

고속철도 교량 신축이음장치의 내구성 실험

Durability Test for the Expansion Joint of High-Speed Railway Bridge

김 병 석*, 곽 종 원**, 신 호 상**, 김 영 진***, 박 성 용***, 장 익 순****

Kim ByungSuk, Kwak JongWon, Shin HoSang, Kim YoungJin, Park SungYong, Chang IkSun

Abstract

To absorb the deformation of live load, thermal gradient, shrinkage and creep in bridge structures and general structures, expansion joint has to be established. Especially expansion joint for high-speed railway bridge has to accommodate the static and dynamic forces and it not only has the durability of itself but also maintain the durability of structure by preventing the leakage of water. The actual used product of expansion joint for high-speed railway bridge is only ones made in France, Germany and Japan.

In this study, the development process and test results of developed expansion joint are introduced which has the functional operation and durability enough to apply to high-speed railway bridges, roadway bridges and general structures.

The tests consist of fatigue-durability test of 3 million times by high-speed rail load, leakage test and jack-up test for verifying the possibility of exchanging it.

The performance of developed expansion joint satisfy the specification of Korea High Speed Rail Construction Authority.

1. 연구목적

교량 상부구조 및 일반 구조물의 상재하중, 온도변화, 건조수축, 크리프 등에 의한 변형을 흡수하기 위해서는 신축이음장치가 필요하다. 특히 고속철도교량용 신축이음장치는 구조물의 정적, 동적 거동을 수용할 수 있어야 하고 제품 자체의 내구성이 뛰어나야할 뿐만 아니라, 신축이음부에서의 누수를 방지하여 구조물 내구성을 확보할 수 있어야 한다.

국내 경부고속철도 교량에 사용실적이 있는 것은 프랑스, 독일 및 일본 제품 뿐이다.

본 연구에서는 고속철도교량 및 일반교량/구조물에 적용할 수 있는 기능성과 내구성을 겸비한 신축이음장치의 개발과정을 소개하고, 그 실험결과를 제시하고자 한다.

* 한국건설기술연구원, 구조연구실, 수석연구원

** 한국건설기술연구원, 구조연구실, 선임연구원

*** 한국건설기술연구원, 구조연구실, 연구원

**** (주)베스탑, 대표이사

2. 신축이음장치

신축이음장치는 온도변화에 따른 신축과 콘크리트의 재령에 따른 건조수축 및 크리프 변형, 상부구조의 활하중에 의한 이동과 회전을 원활하게 수용할 수 있도록 교량 단부에 설치된다.

신축이음장치의 성능에 영향을 미치는 주요 인자로는 신축이음장치의 구조적인 변위, 열차 차량 통과 빈도와 축중하중 크기, 신축이음 설계의 적정성, 사용 재료의 안정성, 설치시 및 공용기간 동안의 기후와 온도, 시공시 현장 준비와 숙련도, 받침 등이 있다.

적절한 성능을 발휘하기 위해 신축이음장치는 구조물의 수평 및 수직 방향에 대한 모든 이동을 수용할 수 있어야 하며, 모든 하중에 대해 유해한 변형이 발생하지 않아야 하고, 소음이 적고 진동이 없는 등 쾌적한 승차감과 주행 안전성을 저해하지 않아야 한다. 또한 부식에 대한 저항성과 각종 화학물질에 대한 안정성을 가지고 있어야 하며, 점검, 유지관리, 보수 또는 교체가 쉬워야 한다. 그리고 물, 침니(silt)와 잔모래(grit)의 침투가 효과적으로 차단되는 구조를 가져야 한다.

3. 재료시험

3.1 사용재료

(1) 신축이음 봉합재 (Evazote)

신축이음 봉합재는 구조적 변형에 허용치 내에서 수용하면서 구조물의 거동을 수용하기 위한 신축부에 누수 및 이물질의 혼입방지를 목적으로 사용하였으며 후타 콘크리트와의 압착으로 신축부의 부속물의 손상을 억제할 수 있다.

사용된 신축이음 봉합재의 특성을 살펴보면, 모든 형상에 대하여 제작 및 설치가 가능하고, 구조물에서 고려되는 변형에 대하여 압축(60%), 신장(30%, 극한 신장 255%), 전단 및 회전(100%), 수평 전단(120%)의 허용치를 확보하고 있다. 또한, 100%의 방수가 가능하여 50(m)에서의 정수압에 견디며 노출에 따른 화학제품이나 자외선 등에 대한 저항 능력이 탁월하다. 심한 변형이나 마모, 비틀림 등의 변형이 예상되는 구조물이나 완벽한 방수가 요구되는 부위에 대한 적용에 특히 적절하다. 설치 유간보다 20-25% 크게 고려된 재료의 사용이 요구된다.

(2) 탄성 콘크리트 (Bes Crete #7)

탄성콘크리트는 유연성, 탄성, 무수축으로 완충력 및 100%의 방수성을 가지고 있어 교면 방수 등에 의한 신축부의 연결 처리시 타자재에 비하여 효과적으로 신축부의 두부를 보강하기 위한 후타재로 현재 사용하고 있다. 본 연구에 사용된 탄성 콘크리트는 사용 설치시 요구되는 내구성을 확보하면서 조기에 교통의 재개가 가능(조기 양생에 의해 3시간 경과 후 교통의 재개가 가능)하므로 긴급을 요하는 보수 공사에 적합하다.

(3) 접착제 (Bes EPOXY Bonder #1)

신축이음 봉합재와 구조체의 후타재인 탄성 콘크리트와 앵글 등에 강력한 부착력을 얻기위해 사용되는 접착제는 특수 접착제로서, 강재, 양생콘크리트, 목재 또는 다른 건조한 재질 및 습윤상태 하에서 접착이 가능하다.

표 1 신축이음 봉합재의 재료시험 결과

재 료	시 험 항 목	단 위	요구치	시험성과	판정
신축이음 봉합재	인장강도(KS M 3014)	kgf/cm ²	7.0이상	7.9	합격
	압축(KS F 2471)	kgf/cm ²	0.7-4.0	1.1	합격
	인열강도(KS M 3014)	kgf/cm	2.5이상	3.1	합격
	흡수율(KS F 2471)	%	3.0이하	0.04	합격
	신장율(KS M 3014)	%	200이상	260	합격
	회복율(KS F 2471)	%	95이상	99%	합격
	가속 풍화작용(KS F 2471)	-	이상없음	이상없음	합격
	밀도(KS F 2471)	kgf/m ³	45이상	45.9	합격
	내약품성 염산속에서끓음(KS F 2471)	-	이상없음	이상없음	합격

표 2 탄성콘크리트의 재료시험 결과

부 속 재	시 험 항 목	단 위	요구치	시험 성과	판 정
탄성 콘크리트 (BesCRETE #7)	인장강도 (KS M 3006)	kgf/cm ²	55이상	64.7	합 격
	인장용력 (KS M 3006)	kgf/cm ²	45이상	52.4	합 격
	압축강도 (KS L 5105)	kgf/cm ²	170이상	220	합 격
	인열강도 (KS M 6518)	kgf/cm	16이상	28	합 격
	흡수율 (KS M 3027)	%	0.5이하	0.34	합 격
	신장율 (KS M 3006)	%	150이상	170	합 격
	인장 전단강도 (KS M 3734)	kgf/cm ²	60이상	74.4	합 격

표 3 접착재의 재료시험 기준치

부 속 재	시 험 항 목	단 위	요 구 치	시험 성과	판 정
Bes EPOXY	인장강도 (KS M 3006)	kgf/cm ²	200 이상	249	합 격
	압축강도 (KS M 3015)	kgf/cm ²	500 이상	579	합 격
	접착강도 (KS M 3722)	kgf/cm ²	110 이상	133	합 격
	흡수율 (KS M 3027)	%	0.2 이하	0.069	합 격
	경도(HDD) (KS M 3043)	-	80 이상	84	합 격
	가사시간 (KS M 5307)	시간	1시간 이상	2시간	합 격

(4) 기타

이상의 재료외에도 일액형 모체 침투성 방수제 (Bes Maso Seal), 녹 제거형 방청제 (Bes Steel Seal), 강재 덮개 판 (Steel Cover Platel), 앵글 (Steel Angle), 고장력 볼트 (F10T HEX Bolt M22), 고무링 등의 재료가 사용된다.

3.2 탄성콘크리트 강도시험

탄성콘크리트와 탄성콘크리트를 구성하는 원재료에 대한 물리적인 재료특성을 구하기 위하여 각각의 시편에 대한 재료시험을 실시하였다. 압축강도시험을 실시한 결과, 세 개의 시편은 거의 동일한 결과를 나타내었다. 측정된 탄성콘크리트의 압축강도의 평균값은 190kg/cm²이고, 탄성계수는 3,000kg/cm²이다. 탄성콘크리트에 대한 압축강도시험 결과, 최대 압축강도시의 변위가 모든 시편에서

7mm이상(시편의 높이 50mm임) 발생하는 결과로 볼 때, 상재하중이 작용 시에 구체에 비하여 상대적으로 큰 변위를 발생시켜, 하중의 분산정도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 이상의 분석결과로 볼 때, 현재 교량 단부의 후타재로 주로 사용되는 무수축물탈의 대체품으로 적절한 것으로 판단된다.

단순보의 3등분점 하중법을 이용한 인장강도시험을 실시한 결과, 각 시편별 인장강도의 평균값은 $20.8\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 측정되었다. 일반적인 콘크리트의 인장강도는 압축강도의 대략 1/10정도임을 감안할 때, 본 연구에서 실시된 탄성콘크리트의 인장강도는 압축강도의 대략 11% 정도로 나타나고 있어, 일반적인 콘크리트와 거동양상이 거의 동일하다고 판단된다.

4. 실험 및 결과

4.1 실험체 제작 및 제원

고속철도의 주행에 따른 교량 신축이음장치의 정적 및 동적 건전도를 평가하기 위하여 실제 교량 단부의 부분모델을 제작하고 여기에 본 신축이음장치를 실제와 같은 조건을 유지하면서 시공하였다. 신축이음장치가 위치하는 교량단부(내민보 부분)의 조건과 유사하도록 설계를 하였으며 실험체는 2개 부분으로 나누어서 야외 제작장에서 제작하여 실내에서 실제 교량과 같은 10cm의 간격을 두고 설치되었다. 실제 교량에서 사용되는 도상과 PC침목을 구체 위에 설치하고 침목에 가력되도록 설치하였다. 도상의 흘러내림을 방지하고 현장에서의 도상의 경계조건을 만족할 수 있도록 강재를 이용한 구조물을 설치하고 교량의 처짐이 자유롭게 이루어지도록 설치하였다. 구체의 지지조건을 만족하도록 구체의 하부에는 40 cm 두께의 철근콘크리트 매트를 타설하고 이를 바닥에 고정시켰다. 한편 가력 시 침목의 불균등한 처짐이나 진동 그리고 횡방향 이동이 일어나지 않도록 실험체 주위에 보강 철판을 설치하여 도상의 흘러내림을 방지하고 상하거동만 이루어지도록 유도하였다.

이와 같이 본 실험체는 실제 경부고속철도이 주행하는 교량의 거동을 모사하도록 제작되었으며 신축이음부를 시공하였다. 단면과 제원은 그림 1에 간략히 도시되어 있다.

4.2 하중 재하와 측정 위치

사용된 하중은 실제 고속철도의 축하중인 17ton과 충격계수를 고려한 22.6ton의 두가지 경우이다. 하중위치는 실험체의 횡방향 자유단으로부터 78.5 cm에 위치하는데 이는 실제 고속철도 하중위치와 동일하다.

단계별 피로실험이 끝난 후 모형체에 17ton과 22.6ton의 하중을 가하여 구체의 변형도를 측정하였다. 측정을 위하여 사전 구조해석을 실시하여 하중흐름을 평가할 수 위치에 철근게이지 50개를 철근조립시 매설하였고, 구체 표면에 콘크리트게이지 46개 설치하였다.

또한 구체의 처짐 뿐 아니라 탄성콘크리트만의 변위를 측정하기 위하여 구체에 2곳, 탄성콘크리트에 2곳에 LVDT를 설치하여 처짐을 측정하였다.

4.3 실험

본 실험은 고속철도의 축하중 17 ton으로 총 200만회, 22.6 ton으로 100만회의 총 300만회의 반복하중을 가하여 피로건전도와 방수성능을 실험하였다.

피로건전도 실험은 상기하중을 1만, 10만, 100만, 200만, 그리고 300만회의 반복 재하시험을 실행한 후에 매 단계마다 정적시험을 4.2절에 언급된 변형을 게이지와 처짐계를 사용하여 실험체의 응답을 측정하였다. 시험에서 측정된 응답은 실험체의 응력거동 파악과 구조해석 결과와 비교에 사용되었다.

실제 고속철도의 경우에는 시험운행을 통하여 일정 정도의 다짐이 이루어지고 도상의 거동이 안정적인 상태에 이르게 되므로 이를 모사하기 위하여 일정 횟수의 하중을 도상의 안정성 증가를 위하여 실험시작 전에 가하였다.

100만회, 200만회 및 300만회 피로내구성 실험 완료단계마다 신축이음부의 방수여부를 확인하기 위한 방수시험을 실시하였다. 또한 피로실험이 완료된 후, 향후에 교량의 교좌장치의 교체가 이루어질 때 한 쪽 교량의 Jack-up에 의한 상대적인 들림효과와 상대적인 수평방향 이동에 따른 봉합재의 건전도 여부를 확인하고자 하는 실험을 실시하였다.

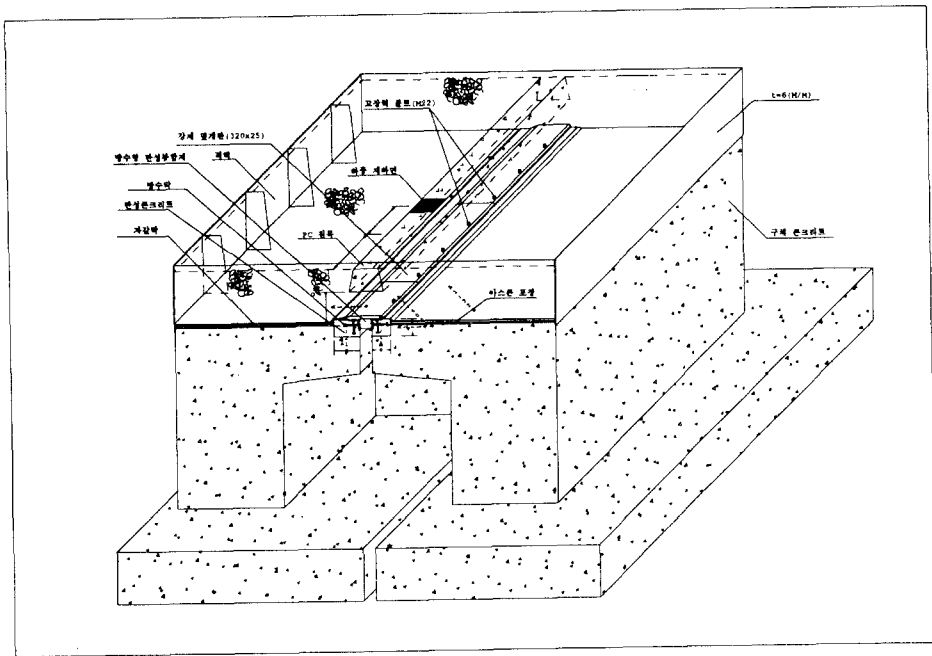


그림 1 실험체의 제원

4.4 실험결과

300만회의 피로실험 실시 결과, 본 연구에서 제작된 신축이음은 충분한 내구성을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 각 단계별 방수실험 결과 누수가 발생되지 않음을 확인하였다.

자갈도상을 제거한 후 도상막을 해체하는 과정에서 탄성콘크리트 구체접착부와 강제앵글의 변형을 조사한 결과, 구체와의 접착과 강제변형에 특별한 문제점을 관찰하지 못하였다.

또한 피로내구성 실험 실시후 교좌장치 교체시에 필요한 최소한의 간격 5mm의 작업실험을 실시하여, 신축이음을 구성하는 각 장치들의 기능성을 확인하였다. 그 결과 5mm의 작업후에도 각 장치들은 그 기능을 충분히 유지하고 있는 것으로 나타났다. 이후 신축이음 장치의 기능을 유지할 수 있는 최대 작업높이를 확인하기 위하여 추가로 작업실험을 실시한 결과 최대 14mm까지 가능한 것으로 나타났다.

다.

신축이음의 작업시의 기능성실험이 완료된 후 강재덮개의 볼트체결력을 확인하였다. 볼트는 55kg-m의 토크치를 가하여 체결하였는데, 토크렌치를 이용하여 실험완료후의 토크치를 측정한 결과, 53kg-m을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 이상의 결과로 볼 때, 볼트체결은 300만회의 반복하중에도 그 기능을 충분히 유지하고 있는 것으로 판단된다.

볼트 체결력 확인실험 후, 강재덮개를 제거한 후 신축이음 봉합재의 신장량 측정시험을 실시하였다. 한쪽 볼트를 작업하여 최대 수직전단 변형을 측정한 결과 최대 75mm의 변위가 발생하여도 봉합재가 손상이 발생하지 않았다. 또한 신축이음의 수평간격을 174mm(교량신축이음 간격 100mm)를 증가시켜도 봉합재의 손상이 발생하지 않았다.

최대 변위에 대한 시험이 완료된 후, 봉합재의 파괴형상을 관찰하기 위하여 수평간격을 최대로 늘려본 결과, 봉합재의 설치를 위해 시공된 접착부위에서는 파단이 발생하지 않고 봉합재가 파단되는 현상을 관찰하였다. 이 결과로 볼 때 접착부위에서 파단이 발생하지 않았기 때문에, 접착제는 그 성능이 우수한 것으로 평가할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서 개발된 신축이음 장치의 내구성 시험을 통하여 얻어진 결론을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 300만회의 피로내구성 실험 실시결과, 신축이음과 부속장치가 충분한 내구성을 확보하고 있음이 확인되었다.
- (2) 내민보 부분에 사용된 탄성콘크리트는 매우 좋은 내구성과 수밀성을 유지하였으며 강재 앵글과 구체 콘크리트와의 부착력 또한 매우 우수한 것으로 판단된다.
- (3) 피로시험 각 단계별 방수시험 결과, 누수가 전혀 발생하지 않음을 확인하였다.
- (4) 교좌부 교체를 위해 필요한 5mm의 작업시험 실시결과, 신축이음장치의 손상 및 누수가 관찰되지 않았고, 따라서 향후에 예상되는 교좌부 교체 시 신축이음장치의 기능성과 내구성에는 문제가 전혀 발생하지 않을 것으로 판단된다.
- (5) 작업시험 후 실시된 볼트체결부의 토크렌치를 이용한 토크치시험 결과, 토크치의 손실이 없는 것으로 볼 때 체결구의 볼트와 와셔 그리고 고무링이 완벽한 기능을 수행하고 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구에 도움을 주신 (주) 베스탑의 사장님과 임직원 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 고속전철사업기획단, 고속철도 콘크리트 구조물(RC 및 PC) 설계표준시방서(안), 1991.
2. 대한토목학회, 도로교표준시방서, 1996.
3. 한국도로공사, 도로설계요령 제 3권 교량, 1992.
4. 한국도로공사, 신축이음에 관한 연구(I), 1992.
5. 한국건설기술연구원, 고속철도 교량 및 일반교량/구조물용 신축이음 장치 개발(I), 1998.
6. David J. Lee, Bridge Bearing and Expansion Joints, E&FN SPON.
7. Demetrios E. Toniais, Bridge Engineering, McGraw-Hill, 1995.
8. SYSTRA, Bridge Design Manual(BRDM), Final report, 1995.