해상바지선상에 설치된 벤트를 이용한 강교거치(JACK UP BENT) 공법

| 유 현 길 |
현대산업개발(주)
부산-김해 경전철
제1공구 소장

| 정 순 원 |
현대산업개발(주)
부산-김해 경전철
제1공구 공사부장

| 박 현 종 |
태림철구(주)
사장

1. 개 요

경량전철은 환경문제의 대응수단으로서 환경친화적이며 도로 혼잡비용의 해소와 낮은 건설비용 등 높은 경제성으로 인해 여러 지방자치단체에서 채용하면서 수요가 크게 늘었다. 2008년 말 현재 국내에서 경량전철이 도입돼 운영 중인 곳은 없으나 부산-김해와 용인선이 건설 중이며 의정부, 광명, 우이-신설, 대구, 울산, 천안 등지에서 도입을 추진하고 있다.

우리 부산-김해간 경량전철 민간투자사업은 부산광역시 서측과 김해시를 연결함으로서 지역간 균형발전을 도모하고 주거를 외곽으로 유도하여 도심혼잡을 해소하고, 김해공항을 이용함에 있어 교통편의를 도모하고자 계획되었다.

노선총연장은 약23km로서 전체 구간은 합성형 강교(STEEL 2-BOX GIRDER) 교량으로 설계되었으며 공장제작 후 현장 인근에서 조립하여 크레인에 의한 직접 거치공법으로 설치하도록 채택되었다.

그러나 낙동강을 횡단하는 구간 중 유수부를 통과하는 80m길이의 4연속경간(4@80m) 상부공의 강교설치 시에는 여러 가지 제약 조건으로 말미암아 해상크레인을 이용한 강교거치에 어려움이 있어 대안을 검토하던 중 JACK UP BENT공법을 개발하여 성공하는 쾌거를 이루게 되었으며 시공사례 소개를 통하여 앞으로 이 공법을 활용할 분들과 함께 기쁨을 나누고자 한다.

2. 교량현황 및 거치계획

부산-김해간 경량전철 민간투자사업의 전체 노선은 합성형 강교 신설교량으로, 본 공법을 이용한 낙동강 수상부에 대하여 다음의 순서에 따라 살펴보도록 한다.

1) 교량현황

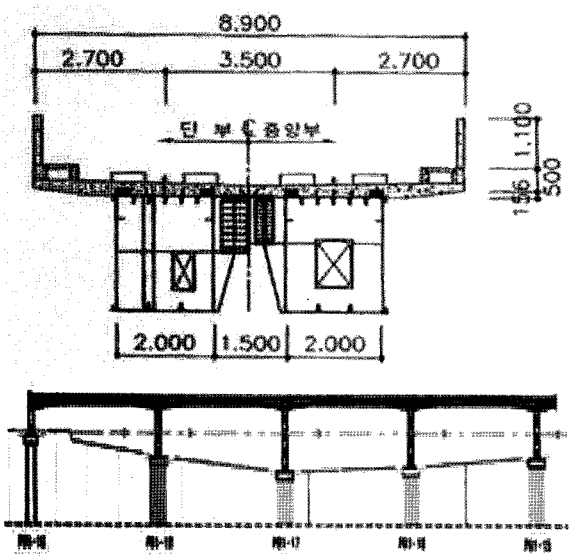
- 교량명 : 낙동강 철교(가칭)
- 위 치 : 낙동강 본류 측점 No 15+200 지점, 낙동강 하구언과 인접하며 상류측에 구포 - 양산간 고속도로의 낙동대교와 하류측에 서부산 낙동강교 사이에 위치
- 구 조 : 콘크리트도상, 합성형 강교(STEEL 2-BOX GIRDER) 상부공, T자 원형교각 · 강관말뚝기초
- 제 원 : 연장 320m(4@80m=320m), 교각번호 P91-15~P91-19번 사이
- 교 폭 : 교폭 8.9m, 표준궤간 1,435mm의 복선궤도, R=800m

2) 거치계획

① 낙동강은 연중 15일 정도만 전 하폭에 물이 흐르고 나머지 기간 중에는 현 저수로(약 320m)에만 물이 흐르고 있으며 수심은 평상시 10m 내외를 유지하고 있다.

② 공장제작 부재(주형Segment)의 규격은 운반도로와 현장 이음부 위치 등의 조건을 고려하여 길이15m이

표 1. 교량상부 형식(합성형 STEEL 2-BOX GIRDER)

표준단면도	주요단면제원
	• 거 더 : 2열 강합성 박스거더 (Steel 2-Box Girder) • 지 간 : 4@80m 연속교 • 교 폭 : 8.9m • 박스거더높이 : H=4.5m • 박스단면형상 : 사각형 • 강 종 : 주부재 - SM 490 부부재 - SM 400

내, 폭3.7m이내, 중량20톤 이내로 제한하였다.

③ 현장 제작장은 현장여건상 수심부 좌측에 설치하였으며, 85m*17m 규모이다.

④ 본 수상부 교량은 육상에서 중량20톤 내외의 Segment를 조립한 후, 바지선 및 크레인(Barge+Crane)을 이용하여 경간단위로 일괄 가설하는 공법을 채택하였다.

3. 강교 거치공법 개선 및 비교 · 검토

강교의 가설공법은 교량형식, 현장지형, 접근로, 가설시기 등의 조건을 고려해야하며, 안정성을 확보하는 조건하에서 공기, 현지조건, 교량구조, 경제성 등을 검토하여 결정한다.

1) 당초 가설공법검토

본 수상부 교량은 당초 가설공법으로 바지선 및 크레인(Barge+Crane)을 이용한 일괄가설 공법을 채택하였으나, 가설시기, 경제성 등에서 문제점이 제기되어 원점에서 재검토하게 되었다.

문제점 1. 80m경간 강교(1-STEEL BOX GIRDER)의 조립 후 최대중량은 280톤으로 500톤 이상의 해상 크레인이 2대 이상 필요하나 수문관리 시기상 적기에 낙동강 하구언 통과가 어렵고, 통과 하더라도 붐을 모두 해체하여 육상운반 후 강상에서 재조립해야 함.

문제점 2. 인양 후 Segment 상부에서의 연결작업 및 C/B 설치작업 등 고소작업에 대한 안전관리가 취약함.

문제점 3. Barge 및 Crane 일괄 가설시 전도 위험이 내재함.

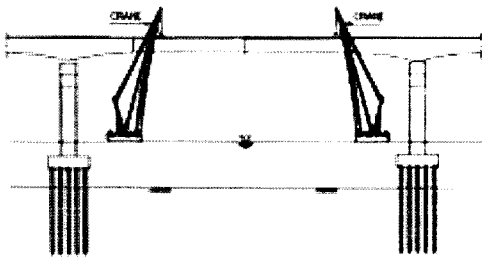
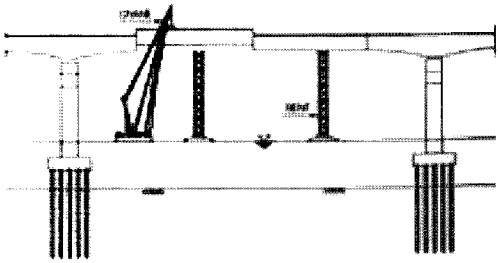
문제점 4. 크레인 및 바지를 예인하여야 할 예인선이 3대 이상 필요.

문제점 5. 좁은 지역에 과다 장비로 인한 환경오염의 우려 및 내수면어업조합의 보상요구 제기 염려.

문제점 6. 품질관리, 공기, 시공성 등 고려시 비효율적임.

상기와 같이 적기 공사시기가 지연되고 공사비가 과다

표 2. 실시설계 시 수상부 가설공법 비교(안)

구 분	비교 1안	비교 2안
	Barge + Crane 가설공법 (일괄가설공법)	Barge + 가설Bent+Crane공법 (부분가설공법)
공법개요	접안시설 설치 후 Barge선 및 Crane을 이용하여 경간단위로 일괄 가설	Barge선 위에 Bent를 조립 · 설치 한 후 Barge를 교량에 정위치, Segment 단위로 가설 Bent 위에서 연결 조립
개 요 도		
특 징	• 경간단위로 가설하므로 시공속도가 빠르다. • 대형장비 필요(200톤 이상) • 접안시설 필요 • 작업공정 단순	• Segment중량이 대체로 50톤 미만이므로 대형장비 불필요 • 시공속도가 느리며 고소작업이 많음 • 일반적인 공법
검토의견	• 본 교량의 경우, 수심이 깊고 유수량이 많으므로 Barge상 가설Bent 불안정 • 부분가설시 고소작업이 많으며 작업조건이 불리하므로 시공성 결여 • 따라서 접안시설 및 대형장비는 요구되나, 작업공정이 단순하며 시공속도가 빠른 비교1안이 적합함 (부산지하철 3호선 낙동강 철교 적용)	
적 용	○	

한 문제점들로 인해, 최초 실시 설계시 제시된 "비교2안"을 재검토 하게 되었다.

2) 가설공법 개선안

상기 비교 2안은 실시설계시 채택되지 않았으나, 단점으로 지적된 부분들을 개량하면 오히려 당초안보다 개선되는 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단하여 적극 검토한 결과, 상기 문제점들이 해결되는 것으로 나타나 구체적인 시공방법을 개선하고 구조검토에 착수하여 최초로 해상 바지선 상에 설치된 "벤트를 이용한 강교거치(JACK UP BENT) 공법"을 개발하고 시공에 성공하였다.

4. 해상 바지선 상에 설치된 "벤트를 이용한 강교거치(JACK UP BENT) 공법"의 개발 및 시공

본 공사는 낙동강 수상부를 횡단하는 강교거치 공법에 있어서, 당초 바지선 및 크레인(Barge+Crane)을 이용한 일괄가설 공법으로 설계되었으나, 작업 효율성과 경제성

표 3. 당초안과 개선안의 비교

구 분	당초안 : 일괄가설공법(Barge +해상Crane)	개선안 : 일괄가설공법(Barge+가설Bent+Jack)
공법개요	접안시설 설치 후 육상작업장에서 주형 Segment를 경간단위로 일괄 연결, 조립한 후 Barge로 운반하여 해상Crane을 이용하여 교량에 정위치, 거치시킴.	접안시설 설치 후 Barge선 위에 Bent를 설치하고 Bent위에 주형 Segment를 경간단위로 일괄 연결, 조립한 후 Barge를 교량에 정위치, 고정시킨 후, JACK을 이용하여 인상 거치
소요장비	• 육상크레인(500톤급) 2대 • 육상크레인(50톤급) 1대 • 해상바지(1000톤급) 3대 • 예인선(2000마력) 3대	• 육상크레인(250톤급) 1대 • 해상바지(2000톤급) 1대 • 예인선(2000마력) 1대 • JACK(200톤) 4대
구 분	당초안 : 일괄가설공법(Barge +해상Crane)	개선안 : 일괄가설공법(Barge+가설Bent+Jack)
장 점	• 경간단위로 가설하므로 시공속도가 빠름 • 작업공정 단순함 • 시공성이 우수함	• 해상 크레인이 불필요하며 소요 장비가 적음 • 경간단위로 가설하므로 시공속도 빠름 • 작업공정 단순함 • 육상작업장과 작업조건 동일하여 시공성 좋음 • 경제적인 공법 • 안전성 우수
단 점	*대형장비가 다량 필요 *장비조립, 해체시간 필요	• 바지선 상에 Bent 조립 및 해체 시간 필요
공 사 비	≒ 13억	≒ 7억

을 고려하여 해상바지선상에 설치된 "벤트를 이용한 강교거치(JACK UP BENT) 공법"으로 변경, 시공하였다. 간략한 공사개요와 본공사의 핵심사항인 2열 강교 거치공법의 세부적인 설계내용과 시공방법을 종합적으로 아울러서 기술적인 사항과 함께 설명하기로 한다.

1)공사개요

* 공 사 명 : 부산-김해간 경량전철 민간투자사업 중 낙동강 수상부 횡단공사
* 공사기간 : 2006.4~2011.4(60개월)로서 수상부 횡단공사는 준비기간 1개월 포함, 2008.10월~11월(2개월)
* 발 주 자 : 부산-김해 경전철 주식회사
* 감 리 자 : 유신코포레이션 외 7개사
* 원 청 사 : 현대산업개발주식회사
* 협 력 사 : 태림철구(주)

2) 당초안과 개선안 비교(표 3)

3) "벤트를 이용한 강교거치(JACK UP BENT) 공법"의 구조적 검토사항(첨부1 참조)

① Jack Up용 Bent의 설계 및 제작시 부재에 대한 안정성 검토
② 태풍시 Bent가 설치된 Barge 상부(지조립부)의 안정성 검토
③ Barge 상부갑판(Deck)의 안정성 검토
④ Jack Up시 국부강도 검토

4) "벤트를 이용한 강교거치(JACK UP BENT) 공법"의 개요 및 시공

• 강교의 규격

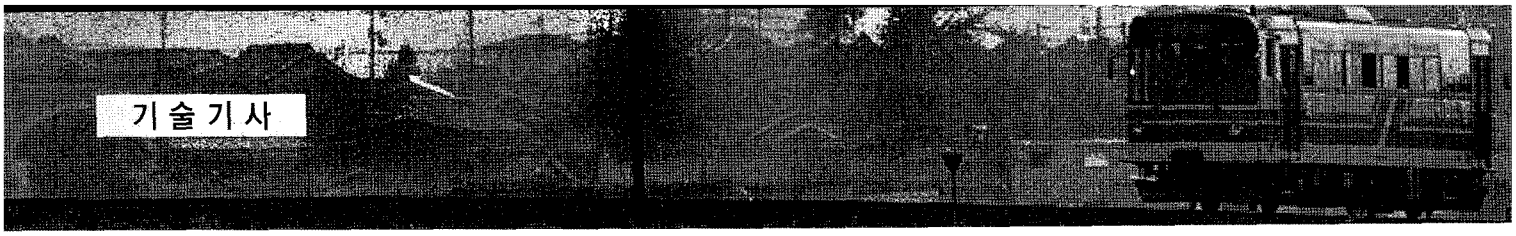
낙동강 횡단 수상부의 2련 강교는 1경간 당 길이 80m로서 4연속경간으로 약320m이다. 가장 무거운 구간은 교각 P91-15~16경간으로 1련 당 280톤, 2련 합계560톤에 이르며 규격은 길이85.4×폭2.7×높이4.5m이다.

• 해상Barge의 제원

해상Barge는 2000톤(D.W.T 2000Ton)이며 규격은 길이 55.0m, 폭16.0m, 깊이 3.6m 이다.

• 공사기간

2008.10에 착공, 각 경간당 소요일수는 Barge선상의



Bent위에 조립하는데 6일, 운반 후 교량 정위치 설치에 1일, 도합 7일이 소요되었다. 수상부 4경간에 각1주일씩 4주가 걸렸으며, 기타, Bent의 설치 및 Barge선의 보강에 2주일, 장비의 해체 및 철수에 2주일이 소요되어 총 2개월의 장비 임대료가 지불 되었다.

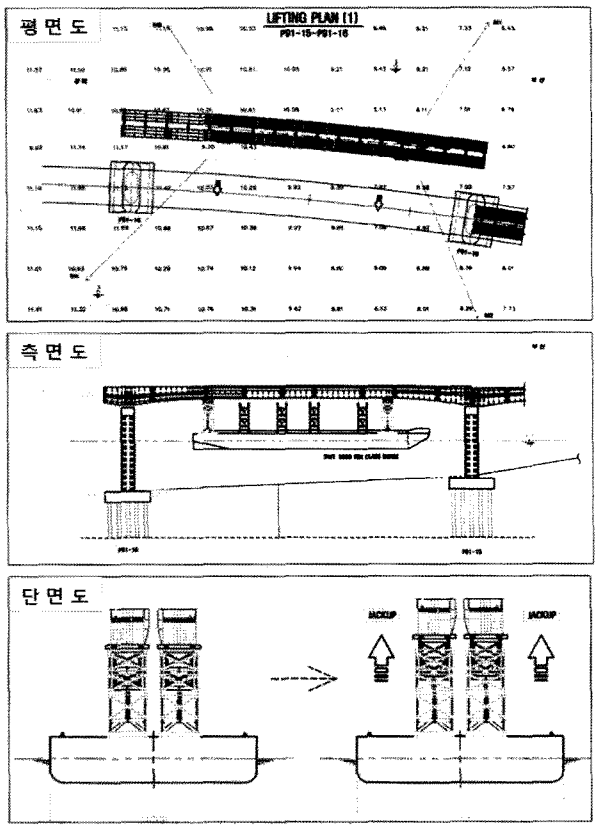
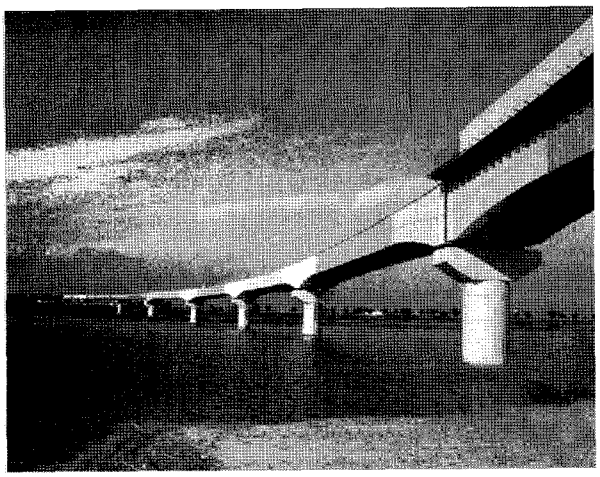


그림 1. Lifting Plan



• 시공순서

① 육상작업장에 가장 인접한 곳에 접안시설을 설치하고 Barge를 고정시킨다.

② Barge선상의 갑판(Deck) 가운데에 가설벤트 4기, 바깥쪽 좌우측에 Jack Up Bent 2기×2열 =도합 12기를 GPS를 이용한 측량값과 교량 곡선 반경을 반영하여 조립, 설치한다. 각각의 Jack Up Bent에는 1,600mm의 Stroke를 가진 200톤Jack 1기가 적절한 위치에 설치된다. 경간 P91-15~16의 경우, Barge선 자중과 560톤의 중량이 실릴 경우, 홀수선 상부높이는 2,084mm되며, 강교 Box 중앙부 높이 3,000mm를 고려할 때, Bent 높이는 7,700mm가 되도록 하였다. 이때 조립된 전체 높이는 설계E.L 보다 약500mm가 낮다.

③ 육상 크레인을 이용하여 주형Segment를 Barge선 상의 Bent위에 조립, 설치한다. 이때 무게가 편심 되지 않도록

표 4. 시공 관리표

구 분		Box중량 (톤)	흘 수 (mm)	선상면 (mm)	Bent높이 (mm)	Box높이 (mm)	Box상단 E.L	교량설계 E.L	Jack Up 높이	비 고
P15~16	설치전	560	1,516	2,084	7,700	3,000	12,784	13,374	590.29	
	설치후		1,060	2,540			13,240			
P16~17	설치전	423	1,588	2,012	7,850	3,000	12,862	13,289	426.68	
	설치후		1,283	2,317				13,167		
P17~18	설치전	428	1,704	1,896	7,850	3,000	12,746	13,219	473.37	
	설치후		1,339	2,261			13,111			
P18~19	설치전	457	1,849	1,751	7,850	3,000	12,601	13,056	454.62	
	설치후		1,506	2,094			12,944			

중앙부 Segment부터 조립해 나간다.

④ 1경간 조립이 완료된 Barge선을 예인선을 이용하여 설치위치 인근 약10m 지점까지 교량 교축방향으로 평행이동 시킨다. 이때 기존 구조물에 충돌하지 않도록 유의해야 한다.

⑤ 기존에 닻(Anchor)을 이용하여 설치한 6개소의 예인점(Mooring Point)에 밧줄을 걸고, Barge선상에 예인점(Mooring Point)과 동일한 방향으로 설치된 6개소의 윈 치를 이용하여 설치정위치의 측면에 도달한다.

⑥ 도달 후, 설계 E.L을 고려하여 100mm 정도 약간 더 높게 Jack Up을 실시한다.

⑦ 설치 정위치에 도달하면 Jack Down한다. 이때 교각 코핑부 한쪽에 임시 스토퍼 (Stopper)를 설치해 두면 정위치에 설치하기가 훨씬 용이해 진다.

⑧ Jack Down해도 하중경감으로 인해 Barge선이 500mm이상 부상하므로 Barge선 내부 격벽사이로 고르게 물을 채워서 Barge선을 이탈 시킨다.

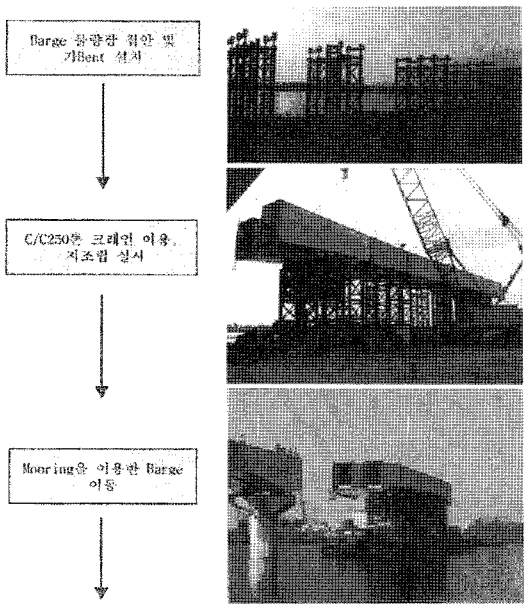


그림 2. 공사 시행 과정

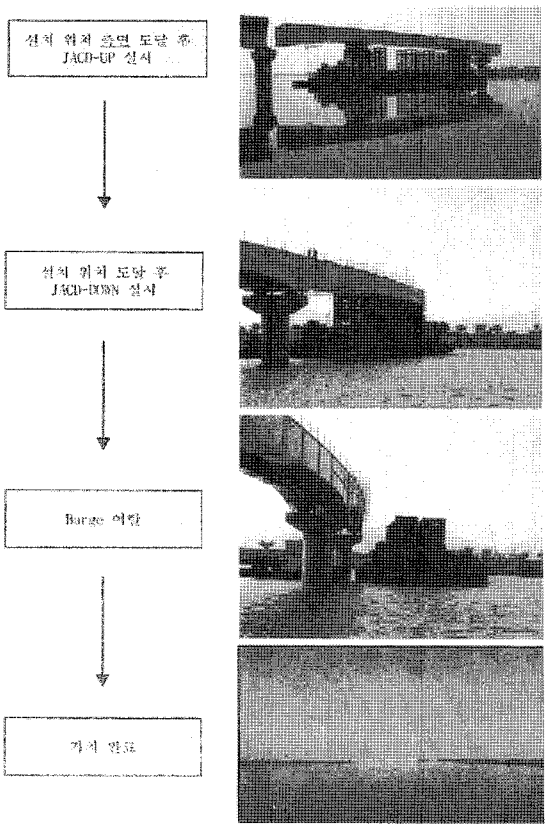


그림 3. 공사 완료 후 전경

5. 공사 시행 결과

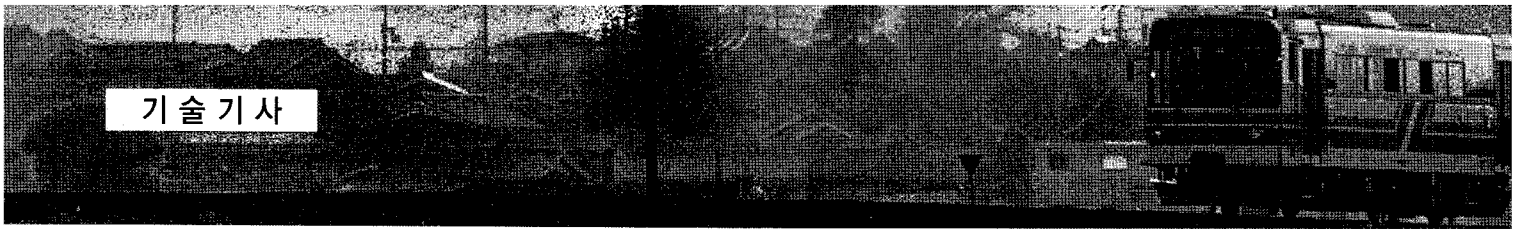
상기의 개선된 공법을 통해 낙동강 하구에는 새로운 교량이 탄생하였으며, 아름다운 경량전철과 더불어 지역의 관광 명물이 될 것이다. 앞으로 부산과 김해간의 지상 교통 혼잡을 해소하고 노선 주변 및 이용객의 삶의 질적 수준 향상 및 지역 고용 창출에 기여 할 것으로 믿어 의심치 않는다.

1) 공사 시행 과정(그림 2)

2) 공사 완료 후 전경(그림 3)

6. 맺음말

급격한 산업발전과 도시화의 진행, 지속적인 고유가와 환경문제, 산업화의 진행에 따른 토지활용의 제약 등으로 대중교통 수단인 철도 교통의 중요성이 부각되고 있으며, 또한 기존 지하철의 과도한 건설비와 운영적자의 증가에



따라 경량전철의 보급이 활성화 되고 있다. 경량전철은 도시철도시스템이라는 큰 틀 속에서 사용자 입장의 서비스질 향상과 운영자 측면에서의 수익증대, 국가적인 측면에서는 환경 개선 및 경제성장 기여 등의 효과로 이어진다. 앞으로 도시개발계획과 연계된 교통시스템으로서 도시철도계획은 더욱 강화 될 전망이고 보면 본 부산-김해간 경량전철 민간투자사업의 선도적 역할은 더욱 분명해지고 도시철도시스템의 한축을 이루는 이정표가 될 것이다.

그리고 본 공사를 시행중에 개발된 "벤트를 이용한 강교거치(JACK UP BENT) 공법"은 Barge선이 들어갈 수 있는 하천은 어느 곳에서나 시공이 가능한 만큼, 정부가 추진 중인 4대강 유역정비계획과 더불어, 도로교, 철도교의 강상교량에 모두 적용 가능하다고 말하고 싶다. 끝으로 본 공사를 계획하고 시행하면서 모든 협력과 관심을 아끼지 않으신 모든 관계자들께 감사드린다.