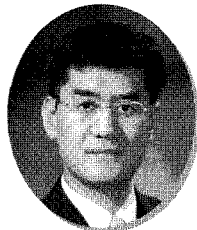


초장대교량 사업단 Super Long Span Bridge R&D Center



송 필 용
한국도로공사
초장대교량 사업단장
songpy@ex.co.kr



전 경 수
한국도로공사
초장대교량 사업단 사무국장
jkshine@ex.co.kr



길 흥 배
한국도로공사
도로교통연구원 특수교량팀장
hgil@ex.co.kr

1. 서 론

장대교량은 사장교와 현수교와 같이 고강도의 케이블을 활용하여 육지와 섬, 섬과 섬을 연결하기 위해 건설되는 장경간의 케이블 교량을 일반적으로 의미한다. 추가적으로 장대교량은 지역의 랜드마크로서 지역개발의 견인차 역할도 한다. 대표적인 현수교로는 미국의 Golden Gate Bridge, 일본의 Akashi-Kaikyo Bridge, 덴마크의 Great Belt Bridge 등이 있다. 사장교로는 중국의 Sutong Bridge, 시공중인 홍콩의 Stonecutters Bridge, 일본의 Tataru Bridge 등이 있다.

국내에도 현재 서해대교, 영종대교, 광안대교와 같이 공용중인 장경간 케이블 교량이 12개 있으며, 인천대교(중앙 경간장: 800m), 이순신대교(중앙 경간장: 1545m)

와 같이 세계적인 수준을 갖는 20여개의 케이블 교량이 계획·시공중에 있다.

국내 케이블교량 시장은 서해대교·영종대교의 준공(2000년)을 전후로 급성장하여 2010년까지 4.5조, 2011년 이후에는 6.7조 규모로 성장할 것으로 예상되어 중국에 이어 세계 2번째 규모의 케이블 교량 시장을 형성할 것으로 전망된다. 그러나 국내의 장경간 케이블교량 기술수준은 선진국 대비 76%로 분석된 바 있으며, 설계의 일부 핵심적인 기술과 고성능 소재 및 시공용 특수 장비의 결여로 인하여 외국의 선진 회사에 지속적으로 의존하고 있다. 조사에 따르면 향후 계획된 케이블 장대교량의 설계비와 시공 엔지니어링비로 약 1,000억원 이상의 기술 도입 비용이 외국으로 유출될 것으로 예상된다. 이를 방지하기 위해서는 활성화된 국내의 케이블 교량 건설시장을

기반으로 독창적인 특화 기술의 개발, 가격 경쟁력 확보, 국내 시장에서 기술검증, 전략적인 해외 컨소시엄 구성을 통하여 해외 시장 진입 가능할 것으로 예상된다.

1990년대까지 유럽, 미국, 일본과 같은 선진국 중심으로 장경간 케이블교량 시장이 주로 형성되었으며, 이들 시장을 바탕으로 유럽, 일본 등의 기술선도업체들은 필요 기술을 축적하고, 전 세계를 대상으로 전략적 제휴 및 공격적 마케팅을 통해 활발하게 해외 시장을 개척하고 있다. 최근에는 사회기반시설의 구축에 막대한 자금을 투입하고 있는 중국이 활발한 내수시장을 바탕으로 장대교량 관련 기술 개발에 박차를 가하고 있으며, 기술이 성숙 되면 해외에도 활발하게 진출할 것으로 예상된다.

2. 초장대교량 사업단 개요

초장대교량 구현 기술의 확보와 장대교량 관련 기술의 자립을 위해 2년여에 걸친 사전기획연구와 상세기획연구를 통해 VC-10 사업중의 하나로 출범된 초장대교량 사업단은 국제경쟁력을 갖춘 장경간 케이블 교량의 설계, 시공 및 유지관리 기술과 고성능 소재를 개발을 주목적으로 하는 대형 실용화 과제이다. 사업단 과제로서 기존의 연구과제와는 달리 세부적인 기술의 실용성을 검증하는 핵심기술형 Test Bed와 개발된 기술이 융합되어 적용되는

총괄 기술형 Test Bed를 통해 개발된 기술의 검증과 상용화까지 이루어질 것이다. 이를 통해 그림 1에 있는 것과 같이 장대교량 핵심기술의 자립화뿐만 아니라 기술 선도를 통해 관련 업체의 해외시장 진출 확대를 의도하고 있다.

정부 지원예산 636억을 포함해 총 946억원의 예산으로 7년간에 걸쳐 수행될 초장대교량 사업단의 비전과 목표는 2차에 걸친 기획연구를 통해 구체화되고 명확화 되었다. 사전기획연구에서는 세계 최고의 기술을 개발하기 위하여, 일반적으로 초장대교량으로 고려되는 주경간 3Km급의 현수교와 사장교 지간장의 한계를 뛰어넘는 주경간 2Km급의 사장교 건설을 위한 관련 기술 개발로 기술적인 목표를 제시하였다. 그러나 국내에서 건설 계획중인 장경간 케이블 교량들의 규모와 세계적으로 가장 수요가 많은 장대 교량의 규모를 고려하여, 상세기획연구(2)에서는 통해 2km급의 현수교와 1km급의 사장교로 건설 기술 개발로 기술적인 수준을 설정하였다. 사업단의 비전도 그림 2에 제시된 것과 같이 “장경간 케이블 교량 핵심기술 자립화”로 결정되었으며, 비전을 달성하기 위한 전략 목표로 “경쟁력 있는 핵심기술 개발”, “Test Bed를 통한 기술 검증 및 실용화”, “Global Player 양성”이 제시되었다. 특히 국내 지반은 양호한 암반이 비교적 얇은 깊이에서 나타나며, 지진 강도가 최대 0.145g로 약해 국내 기술자는 암반의 깊이가 수백m에 이르러 암반을 지지층으로 할 수 없거나 지진강도가 강한지역에서 충분한 내구성을 가질 수 있는 기초 설계 및 시공에 대한 경험이 부족한 실정이다. 지반분야의 공사비의 비중은 지반 조건에 따라 전체공사비의 20~30%를 차지하고 있어 경제성확보를 위하여는 경제적 기초설계 및 시공이 필수적인 요소이다. 교량의 경간장이 늘어남에 따라 주탑기초에 작용하는 하중이 더욱 커지게 되고, 앵커리지에 작용되는 수평반력 또한 늘어나게 되어 지반분야 구조물에 대한 중요성은 계

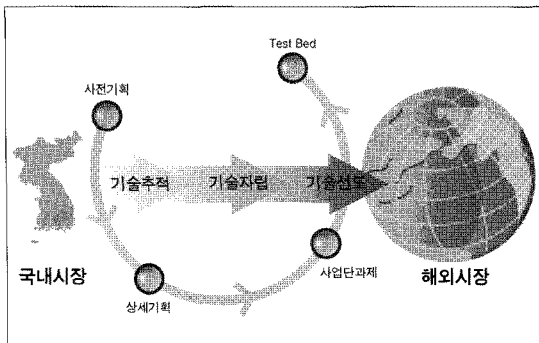


그림 1. 초장대교량 사업단의 전략적 추진 개념

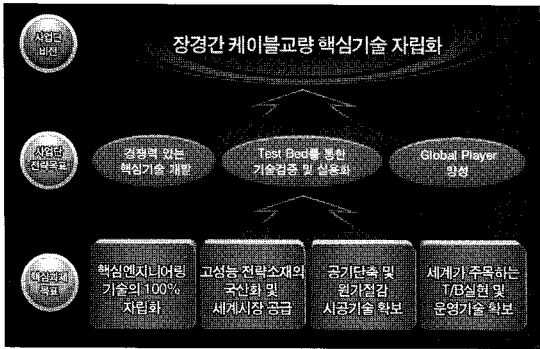


그림 2. 비전과 전략목표

속 증대될 것으로 판단된다. 국외의 다양한 지반에 적용할 수 있는 능력을 배양하고 다양한 형식의 기초를 최적 설계하고 시공할 수 있는 능력은 세계 시장에서 경쟁력을 갖추기 위한 필수분야로 부각되고 있다.

3. 연구추진 전략 및 일정

대규모 연구개발 사업의 성공을 위해서는 상세기획연구에서 제시된 TRM (Technology Road Map)의 효율적인 추진 전략이 필요하다. 초장대교량 사업단에서는 전체 연구기간을 3단계로 구분해서 단계별로 추진하는 CONVERGENCE 전략을 제시하였다. 그림 3에 있는 것과 같이 추진 단계를 각종 핵심 요소 기술을 개발하기 위해 집중(Concentration) 단계, 개발된 기술의 경제성과



그림 3. 단계별 연구추진 전략

수월성 등을 평가하기 위한 검증(Verification) 단계, 마지막으로 상용화 등을 위한 실현 혹은 일반화(Generalization) 단계로 구분하였다. 각 단계별로 핵심과제별, 세부과제별의 목표 성과물과 KPI (Key Performance Index) 등을 제시하였으며, 향후 선정될 주관 연구기관과의 협의를 통해 좀 더 상세화되고 구체화 될 것이다.

2008년 12월 한국도로공사가 총괄기관으로 선정되었으며, 설계분야를 다루는 1핵심과제와, 강재 및 콘크리트를 개발하는 2핵심과제가 2009년 5월에 서울대학교와, 포항산업과학연구원이 주관 핵심기관으로 선정되었으며, 11월에 시공분야 및 지반기술개발을 다루는 3핵심과제는 건설기술연구원이, 유지관리 기술을 개발하는 4핵심과제는 한국도로공사가 각 각 주관연구기관으로 선정되었다. 초장대교량 사업단은 2015년 말에 연구가 종료되며, 주기적으로 연구 성과를 모니터링하고 피드백하여 또한 시장의 수요와 개발기술의 시의성 및 목표성과물의 기술 수준을 평가하고 조정하기 위한 전체과제의 Rolling과 TRM 수정 등이 1단계와 2단계의 종료 시점에서 수행될 것이다. 연구기간 및 사업비는 표 1과 같다.

4. 과제 구성

초장대교량 사업단은 상세기획연구를 통해 제시된 “핵

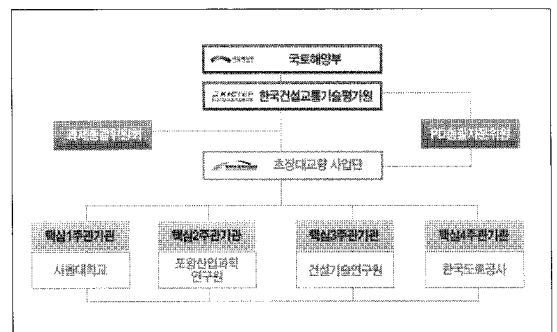


그림 4. 연구추진 조직도

표 1. 연구기간 및 연구비

합계 (정부출연금) 단위: 억원	1단계(2009. 5. ~ 2012. 3.)				2단계(~ 2014. 3.)		3단계(~ 2015. 12.)	
	1년차 (3개월)	2년차 (8개월)	3년차 (11개월)	4년차 (12개월)	5년차 (12개월)	6년차 (12개월)	7년차 (12개월)	8년차 (9개월)
1,091 (619)	48 (20)	88 (47)	229 (127)	255 (150)	198 (114)	148 (82)	83 (53)	42 (26)

심 엔지니어링 기술개발”, “고성능 전락소재 및 이용기술”, “고효율 시공기술 개발”, “Test Bed 사업지원 및 운영기술개발”의 4개 핵심과제를 축으로 연구개발과 Test Bed를 통한 검증을 수행할 예정이다. 이들 과제들은 선택과 집중의 원칙하에 선정되었으며, 과제별로 정량적인 목표가 설정되어 있다. 각각의 핵심과제에서 개발된 기술은 핵심과제 수행도중 Pilot Bridge나 개별기술형 Test Bed를 통해 적용성, 경제성 등을 평가할 예정이다.

1. 핵심과제는 “핵심 엔지니어링 기술개발”로서 장대교량의 설계에 관련된 내풍설계, 선박충돌 해석 및 설계 등의 기술 개발을 주로 다룬다. 또한 미래지향적인 교량 건설을 위해 첨단 정보통신기술과 교량기술을 융합하는 Smart Bridge와 신재생에너지의 교량 적용을 다룬 Energy Bridge도 연구된다. 교량상부 구조에 대한 설계기준은 신뢰도 기반 설계 기술을 개발할 것이나, 지반 분야에 대하여는 말뚝의 연직방향 설계에 대하여만 신뢰기반 설계기준을 수립 할 계획이다. 지반분야는 현재까지 하중-저항계수 설계법에 대한 기초 연구가 부족하며, 특히 현수교에서 주케이블을 지지하는 앵커리지에 대한 연구는 세계적으로도 연구결과가 매우 부족한 실정이다. 따라서, 지반분야의 설계지침에서는 온전한 LRFD설계기준을 수립하지는 못하나, 다양한 기초구조물이 설계될 수 있도록 기존의 도로교설계기준등에 있는 불합리한 기준을 개선하여 기술적으로 한 단계 업그레이드되는 설계기준을 작성할 계획이다.

2. 핵심과제인 “고성능 전락소재 및 이용기술”에서는 장대교량을 경제적이고 고성능의 장대교량을 건설하기 위해 필요한 고성능 재료 및 활용기술을 주로 연구 개발한다. 현재 세계적인 수준인 고성능 강재와 고강도 케이블 제작 기술이 기술선도 위치에 도달할 수 있을 것이다. 장대교량의 콘크리트 고주탑이나 앵커리지 시공에 적합한 고성능 콘크리트와 첨단 복합소재를 활용한 케이블 등도 개발될 것이다. 장대 교량의 시공과 관련된 기술은 3 핵심과제인 “고효율 시공기술 개발”에서 연구개발될 예정이다. 현수교의 케이블 가설 및 형상 관리 기술, 강재 및 콘크리트 고주탑 시공 기술 및 대심도 대형 기초 건설 기술 등이 주된 연구 개발 항목이다. 지반 분야 기술에는 해저 지반 조사장비의 개발과 정확한 침하량 및 지지력 예측기법의 개발 그리고 새로운 기초형식의 개발하는 내용이 주요한 연구 내용이다. 해저 지반 조사 장비의 경우 수심 50m 깊이까지의 깊이에서 심도 100m 까지 조사는 것을 목표로 연구를 수행하고 있다. 기존의 지상에서 사용하는 장비를 바지선 위에 설치하여 지반을 조사하는 장비는 수심 약20~30m 이상의 해상에서는 사용하기 곤란하며 해상 시추선을 이용하는 경우 장비 임대료가 수억원 이상이 소요되어 지반조사에 어려움이 많았다. 또한 기존에 개발된 해상 CPT조사장비로는 사질토 및 풍화암의 공학적 특성을 파악하기 곤란하여 해상기초 설계에 적합하도록 착저형 자동 지반조사장비를 개발할 계획이다. 군말

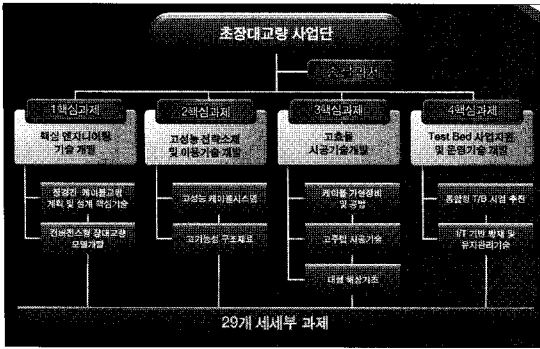


그림 5. 핵심과제 구성

목의 경우 관계식에 따라 침하량 예측값이 크게 다르게 되는데 이것은 말뚝의 선단이 암반위에 건설되지 않고 굳은 지반에 설치되는 경우에는 정확한 지지력 및 침하량 예측이 설계단계에서는 매우 중요한 역할을 한다. 국외에는 지진 강도가 큰 지역이 많으므로 이에 대한 경쟁력을 갖추기 위하여 내진능력이 향상된 다양한 형태의 기초 개발을 하게 될 것이다. 특히 2핵심에서 개발될 수중불분리 콘크리트 및 저발열 콘크리트는 기초의 재료적 성능개선에도 크게 기여할 것으로 예상된다.

3. 핵심과제에서는 총괄 Test Bed의 실현과 건설된 장대교량의 유지관리 관련 운영 기술 개발이 주요 연구된다. 초장대교량 사업단의 예산에 총괄 Test Bed를 건설하기 위한 별도의 연구개발 예산이 편성되지 않았으므로,
4. 핵심과제의 주관기관은 사업단과의 협력하에 국내나 해외에 건설 예정중인 장대 교량을 활용하여 통합

Test Bed가 실현될 수 있도록 지원할 것이다.

5. 결론

기존의 장대교량 선진국들은 자국내의 건설 프로젝트를 효과적으로 활용하여 기술을 확보하고, 해외 시장에 진출해왔다. 초장대교 사업단은 활성화된 장대교량 시장을 활용한 산학연관의 협력 연구개발에 매개체가 되어, 고부가가치의 장대교량 건설 기술의 자립화뿐만 아니라 세계 최고수준의 장대교량 관련 기술 확보와 국내 교량 건설업체들의 해외 시장 진출 확대에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

초장대교량 사업은 교량의 설계, 시공, 유지관리 관련 설계사, 시공사, 연구소 및 학계의 수많은 전문가의 체계적이고 유기적인 참여가 필요한 대규모 연구 사업이다. 최고의 장대교량 기술자와 기관으로 구성된 연구과제 수행기관을 선정하여 본격적인 연구개발에 착수 할 예정이다. 사업단은 각 과제연구진과 협력을 통해 연구결과가 실용적이고 국제경쟁력을 갖춘 기술이 될 수 있도록 최선의 노력을 기울일 것이며, 조직적인 지원과 관리가 체계적으로 뒷받침될 수 있도록 운영조직과 연구사업관리시스템을 갖출 것이다. 특히 교량기초 및 앵커리지 부분을 다루는 지반분야연구를 통하여 다양한 지반조건에서도 효율적이고 경제적이며, 시공성이 뛰어난 기술의 개발을 기대해본다.