

판형교 장대화에 따른 성능 개선

Performance Improvement on Plate Girder Bridges Through Continuous Welded Rail

민경주*
Min, Kyung-Joo

반걸용**
Bahn, Gul-Yong

류연중***
Ryu, Yeon-Jong

ABSTRACT

The challenging aspect of CWR (continuous welded rail) is the additional axial forces in rails, mainly due to the thermal expansion of steel plate girder and rail itself. It has been found that these axial forces are proportional to girder length, total bridge length and bolt tightening forces. Also these forces are dependent to girder support conditions, types of bearings and their arrangements. With CWR, the authors' previous studies show that performance improvements like noise reduce, fatigue resistances and bearing durability increment can be expected. In addition to these effects, secondary effects due to the semi integral behavior between rail and bridge girder also can be expected.

Special bearings which can reduce the absolute maximum axial forces have been developed, and applied to real 100m span bridge. The performance improvements were verified through site measurements and numerical analysis.

The purpose of this study is to confirm the expected performance improvement aspects of steel plate girder bridges with CWR. To verify these aspects, girder stiffness changes, rail axial force changes, girder displacements and noise level were thoroughly measured and compared.

1. 서론

무도상 교량인 판형교의 레일장대화는 온도에 의한 레일 축력의 증가와 판형교량 거더의 온도 신축에 의하여 추가 축력이 레일에 전달되게 된다. 이들은 거더의 길이와 교량의 총연장이 길수록, 체결력이 클수록 증가되게 되며 거더의 연속 또는 교좌장치의 종류와 배치에 따라 다르게 나타난다.

판형교의 상부 무도상 궤도의 레일을 장대화시키면 궤도의 성능이 개선되어 장대화에 따른 장점은 물론 교량의 거더와도 준 일체화됨으로 인하여 성능이 개선되게 된다. 특히, 판형교의 이음매에서 발생하는 소음의 감소와 충격으로 인한 교량의 피로누적 및 교량받침의 파손 방지에도 크게 기여할 수 있을 것이다.

국철에서 25m 이상의 무도상 교량의 장대화를 지양하는 것은 이러한 축력의 증가 외에도 판형교 거더의 공용기간 증가로 인한 재료의 피로, 횡진동으로 인한 2차 부재들의 손상 등으로 교량

* 한국철도시설산업(주), 선로시설연구소장, 정회원

E-mail : kjmin@hanafos.com TEL : (042)257-9489 FAX : (042)257-9488

** 한국철도공사, 시설기술단장

*** 한국철도시설산업(주), 선로시설연구소

의 안전성문제 및 무도상 궤도를 구성하는 목침목의 고정문제와 궤도틀림 등이 추가적 축력을 발생시키며 이로 인한 교량상의 궤도좌굴 등의 문제가 미해결되었기 때문일 것이다. 이러한 문제는 박벽개단면인 판형교 특히 곡선 판형교량에서는 궤도의 좌굴 안전성 확보는 물론 경우에 따라서는 교량의 안전성에도 문제를 일으킬 수 있다.

철도 판형교량 레일장대화는 우리나라에서도 많은 연구와 실험을 통하여 시험부설한 바 있으며, 교량상 추가축력을 분산시켜 절대최대 축력을 저감시킬 수 있는 축력저감 교량받침이 개발되어 총연장 100m 이상 교량에 우선부설하고 현장 계측을 통하여 종합적으로 분석하였다.

본 연구의 목적은 장대 레일을 부설한 판형교에서 거더의 레일장대화 전후 거더의 강성변화, 온도에 따른 레일축력과 거더변위 측정 및 소음 등을 계측하여 비교함으로써 교량의 성능 개선 효과를 규명하여 무도상 교량의 레일 장대화에 기여하는데 있다.

2. 실험 방법 및 대상교량

2.1 시험부설 대상 교량

판형교의 장대화에 따른 교량의 성능개선효과를 검증하기 위하여 실험 대상 교량은 문경선 원동천교량(39.22m), 가은선 영강2교량(117.8m), 경부선 중소천교(38.8m), 청도강(상/98.36m), 청도강(하/138.9m)으로 교량 주요 구성은 표1과 같다.

표 1 교량 주요제원

교량 구분	원동천교		영강2교		중소천	청도강교	
	장대화전	장대화후	장대화전	장대화후	상선	상선	하선
경간	12.1m	☞	18.3	☞	12.3	13, 18.3	18.3
경간수	3	☞	6	☞	3	8	5
총연장	39.22	☞	117.80	☞	38.8	98.36	138.9
선형	R=300	☞	직선교	☞	직선교	직선교	☞
레일	AR	50kgN	AR	50kgN	60kg	60kg	60kg
레일형식	정척	장대	정척	장대	☞	☞	☞

앞의 2개 교량은 2000년 한국철도기술연구원에서 연구한바 있으며, 중소천은 대전지사에서 2004년도에 장대레일 시공을 하였으며, 뒤의 청도강교량은 청도강교량 레일장대화 설계에 따른 계측 및 레일 장대화후 계측결과들이다. 계측 항목은 목적에 따라 레일 축력, 거더온도변위, 장대화 전후 거더 동적변위, 소음 등 다양하게 측정하였다.

원동천교와 영강2교의 상태는 비교적 양호한 편이며 목침목과 거더는 흑볼트와 T-형볼트로 체결되었으며, 레일과 침목 체결은 장대화 전에는 스파이크로 체결되어 있었으며, 장대화 후에는 침목과 거더의 고정은 일부 개량형 탄성체결구조로 교체하였으며 레일은 탄성체결구조로 교체하여 체결하였다. 청도강(하)교량은 2002년 장대레일 시공 전후 계측을 수행하였으며, 교량받침을 반고정형 받침으로 교체한후 계측을 수행하였다.

2.2 실험 방법

실험 중 원동천교와 영강2교는 2000년도 한국철도기술연구원에서 연구한 자료로서 교량상 장대레일 부설 전후 실험차량에 의한 재하실험, 거더온도변위, 레일축력 및 소음을 측정하여 비교하였고, 중소천교는 2004년도 한국철도공사 대전시설관리사무소(대전지사)에서 축력저감 교량받침을 설치하고 교량 상부레일을 장대화시키고 축력 등을 1년간 측정하였다. 청도강교는 2002년 장대레일 설계전에 실측을 통하여 교량안전성을 검토하고 이후 2003년 교량상에 장대 레일을 부설한 후 장대레일 계측을 한국철도기술공사에서 수행하였으며, 이후 2005년 한국철도공사 대구시설관리사무소(대구지사)에서 축력저감 교량받침을 설치한 후 거더 변위, 축력, 소음 등을 2006년 8월부터 현재까지 측정하고 있다. 따라서 현재까지 장대레일을 설치한 판형교량에서 장대레일 관련 계측을 중심으로 레일축력, 레일장대화 전후 교량의 거동 특성 및 레일장대화에 따른 소음 저감효과

등에 대하여 종합적으로 고찰하고자 한다.

원동천 교량은 R=300 급곡선 교량으로 장대레일의 좌굴은 물론 장대화 부설시 장대레일 온도하중에 의하여 교량 상부에서 발생하는 횡하중의 증가에 의하여 거더 교량받침에서 발생하는 부반력에 대한 안정성을 검증하기 위한 시험부설이었다.

영강2교량은 약 120m 직선교량으로 궤도구조를 개량하여 교량전방 80m에 신축이음을 설치하고, 교량후방에는 곡선부가 완화곡선구간이므로 교대배면 20m 위치에 신축이음을 설치하였다.

중소천교량의 전방은 완화곡선구간이고 후방은 교량 직선으로 교량 전후 정척레일을 장대화 시키기 위하여 축력저감 받침으로 교체시키고 교량과 교량전후 레일을 모두 장대화시켰다. 따라서 신축이음은 연속된 장대레일 구간에 위치하고 있고 교량은 레일부동구간에 위치하게 되어 있어서 레일신축의 영향을 받지 않는 교량이다. 이곳에서는 장대레일 부설후 레일 축력 및 거더의 변위 등에 대하여 계측하였으며, 장대레일 전후 소음을 비교하였다.

청도강교량은 2001년도 장대레일 부설에 대비하여 교량안전성 검토를 위한 안전진단을 수행한 바 있으며, 2002년도 청도강 하선에 장대레일 우선부설을 전후하여 교량상 장대레일 부설 설계에서 장대레일 부설에 따

표 2 교량 구성요소

구분	교량	원동천교	영강2교	중소천상선	청도강교	
					(상)	(하)
경간		12.1@3	18.3@6	12.3@3	13.1@2 18.3@6	18.3@5
총연장		39.22	117.80	38.8	98.36	138.9
선형		R=300	직선교	직선교	☞	☞
침목고정		흑볼트	개량형	☞	☞	☞
체결구		e클립	e 클립	☞	☞	☞
레일신축 위치	전	이음매(80m)	80m	연속장대	90m	90m
	후	이음매(80m)	20m	연속장대	90m	80m
탈선방지레일		있음	☞	☞	☞	☞
계재레일		없음	☞	있음	☞	☞
좌굴방지장치		없음	☞	있음	☞	☞
교량받침		면받침	면받침	축력저감받침	☞	☞

른 궤도 및 거더의 안정성에 관련된 일련의 계측 및 측정을 수행하였다. 또한 2005년 청도강교량에 축력저감 받침을 설치하고 100m을 초과하는 청도강교량 상선에도 레일장대화를 실시하였다. 이후 청도강교량 하선에서 레일 축력 및 거더신축 측정하였으며, 레일 장대화 전후 교량의 성능 검토와 소음 등을 측정하였다.

2.3 구조해석 및 장대레일 축력해석

레일체결구는 모두 교량용 타이플레이트에 e크립이며 침목고정장치는 원동천교량이 흑볼트인 것을 제외하고 나머지 교량들은 탄성고정T볼트로 비교적 탄성력을 유지하면서 침목과 거더를 결합시키고 있다. 교량받침은 원동천교와 영강2교는 면받침으로 FMFM(고정-가동)방식이고 중소천교량과 청도강교량은 축력저감 교량받침이다. 이들에 대한 자료는 표 2에 나타나 있다. 해석을 위한 체결력, 도상저항력, 계재레일의 적용 등에 대한 연구결과 들은 문헌[1,3,4]에 상세히 수록되어 있으므로 여기서는 이들 결과들만 요약하기로 한다.

2.3.1 원동천교량

원동천 교량은 R=300 급곡선 교량으로 장대레일의 좌굴은 물론 장대화 부설시 장대레일 온도하중에 의하여 교량 상부에서 발생하는 횡하중의 증가에 의하여 거더 교량받침에서 발생하는 부반력에 대한 안정성을 검증하기 위한 시험부설이었다.

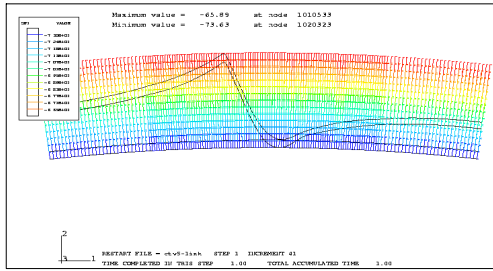


그림 1 레일 축력

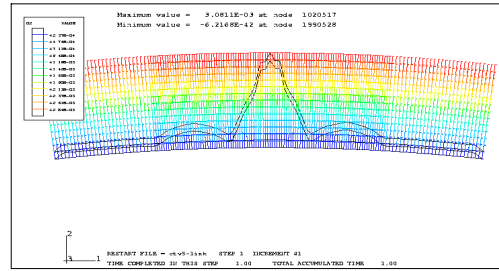


그림 2 레일 횡방향 변위

급곡선 교량인 원동천 교량에 대하여 3차원 모델에 의한 비선형 해석 결과 판형의 응력 및 브레이싱의 응력은 안전성을 충분히 확보하였으며 레일 최대 압축력은 -74ton으로 좌굴에 대한 위험성은 없는 것으로 판단되었다. 그러나 레일의 횡 변위가 크게 발생되고 있는 것으로 나타나 이에 대한 면밀한 안전성 검토가 필요한 것으로 판단된다.

표 3 원동천교 해석결과

구분		정적하중	정적+온도하중	비고
레일최대축력(ton)		4.40/-3.34	-65.87/-73.56	-LS18 하중재하 -레일양단 고정 으로 최대 축 력 발생 조건
레일최대 변위 (mm)	U ₁ (중)	0.454	0.458	
	U ₂ (횡)	2.432	3.146	
	U ₃ (연직)	-7.216	-7.337	
거더최대 응력 kg/cm ²	Flange	-544.4 652.3	-552.0 687.8	-초기온도 0℃로 부터 45℃까지 증가
	Web	-484.4 405.1	-489.1 416.4	
	Bracing	-3.992 2.359	-5.345 2.897	

2.3.2 영강2교량

영강2교량은 교량전후 자갈 도상의 상태가 양호하지 못하며 시험부설당시(2000년)에는 1일 1대 정도의 화물차량이 40km로 운행되던 교량으로 현재는 폐선되어 있다. 이곳은 레일, 낙교방지레일, 침목고정장치 등이 양호하지 못한 상태이다. 축력해석결과는 다음과 같다.

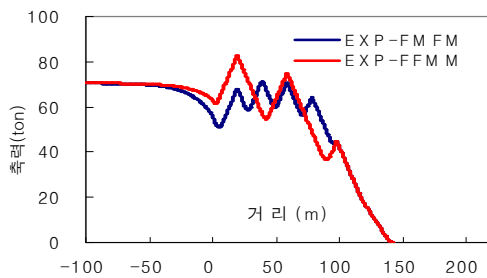


그림 3 레일축력

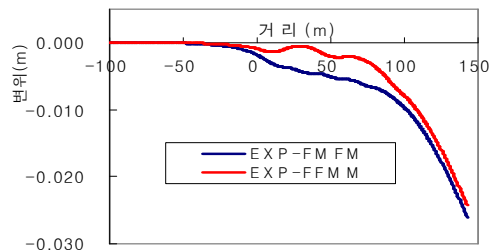


그림 4 레일변위

교량 후방(A2배면)에는 완화곡선이므로 이곳에 바로 레일신축장치를 설치하였다. 따라서 레일 축력에 의한 레일 절손이나 궤도의 좌굴 안정성 문제는 없는 것으로 판단된다. 레일신축 위치에서 거더의 변위로 인한 레일 신축량의 증가에 따른 신축부의 유지관리 문제와 A2 배면 교량-토노반 접속부의 강성천이구간에 대한 열차의 진동 등이 문제될 수 있을 것이나 이곳은 열차가 거의 운행되지 않고 있으며, 운행속도도 40km/h로 유지관리의 문제도 크지 않을 것이다.

2.3.3 중소천교량

중소천교량의 교량 전후에 모두 장대레일로 연결되어 있다. 즉 이곳은 교량시점이 곡선부 완화 곡선 접속부로 레일신축 설치가 어려움으로 일반적으로 구조물 인근에 레일신축을 두는 것과 다르게 전후 레일 모두를 장대화시킨 교량이다.

레일 축력은 최대 100ton 미만으로 철도교 시방서 기준을 만족시키며 레일-거더 상대변위도 3mm 이내로 레일파단과 장대레일 좌굴 안전성은 충분히 안전한 것으로 판단된다.

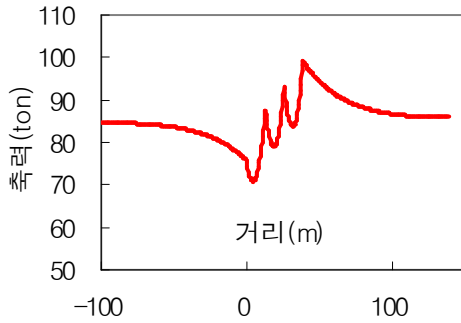


그림 5 중소천교 레일온도축력

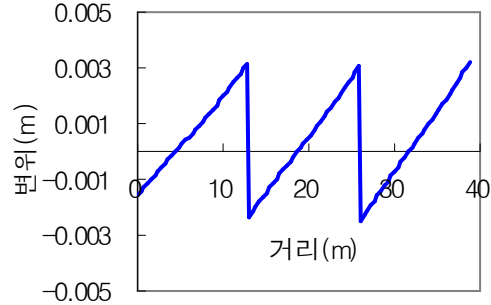


그림 6 중소천교 레일-거더 온도 상대변위

표 4 중소천교 교량형식에 따른 해석결과 정리

구 분	압축력 (ton)	인장력 (ton)	상대변위 (mm)		파단시 (mm)	지점반력 (ton)
	최대값	최대값	최대값	최소값	개구량	
온도상승	-67.79		1.64	-2.42		13.2
온도하강		99.02	3.24	-2.51	42.5	17.8

2.3.4 청도강교량

청도강교량은 장대레일 부설 당시 받침의 형식이 FMFM이었으며, 장대레일 부설 전후에 계측을 실시하였으며, 반고정형 축력저감 받침으로 교체시켰다. 이에 대한 해석결과는 다음과 같다.

그림 7은 청도강(하)교량의 교량받침을 고정-가동(FMFM), 고정고정-가동가동(FFMM) 및 축력저감 받침을 적용시켜 레일에 발생하는 온도축력을 나타낸 것이다. 교량 받침의 설치 방법 등에 따라 차이가 있으며 일반적으로 FFMM방식이 FMFM 방식보다 축력의 집중현상이 나타나지 않으므로 절대최대 레

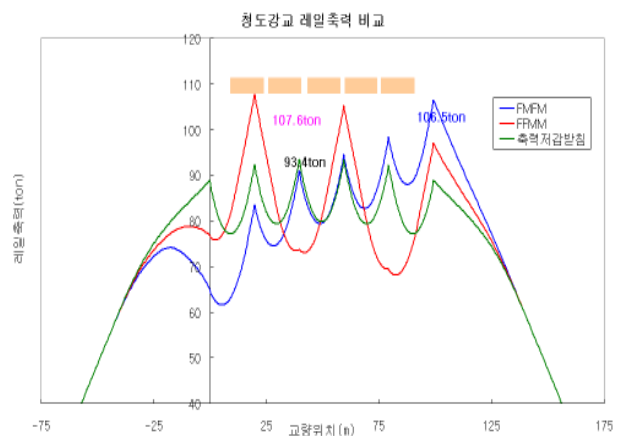


그림 7 경계조건에 따른 장대레일 축력

일축력에서 유리한 것으로 알려져 있으나 그림에서 보는바와 같이 FFMM방식이 FMFM 방식보다 불리한 경우도 있다.

그림 7에서 보는 바와 같이 FFMM 방식에서 최대 축력인 107.6ton이 발생되고 있음을 알 수 있다. 게재레일 설치시 이를 구조모델링하여 해석한 결과는 침목당 체결력을 1ton로 해석한 결과와 유사한 값을 얻었다.

3. 교량 계측

3.1 레일축력 및 거더온도변위

직접적인 방법으로 레일축력의 측정은 사실상 불가능하므로 레일의 변형을 또는 변위 등으로부터 온도 변형율과 종합하여 측정하게 된다. 레일축력측정기를 사용하여 원동천교와 영강2교에서 측정하였다. 이는 대부분 운행선상에서 측정함으로 측정시간이 많이 소요되고 측정자세의 불안정 등으로 측정치의 신뢰도에 문제가 있는 방법이다. 2002년 청도

표 5 교량별 레일축력계측 일람

구분	교량	원동천교	영강2교	중소천상선	청도강교	
					전기	후기
경간		12.1@3	18.3@6	12.3@3	13.1@2 18.3@6	18.3@5
게이지종류		축력측정기		진동현식	strain gauge	진동현식
측정연도		2000.7 ~ 2001.2		2004.8 ~ 2006.8	2002.3 ~ 2003.2	2006.8 ~ 현재
위치별 게이지 갯 수	전방	1	6	1	4	4
	교량	5	16	7	12	15
	후방	5	1	1	4	4
	계	11	23	9	20	23

강교량 장대화 설계에서 레일축력 측정은 strain gauge로 full bridge를 구성하여 active gauge와 dummy gauge를 레일에 함께 설치하여 온도를 자체보정하면서 fp일 축력을 측정하였다. 이 방법은 이론적으로 문제가 없는 것으로 판단되었으나 노이즈의 혼입 및 측정당시 습도 등에 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 중소천과 교량받침 교체 후의 청도강 축력측정에서는 진동현식 변형율계로 측정하였다. 이는 비교적 간단하게 레일 변형율을 읽을 수 있을 것으로 판단되며, 진동현식 게이지의 온도와 레일의 온도에 따른 오차 등의 보정이 문제점이 있으나 다른 방법에 비하여 안정적인 측정치를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

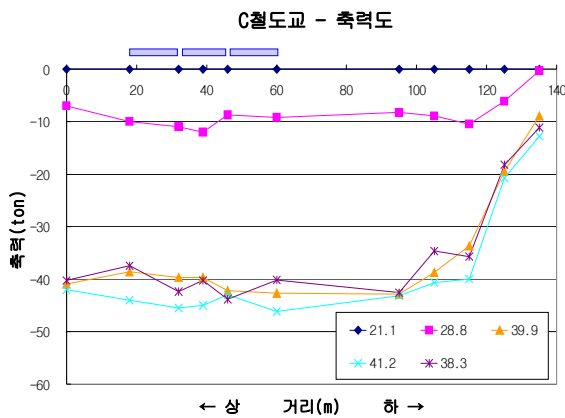


그림 8 원동천교량 축력계측결과

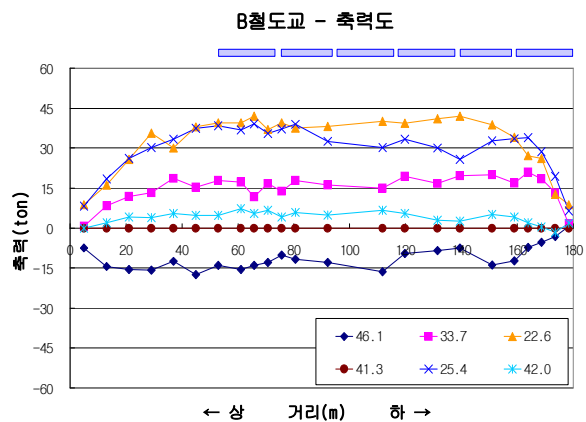


그림 9 영강2교 축력계측결과

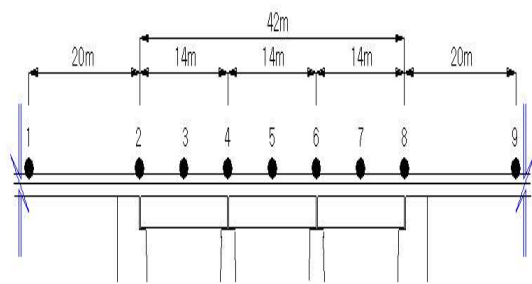


그림 10 중소천교량 레일축력 측정 개소

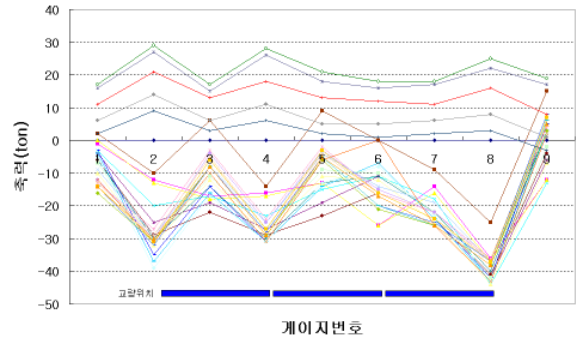


그림 11 레일 온도에 따른 축력 변화 추이

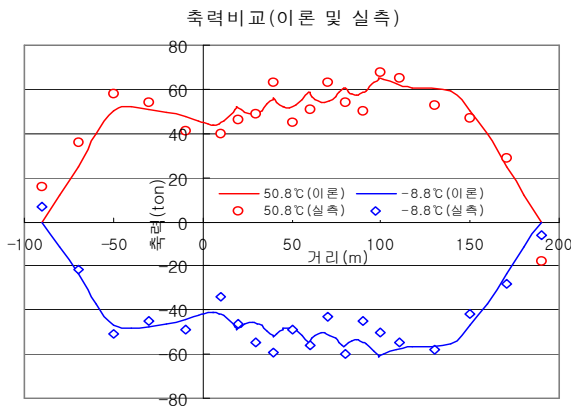


그림 12 청도강교(하) 장대레일 축력계측 [I]

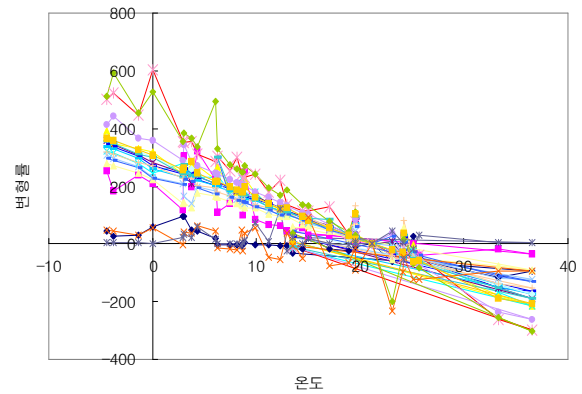


그림 13 청도강교(하) 장대레일 축력계측 [II]

그림 14, 15은 교량별 온도변화에 따른 교량 거더 변위를 측정된 결과이다.

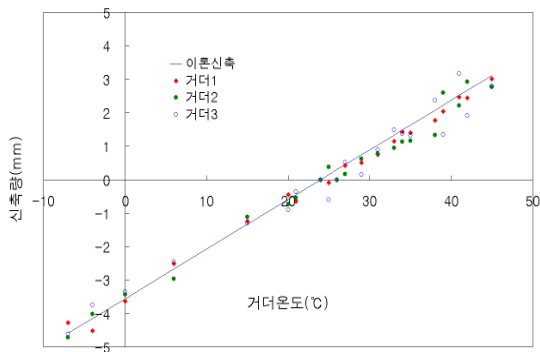


그림 14 중소천교량 거더온도신축 계측결과

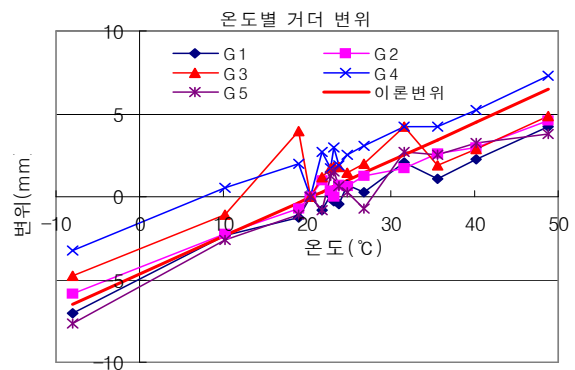


그림 15 청도강교(하) 거더온도신축

3.2 레일 장대화 전후 열차 주행에 따른 교량의 거동 비교

관형교량에서 레일 장대화 전후 거더의 거동을 파악하기 위하여 재하실험 등 각종 실험을 수행하고 이들 결과를 나타낸 것이다. 시험열차에 의한 거더의 처짐은 그림 16, 17에서 보는 바와 같이

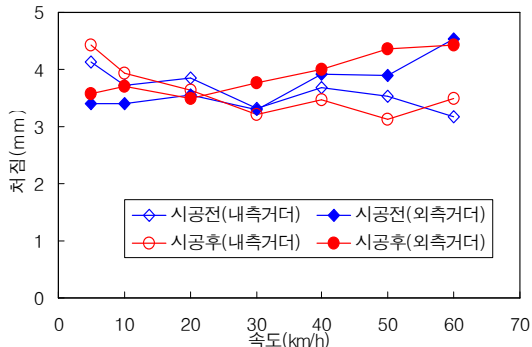


그림 16 원동천교 장대화 시공전

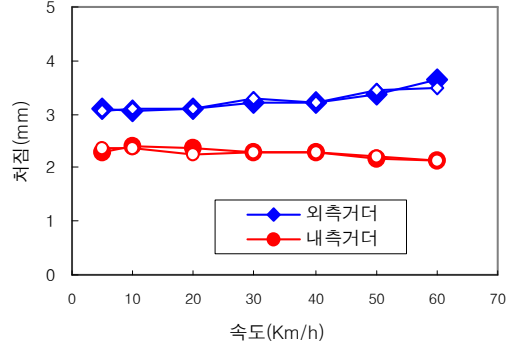


그림 17 원동천교 장대화 시공후

표 6 장대화 전·후의 실험결과 비교

구 분	교 량	원동천교			영강2교		
		장대 화전	장대 화후	증가 율%	장대 화전	장대 화후	증가 율%
수직 처짐 (mm)		3.71	2.76	-25.6	11.12	9.89	-11.1
고 유 진동수 (Hz)	수직	10.01	11.52	15.1	7.32	8.54	16.7
	횡	7.47	8.69	16.3	-	6.88	-

표 7 장대화전후 교량처짐비교(청도강)

열차	구 분	수직처짐(mm)			
		S3G1	S3G2	S4G1	S4G2
새 마을	장대화전	8.852	8.983	8.994	10.344
	장대화후	7.962	7.580	8.722	8.584
	처 짐 비	1.111	1.185	1.031	1.205
무 궁 화	장대화전	10.855	11.402	11.843	11.232
	장대화후	9.366	9.574	10.052	10.400
	처 짐 비	1.158	1.190	1.178	1.080

장대화 시공 전후 원동천교와 영강2교에서 처짐이 실측에서 25.6%, 11.7%정도 감소됨을 알 수 있다. 또한 장대화 시공후 교량의 처짐이 그림 17에서 보는 바와 같이 안정됨을 알 수 있으며 속도에 따른 처짐이 좀 더 예측 가능함을 알 수 있다. 고유진동에서도 원동천교의 경우 수직과 횡진동에서 각각 11%, 16% 정도 증가되고 영강2교에서 수직 방향의 경우 16% 증가되었다.

위의 표에서 보는 바와 같이 새마을 16량에서 3.1% ~ 20.5%, 무궁화 열차에서 8.0% ~ 19% 정도로 처짐이 감소되었다. 이는 본 교량과 유사한 가운데선 영강2 교량의 결과와 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이들 교량 측정결과를 토대로 고찰할 때 12.1m 거더에서 약 25%, 18.3m 거더의 장대화시 약 10% 정도의 강성이 증가된다고 할 수 있을 것이다.

3.3 교량반침 변위 및 저항력

일반적으로 관형교량의 교량반침은 열차 충격과 거더진동 및 열차 사행동에 의한 거더의 횡압 등으로 4점 지지인 지점은 동적으로 3점지지가 될 수 있으므로 보자리 손상이 크고 여기서 발생되는 지점처짐과 불균형에 의하여 거더는 더욱 수직 및 횡방향 운동이 유발시키게 된다. 이는 열차에 횡가속도를 증가시켜 승차감을 저하시키고 운행속도 향상에도 영향을 미치게 된다. 이들은 교량-토공접속부에서 궤도파괴의 주원인으로 작용하게 된다.

이러한 현상을 파악하여 청도강교량 교좌장치에 대하여 열차 주행에 따른 교좌장치의 수직 및 수평 변위와 진동가속도를 측정하였다. 그 결과를 나타낸 것이 다음 그림들이다. 고정단의 경우

약 2mm정도의 진폭을 가지고 변위가 발생되고 있으며, 수직변위는 최대 3mm 하향처짐과 약 2mm정도 상향 처짐이 발생되고 있음을 알 수 있다. 가동단의 경우 약 ±0.5mm정도의 진폭을 가지고 변위가 발생되고 있음을 알 수 있다.

계측한 교각이 교좌장치 종저항실험에서 가장 견고하게 나타난 곳임을 고려한다면 이곳은 장대화에 의한 종방향력의 영향을 받은 것으로 판단된다. 또한 가동단의 교좌장치가 상대적으로 훨씬 작은 변위를 보이고 있음을 알 수 있어 판형교량상에 장대레일을 부설할 경우 교좌장치의 안정성에 문제가 발생됨을 보여주는 결과라 할 수 있을 것이다.

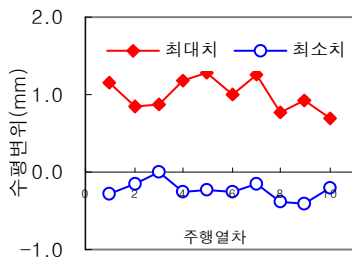


그림 18 고정단 수평변위

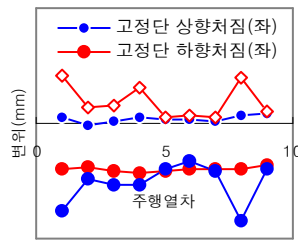


그림 19 고정단 수직변위

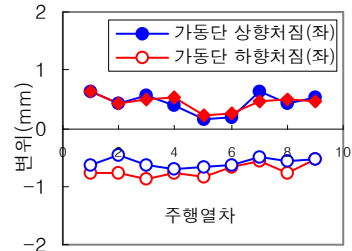


그림 20 가동단 수직변위

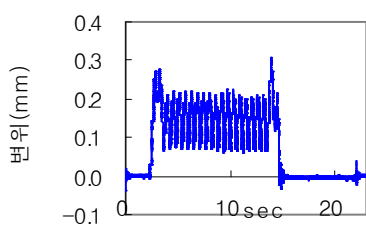


그림 21 축력저감받침 수직변위

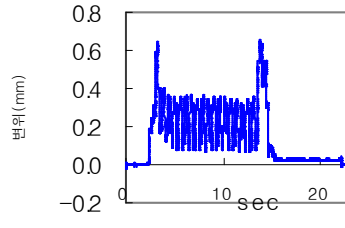


그림 22 축력저감받침 중변위

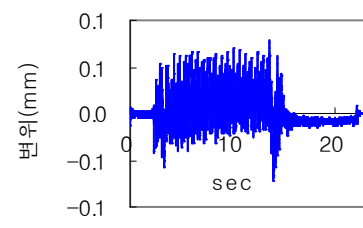


그림 23 축력저감받침 횡변위

그림 24은 거더 온도신축에 따른 고정단의 변위를 측정된 것이다. 이상적으로는 고정단에서 변위가 발생되지 않는 것으로 가정하나 실제 형상에서는 제작공차를 약 0.5mm 정도 허용하고 있으므로 어느정도의 변위는 예측할 수 있을 것이다. 그러나 여기서는 판형교량상 상부레일을 장대레일화 하였으므로 온도신축에 의한 종방향력에 의하여 고정단 받침에 종방향력이 작용되게 된다. 이로 인하여 고정단 받침은 큰 종방향력과 열차의 충격을 포함한 수직력 및 횡력, 시동, 가속 및 제동 등의 하중이 종합적으로 미치게 된다. 이러한 하중은 보자리를 신속하게 파괴시키게 된다.

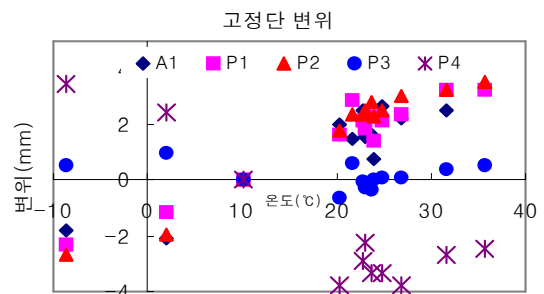


그림 24 고정단 온도 변위

청도강교량(하)에서 장대레일 우선부설에 따른 장대레일 부설 전후 받침의 종방향 저항력을 실험하여 비교하여 보았다. 실험 결과에 의하면 비교적 탄성변형 역에서 장대화 전에는 A1에서 저항스프링이 64ton/mm로 가장 크게 나타났으나 레일 장대화 후에는 11.8ton/mm로 가장 낮은 저항력을 보이고 있다. 소성역에서는 산정상 오차가 있을 것이나 탄성역에서와 유사하며, 전체적으로는 장대화 전후 큰 차이가 없고 10ton/mm 전후의 저항스프링력이 있음을 볼 수 있다.

표 8 레일장대화전후 교량받침 저항스프링

구분 위치	장대화전 ton/mm		장대화후 ton/mm	
	탄성역	소성역	탄성역	소성역
A1	64.0	12.9	11.8	5.8
P1	43.2	9.5	23.8	20.3
P2	27.6	9.0	13.8	5.9
P3	24.5	8.0	13.3	7.2
P4	62.3	8.7	12.6	6.7

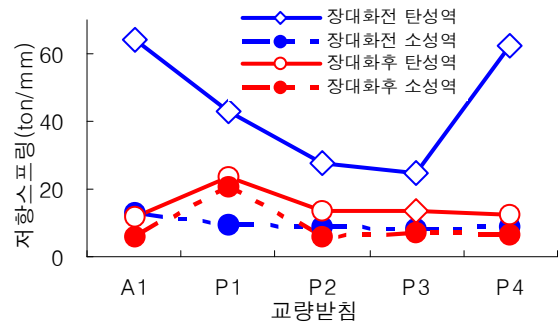


그림 25 레일장대화와선우 교량받침 저항스프링

여기서 중요한 것은 레일 장대화 전에는 최소 탄성스프링력이 약 25ton/mm로서 거더의 온도신축에 의한 종하중이 거의 발생되지 않으므로 열차의 시제동하중에 저항할 수 있을 것으로 기대되나 장대화 후에는 탄성스프링력이 약 10ton/mm 정도로 낮게 나타나고 있어 열차의 시제동하중에 저항하기 어려울 것으로 판단되며, 특히 장대레일 부설에 따른 온도신축에 의한 종하중에 저항하기 어려울 것으로 판단된다. 이러한 관점에서 유추한다면 당시 교량 받침은 레일 장대화로 인한 종하중에 이미 항복하고 있는 것으로 사료된다. 이는 그림 24에서 고정단의 변위가 크게 나타나는 것도 같은 원인에 의한 것으로 판단된다. 일정 규모(25m 이상) 관형교량에서 레일 장대화를 지양하는 이유가 여기에 있는 것으로 사료된다. 위의 계측 결과에서 보는바와 같이 레일 장대화시 거더 종저항력을 고려한다면 대부분의 교좌장치 종저항력은 불안정할 것으로 판단된다. 이는 장대레일 온도 축력에 의하여 교좌장치에 종방향력이 작용되고 여기에 열차의 충격하중이 작용되어 교좌장치의 손상이 신속하게 진행된 것으로 판단된다. 따라서 교좌장치의 종저항력을 증가시키거나 거더의 종방향 하중을 저감시킬 수 있는 교좌장치를 사용하여야 할 것이다.

3.4 열차 주행에 따른 소음 비교

2010년도부터 철도교량도 환경소음이 적용되게 됨으로 철도에서 소음이 가장 크게 발생하는 **강철도교량**의 소음에 대한 대책이 요구되는 시점이다. 레일장대화 전후 도상에서 소음은 약 5dB 정도 감소되는 것으로 알려져 있다.

관형교량 레일 장대화 관련 소음 비교는 원동천과 영강2교[**문헌1**]와 중소천교량[**문헌4**] 및 청도강에서 측정하였다. 각각의 연구들에서 연구의 목적 및 방법 등에 따라 다르므로 여기서 일관성 있게 고찰하기 어려우나 이들 결과는 다음 표와 같다.

표 9 레일 장대화 전후 소음 비교

교량 구분	원동천교(dB)			영강2교(dB)		
	장대 화전	장대 화후	저 감	장대 화전	장대 화후	저 감
측 면	107.6	104.9	2.7	92.1	90.1	1.0
15m	93.3	90.8	2.5	80.1	79.9	0.2

표 10 레일장대화 전후 소음비교

구분	구분	Leq(dB)			Lmax(dB)		
		장대 화후	장대 화전	저감 량	장대 화후	장대 화전	저감 량
중 소 천	무궁화	90.3	96.3	6.0	94.1	100.2	6.1
	새마을	90.1	93.3	3.2	94.8	98.8	4.0
청 도 강	KTX	94.4	99.2	4.8	101.7	105.7	4.0
	무궁화	99.5	105.2	5.7	106.9	113.7	6.8

표 10은 중소천 교량의 장대화 전후 열차주행에 따른 소음을 측정된 결과이다. 축력저감받침을 설치하고 레일장대화를 시킨 경우 최대소음 및 등가 소음에서 각각 약 4~6dB 저감됨을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 우리나라에서 관형교량 레일장대화에 관련하여 그동안의 연구, 계측 및 실험 부설 등을 통하여 관형교량상 레일 장대화 전후를 비교 검토함으로써 장대레일 부설 효과에 대하여 연구하였다. 기존의 연구들이 서로 다른 목적 또는 내용을 가지고 연구하였으므로 단순 비교는 곤란할 것이나 많은 시험부설과 계측 등을 통하여 관형교량상 레일 장대화 효과가 있음을 확인하였다

장대레일화에 따른 효과로는 거더의 강성 증가, 소음 감소 및 충격 감소 등이 실측을 통하여 확인되었으며, 장대레일의 안정성도 확인할 수 있었다. 100m 이상교량으로 레일장대화된 경부선 청도강교량 상하선에서 계측 및 실험들을 통하여 안정성 확보한 것으로 판단하고 있으며, 교량성능 및 소음 등에서도 장대화 전 보다 크게 향상 되었음을 알 수 있었다.

기존의 연구 및 본 연구를 통하여 관형교량에도 교량 및 궤도를 개량한다면 교량상 레일장대화가 가능할 것으로 유지관리 노력의 감소는 물론이고, 향후 열차 속도향상 및 환경소음 저감에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 철도청, 경부고속철도 기존선 활용에 따른 관형교 장대부설 및 장대레일 관리방안연구, 2000.12
2. 철도안전연구소, 경부선 청도강교량 정밀안전진단, 2001.12
3. 철도안전연구소, 경부선 청도강교량 관형교 장대화 안정성 검토 용역, 2002.12
4. 철도안전연구소, 두산중공업, 신기술 제437호 신기술신청서, 2004.11
5. 민경주의, '경계조건에 따른 관형교 장대레일의 거동 특성', 철도학회학술대회 2005.10