modular tower of the kind used as a support for wind generators and other applications, characterised in that it uses reduced-thickness prefabricated elements, reinforced with an internal structure of horizontal and vertical stiffeners, preferably made of reinforced concrete; said elements being tensioned both horizontally and vertically by means of flexible metal cables.	- 모듈러타워구조 개발 시에 참고. 특허 회피 방안 고려 시에 참조.

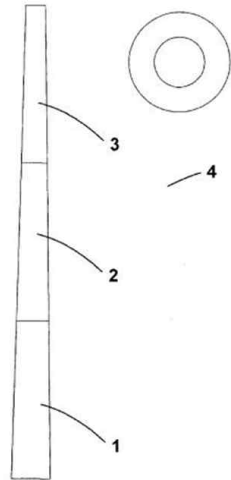


Fig. 1

- Preassembled wind power plant tower section and method of transporting a tower section of a wind power plant (20090152575)

-The present disclosure relates to a preassembled tower section (2) of a wind power plant (1) and a method of transporting a tower section (2) of a wind power plant (1). The method includes the steps of providing the tower section (2) at a preassembly site, preassembling at least one electronic subsystem (3, 4, 5) of the wind power plant (1) onto the tower section (2), and transporting the preassembled tower section (2) from the preassembly site to an installation site. In effect transport thereof is considerably simplified and a higher degree of modular design and preassembly is achieved.

- 모듈러타워구조 개발 시에 참고. 특히 회피방안 고려 시에 참조.

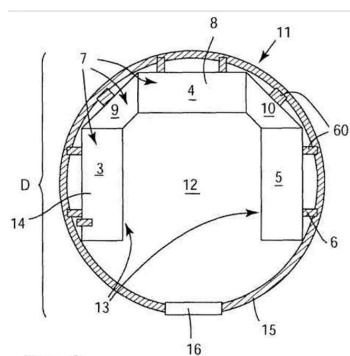


Fig. 2

- Foundation for wind turbine (20100168223)

- A modular surface foundation for wind turbine space frame towers (30), an apparatus to form panels of housing members (44) of modular surface foundation, and method of forming the modular surface foundation for wind turbine space frame tower (30)s is provided. The modular surface foundation

-대단면타워구조 하부 연결방안 개발 시에 참고. 특히 회피방안 고려 시에 참조.

comprises a plurality of footing members, and a housing member (44) disposed on each of the footing members, the housing members (44) extending from the footing members and attaching to one or more structural members forming a portion of a wind turbine tower (30), wherein the housing member (44) provides support and increased height for the space frame tower (30) and includes an interior space.

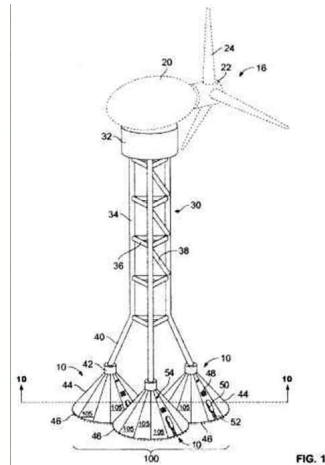


FIG. 1

- Wind Turbine (Patent No. US 7160085 B2)

- A wind turbine, comprising a stationary vertical mast (or tower) on which a moving part of the wind turbine is arranged, which mast is at least partly composed from prefabricated wall parts, with several adjacent wall parts forming a substantially annular mast section. The invention also relates to a mast for a wind turbine, to a prefabricated wall part and to a method for building a wind turbine.

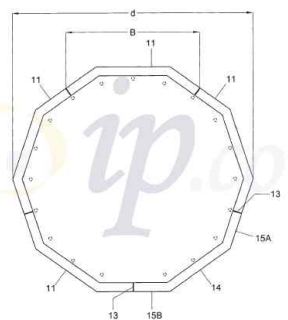


Fig. 12

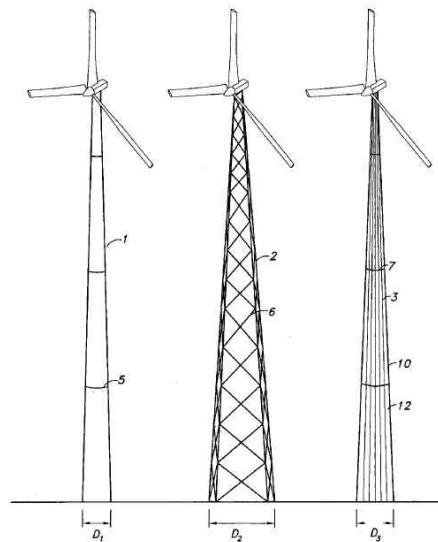
-Lattice-skin hybrid tower (Patent No. US 2006/0213145 A1)

-A tower having internal legs and an external skin providing a hybrid of lattice type towers and tubular type towers. The internal legs and the external skin share tower loading in a manner that optimizes the structural design of the tower, thereby providing benefits of both lattice and tubular type towers. A unique pin connection between tower sections is used to transmit loads smoothly and aid in section alignment. Tower sections are constructed from radial segments which

- 모듈러타워구조 개발 시에 참고. 특히 회피 방안 고려 시에 참조.

- 신형식 타워구조 개발 시에 참고

may be nested for shipping such that transportation logistical barriers can be overcome for very large or tall wind turbine towers. The tower sections are then assembled on site using a specialized section assembly system which holds segments from both ends while consecutive segments are added to form a complete cylindrical or tapered section. The section assembly system includes a pair of frames that support the tower segments and align them properly during assembly. The section assembly system may be used to assemble a tower section in either a horizontal or a vertical orientation.

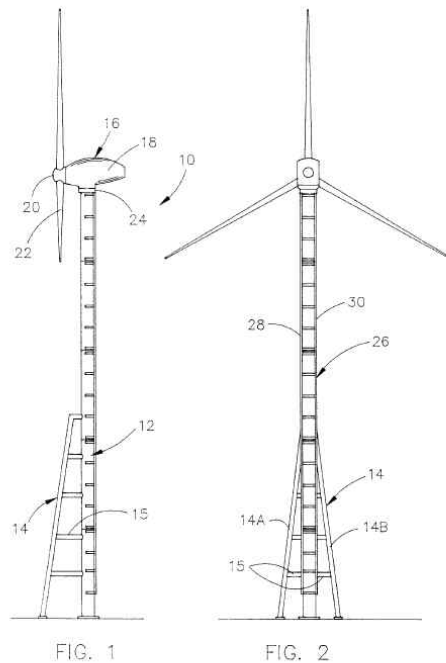


- Method and means for mounting a wind turbine on a tower (Patent No. US 6505785 B2)

- The apparatus of this invention is utilized for mounting a wind turbine on the upper end of a wind turbine tower. The invention also relates to the method of erecting the same. The tower is provided with a pair of guide rails positioned on opposite sides thereof which extend from the lower end to the upper end of the tower. A sled is movably mounted on the guide rails and has a platform mounted thereon which is adapted to support the wind turbine thereon. In one form of the invention, the sled is self-contained in that it has an engine and a winch mounted thereon. In another form of the invention, the winch and engine are mounted on a self-propelled vehicle which is designed to transport the sled from one tower location to another. In another form of the invention, the winch is detachable from the self-propelled vehicle so that the winch may be anchored to the ground. When the wind turbine has been positioned at the upper end of the tower, a horizontally slidable platform moves the wind

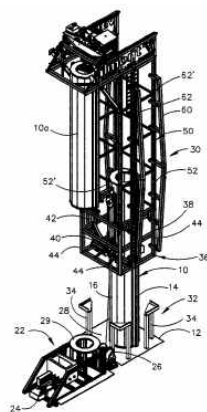
- 풍력타워 최적시공기술 개발 시에 참고. 특허회피방안 고려.

turbine from the sled to the upper end of the tower so that the wind turbine may be secured to the upper end of the tower.



-Method and means for erecting a wind energy tower
(Patent No. 6868646 B1)

- A wind energy tower erection device is disclosed together with the method of assembling the same and the method of utilizing the device to erect a wind energy tower. The tower erection device successively places tower sections one upon the other until the tower is erected.



- 풍력타워 최적시공기술 개발 시에 참고. 특히회피방안 고려.

- 부유식 멀티 풍력터빈(10-2007-0107226)

→ 일방의 풍력터빈에 형성된 난류에 의한 타방의 풍력터빈의 간섭을 최소화하여 타워 제작시 구조물의 재료량을 줄임으로써 생산비용을 줄일 수 있음

- 재료비 절감 효과 검토 후 수정 보완하여 활용

- 복합재료 풍력타워 및 그 제조 방법(10-2010-0099262)

→ 맨드릴 위에 장섬유를 감아 제조하는 복합재료 풍력 타워 및 그 제조 방법

- 신형식 타워 적용성 검토 후 보완하여 활용

- 풍력 터빈의 진동감쇠 방법(10-2010-7014006) → 풍력 타워 및 터빈에서 진동을 감쇠 시키는 방법	- 상부 타워 부분에 부착된 플랫폼 적용 가능성 검토
- 테이퍼 내부 단면을 가지는 섬유강화복합소재 튜브와 콘크리트의 복합 말뚝(10-2009-0078283) → 변단면 구간에서 FRP 튜브의 두께는 연속적으로 줄어드는 것을 특징으로 하는 FRP 튜브와 콘크리트의 합성 구조에 의한 복합 말뚝.	-복합신소재(FRP)와 콘크리트의 복합구조로 풍력타워에 연계 가능

(4) 기존 국가 연구 과제와의 중복성 검토

기존연구과제		중복도	연계방안
과제명	세부연구내용		
풍력타워용 플랜지 내부검사 자동화시스템 개발	강관 타워의 연결부 플랜지 내부검사 위한 자동화 방안의 고안 및 개발	1	유지관리기술 중 보수기술 적용성 검토
해양구조물 제작을 위한 범용 스마트 Tandem 용접자동화시스템개발	용접자동화장치 및 장비 적용에 관한 기술개발	1	강재타워 시공기술 적용 방안 검토
Wind tower 용접생산성 향상을 위한 Tandem SAW Process(1/2)	용접자동화장치 및 장비 적용에 관한 기술개발	1	강재타워 시공기술 응용 방안 검토
TMCP강을 이용한 5MW 급 해상용 풍력발전기의 Wind-Tower개발	열가공제어강(TMCP)을 풍력타워에 적용한 제작방안의 검토 및 개발	1	신소재 및 강재 타워 적용 시에 검토
천해용 해상풍력 substructure시스템 개발	- 신개념 sub시스템 및 선진 설계 기술 - 고내식 해양구조용 소재 및 이용기술 - 기초구조물 지지력 확보기술 - 제작생산성 향상 및 친환경 급속설치기술	낮음	- 파력, 풍력 등 하중전달체계에 대한 연계방안 모색
초장대교량사업단	- 기술융합형 장경간 케이블교량 시스템 구축 - 핵심엔지니어링 기술개발 - 고성능 전락소재 및 이용기술 개발 - 고효율 시공기술 개발 - Test Bed 사업지원 및 운영기술	중간	- 고교각 관련 설계 및 시공 기술에 대한 개념적 아이디어 연계 모색

	개발		
TMCP강을 이용한 5MW급 해상용 풍력발전기의 Wind-Tower 개발	- TMCP강을 이용한 대구경 원통 구조 제작	낮 음	- 고성능강을 이용한 제작기법향 상 등 연계모색
풍력발전단지 건설을 위한 지침서 및 지역 수용성 제고방안 연구	- 3MW 이하 풍력발전기의 건 설을 위한 장소의 풍력자원, 전력계통연계를 위한 기반시 설 접근성 및 건설 용이성에 대한 평가기준 및 절차 등 지 침 작성 -현행 풍력발전사업 절차 구체 화 및 보완 - 100MW급 풍력발전단지의 건 설을 위한 장소의 풍력자원 평가	0	풍력발전단지 건설을 위한 지 침서 입수 및 Test Bed 반영
한반도 해역의 고해상 도 풍력자원지도 및 단지 개발	- 해상풍/해상조건 분석시스템 개발 및 해역정보 데이터베이 스 구축 - 한반도 해역 고해상도 해상 풍력자원지도 구축 및 검증 - 해상 풍력발전 단지개발 적합 성 평가시스템 개발 및 유망 후보지 선정	0	풍력발전 단지 적합성 평가시 스템 중 타워 관련 내용이 있 을 경우 Test Bed 반영
서남해안 풍력산업 허 브 구축사업	- 서해권 적응형 해상풍력발전 시스템 개념/기본설계 - 주요 구성품 기본/구조설계 및 제작 - 실증단지 확보 및 민원/행정 절차 - 기상탑 설치 및 모니터링 - 타워 및 주단품 제작 - 실증단지 조성 및 각종 테스 트 - 단지 운영 및 유지보수	1	실증단지 조성 및 테스트 내 용 입수 및 본 과제 Test Bed 반영
풍력 발전 단지 설계 최적화 기술 개발	- 풍력발전기 성능해석 기술 - 소음 발생 메커니즘 연구 - 풍향예측 - 단지 설계 최적화	0	단지설계 최적화에 타워 관련 내용이 있을 경우 Test Bed 반영

(5) 요약

현재, 강재 풍력타워에 관한 연구개발 사례는 최근들어 국내외에서 다소 활발히 전개되어 오고 있으나, 주로 2Mw급 이하 규모에 적용할 수 있는 일반적인 강관 타입의 타워 구조에 국한되어 왔다. 이보다 대용량 풍력발전에 적용될만한 풍력 타워시스템에 관한 연구는 전무한 실정에 있음. 다만, 해양환경이나 극한상태에 적용하기 위한 고내구성 강재에 관한 연구는 상당한 수준으로 진척되어 오고 있으며 이를 기반으로 보다 향상된 강재의 개발이 가능할 것으로 보이므로 기존의 연구실적을 최대한 활용하되 풍력타워 구조에 적합한 실용성의 극대화를 꾀하는 방향으로 추진하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

라. 연구개발 주요내용

(1) 고내구성 소재 및 이용기술 개발

(가) 극한환경 내구성 향상 강재개발 및 이용기술

① 배경

- 고성능 대형 강재 풍력타워가 설치되는 극저온 및 고온, 염해, 풍하중 등의 극한 환경 상태에 대한 근본적인 대비책의 강구 필요
- 내구성을 효율적으로 극대화하여 공용 기간 중 보다 안전하고 유지관리비를 최소화 하는 타워구조 시스템의 개발
- 이를 위해, 고내구성 강재를 개발 또는 기존 내구성 강재의 향상 방안을 연구하고 이를 풍력타워에 효과적으로 적용할 수 있도록 하는 지침 및 가이드가 요구됨.

② 기술개요

- 고내구성, 고내식성 소재를 적용한 장수명 최소유지관리 가능 풍력타워구조시스템
- 고내구성 소재를 적용하여 재료의 열화를 방지하고 유지관리 주기의 최대화
- 재료의 재순환이 가능한 지속가능(Sustainable) 구조재료 개발
- 신규 개발 강재의 KS 규격인증 및 법제화 기술개요
- 해양환경에서의 내구성 평가기술 및 설계제작 지침 개발

(나) 도장방식 최적화 및 내부식성 향상 기술

① 배경

- 해상 풍력타워를 포함 해안에 설치되는 풍력타워의 염해에 대해 효과적으로 대비하기 위한 적정 지침 및 가이드 제시

② 기술개요

- 내구수명을 높인 고내후성 도장재료 개발 및 응용 방안
- 고성능 풍력타워 위한 고내후성 도장 시공지침 및 경제성 평가
- 고내후성 도장방식의 최적적용을 위한 유지관리 기준 및 지침 제시

(2) 대단면 대형 강재타워의 설계 및 제작 기술 개발

(가) 강관 대형화 설계 및 제작 기술

① 대단면 강관타워의 설계/제작 기준 개발

- 풍력타워의 대형화에 따라, 현재 국내 강관 관련 설계제작 기준 및 지침에서 다루지 않는 규모의 대형단면의 설계 및 제작과정이 요구됨.
- 대용량 대형화 타워에 적용하기 위한 최소 직경 4m 이상, 두께 20mm 초과하는 대단면 후육강관의 설계 및 제작 기준 정립 필요 : 광폭후판의 적용방안
- 조관 및 제작기준 정립 필요: 두께 및 지름 적용 범위, 제작순서 및 제작단계별 상세 지침, 예열/후열처리 등에 관한 세부지침
- 대단면 강관 단면의 내하력 평가방안 및 설계 기준강도 제시
- 부부재 및 보강재 상세 설계기준 및 제작 지침 제시



그림 28. 용접제작 대단면 후육강관의 자동화 후열처리 과정

② 대단면 강관타워의 최적단면 설계 및 제작기술 개발

- 대단면 강관의 제작성 및 제작 프로세스에 따른 비용 검토: 조관 및 용접 장비 구성, 단면 구성요소별 적용 가능 범위 설정
- 대단면 강관타워의 신뢰도 기반 최적 단면구성 및 구조설계안 개발
- 최적 구조설계안의 경제성 평가 분석
- 최적 단면 구조상세 해석 및 전체 타워구조의 내하력 성능 평가

③ 대단면 강관타워의 이음부 설계기술

- 강관부재간 이음부 상세 최적화 연구
- 이음부 상세 최적설계안 개발
- 이음부 내하력 및 장기거동 성능 평가
- 앵커부 및 하이브리드 타워 이음부 상세 개발



후판을 이용한 강관 제작



특수 용접장치(External submerged arc)를 이용한 타워용 대형강관의 조관

그림 29. 대형 강관타워 제작기술

(나) 대단면 다각형 강재타워의 설계 및 제작 기술

① 연구 배경

- 기존 원통형 셀구조: 단면내하강도 및 허용응력은 항복강도에 비해 낮은 수준. 특히, 단면직경 대형화에 따라 효율 저하 가속. 원통형 셀구조 단면에 보강재를 적용하더라도 제작비용 증가분에 상응하는 효과가 항상 구현되지 못할 가능성 높음.
- 모듈화된 다각형 셀구조의 적용 필요성 대두: 단면강도 및 제작성 향상 기대효과의 실현. 특히 보강재 적용 최적화 설계 및 모듈화 제작 방식에 대해 유리할 것으로 보임. 다양한 다각형 셀구조 단면기준강도 및 보강에 관한 설계기준 미비



그림 30. 다각형 단면 타워구조 개념

② 대단면 다각형 강재타워의 설계제작 기준 개발

- 대단면 후판 다각형 단면의 일반 설계기준 정립
- 냉간성형 및 절곡 위한 상세 및 제작지침 제시
- 다각형 단면 부재의 내하력 평가 방안(설계기준강도) 정립
- 보강재 및 부부재 상세 설계기준 및 제작 지침 제시

③ 대단면 다각형 강재타워의 최적단면 설계 및 제작 기술 개발

- 대단면 다각형 타워구조의 제작성 및 제작 프로세스에 따른 비용 검토: 단면 구성요

소별 적용 가능 범위 설정

- 대단면 다각형 타워구조의 신뢰도 기반 최적 단면구성 및 구조설계안 개발
- 최적 구조설계안의 경제성 평가 분석
- 최적 단면 구조상세 해석 및 전체 타워구조의 내하력 성능 평가

④ 대단면 다각형 강재타워의 이음부 설계기술 개발

- 강재 타워 부재간 이음부 상세 최적화 연구
- 이음부 상세 최적설계안 개발
- 이음부 내하력 및 장기거동 성능 평가
- 앵커부 및 하이브리드 타워 이음부 상세 개발

(다) 복합 구조형식 강재타워의 설계기술 개발

① 복합 강재타워 부재 구성기술

- Tubular+Lattice, Multi-column 등 복합형식 타워의 최적조합 설계 방안 연구
- 구조성능 평가 구조해석 실시

② 복합 강재타워의 Joint 상세 개발

- 복합형식 타워구조의 주구조간 연결부재 및 Joint 상세 설계안 개발
- 구조상세 해석에 의한 내하성능 적정성 평가



Tubular+Lattice



Multi-Column

그림 31. 복합구조형식 대형 타워

(3) 조립확장 용이한 모듈러 타워구조시스템 개발

(가) 연구배경

- 대형 강재 타워에 단일구조 형태의 단면을 적용하는 데 있어, 대단면 대형 구조를 구현함에 있어 제작성 한계에 도달하거나 운반비용 및 현장 가설비용의 급상승 요인이 되어 경제성을 크게 저하시킬 가능성이 높음. 널리 알려진 바와 같이 강재 구조는 타 재료구조부재에 비해 블록화하여 분할하거나, 조립 및 연결이 용이한 장점을 갖음.
- 본 연구에서는 대단면 대형화 강재 타워구조를 단면 및 길이방향에 대해 균일한 모듈로 분할하거나 블록화 하여 운반을 쉽게 하고 공장에서의 제작성 및 현장의 시공성을 최대한 높이는 방안을 개발하여 경제적인 대형 강재 타워의 구축 방안을 제시하고자 함.
- 풍력발전기 대형화에 따른 타워 구조 하단직경 증가 → 강관 직경 제한
- 원주방향 모듈화/블록화 통한 직경 제한 극복 → 제작비 절감
- 운송편의성 향상에 따른 운송비 절감



그림 32. 고가의 특수대차를 이용한 대형 강관 타워구조물의 운송

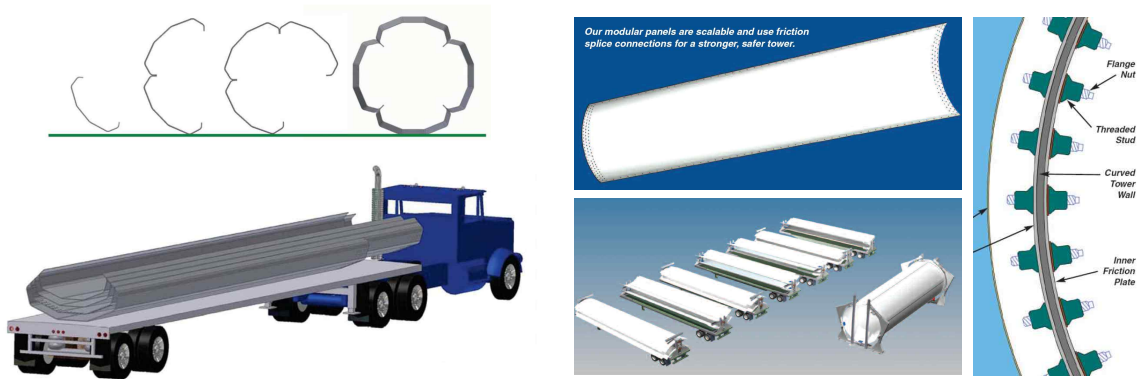
(나) 광폭후판 적용 최적 모듈 부재 기술 개발

① 모듈러 부재의 최적단면 설계안 개발

- 대형 강재 타워 최적단면의 적정 분할/블록화 방안 수립
- 풍력타워 용량에 따라 조정 가능한 모듈 개념 도입
- 다방향 조립확장 가능 모듈 (폭, 길이) 개발
- 운반 용이성, 현장 조립성 향상 위한 모듈 단면 및 형상 개발

② 모듈러 부재 제작기술 개발

- 모듈러 부재의 효율적 제작 위한 상세 개발 및 관련 기준 정립
- 관련 제작 장치 및 제작 프로세스 개발
- 모듈부재 시제품 제작을 통한 제작성 검증
- 모듈부재 시제품의 구조성능 실험적 검증



미국 Valmont사

미국 Northstar사

그림 33. 일반운송이 가능한 실용화 국외 모듈러 풍력타워

(다) 모듈 부재의 수직/수평 이음부 상세 개발 및 표준화

① 연구배경

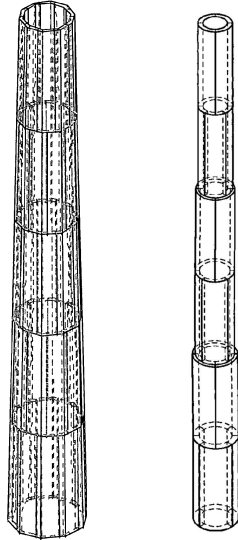
- 모듈러 타워구조에 있어서 각 모듈부재를 제작 공장이나 현장에서 용이하게 접합할 수 있는 효율적인 이음 상세 및 이음장치의 개발이 매우 중요.
- 이음부 표준화 통한 대량 생산 제품화로 경제성 도모

② 주요 기술개발 내용

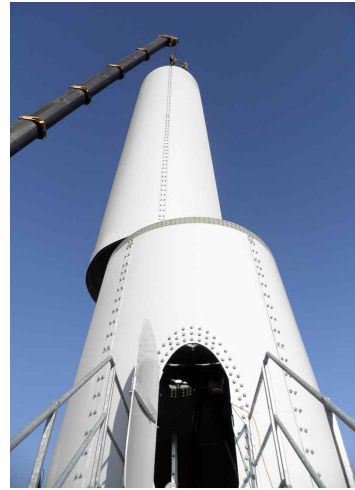
- 현장 작업이 용이한 수평/수직 이음 상세안 개발 (ASD설계 및 LRFD설계)
- 이음부 성능 검증: 구조해석 및 극한강도 시험, 피로시험 등 실시
- 구조계산서 및 표준화 도면 작성

(라) 모듈러 타워의 구조성능 검증

- 모듈로 조립된 전체 구조에 대한 구조안정성 평가: 해석적 및 실험적 평가
- 현장조립성 및 제작성에 관한 실물테스트 통한 개선방안 연구
- 전체단면 구조를 3~4개의 수직방향 연결한 구조체에 대한 횡방향 거동 테스트 실시



ATS풍력타워 개념도



현장가설

그림 34. 강재 모듈러 풍력타워

(4) 고성능 대형 강재타워의 설계/제작 정보화 및 최적시공기술

(가) 고성능 대형 강재타워의 설계/제작 DB 개발

① 배경

- 단면 및 모듈 부재의 표준DB 통한 설계/제작 과정에서 경제성 및 제작기간의 개선
- 제작 품질관리의 효율적 달성 → 안전성 확보와 현장 조립 등에 품질 신뢰도 향상
- 자재 관리, 작업관리 및 생산관리 측면의 체계화
- 타워블록(모듈)의 계획부터 제작, 재고관리까지 일목요연한 관리 → 실행경쟁력 향상
- 표준화된 풍력타워 제품의 반복적인 가조립 공정 개선을 통해 경제성 제고 및 제작 공기의 단축 가능

② 기술개요

- 표준화된 부재 및 연결부 모듈을 사용한 Web(Internet) 기반 설계/제작 위한 기초 DB 개발 제공
- 성능이 검증된 Pre-engineered prototype 구조 블록 및 모듈 정보화로 발주자가 직접 구조물의 안전성 및 공사 진행상황 확인 용이
- 정보화 기술을 응용한 가상 제작 및 가설과정의 검토: 수치 가조립 시스템 개발하여 가조립 공정의 개선 및 경제성 극대화
- 설계/제작 DB를 기반으로 표준화된 타워 부재 대량 제작 위한 최적의 생산관리시스템구축 위한 활용방안 제시
- 운반/현장여건을 고려한 최적의 블록 및 모듈 조합이나 제작/시공 프로세스의 도출

(나) 고성능 대형 강재 타워의 가설정밀도 향상 기술

① 배경

- 대용량 풍력타워의 높이가 고도화 되어감에 따라 시공 중 가설정밀도를 효율적으로 확보하는 방안이 중요시 되고 있음.
- 바람 및 진동의 영향 최소화 하는 시공 정밀도 향상 기술 개발

② 기술개요

- 블록 간 연결정밀도 향상 기술
- 현장가설 중 연직도 관리 기술: GPS 등 신기술장비 이용 계측 및 평가 자동화 시스템
- 고층 타워용 형상유지재 및 임시 가설장치 개발: 고강성 가설보조재 개발 및 적용성 평가
- 시공 중 진동제어 기술

(5) 강/콘크리트 축방향복합 튜브타워구조 개발

하부에 콘크리트 튜브구조를 거치한 후 상부에 강재튜브구조를 축방향으로 연결하여 타워구조를 완성하는 복합개념의 튜브형 타워구조개발을 목표로 함.

(가) 연결부 상세 개발

- 강재 및 콘크리트 튜브 접합상세 개발
- 휨강성 전달 메카니즘 분석
- 압축강성 전달 메카니즘 분석
- 전단강성 전달 메카니즘 분석
- 성능검증을 위한 구조실험

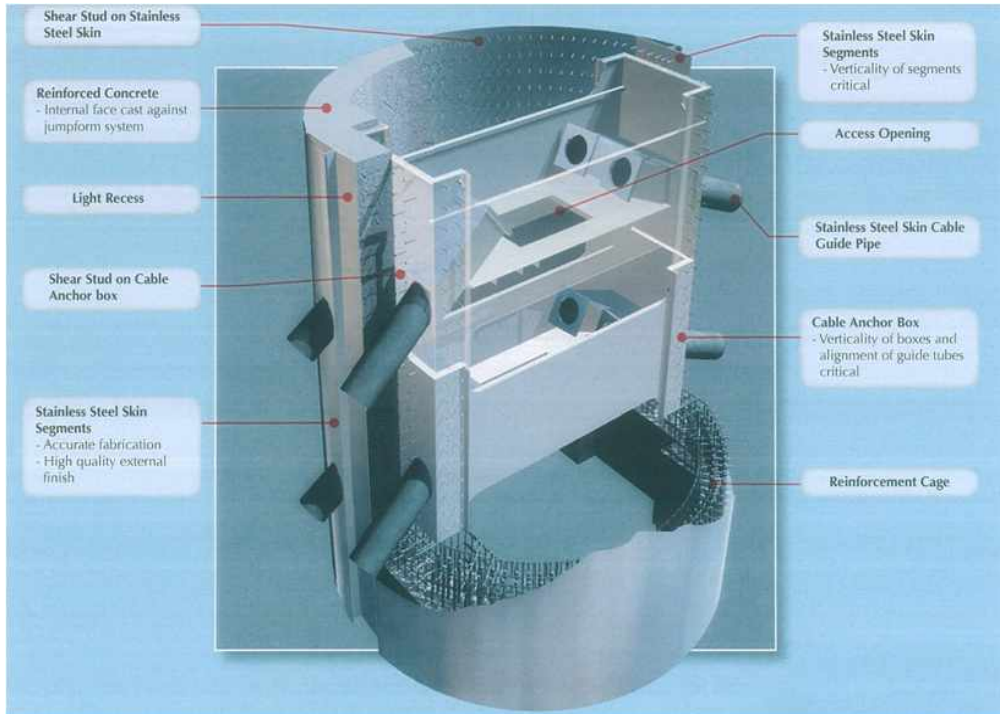


그림 35. 사장교 주탑 축방향 복합 연결부 (Suton Bridge, ARUP사 사례)

(나) 상하부 배치최적화

- Stepped 부재 구성 최적화
- Tapered 부재 구성 최적화
- 강재 튜브 부분구조 Portion 최적화
- 강재 튜브 웰좌굴 방지 기법 최적화
- 콘크리트 튜브 세그먼트 최적화
- 콘크리트 튜브 긴장력 도입 최적화

(다) 제작 및 시공기법

- 강재 튜브 운반 및 거치를 고려한 제작
- 콘크리트 섹터 세그먼트 및 원주방향 긴장력도입 기법
- 현장 급속시공 기법
- 고강도 강재 적용성 검토
- 고강도 콘크리트 적용성 검토



그림 36. 하부콘크리트 및 상부 강재 튜브타워의 배치 (Netherland ATS사 사례)



그림 37. 하부 콘크리트 타워 시공사례 (Netherland ATS사 사례)

(6) 멀티기둥 복합 타워구조시스템 개발

여러 개의 주기둥이 중간 다이아프램으로 상호보강된 복합구조를 응용한 타워구조 개발을 목표로 함. 콘크리트-강재Lattice 하이브리드 타워구조와 대구경 콘크리트튜브위에 소구경 멀티강관 하이브리드 타워구조로 구성된 복합형 타워구조에 대한 실용성을 검토하고 신형식 실용화를 목적으로 해석, 설계, 시공의 영역에서 방법론을 제공.

(가) 상호보강된 멀티기둥 시스템 타워구조

- 중간 프레임을 가지는 Tripod 타워 시스템 상세 개발
- 4본 이상을 가지는 멀티기둥 타워시스템 상세 개발
- 콘크리트 및 강재 혼합구성된 하이브리드 멀티기둥시스템 검토
- 시스템 휨과 압축의 상호작용을 고려한 극한 강도 산정

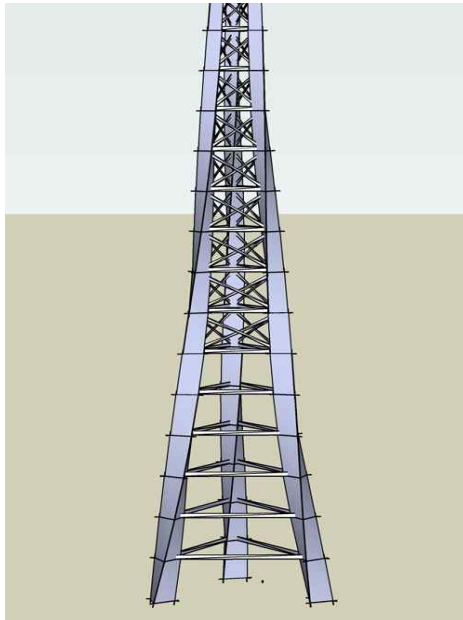


그림 38. 상호보강된 Tripod 멀티기둥시스템 사례 (개념도)



그림 39. 해저 기초로 활용된 Tripod 강재 구조물 사례 (타워구조에도 적용가능함)

(나) 콘크리트-강재Lattice 하이브리드 타워구조

- 콘크리트-강재Lattice 연결부 상세 개발
- 콘크리트-강재Lattice 축방향 구성 최적화
- 강재 부재단면 및 Lattice 구조 구성 최적화
- 콘크리트-강재Lattice 연결부 휨 및 압축강성 전달 메카니즘 분석



그림 40. Lattice-Tube 하이브리드 타워구조

(다) 대구경 콘크리트튜브-소구경 멀티강관 하이브리드 타워구조

- 콘크리트-강재 단부 다이아프램 연결부 상세 개발
- 소구경 멀티강관 좌굴강도 향상을 위한 중간다이아프램 요구 간격 및 강성 제안
- 소구경 멀티강관 사이즈 및 배치간격 최적화
- 멀티강관 최적화에 부합하는 콘크리트튜브 단면 상세 개발
- 콘크리트-강재 연결부에 대한 휨 및 압축강성 전달 메카니즘 분석

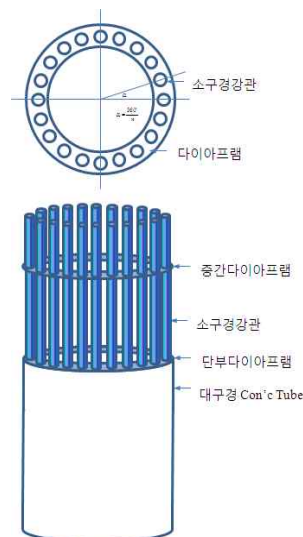


그림 41. 대구경 콘크리트튜브-소구경 멀티강관 하이브리드 타워구조 (개념도)

(7) 합성단면 타워구조 개발

콘크리트 충전 강관구조를 응용한 기존의 합성단면 타워구조뿐 아니라 내외부에 각각 강관을 가지고 그 사이에 콘크리트가 충전되는 더블스킨 합성단면 타워구조에 대한 적용성을 검토, 제안. 재료적인 측면에서 강재, 콘크리트, FRP 등의 최적 조합을 시도하고 강도의 산정기법을 제안하고, 풍향에 따라 대응하는 나셀 및 블레이드의 방향성을 고려한

비대칭 합성단면에 대한 적용성 검토, 제안.

(가) 고효율 강-콘크리트 합성단면(CFT, Concrete-Filled Tube) 타워구조

- 고강도 강재 튜브의 콘크리트 구속효과 분석
- UHPC (Ultra High Performance Concrete) 적용성 분석
- 강판(셀)-콘크리트 부착성 연구
- 휨거동에 의한 콘크리트 인장부 보강기법 연구
- 휨거동에 의한 강판(셀) 압축강도 향상 기법 연구

(나) 강-콘크리트 합성 더블스킨 합성단면(DS-CFT) 타워구조

- 내·외부 강재 튜브 최적 구성 기법 연구
- 충전 콘크리트 단면 최적 구성 기법
- 모듈화 및 현장 연결 기법 연구
- 내·외부 강재튜브 횡방향 상대변위 조정기법
- 강판(셀)-콘크리트 부착성 향상을 위한 스테드 배치 최적화 기법

(다) 강-콘크리트-FRP 비대칭 합성단면 타워구조

- 비원형 단면(non-circular cross-section) DS-CFT 적용성 검토
- 외부 FRP 내부 강재 튜브 DS-CFT 합성단면 상세 개발
- 비대칭 단면을 가지는 DS-CFT에 대한 압축 및 휨 상호작용을 고려한 강도산정
- 강재-콘크리트-FRP 재료강도에 따른 합성단면 최적화 구성

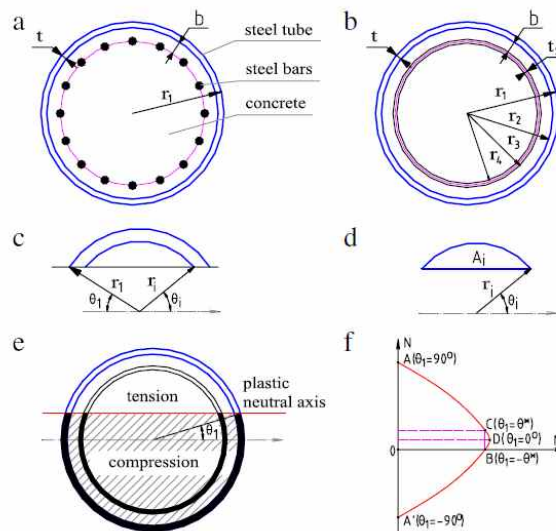


그림 42. 강-콘크리트 합성단면구성 및 해석 모델링 기법 사례 (Long et al. 2011)

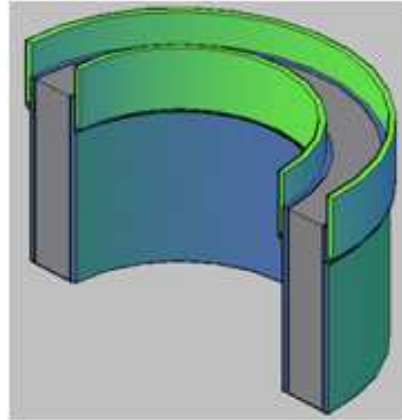


그림 43. 두 개의 강재 튜브 (더블스킨)로 구성된 CFT 합성단면 세그먼트 개념도

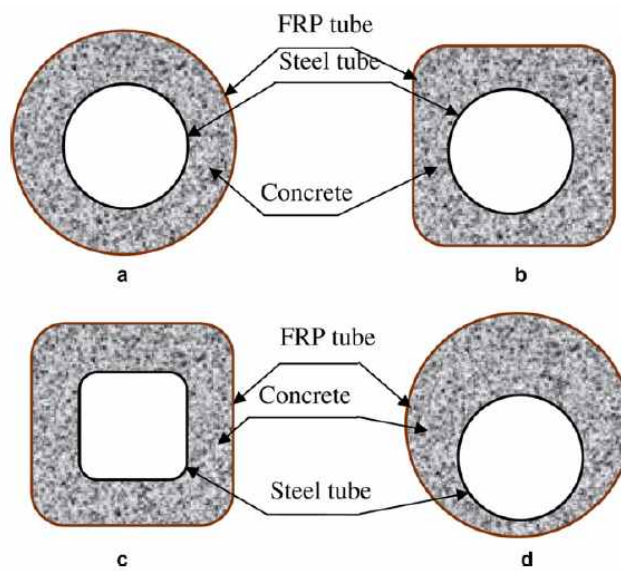


그림 44. 강재-콘크리트-FRP 하이브리드 더블스킨 적용 단면 (Teng et al. 2007)

(라) CFRP-콘크리트 합성단면 응용구조 타워

- 탄소섬유 소재 최소화 및 콘크리트로 충전하는 샌드위치 단면 검토
- 운반 및 시공에 대한 경제성 및 유지관리 비용 비교 분석
- 최적 적층단면 결정 기법 개발
- 멀티기둥형식을 통한 복합/합성시스템 풍력타워 검토

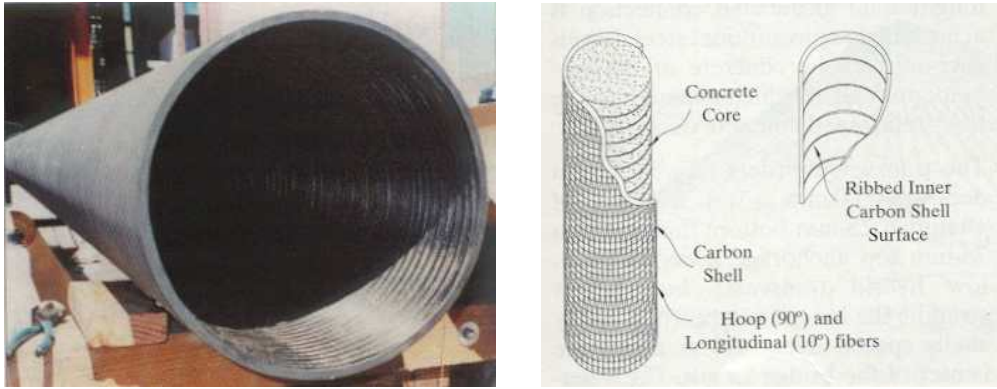


그림 45. 콘크리트로 충전된 복합소재 기둥 유사사례

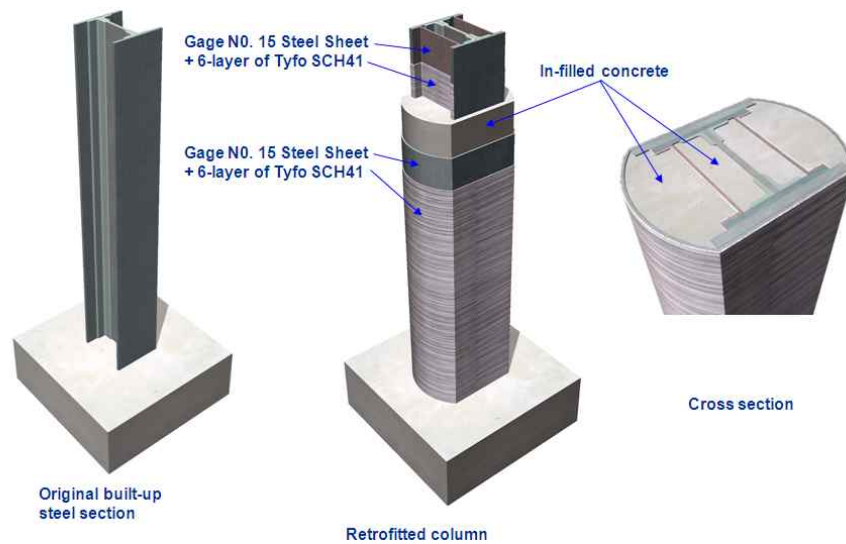


그림 46. 콘크리트 충전 복합소재 기둥구조 유사 예

(8) Test Bed 대상 Site 및 발전기 선정 및 실시설계

- (가) 국내 풍력발전 단지 개발 계획 조사
 - (나) 사업기간 및 Test Bed 추진 일정 확인
 - (다) 사업주체 협의 및 Test Bed Site 확정
 - (라) 대상 Site 발전기 설치조건 검토
 - (마) 적용 타워 형식 선정
 - (바) 풍력발전 타워 하중해석 및 제원 결정
 - (사) 구조계산서 및 도면 작성
 - (아) 내부 부착물 설계
- Test Bed 대상 Site 및 발전기 선정 및 실시설계



그림 47. 국내 풍력발전기 보급 및 설치예정 현황

표 23. 국내 주요 지자체 해상풍력단지 추진 계획

후보지		규모	추진 일정
전남	신안, 영광, 무안, 함평	5GW 육해상 풍력단지 100MW 해상단지	‘10.7 투자협약 체결 (45개 기업, 약 20조원)
제주도	김녕	30MW급 해상단지	’13년까지 완성 (수력원자력, 두산중 투자)
부산	목도, 다대포	20MW급 해상단지 다대포 대규모	’15년까지 완성 (남부발전과 MOU)
인천	무의도	97.5MW급 해상단지	’12년 상업운전 (사업비 4,500억원 책정)
충남	태안	97.2MW급 해상단지	’12년까지 완성 (태안종합에너지특구 조성사업)
포항	영일만, 호미곶, 동해안	영일만 10기 호미곶 15기 동해안 부유식	’09.10 사업타당성 검토 착수

(9) Test Bed 적용 풍력타워 제작

- (가) 제작 도면 작성
- (나) 소재구매, 전처리 및 제작
- (다) 내부 부착물 설치
- (라) 도장 등 표면 처리
- (마) 운송을 위한 포장
- (바) 상세 제작비용 산출



Receiving Raw Materials



Cutting



Beveling



Bending



Skirt Welding



Section Welding



Inspection



Shot Blasting



Painting



Internal Mounting



Packing



Shipping

그림 48. 강재 Tubular 풍력타워 제작 과정 예

(10) Test Bed 풍력타워 운속 및 현장 설치

- (가) 타워 설치 프로세스 수립
- (나) 현장 설치 공정 중 구조물 거동 파악을 위한 계측기 설치
- (다) 타워 설치를 위한 기초 시공
- (라) 풍력타워 현장설치 및 시공중 거동 계측
- (마) 풍력발전기 설치
- (바) 상세 현장 설치 비용 산출



그림 49. 강재 Tubular 타워 시공 및 완성 모습

마. 연구개발과제 TRM

세세부과제명	추진일정					년차별 성과물	연구내용
	1년	2년	3년	4년	5년		
대단면 대형 강재타워의 설계 및 제작기술 개발						풍력타워용 고내구성강재 및 고내후성 도장재료	고내구성 강재 및 이용기술 개 발
						설계 및 제작 지침 제작시스템	설계 및 제작 지침, 제작 시스 템 제시 및 Prototype 설계서
						풍력타워 DB 최적 시공기술	고성능 강재타워의 설계/제작 정보화 및 최적 시공기술 개발
미래형 복합 합성구조 풍력타워 개발						모듈러 이음부 모듈러 타워 설계지침	조립 확장이 용이한 모듈러 타 워 구조 시스템 개발
						축방향 복합 튜브타워 설계 지침	축방향 복합 튜브타워 구조 개 발
						합성단면 타워 설계지침	합성단면 타워 구조 개발
Test Bed를 통한 적용성 분석						멀티기둥 복합 타워 설계지 침	멀티기둥 복합 타워 구조개발
						Testbed 구조물 설계도서 Testbed 구조물 제작품	Testbed 구조물 설계 및 제작
						Testbed 시공	Testbed 시공

바. 최종 성과물 및 성과지표

(1) 목표 성과물 제시

세세부과제	요소기술	목표성과물
대단면 대형 강재타워의 설계 및 제작 기술 개발	-극한환경 내구성 향상 강재 개발 및 이용기술 -도장방식 최적화 및 내부식성 향상 기술 -강관 대형화 설계 및 제작 기술 -대단면 다각형 강재타워의 설계 및 제작 기술 -복합 구조형식 강재타워의 설계기술 개발 -광폭후판 적용 최적 모듈 부재 기술 개발 -모듈 부재의 수직/수평 이음부 상세 개발 및 표준화	- 풍력타워용 고내구성강재 및 고내후성 도장재료 - 설계 및 제작 지침 - 제작시스템 - 풍력타워 DB - 최적 시공기술 - 모듈러 이음부 - 모듈러 타워 설계지침

	-모듈러 타워의 구조성능 검증 -고성능 대형 강재타워의 설계/제작 DB 개발 -고성능 대형 강재타워의 가설정밀도 향상 기술	
미래형 복합 합성구조 풍력타워 개발	-연결부 상세해석 및 설계 기술 -콘크리트/강재 튜브 모듈화 기술 -멀티기둥 좌굴강도향상을 위한 기둥상호 보강기법 -Lattice구조 강도최적화 기술 -더블스킨 합성단면 휨-압축강도 상호작용 해석 기술 -비대칭 합성단면 구성기술	- 축방향 복합 튜브타워 설계지침 - 합성단면 타워 설계지침 - 멀티기둥 복합 타워 설계지침
Test Bed를 통한 적용성 분석	-Testbed 풍력타워 설계기술 -Testbed 풍력타워 제작기술 -Testbed 풍력타워 시공기술	- Testbed 구조물 설계도서 - Testbed 구조물 제작품 - Testbed 시공

(2) 성능 지표 및 KPI 도출

목표성과물	성능지표	성과지표(KPI)
- 풍력타워용 고내구성강재 및 고내후성 도장재료 - 설계 및 제작 지침 - 제작시스템 - 풍력타워 DB - 최적 시공기술 - 모듈러 이음부 - 모듈러 타워 설계지침 - 축방향 복합 튜브타워 설계지침 - 합성단면 타워 설계지침 - 멀티기둥 복합 타워 설계지침 - Testbed 구조물 설계도서 - Testbed 구조물 제작품 - Testbed 시공	-타워 단위높이당 가설공기(일/m) -발전용량 Mw당 제작비용 지수(%) -강재중량(ton)당 운반비용지수(%) -재도장주기(년)	- 신소재/신공법 - 기술이전건수 - 특허출원건수 - SCI논문수 - 국내 논문 게재 건수 - 학술발표 건수 - 연구개발 홍보건수 - 기술매뉴얼 발간건수 - 현장적용 건수 - 설계지침 발간 건수

사. 성과물 검증방안

- 인증기관의 설계도서 검증
- 전문가 자문을 통한 검증
- 구조해석을 통한 풍력타워의 안전성 평가
- Test Bed구축을 통한 적용성 평가

아. 기술수요처 및 실용화 방안

성과물	실용화구분	대상기업	비고
풍력타워용 고내구성강재 및 고내후성 도장재료	기술이전	참여기업, 소재사 발주처 설계사 참여기업/제작사 참여기업/제작사 설계사 참여기업/제작사/시공사 참여기업/시공사	해당 소재 개발 가능 업체 참여
대단면강재타워 설계지침, prototype 설 계서	일반, 기술자료 홍보		
대단면대형타워 제작지침 및 제작시스템	기술이전		해당 대형 제작장비 구비한 업체 참여
풍력타워 모듈부재 및 제작시스템	기술이전		
모듈러 이음부, 설계지침, prototype 설계서	일반, 기술자료 홍보		
고성능 강재 타워의 표준화 설계/제작DB	일반, 기술자료 홍보		
고소현장정밀가설장비시스템	일반, 기술자료 홍보		해당 관련 장비 구비 한 업체 참여
- CFRP-콘크리트 합성 풍력타워 형식 (구조, 단면)	기술이전		
- 첨단 복합구조 풍력타워 형식 (구조, 단면)	기술이전		
- 첨단 복합구조 타워 신형식 설계 및 제작 지침 (매뉴얼)	일반		
- 첨단 복합구조 타워 시공 지침(매뉴얼)	기술이전		

4장. 사전 타당성 검토

1절. 정책적 타당성

신재생에너지 의무할당제도가 시행됨에 따라 조력, 태양열, 태양광, 지열, 바이오매스 등 그린에너지 분야에 대한 기술발전이 불가피하며, 이에 따라 투자비용대비 전력생산량이 높은 풍력발전에 대한 기술 발전은 필수적임.

정부의 신재생 에너지 정책

2008년 9월 기후변화 대응 종합 기본 계획 발표

신재생에너지 보급 지원제도 강화 및 관련 규제 개혁 추진

2008년 12월 ‘제3차 신재생에너지 기본계획’ 발표

2012년부터 신재생에너지 의무할당제도(RPS, Renewable Portfolio Standard) 도입 예고

2009년 1월 ‘녹색뉴딜 사업 추진계획’ 발표

2012년까지 청정에너지 보급 2조원 투자 계획

2009년 1월 ‘녹색기술 연구개발 종합계획’ 발표

녹색기술 R&D 투자를 2012년까지 2008년 대비 2배로 확대

2009년 1월 ‘신성장 동력 비전 및 발전전략’ 수립

신재생에너지 사업을 녹색 기술 산업의 신성장 동력으로 지정

2009년 5월 ‘녹색성장 국가 전략 및 5개년 계획’ 수립

신재생 에너지 산업화 촉진 및 청정 에너지 보급 확대 계획

2020년까지 온실가스 배출량 30% 감축 달성을 위하여 신재생 에너지 보급 수준 증대 계획

- 정부에서는 기후변화에 대응하기 위한 녹색성장 추진계획을 수립하였으며, 특히 신재생에너지 사업 활성화에 대한 높은 관심을 보이고 있는 상황.
- 정부는 신재생에너지 사업 육성을 위한 다양한 지원제도를 운영하고 있으며, RPS제도에 따른 풍력 발전 시장의 성장이 예상되나 이는 정부의 지원이 전제되어야 함
- 지금까지는 신재생에너지 보급 방안으로 발전차액지원제도(FIT, Feed-in Tariff)를 운영하였으나, 2012년 전력 총 공급량 중 일정 부분을 신재생에너지로 공급하도록 의무화 하는 신재생에너지 의무할당제도(RPS) 방식으로 변경
- 풍력사업이 타 경쟁 신재생에너지원에 비해 발전 단가 경쟁력이 높으므로 풍력사업을 통한 RPS 의무이행이 큰 비중을 차지할 것으로 예상됨

2절. 기술적 타당성

풍력타워의 유지관리는 구조물의 손상과 거동의 수준에 따라 대처방법이 다르게 되는데, 손상이 비교적 적을 때는 재료의 도포나 주입같은 보수로도 문제가 없으나, 구조적 성능이 저하되었을 경우 다양한 보강공법을 적용하여 구조적 성능을 향상시켜야 하고, 발전성능 또는 블레이드 손상 문제로 큰 진동이 발생될 경우에는 풍력타워의 거동을 지속적으로 모니터링하여 풍력타워의 손상을 미리 감지하여 대처가 가능

1. 유럽의 풍력발전

- 유럽에서는 2008년 23.8GW규모의 풍력발전소가 건설되면서 그해 건설된 타형식의 발전소 용량중 가장 높은 비중을 차지

NEW EU INSTALLED POWER CAPACITY (2008) (TOTAL: 23,581 MW)

FIGURE 2.6



2. 해상 풍력 발전

- 경쟁력 있는 육상 풍력 부지의 고갈과 부지사용, 거주환경 및 민원문제가 급격히 증가하고 있고, 육상에서처럼 타워 높이를 제한받을 필요가 없다는 점에서 해상 풍력 발전 시스템의 기술개발 필요성이 고조되고 있음
- 육상 풍력발전기로 인한 자연 훼손, 소음, 저주파 피해, 빛 반사, 조류 피해에 대한 해법을 찾기 위한 대안이 필요함.
- 해상풍력 발전시장은 전체 풍력발전 규모의 13%에 그치고 있으나, 2030년에는 해상발전의 시장규모가 육상발전과 동등한 수준으로 올라갈 것으로 예측됨.

- 유럽 선진국 여러 국가에서 해상 풍력 발전 단지 조성 중임.
- 국내 조선·중공업 업계에서 시장 선점 및 해외 진출을 위해 경쟁적으로 5MW급 이상의 대형 해상풍력발전기 개발 추진 중임.
- 덴마크에서 시작된 해상풍력발전사업은 현재 영국에서 가장 활발하고, 단위투자비는 2.0 €/million/MW, 발전단가는 74~78 €/MW, 전력가격은 시장가격에 추가로 60 €/MW의 프리미엄이 형성되어 있음.

3. 설계

- 구조물 및 부착물 고정하중, 풍하중, 동적하중, 지진하중 등을 타워 구조물 설계시 고려하고 있음.
- 선진국 각 나라의 독립적인 연구기관에서는 풍력발전 기술의 표준화 및 규격화에 노력하여, 각자 독립 기술을 구축하여 활용하고 있음.
- 국제 표준규격 기구인 IEC(International Electrotechnical Commission)에서 풍력발전 기술의 표준화 및 규격화에 노력하여 많은 성과를 내었음.

4. 시공 및 유지관리

- 풍력타워는 일정한 간격으로 타워섹션을 제작하여 섹션의 양 끝 부분의 플랜지를 볼트로 체결하는 형태로 시공되고 있음.

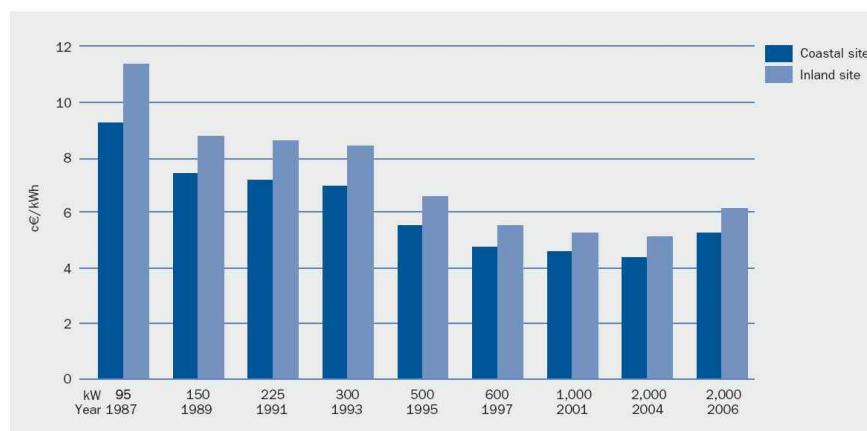
3절. 경제적 타당성

1. 시장 조사에 따른 경제적 타당성

풍력타워에 유지관리기술을 활용함으로써 기반시설물 및 보수/보강 등에 대한 우선순위 제시가 가능하며, 이를 통해 풍력타워 유지관리에 효율적인 예산집행을 할 수 있어 궁극적으로는 국가 예산 절감에 기여할 것임.

- 덴마크의 경우 발전 용량이 커짐과 동시에 kW당 발전 비용 또한 점차 감소하고 있는 추세이며 해안에 건설되는 풍력발전의 경우 내륙지방의 경우보다 경제성측면에서 뛰어나.

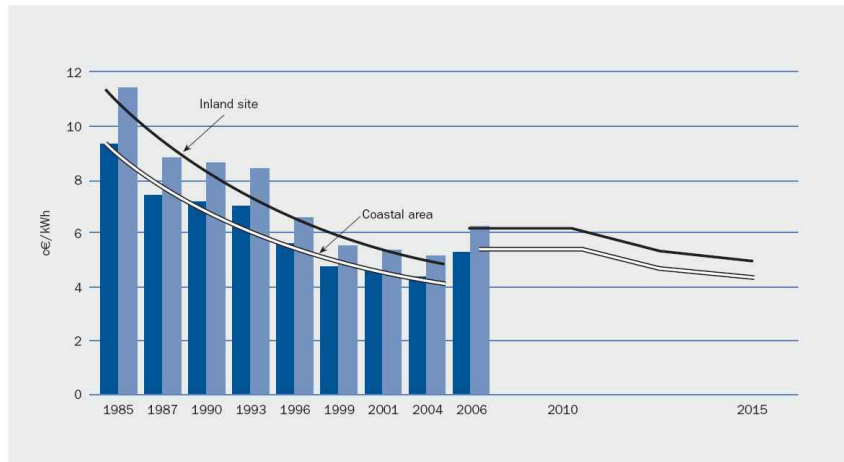
FIGURE 1.26: Total wind energy costs per unit of electricity produced, by turbine size (c€/kWh, constant €²⁰⁰⁶ prices).



Source: Risø DTU

- 2006년 기준, 단위전력 생산 비용은 내륙에 건설된 풍력타워가 해안의 풍력타워보다 13.11% 높은 것으로 나타났으며, 과거의 추세로 보았을 때 이러한 격차는 좁혀지지 않을 것으로 전망됨.

FIGURE 1.27: Using experience curves to illustrate the future development of wind turbine economics until 2015.

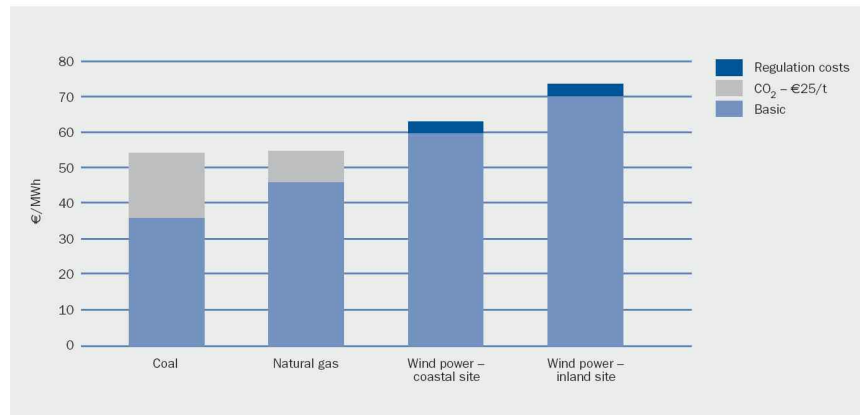


Costs are illustrated for an average 2 MW turbine installed either at an inland site or at a coastal position.

Source: Risø DTU

- 2010년 석탄 및 천연가스 대비 풍력타워의 MW당 발전 비용 전망치임.

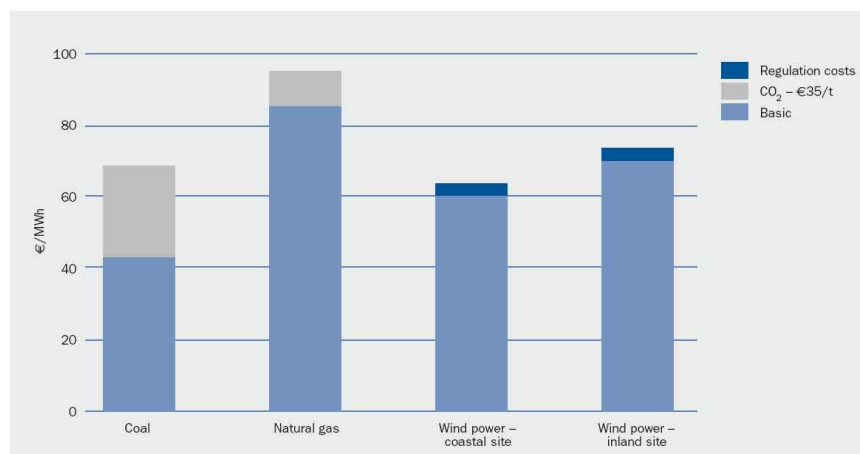
FIGURE 2.5: Costs of generated power comparing conventional plants to wind power, year 2010 (constant €²⁰⁰⁶)



Source: Risø DTU

- 자원의 가격에 따른 민감도 분석에 기초한 MW당 발전비용은 해안에 건설되는 풍력 발전의 경우 규제비용을 감안하더라도 경제성 측면에서 경쟁력이 있음

FIGURE 2.6.: Sensitivity analysis of costs of generated power comparing conventional plants to wind power, assuming increasing fossil fuel and CO₂-prices, year 2010 (constant €²⁰⁰⁶)



Source: Risø DTU

2. 기술 개발에 따른 경제적 파급효과

가. 국내 파급효과

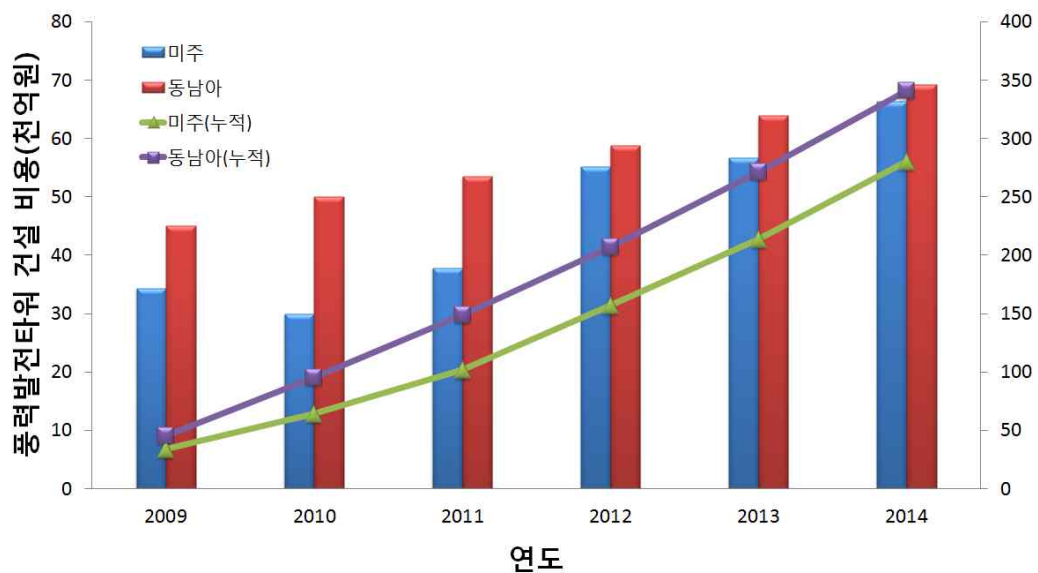
- 현재 예정된 국내 풍력발전 단지 조성 규모는 1.7GW이며, 풍력발전의 증가 추세보아 이러한 경향은 지속될것으로 전망. 본과제 종료시 신형식 풍력발전타워의 적용은 경제적 수익 창출 효과를 가져올 것으로 예상
- 앞선 시장 조사의 결과를 토대로 풍력발전 타워의 조성비용은 선진국은 MW당 3억원, 국내는 이에 비해 110%~150%수준으로 3.3억원~4.5억원으로 추정
- 본연구 종료시 풍력발전타워의 시공 및 설치 단가를 선진국의 80~90%수준까지 절감할 수 있을 것으로 예상
- 풍력타워의 설계 및 시공기술개발로 인한 풍력발전단지 조성 금액 절감은 최소 1020억원에서 최대 3570억원까지 기대 할 수 있을것으로 전망
- R&D투자액 대비 경제적 수익 비율은 최소 6.8에서 최대 23.8로 투자액 대비 기대 효과가 클것으로 예상



국내 풍력발전단지 조성 예상 총 용량	현재 기술력에 따른 MW당 설치 비용	현재 기술을 바탕으로 한 풍력발전단지 조성 비용	MW당 발전 단가의 연구 목표치	연구종료시 풍력발전단지 조성 비용	차액규모	R&D투자대비 경제적 수익 비율
1700MW	3.3억원 (4.5억원)	5610억원 (7650억원)	2.7억원 (2.4억원)	4590억원 (4080억원)	1020억원 (3570억원)	6.8 23.8

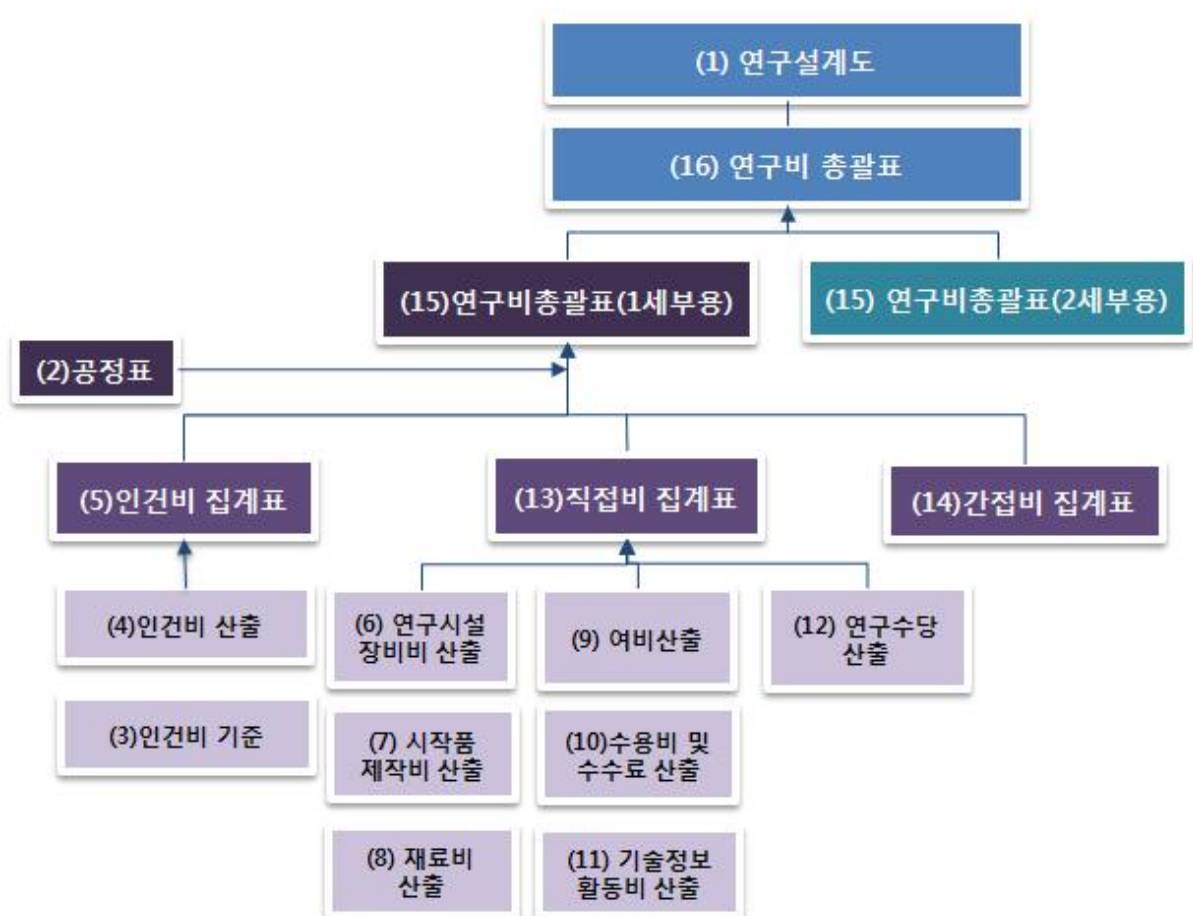
나. 국제적 파급효과

- 앞선 조사에 따라 현재 세계 풍력 발전 규모 대비 풍력발전 타워 건설 비용은 MW당 3억원 정도로 추산되며, 전체 규모는 134조로 예상
- 연구 종료와 함께 기술력이 확보되었을 시 자국의 기술력 수출이 가능한 미주와 동남아의 풍력발전타워 시장규모는 2009년~2014년 누적용량 기준 54조2천억원
- 현재 풍력발전단지 증가 추세는 2030년까지 이어질것으로 판단되며 이에따라 시장규모는 더욱 증가될 전망
- 기술적 경쟁력 확보로 인하여 과제 종료시 진출 가능 시장의 1~5%정도를 선점할수 있을것이라 예상
- 현재 추세가 계속될 경우 기술력 수출로 인한 경제적 수익창출효과는 본과제 종료 (2015년)이후 5년간 최소 6780억원에서 최대 5조원 규모가 될 수 있을것으로 예상
- R&D투자액 대비 이익 경제적 수익 비율은 45.2~333으로 국내 시장에 비해 매우 큰 효과를 낼 수 있을 것으로 전망



5장. 인력투입 계획 및 소요 예산 산정

- 기본방향 : 기획단계에서 정확한 연구비 산정을 위해 연구내용을 WBS(Work Breakdown Structure)에 근거하여 연구활동으로 세분화하고 연구활동에 근거한 연구비 산정
- 작성방법 및 단위
 - 작성단위 : 세부과제별로 서식(2)~서식(14)를 작성하여 서식(15) 완성
 - 작성방법 : 연구활동(activity)에 근거하여 충실히 작성하되 세부과제별로 서식(2)~서식(15)를 복사하여 활용
- 작성순서
 - 연구설계도 : 서식(1)에 따라 세부과제별 연구활동(activity)을 작성
 - 공정표 작성 : 서식(2)에 따라 세부과제별 공정표 작성
 - 인건비 : 서식(3) -> 서식(4)
 - 직접비 : 서식(6) -> 서식(7) -> 서식(8) -> 서식(9) -> 서식(10)-> 서식(11) -> 서식(12)
 - 간접비 : 서식(14)



<연구비 산정 작성체계>

1절. 연구 일정에 따른 인력 투입 계획

- 세부요소기술의 Activity 당 일정 연구비를 편성하여 양질의 연구가 수행될 수 있도록 설정
- 세부요소기술의 Activity별 우수한 인력이 본 연구에 집중 참여하여 성과를 얻을 수 있는 기반 구성하며 소액의 다수 Activity성 과제를 지양

주요 Activity	연도	① 인원수	② 참여개월수	③ 참여율	④M/M산출 (①x②x③)	비 고
1.1 Risk Analysis를 통한 풍력타워 적용 풍하중 산정 및 터빈-타워-기초 타물체 유탄성 해석을 포함한 설계지침 마련	1차년도		12	30%	0.0	1-1 고도첨단 설계기반 구축
	2차년도	3.0	12	30%	10.8	
	3차년도	3.0	12	30%	10.8	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
1.2 풍력발전타워의 생애주기비용 예측기법을 통한 성능평가 기술 알고리즘 제시	1차년도	4.0	12	30%	14.4	
	2차년도	2.0	12	30%	7.2	
	3차년도		12	30%	0.0	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
1.3 풍력타워 보수보강 의사결정 알고리즘 제시	1차년도	5.0	12	30%	18.0	
	2차년도	3.0	12	30%	10.8	
	3차년도	3.0	12	30%	10.8	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
1.4 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석 알고리즘 제시	1차년도		12	30%	0.0	
	2차년도	2.0	12	30%	7.2	
	3차년도	4.0	12	30%	14.4	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
1.5 LCC분석을 통한 풍력타워의 경제성 평가	1차년도	8.0	12	30%	28.8	1-2 경제성 분석 및 풍력발전 타워 시공기술
	2차년도	6.0	12	30%	21.6	
	3차년도		12	30%	0.0	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	

1.6 풍력발전타워의 시공지침서 제안	1차년도		12	30%	0.0	
	2차년도	5.0	12	30%	18.0	
	3차년도	10.0	12	30%	36.0	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
1.7 첨단 계측 기법 제시 및 활용방안 분석	1차년도	8.0	12	30%	28.8	1-3 첨단계측 평가 및 유지관리 기술
	2차년도	6.0	12	30%	21.6	
	3차년도		12	30%	0.0	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
1.8 계측을 통한 풍력발전 타워의 유지관리 모듈 개발	1차년도		12	30%	0.0	
	2차년도	5.0	12	30%	18.0	
	3차년도	10.0	12	30%	36.0	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
2.1 고내구성 강재 및 이용기술 개발	1차년도	5.0	12	30%	18.0	2-1 대단면 대형 강재타워 의 설계 및 제작기술 개발
	2차년도	4.0	12	30%	14.4	
	3차년도		12	30%	0.0	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
2.2 설계 및 제작 지침, 제작 시스템 제시 및 Prototype 설계서	1차년도		12	30%	0.0	
	2차년도	3.0	12	30%	10.8	
	3차년도	6.0	12	30%	21.6	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
2.3 고성능 강재타워의 설계/제작 정보화 및 최적 시공기술	1차년도	6.0	12	30%	21.6	
	2차년도	4.0	12	30%	14.4	
	3차년도		12	30%	0.0	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
2.4 조립 확장이 용이한 모듈러 타워 구조 시스템 개발	1차년도		12	30%	0.0	
	2차년도	4.0	12	30%	14.4	
	3차년도	7.0	12	30%	25.2	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	

2.5 축방향 복합 튜브타워 구조 개발	1차년도		12	30%	0.0	2-2 미래형 복합구조 합성타워 개발
	2차년도	4.0	12	30%	14.4	
	3차년도	6.0	12	30%	21.6	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
2.6 합성단면 타워 구조 개발	1차년도	10.0	12	30%	36.0	
	2차년도	5.0	12	30%	18.0	
	3차년도		12	30%	0.0	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
2.7 멀티기동 복합 타워 구조개발	1차년도		12	30%	0.0	
	2차년도	5.0	12	30%	18.0	
	3차년도	6.0	12	30%	21.6	
	4차년도		12	30%	0.0	
	5차년도		12	30%	0.0	
2.8 Testbed 구조물 설계 및 제작	1차년도		12	30%	0.0	2-3 Test Bed를 통한 적용성 분석
	2차년도		12	30%	0.0	
	3차년도		12	30%	0.0	
	4차년도	4.0	12	30%	14.4	
	5차년도	2.0	12	35%	8.4	
2.9 Testbed 시공 및 거동분석	1차년도		12	30%	0.0	
	2차년도		12	30%	0.0	
	3차년도		12	30%	0.0	
	4차년도	1.0	12	55%	6.6	
	5차년도	3.0	12	30%	10.8	

2절. 연구개발과제 소요예산

1. 연구단 예산안

(백만원)

과제명	1차년		2차년		3차년		4차년		5차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
연구단 총괄	1646.94	548.98	2274.02	758.01	2104.04	701.35	833.01	277.67	609.43	203.14	7467.44	2489.15
1세부과제 : 풍력타워 설계 및 유지관리 기술 개발	1130.38	376.79	1206.32	402.11	1254.16	418.05	0.00	0.00	0.00	0.00	3590.86	1196.95
1-1 고도침단 설계기반구축	349.85	116.62	247.55	82.52	247.55	82.52	0.00	0.00	0.00	0.00	844.95	281.65
1-2 경제성 분석 및 풍력발전 타워 시공 기술	369.64	123.21	326.76	108.92	412.55	137.52	0.00	0.00	0.00	0.00	1108.95	369.65
1-3 침단 계측 평가 및 유지관리기술	410.89	136.96	632.01	210.67	594.05	198.02	0.00	0.00	0.00	0.00	1636.95	545.65
2세부과제 : 저비용 고효율 풍력타워 기술개발	516.56	172.19	1067.70	355.90	849.88	283.29	833.01	277.67	609.43	203.14	3876.58	1292.19
2-1 대단면 대형 강재타워의 설계, 제작 및 시공 기술 개발	269.01	89.67	618.83	206.28	501.67	167.22	0.00	0.00	0.00	0.00	1389.51	463.17
2-2 미래형 복합 합성 구조 풍력타워 개발	247.55	82.52	448.87	149.62	348.21	116.07	0.00	0.00	0.00	0.00	1044.64	348.21
2-3 Test Bed를 통한 적용성 분석	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	833.01	277.67	609.43	203.14	1442.43	480.81

2. 세부과제별 연구비 총괄표

세부과제명	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비 고
1. 풍력타워 설계 및 유지관리 기술개발	1,507,176,000	1,608,425,280	1,672,211,200	0	0	4,787,812,480	48.09%	
2. 저비용 고효율 풍력타워 기술개발	688,747,840	1,423,604,160	1,133,176,000	1,110,674,400	812,570,880	5,168,773,280	51.91%	
합계	2,195,923,840	3,032,029,440	2,805,387,200	1,110,674,400	812,570,880	9,956,585,760	100.00%	

3. 비목별 연구비 총괄표

비목			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비 고
1) 인건비	내/외부 인건비		854,496,000	1,133,136,000	1,021,680,000	108,360,000	99,072,000	3,216,744,000	32.31%	
2) 직접비	연구 장비 재료 비	연구기자재및시 설비	350,000,000	460,000,000	460,000,000	0	50,000,000	1,320,000,000	13.26%	
		시작품 제작비	450,000,000	480,000,000	440,000,000	858,000,000	540,000,000	2,768,000,000	27.80%	
		재료비	0	230,000,000	220,000,000	0	10,000,000	460,000,000	4.62%	
	연구 활동 비	여비	68,359,680	90,650,880	81,734,400	8,668,800	7,925,760	257,339,520	2.58%	
		수용비및수수료	51,269,760	67,988,160	61,300,800	6,501,600	5,944,320	193,004,640	1.94%	
		기술정보활동비	93,994,560	124,644,960	112,384,800	11,919,600	10,897,920	353,841,840	3.55%	
	연구수당		128,174,400	169,970,400	153,252,000	16,254,000	14,860,800	482,511,600	4.85%	
3) 간접비			199,629,440	275,639,040	255,035,200	100,970,400	73,870,080	905,144,160	9.09%	
4)	합계		2,195,923,840	3,032,029,440	2,805,387,200	1,110,674,400	812,570,880	9,956,585,760	100.00%	1)+2)+3)

4. 세부과제별 비목별 연구비

가) 1세부과제

비목			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비 고
1) 인건비	내/외부 인건비		464,400,000	594,432,000	557,280,000	0	0	1,616,112,000	33.75%	
2) 직접비	연구 장비 재료 비	연구기자재및시 설비	270,000,000	420,000,000	340,000,000	0	0	1,030,000,000	21.51%	
		시작품 제작비	450,000,000	210,000,000	300,000,000	0	0	960,000,000	20.05%	
		재료비	0	0	100,000,000	0	0	100,000,000	2.09%	
	연구 활동 비	여비	37,152,000	47,554,560	44,582,400	0	0	129,288,960	2.70%	
		수용비및수수료	27,864,000	35,665,920	33,436,800	0	0	96,966,720	2.03%	
		기술정보활동비	51,084,000	65,387,520	61,300,800	0	0	177,772,320	3.71%	
	연구수당		69,660,000	89,164,800	83,592,000	0	0	242,416,800	5.06%	
3) 간접비			137,016,000	146,220,480	152,019,200	0	0	435,255,680	9.09%	
4)	합계		1,507,176,000	1,608,425,280	1,672,211,200	0	0	4,787,812,480	100.00%	1)+2)+3)

나) 2세 부과제

비목			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	비 고
1) 인건비	내/외부 인건비		390,096,000	538,704,000	464,400,000	108,360,000	99,072,000	1,600,632,000	30.97%	
2) 직접비	연구 장비 재료 비	연구기자재및시 설비	80,000,000	40,000,000	120,000,000	0	50,000,000	290,000,000	5.61%	
		시작품 제작비	0	270,000,000	140,000,000	858,000,000	540,000,000	1,808,000,000	34.98%	
		재료비	0	230,000,000	120,000,000	0	10,000,000	360,000,000	6.96%	
	연구 활동 비	여비	31,207,680	43,096,320	37,152,000	8,668,800	7,925,760	128,050,560	2.48%	
		수용비및수수료	23,405,760	32,322,240	27,864,000	6,501,600	5,944,320	96,037,920	1.86%	
		기술정보활동비	42,910,560	59,257,440	51,084,000	11,919,600	10,897,920	176,069,520	3.41%	
	연구수당		58,514,400	80,805,600	69,660,000	16,254,000	14,860,800	240,094,800	4.65%	
3) 간접비			62,613,440	129,418,560	103,016,000	100,970,400	73,870,080	469,888,480	9.09%	
4)	합계		688,747,840	1,423,604,160	1,133,176,000	1,110,674,400	812,570,880	5,168,773,280	100.00%	1)+2)+3)

5. 직접비 내역

가. 연구시설 및 장비비

○ 연구시설 및 장비비 산출표 (A)

구 분	3천만원 이상	3천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	350,000,000	0	350,000,000	3천만원 이상 : (B) 작성 3천만원 미만 : (C) 작성
2차년도	460,000,000	-	460,000,000	
3차년도	460,000,000	-	460,000,000	
4차년도	0	-	-	
5차년도	50,000,000	-	50,000,000	
합계	1,320,000,000	0	1,320,000,000	

○ 연구시설 및 장비비 산출내역 (B) - 3천만원 이상 장비

주요 Activity	연차	장비명	용도	비용(원)	합계
1.1 Risk Analysis를 통한 풍력타워 적용 풍하중 산정 및 터빈-타워-기초 타물체 유탄성 해석을 포함한 설계지침 마련	1차년도				80,000,000
	2차년도	구조해석 프로그램	터빈-타워-기초 타물체 상호해석	40,000,000	
	3차년도	구조해석 프로그램	터빈-타워-기초 타물체 상호해석	40,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
1.2 풍력발전타워의 생애주기비용 예측기법을 통한 성능평가 기술 알고리즘 제시	1차년도	구조해석 프로그램	구조물 성능평가	40,000,000	40,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.3 풍력타워 보수보강 의사결정 알고리즘 제시	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				

1.4 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석 알고리즘 제시	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.5 LCC분석을 통한 풍력타워의 경제성 평가	1차년도	구조해석 프로그램	구조물 안전성-경제성 상호관계 분석	40,000,000	80,000,000
	2차년도	구조해석 프로그램	구조물 안전성-경제성 상호관계 분석	40,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.6 풍력발전타워의 시공지침서 제안	1차년도				40,000,000
	2차년도				
	3차년도	구조해석 프로그램	시공 안전성 평가를 위한 구조해석	40,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
1.7 첨단 계측 기법 제시 및 활용방안 분석	1차년도	구조해석 프로그램	유지관리를 위한 계측점 선정	40,000,000	380,000,000
		GPS, 및 관련 S/W	모니터링 및 계측/분석	150,000,000	
	2차년도	구조해석 프로그램	계측 데이터를 활용한 구조물의 상태평가	40,000,000	
		가속도계, 변위계 및 관련 S/W	모니터링 및 계측/분석	150,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.8 계측을 통한 풍력발전 타워의 유지관리 모듈 개발	1차년도				410,000,000
	2차년도	계측데이터 관리 프로그램	계측 데이터 처리를 위한 S/W	150,000,000	
	3차년도	구조해석 프로그램	유지관리 모듈의 검증 및 활용도 분석	60,000,000	
		계측데이터 관리 프로그램	계측 데이터 처리를 위한 S/W	200,000,000	
	4차년도				
	5차년도				

2.1 고내구성 강재 및 이 용기술 개발	1차년도	구조해석 프로그램	재료관련 매개변수 해석	40,000,000	40,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.2 설계 및 제작 지원, 제작 시스템 제시 및 Prototype 설계서	1차년도				40,000,000
	2차년도				
	3차년도	구조해석 프로그램	제작 시스템의 안전 도 평가	40,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
2.3 고성능 강재타워의 설계/제작 정보화 및 최 적 시공기술	1차년도				40,000,000
	2차년도				
	3차년도	구조해석 프로그램	개발시스템의 안전 성 평가	40,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
2.4 조립 확장이 용이한 모듈러 타워 구조 시스템 개발	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.5 축방향 복합 튜브타 워 구조 개발	1차년도				40,000,000
	2차년도				
	3차년도	구조해석 프로그램	구조물 거동 분석	40,000,000	
	4차년도				
	5차년도				

2.6 합성단면 타워 구조 개발	1차년도	구조해석 프로그램	구조물 거동 분석	40,000,000	40,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.7 멀티기동 복합 타워 구조개발	1차년도				40,000,000
	2차년도	구조해석 프로그램	구조물 거동 분석	40,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.8 Testbed 구조물 설계 및 제작	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.9 Testbed 시공 및 거동분석	1차년도				50,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도	가설정밀도 관련 기자재	모듈 구조의 시공 정밀도 향상	50,000,000	

○ 연구시설 및 장비비 산출내역 (C) - 3천만원 미만 장비

연차	주요내역	금액	합계
1차년도	-		
	-		
2차년도	-		0
3차년도			0
4차년도			0
5차년도			0

나. 시작품 제작비

○ 시작품 제작비 산출표 (A)

구 분	1천만원 이상	1천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	450,000,000	0	450,000,000	1천만원 이상 : (B) 작성 1천만원 미만 : (C) 작성
2차년도	480,000,000	0	480,000,000	
3차년도	440,000,000	0	440,000,000	
4차년도	858,000,000	0	858,000,000	
5차년도	540,000,000	0	540,000,000	
합계	2,768,000,000	-	2,768,000,000	

○ 시작품 제작비 산출내역 (B) - 1천만원 이상 시작품 제작

주요 Activity	연차	시작품명	주요기능	비용(원)	합계
1.1 Risk Analysis를 통한 풍력타워 적용 풍하중 산정 및 터빈-타워-기초 타물체 유탄성 해석을 포함한 설계지침 마련	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.2 풍력발전타워의 생애주기비용 예측기법을 통한 성능평가 기술 알고리즘 제시	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.3 풍력타워 보수보강 의사결정 알고리즘 제시	1차년도	현황분석	현재 기술동향 및 시장동향 외주	150,000,000	150,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				

1.4 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석 알고리즘 제시	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
1.5 LCC분석을 통한 풍력타워의 경제성 평가	1차년도	현황분석	현재 기술동향 및 시장동향 외주	200,000,000	300,000,000
	2차년도				
	3차년도	모듈러 타워 경제성 분석 외주	모듈러 타워 물량 및 설계가 비교산출	100,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
1.6 풍력발전타워의 시공지침서 제안	1차년도				170,000,000
	2차년도	설계안 외주	대단면타워 실시설계(안) 및 표준도	70,000,000	
	3차년도	설계안 외주	무둘러 시작품 실시설계(안) 및 표준도	100,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
1.7 첨단 계측 기법 제시 및 활용방안 분석	1차년도	경제성 분석을 위한 기반구축	개발 제품의 경제성 분석 모듈	100,000,000	170,000,000
	2차년도	경제성분석	개발 제품의 경제성 분석 모듈	70,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.8 계측을 통한 풍력발전 타워의 유지관리 모듈 개발	1차년도				170,000,000
	2차년도	유지관리 설비	유지관리 설비 최적화	70,000,000	
	3차년도	계측 자동화시스템	유지관리 계측의 자동화	100,000,000	
	4차년도				
	5차년도				

2.1 고내구성 강재 및 이 용기술 개발	1차년도				60,000,000
	2차년도	소재시험	소재 용접/피로성능 시험체	60,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.2 설계 및 제작 지침, 제작 시스템 제시 및 Prototype 설계서	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.3 고성능 강재타워의 설계/제작 정보화 및 최 적 시공기술	1차년도				70,000,000
	2차년도	단면설계	대형단면타워 컨셉 설계	70,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.4 조립 확장이 용이한 모듈러 타워 구조 시스템 개발	1차년도				140,000,000
	2차년도	모듈러 시험	모듈러 기본부재 시 험체	70,000,000	
	3차년도	연결부 설계	모듈러 부재의 연결 부 성능 평가	70,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
2.5 축방향 복합 튜브타 워 구조 개발	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				

2.6 합성단면 타워 구조 개발	1차년도				70,000,000
	2차년도	시공성 검증 시험체	제작 및 시공성 검증	70,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.7 멀티기동 복합 타워 구조개발	1차년도				70,000,000
	2차년도				
	3차년도	시공성 검증 시험체	제작 및 시공성 검증	70,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
2.8 Testbed 구조물 설계 및 제작	1차년도				1,398,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도	Testbed	Testbed설계외주 및 제작	858,000,000	
	5차년도	Testbed	Testbed 운송 및 설치, 실험	540,000,000	
2.9 Testbed 시공 및 거동분석	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				

○ 시작품 제작비 산출내역 (C) - 1천만원 미만 시작품 제작

연차	주요내역	금액	합계
1차년도	-		0
	-		
2차년도	-		0
3차년도			0
4차년도			0
5차년도			0

다. 재료구입비

○ 재료구입비 산출표 (A)

구 분	1천만원 이상	1천만원 미만	합계(원)	비 고
1차년도	-	0	-	1천만원 이상 : (B) 작성 1천만원 미만 : (C) 작성
2차년도	230,000,000	0	230,000,000	
3차년도	220,000,000	0	220,000,000	
4차년도	-	0	-	
5차년도	10,000,000	0	10,000,000	
합계	460,000,000	-	460,000,000	

○ 재료구입비 산출내역 (B) - 1천만원 이상 재료비

주요 Activity	연차	재료구입비명	주요기능	비용(원)	합계
1.1 Risk Analysis를 통한 풍력타워 적용 풍하중 산정 및 터빈-타워-기초 타물체 유탄성 해석을 포함한 설계지침 마련	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.2 풍력발전타워의 생애주기비용 예측기법을 통한 성능평가 기술 알고리즘 제시	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.3 풍력타워 보수보강 의사결정 알고리즘 제시	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				

1.4 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석 알고리즘 제시	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
1.5 LCC분석을 통한 풍력타워의 경제성 평가	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.6 풍력발전타워의 시공지침서 제안	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.7 첨단 계측 기법 제시 및 활용방안 분석	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
1.8 계측을 통한 풍력발전 타워의 유지관리 모듈 개발	1차년도				100,000,000
	2차년도				
	3차년도	현장 적용성 평가	실험장비 구입	100,000,000	
	4차년도				
	5차년도				

2.1 고내구성 강재 및 이 용기술 개발	1차년도				80,000,000
	2차년도	고강도강 소재시험	실험재료	30,000,000	
	3차년도	소재용접성능시험	시험장비	50,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
2.2 설계 및 제작 지침, 제작 시스템 제시 및 Prototype 설계서	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.3 고성능 강재타워의 설계/제작 정보화 및 최 적 시공기술	1차년도				60,000,000
	2차년도	대형강관 부재 및 소재, 상세시험	실험재료	60,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.4 조립 확장이 용이한 모듈러 타워 구조 시스템 개발	1차년도				140,000,000
	2차년도	모듈러 시험	모듈러 기본부재 시 형체	70,000,000	
	3차년도	연결부 설계	모듈러 부재 연결부 성능 평가	70,000,000	
	4차년도				
	5차년도				
2.5 축방향 복합 튜브타 워 구조 개발	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				

2.6 합성단면 타워 구조 개발	1차년도				70,000,000
	2차년도	시공성 검증 시험	시험재료	70,000,000	
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.7 멀티기동 복합 타워 구조개발	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.8 Testbed 구조물 설계 및 제작	1차년도				-
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도				
2.9 Testbed 시공 및 거동분석	1차년도				10,000,000
	2차년도				
	3차년도				
	4차년도				
	5차년도	현장 적용성 평가	실험장비 구입	10,000,000	

○ 시작품 제작비 산출내역 (C) - 1천만원 미만 시작품 제작

연차	주요내역	금액	합계
1차년도	-		0
	-		
2차년도	-		0
3차년도			0
4차년도			0
5차년도			0

라. 여비

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	854,496,000	8%	68,359,680	
2차년도	1,133,136,000	8%	90,650,880	
3차년도	1,021,680,000	8%	81,734,400	
4차년도	108,360,000	8%	8,668,800	
5차년도	99,072,000	8%	7,925,760	
합계			257,339,520	

마. 수용비 및 수수료

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	854,496,000	6%	51,269,760	수용비 수수료는 기준을 초과하여 작성할 수 없음
2차년도	1,133,136,000	6%	67,988,160	
3차년도	1,021,680,000	6%	61,300,800	
4차년도	108,360,000	6%	6,501,600	
5차년도	99,072,000	6%	5,944,320	
합계			193,004,640	

바. 기술정보활동비

구 분	인건비	비율 (기준금액 이하로 비율설정)	합계(원)	비 고
1차년도	854,496,000	11%	93,994,560	
2차년도	1,133,136,000	11%	124,644,960	
3차년도	1,021,680,000	11%	112,384,800	
4차년도	108,360,000	11%	11,919,600	
5차년도	99,072,000	11%	10,897,920	
합계			353,841,840	

사. 연구수당

Activity 단위	인건비총합	비율	비용(원)	비 고
1차년도	854,496,000	15%	128,174,400	
2차년도	1,133,136,000	15%	169,970,400	
3차년도	1,021,680,000	15%	153,252,000	
4차년도	108,360,000	15%	16,254,000	
5차년도	99,072,000	15%	14,860,800	
합계			482,511,600	

6장. 과제제안 요구서 작성 및 평가기준 설정

1절. 과제제안 요구서

연구과제명	풍력발전 타워의 설계 및 시공기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 풍력발전 타워의 국내 설계기준 정립 및 기술 자립화 ○ 풍력발전타워의 높이별(80~150m), 발전기 용량별(2~10MW) 최적 구조 형식 제공 ○ 개발 기술 상용화 기반 마련
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
☐ 연구개발의 필요성	○ 풍력발전은 전력 생산량 대비 발전 단가비용이 석탄이나 가스에 비해 저렴, 건설 이후 경제적 기대효과가 커짐에 따라 세계적으로 풍력발전의 수는 꾸준히 늘어날 전망 ○ 화석 연료에 비해 경제성이 뛰어난 풍력 발전은 해외 시장의 성장과 더불어 최근 시행되는 신재생 에너지 정책과 맞물려 국내 독자기술의 자체 개발이 요구됨 ○ 풍력발전용량 대형화에 따라 블레이드 길이 및 나셀 중량 증대 → 이를 지지하는 타워구조의 대형화 및 고도화 불가피 ○ 대용량 대형화 따른 경제적 효율적 타워구조물 구축기술은 선진국에서도 도입단계 → 기술격차 해소 및 선점기회 ○ 경제성 향상 풍력발전 타워구조 개발 필요: 기존 단순 강재튜브 단면 비경제적. 특히 대형화 및 고도화에 따라 경제성 급격히 저조 → 강재, 콘크리트, FRP 등 다양한 고성능 건설소재를 최적 적용, 극한강도를 효율적으로 증대하는 첨단복합 신형식 구조의 개발 절실 ○ 풍력발전 타워의 대형화로 타워 건설비용 증가에도 불구하고 장수명화를 위한 유지관리 기술의 연구 및 적용은 초보적임 → 풍력발전타워에 대한

최적 유지관리 기술 및 적용방안의 연구 개발 시급

- 특히 근래에 들어 각광받기 시작한 해상풍력단지는 유지관리 소요 비용이 크게 증가될 수 있으므로 내구성 향상 노력이 필수적임. 더구나 해상운반 및 현장시공 여건이 극히 불리하여 비용 급상승의 주요인이 될 수 있음 → 조립식 공법 및 모듈러 타워구조 기술의 개발 필요성 대두
- 정부는 기후변화에 대응하기 위한 녹색성장 추진계획을 수립하였으며, 이러한 계획의 일환으로 신재생에너지 사업의 활성화를 위한 정책을 추진하며 민간 참여를 적극 유도하고 있음. 이에 따라, 신재생에너지 사업 육성을 위한 다양한 지원제도를 운영 중에 있으며, RPS제도에 따른 풍력발전 시장의 성장이 예상되나 이는 정부의 세부적이며 체계적인 지원이 전제될 때 가능할 것으로 판단됨
- 풍력발전사업이 타 경쟁 신재생에너지원에 비해 발전 단가 경쟁력이 상당히 높기 때문에 RPS 의무이행에 있어 풍력발전이 가장 큰 비중을 차지할 것으로 예상됨. 따라서, RPS제도의 조기정착 위해 풍력발전의 효율성 제고 및 초기 건설비용 최소화 위한 정부의 연구개발 지원이 절실함
- 경쟁력 있는 육상 풍력 부지의 고갈과 부지사용, 거주환경 및 민원문제가 급격히 증가하고 있고, 육상에서처럼 타워 높이를 제한받을 필요가 없다는 점에서 해상 풍력발전 시스템의 기술개발 필요성이 고조되고 있음. 국내 조선·중공업 업계에서 시장 선점 및 해외 진출을 위해 경쟁적으로 5MW급 이상의 대형 해상풍력발전기 개발을 추진 중임. 아직 사업화되지 않은 영역인 대형 규모의 타워구조 개발 분야는 첨단 공학기술의 집합체이며 철강사, 중공업사, 건설시공사 외에도 전문 제작사, 설계사, 유지관리 업체 등의 협업을 통해 실현 가능 → 정부 주도의 총체적 지원 및 일관성 있는 통합 관리 노력이 필히 요구됨
- 본 과제에서 담당하고자 하는 첨단 원격 계측 평가기술, 재해 시뮬레이션 구축 등을 통한 유지관리 기술은 특정 단체나 개인이 보유하고 있는 기술력으로는 연구의 진행에 어려움이 있으므로 정부 주도의 지원이 필요함
- 본 과업의 개발대상 풍력발전 타워구조는 국가의 승인 및 허가 하에 설

치되는 주요 SOC 구조물로서 관리되어야 하며, 따라서 계획, 설계, 시공 등의 과정에 관한 국가기준 및 관리 시방서가 제시되어야 할 필요가 있음

- 풍력발전단지 및 발전기 설치사업은 기초 및 상부타워를 담당하는 건설업과 나셀 및 블레이드를 담당하는 중공업 등이 종합적으로 기여하는 국가수출 효자산업인 플랜트 건설 산업을 확장하고 미래경쟁력을 제고할 수 있는 분야로써 국가적인 육성 절실함
- 풍력발전사업은 이산화탄소 배출이 전혀 없는 친환경 에너지사업으로써 세계 선진 각국의 주도권 확보 위한 경쟁이 치열한 상황으로 국가적 차원의 지원 하에 조직적이며 일관성 있는 연구 개발의 진행이 요구됨

□ 기술동향

- 풍력발전은 대체에너지로서의 가치상승으로 인한 세계적 수요증대에 따라 관련 시장이 급성장 하고 있으며, 유럽을 중심으로 기술개발 활발
- 국내에도 다양한 기업에서 풍력발전 시스템을 보유하고 있으나, 대부분 해외 선진 엔지니어링사를 통한 시스템 개발 혹은 해외 업체 인수를 통하여 풍력발전 시스템을 보유. 국내 자체적인 엔지니어링을 통한 풍력발전 시스템 개발은 어려운 상태. 풍력발전 타워도 시스템의 일부로서 동일한 기술수준 → 선발주자에 비해 국제적 시장 영향력 및 기술 경쟁력 부족, 특히 타워설계 국외의존도 높음: 국내 설계시공 기준 및 인증 체계 부족
- 풍력발전 타워 설계기준 측면에서는 국내에 별도의 설계기준 미비. 해외의 경우 IEC 기준을 기본으로 하중을 산정하고, Eurocode나 DIN 등의 구조물 설계기준을 적용하여 구조설계. IEC 하중기준을 살펴보면 풍력발전시스템의 구분을 Class 1, 2, 3 등으로 구분하여 평균풍속 및 최대풍속 규정. 평균풍속이 낮고 태풍 등에 의해 최대풍속이 높은 국내 환경을 고려하면 IEC 기준의 Class 구분 적용시 불합리한 설계 유도 실정
- 구조물 설계기준의 경우도 국외 엔지니어링사에 따라 각기 다른 기준을 적용하고 있어 국내에 시공되는 풍력발전 타워별 안전도에 차이가 발생. 국내 구조물 설계기준을 확립하여 국내 시공 풍력발전 타워의 동일수준 안전도 확보 필요. 국내 구조물 설계기준의 경우 IEC에서 제시하는 구조물 관련 규정을 현재의 상태로 적용하기 힘든 상태. IEC에서 제시하는

LRFD 개념의 풍력발전 타워 설계기준을 국내 실정에 맞게 제시하여, 국내 사업에 적용할 필요가 있음

- 대용량 대형화 따른 경제적 효율적 타워구조물 구축기술은 선진국에서도 도입단계 → 기술격차 해소 및 선점기회
- 국내 보유중인 풍력발전시스템의 풍력타워는 100% 강재 Tubular 형식임. 국외에서도 강재 Tubular 형식이 일반적이거나, 100m 이상의 타워에 대해서는 콘크리트 Tubular, 강재-콘크리트 하이브리드, Lattice 타워의 형식이 일부 적용중. 풍력타워와 같은 구조물의 경우 소재비, 제작 설비 및 인건비, 현장 시공비용이 지속적으로 변화하여 형식별, 소재별 경제성은 고정적이지 않음
- 현재 국내 보유중인 풍력발전시스템은 최대 3MW급이며, 현재 다양한 업체에서 5MW 이상급 풍력발전 시스템을 해상풍력발전단지용으로 개발중. 현재 2~3MW급 풍력발전기를 지지하는 타워는 보통 80m 내외의 높이로 강재 Tubular 형식임. 2~3MW급 풍력발전시스템의 높이를 100m 이상으로 적용하는 방안에 대한 고려도 되고 있음
- 유럽 및 미국 등지에서 현재까지 풍력타워는 육상의 경우 80m높이의 풍력타워가 일반적이고, 해상의 경우 경우에 따라 80~90m내외 규모의 풍력타워가 대부분. 콘크리트 타워와 Hybrid타워는 극소수이며 대부분 강재 튜브 형식을 사용해 왔으나, 이러한 형식을 고수할시 100m이상의 타워를 건설할 경우 강중이 기하급수적으로 증가하여 경제적인 측면에서 불리. 또한 건설 수에도 O&M비용이 증가하여 비용 문제 발생. 해상 풍력타워의 경우, 100m이상의 타워를 건설하기 위한 높이를 확보할 수 있는 크레인의 이용이 제한적이므로 대형 풍력타워의 건설이 어려운 실정
- 강재, 콘크리트, FRP 등 고성능 건설소재에 대한 국내 산업은 월드베스트 수준에 도달해 있으며, 이를 활용한 SOC 구조물 건설기술 및 전문인력 역시 풍부히 보유 → 전문건설기술 활용, 풍력발전 산업의 경쟁력 제고 및 양질의 일자리 창출

3. 연구개발내용

□ 1세부과제 : 풍력타워 설계 및 유지관리 기술 개발

- 1-1 고도첨단 설계기반 구축
 - Risk Analysis를 통한 풍력타워 적용 풍하중 산정 및 터빈-타워-기초 다물체 유탄성 해석을 포함한 설계지침 마련
 - 풍력발전타워의 생애주기비용 예측기법을 통한 성능평가 기술 알고리즘 제시
 - 풍력타워 보수보강 의사결정 알고리즘 제시
 - 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석 알고리즘 제시
- 1-2 경제성 분석 및 풍력발전 타워 시공 기술
 - LCC분석을 통한 풍력타워의 경제성 평가
 - 풍력발전 타워의 시공 지침안 개발
- 1-3 첨단 계측 평가 및 유지관리기술
 - 첨단 계측 기법 제시 및 활용 방안 분석
 - 계측을 통한 풍력발전 타워의 유지관리 모듈 개발

□ 2세부과제 : 저비용 고효율 풍력타워 기술개발

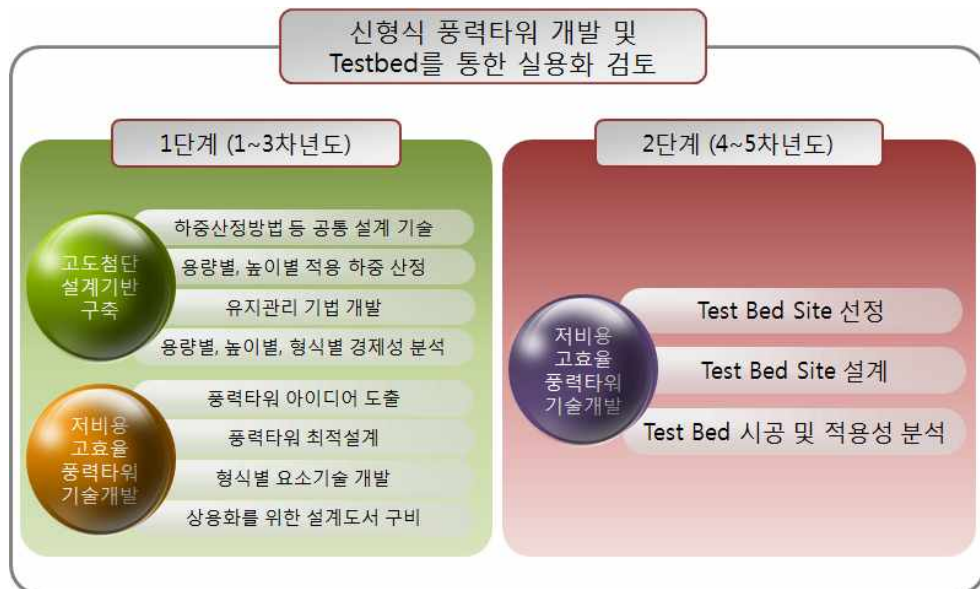
- 2-1 대단면 대형 강재타워의 설계, 제작 및 시공 기술 개발
 - 고내구성 강재 및 이용기술 개발
 - 설계 및 제작 지침, 제작 시스템 제시 및 Prototype 설계서 작성
 - 고성능 강재타워의 설계/제작 정보화 및 최적 시공기술 개발
 - 조립확장이 용이한 모듈러 타워 구조 시스템 개발
- 2-2 미래형 복합 합성 구조 풍력타워 개발
 - 축방향 복합 튜브 타워 구조 개발
 - 합성단면 타워 구조 개발
 - 멀티기둥 복합 타워 구조 개발
- 2-3 Test Bed를 통한 적용성 분석
 - Test Bed구조물 설계 및 제작
 - Test Bed 시공 및 거동 분석

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 1단계(1~3차년도)와 2단계(4~5차년도)로 나누어 추진

- 1단계(1~3차년도) : 공통 설계기반 구축 및 후보 구조형식별 핵심 요소 기술 개발
 - 풍력발전기 용량별/타워높이별 최적설계 실시 및 최고 경쟁력 타워 구조 형식 선정
 - 풍력발전기 용량 범위 : 과제 종료시점에서 최대시장을 형성할 것으로 보이는 2~3MW급에서 최대 발전기 용량으로 예상되는 10MW급까지 포함
 - 풍력발전 타워의 높이 범위 : 80~150m
 - 목표 성능 : 풍력타워 설계기술 자립화 및 기존 풍력타워 대비 경제성 10% 향상
 - 지경부 등 타부처 과제 및 국토부의 기존 관련 과제와 연계하여 추진
- 2단계(4~5차년도) : Test Bed를 통한 상용화 기반 마련
 - 4차년도 : 선정된 타워형식에 대한 국제공인 인증기관의 Design Evaluation 수준 설계도서 작성 및 Test Bed Site 선정
 - 5차년도 : 공통 설계기준/시공시방서, 구조형식별 설계지침 정립 및 Test Bed 추진
 - Test Bed는 향후 추진될 해상풍력 단지와 연계하여 추진



<세부과제 추진 및 과제간 연계도>

- 추진체계
- 본 연구단은 풍력발전 타워의 국내 설계기준 정립 및 기술 자립화와 함께 풍력발전기 용량별, 타워 높이별 최적 구조형식을 개발하여 상용화 구

축을 목표로 하는 연구과제로서, 기술개발과 개발기술의 상용화를 유기적으로 달성할 수 있도록 산학연 공동연구진 구성이 필요함

○ 필요시 외국 전문가 또는 외국기관 활용 : 국제 인증기관 활용 필요

5. 최종성과물

□ 주요

최종성과물

□ 1세부과제 : 풍력타워 고도첨단설계/유지관리 기술 및 Testbed 구축

- 풍력발전 타워 국내 설계기준 및 국제인증을 위한 설계기준안 및 가이드
- 재해 시뮬레이션을 통한 구조물 위험도 분석 지침
- 풍력발전 타워 성능평가 및 보수보강 의사결정 알고리즘
- 풍력발전 타워 유지관리 지침
- 풍력발전기 용량, 타워높이별 최적구조형식 (형식별 비교 평가를 통한 최적형식 선정)

□ 2세부과제 : 저비용 고효율 풍력타워 기술개발

- 기존 Tubular 풍력타워 내구성 향상 방안 (소재, 도장재료 등)
- 대단면 대형 강재타워 설계지침
- 풍력타워 모듈부재 및 제작시스템 매뉴얼
- 대단면 대형 강재타워 단면 설계 매뉴얼
- 강재타워 제작 DB
- 고소 현장 가설 시스템
- 복합합성구조 풍력타워 설계 매뉴얼
- 신규개발 풍력발전타워 Test Bed

6. 기대효과 및 파급효과

- 현재 예정된 국내 풍력발전 단지 조성 규모는 1.7GW이며, 년도별 추세로 보아 이러한 경향은 지속적으로 증가할 것으로 전망
- 앞선 시장조사 결과를 토대로 풍력발전 타워의 조성비용은 선진국은 MW당 3억원, 국내는 이에 비해 110%~150%수준으로 3.3억원~4.5억원으로 추정됨

- 본 연구 종료 시, 풍력발전타워의 시공 및 설치 단가를 선진국의 80~90% 수준까지 절감할 수 있을 것으로 예상. 이로부터 풍력발전단지 조성비용의 절감액은 최소 1,020억원에서 최대 3,570억원에 이를 것으로 추산되며 정부 주관 사업의 경우, 국가예산 절감
- R&D투자 대비 경제적 수익 비율은 최소 6.8에서 최대 23.8로써 투입비용 대비 기대 효과가 매우 높을 것으로 예상됨. 뿐 만 아니라, 풍력타워 국산화율 증가에 따라 국부유출 최소화에 크게 기여
- 현재 세계 풍력 발전 규모 대비 풍력발전 타워 건설 비용은 MW당 3억 원 정도로 추산되며, 전체 건설시장의 규모는 134조에 이를 것으로 예상되며, 기술 수출이 가능한 미주와 동남아의 시장규모는 2009년~2014년 누적용량 기준 54조 2천억원에 달함. 시장규모는 상기 예상 수준에 비해 더욱 증가될 것으로 전망
- 기술적 경쟁력 확보로 인하여 과제 종료 시 진출 가능 시장의 최소 1.0~5.0% 내외를 선점 할 수 있을 것이라 예상하면 기술력 수출로 인한 경제적 수익창출 효과는 본 과제 종료(2015년)이후 5년간 최소 6780억원에서 최대 5조원 규모가 될 수 있을 것으로 예상
- R&D투자액 대비 경제적 수익 비율은 45.2~333.0으로 국내 시장에서 기대되는 수익 비율에 비해 대폭 증가된 효과를 가져올 것으로 전망

7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : 2011년 ~ 2016년 (5년)
- 총 정부출연금 : 75억원 이내
 - ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음
 - ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
 - ※ 연구비에 대한 구체적인 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

8. 기 타

- 1차년도 연구성과에 대한 중간평가 결과에 따라 2차년도 계속지원여

부 결정

- 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP)를 참조하여 작성
 - 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시
- 과제 신청자는 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서에 제시
 - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시
 - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함
 - 제시한 성과지표에 건설기술혁신사업의 공통성과지표가 없거나 부족하다고 판단될 경우, 협약시 조정(추가) 가능
 - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
 - 연구성과의 실용화(정책제안)로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급 효과 및 산출근거 제시
 - 연구성과의 실용성 검증 계획을 반드시 제시해야 함
- 국제공동연구 또는 전문가 활용방안
 - 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함
- 기 수행되었거나 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kictep.re.kr 열린정보, <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
 - ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 연구관리 전문기관(한국건설교통기술평가원)은 필요시 선정된 동 과제 연구책임자와 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구기간 변경, 연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구수행과정에서 실험이 필요한 경우, 「분산공유형 건설연구 인프라 구축」 과제결과로 구축된 “분산공유 6대 실험시설” 우선 활용
 - ※ 공고시 첨부한 “분산공유형 건설연구 인프라 실험시설 소개자료” 참조

2절. 평가기준 설정

- 현 RFP에서는 개발기술이 도출되지 않고 개발 목표만을 제시하여 제안자로부터 여러 좋은 아이디어를 유발 할 수 있도록 제시됨.
- 따라서, 제시된 목표를 얼마나 좋은 아이디어와 연구조직으로 달성 할 수 있는지를 우선 평가하여야 함.
- 연구추진체계에서 제시된 개발목표를 달성하기 위해 각 해당분야의 적합한 기관이 참여를 하고 있는지와 개발기술의 조기 실용화와 기술이전을 위해 적절한 기관이 개발단계부터 참여하고 있는지를 평가함.
- 국외 전문기관이 참여시 가점 부여 필요. 본 기술은 국외 수출이 가능한 기술로 콘테이너 운반이 가능한 시스템으로 국외 전문기업 참여시 가점 반영 검토. 전문기관이 없을 시에는 전문가와의 국외 공동연구 또는 위탁연구 수행 바람직 함.
- 본 RFP에서는 각세부기술별 (세부요소기술) 성능지표와 연구개발 목표만을 제시하므로 제안자는 그 최종목표 달성을 위해 연차별로 어떠한 세부 목표를 설정하는지 그 적정성을 평가

표 34. RFP 평가기준

기준항목	세부항목	배점
연구개발 목표 (15점)	최종목표 및 연차별 달성목표의 명확성-타당성	5
	연차별 성과지표의 목표 적정성	5
	RFP 연구목표와의 부합성	5
연구개발 내용 (20점)	연구개발 내용의 목표실현 가능성	15
	연구개발 내용의 독창성 차별성	5
추진전략 및 계획 (15점)	연구추진전략-체계의 적적성 (관련 전문기관이 각 세부별로 제대로 참여하는지 평가)	10
	(실용화를 위한 연구추진체계의 적적성)	5
	연구기간 및 연구개발비의 적절성	
실증연구 실현성 (10점)	실증연구단지 조성 계획의 실현 가능성	5
	타워 및 기초 구조의 완성도	5
연구성과물 활용계획의 구체성 및 달성가능성 (15점)	연구성과물의 활용계획 및 방안의 구체성 연구성과물의 기대효과(정책적, 사회적, 경제적 파급효과)	10 5
연구진 구성의 전문성 (15점)	연구책임자의 전문성 및 해당분야 실적	10
	연구진의 전문성 및 구성의 적적성	5