

# 철도교량용 T-MAT형 신축이음장치 완제품 성능시험에 관한 연구

## A Study on Verification Test of T-MAT Type Expansion Joint for Railway Bridge

유문식\*      우윤수\*      김현목\*      최종문\*      윤태양\*\*      이안호\*\*\*  
Yoo, Moon-Sig      Woo, Yoon-Soo      Kim, Hyun-Mook      Choi, Jong-Moon      Yoon, Tae-Yang      Lee, An-Ho

---

### ABSTRACT

Expansion joint is the absorbing structure when the upper structure of bridge have the drying shrinkage and creep from the change of temperature or construction badness. Because it has the fatigue from continuous vehicles traffic, the durability and performance is verified by the static and dynamic loading test. In this study, we make the decision that T-MAT type expansion joint is applied in railway bridge and the expansion joint was tested by the criterion of Korea High Speed Rail Construction Authority.

---

### 1. 서론

신축이음장치는 고속철도 교량 상부구조물의 건조수축, 크리프 등 시공초기의 변형 및 온도변화에 의한 변형을 흡수하는 기능을 수행하는 구조물로서 정적, 동적 거동을 수용할 수 있을 뿐만 아니라 내구성과 기능성을 유지하여야 한다. 그러나 지금까지 여러 구간에서 시공된 제품에 대하여 경부고속철도 신축이음장치에 대한 평가기준에 의거하여 성능시험이 수행된 바 없어 이를 기준으로 성능평가지험을 통해 제품의 성능을 고찰할 필요성이 제기되어 왔다.

본 연구에서는 신축이음장치의 구조적인 성능을 검토하기 위해 경부고속철도 교량 신축이음 완제품 시험기준에 따라 성능시험을 수행하였다. 시험 종류는 동적 재하시험, 정적 재하시험, 재료시험 및 방수시험으로 구성되었다. 동적 재하시험은 철도차량 축하중을 300만회 재하하여 시험체의 피로성능을 검증하고자 하였다. 방수성능시험을 위해서는 동적 재하시험 후 수밀성 평가를 위해 방수성능시험을 수행하였다. 또한 정적 재하시험은 수직 재하시험과 수평 재하시험으로 구분하여 각 방향에 대한 신축이음장치의 구조적인 성능을 검토하였다.

### 2. 고속철도용 신축이음장치의 구성과 설치

#### 2.1 신축이음장치의 구성

신축이음장치는 교량이 온도변화에 따른 신축, 콘크리트의 재령에 따른 건조수축 및 크리프 변형, 상부구조의 활하중에 의한 이동과 회전을 원활하게 수용할 수 있도록 교량 단부에 설치되는 구조물로

---

\* (주)케이알 기술연구소, 비회원

\*\* 포항산업과학연구원 책임연구원, 비회원

\*\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

열차하중에 대하여 충분한 안전성과 모래, 자갈 등의 낙하를 방지하며 내구성이 우수한 구조이어야 한다. Fig. 1은 경부고속철도 7-1공구에 설치된 T-MAT 130 신축이음장치의 단면도이며, 주요 제원 및 구성재료는 Table 1과 같다.

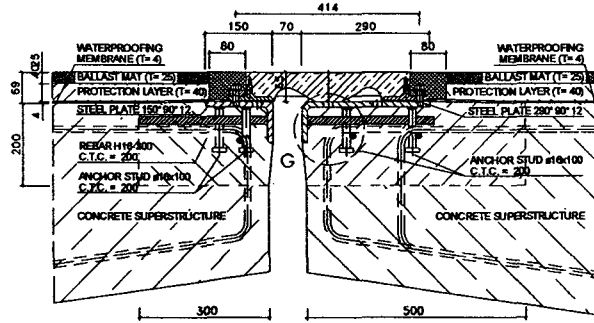


Fig. 1 The Shape of T-MAT Expansion Joint at Kyung-bu High Speed Rail 7-1 Construction Area

Table 1 The specification of Expansion Joint for High Speed Railway Bridge

구 성	제 원	재 료
T-MAT	370W×65T×2,200L	
Steel Plate 1	290W×12T×90B×2,200L	SS400
L 형강	L-150×90×12T×2,200L	SS400
Stud Bolt	Φ16mm-100 Anchor Bar CTC200	SS400
Bolt	M20-65	F10T
Ballast Mat	25T	네오프렌
무수축 콘크리트	2200×300×69mm	$\sigma_{ck}=400\text{kg/cm}^2$
아스팔트 봉합제	69T×2200L	아스팔트

## 2.2 신축이음장치의 설치

신축이음장치의 설치과정은 구체 콘크리트 Block-Out, 앵글 설치, 무수축 콘크리트공, 상부조립, 도상 자갈 포설 레일설치 등의 순서로 진행된다. Fig. 2는 신축이음장치의 시공절차를 나타낸다.

## 3. 성능시험 장비 및 방법

신축이음장치 완제품 성능평가 시험은 크게 재료시험, 정적 재하시험, 동적 피로시험, 방수시험으로 진행하였다. 정적 재하시험과 동적 피로시험은 신축이음장치 시방서의 규정에 따라 17ton, 23ton의 재하 하중으로 300만회의 피로시험과 매 단계 사이에 정적 수직 재하시험을 수행하였다.

### 3.1 성능시험 장비

Table 2는 성능시험에 사용된 시험장치의 사양을 나타낸다.

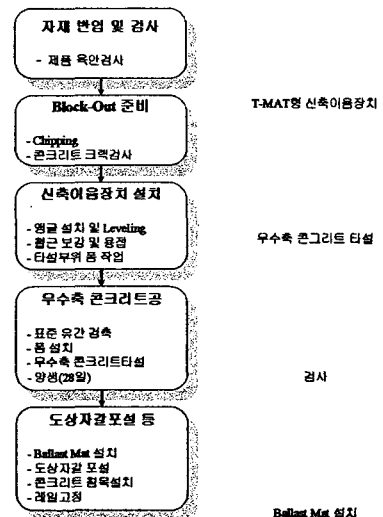


Fig. 2 The Construction Procedure of T-MAT Expansion Joint

Table 2 Specification of Test Equipments

구 분	항 목	내 용	설 명
가력장비	25ton Dynamic Actuator	제작사 : MTS 사 양 : 25ton-250mm 최대 14Hz 가력주기	정적시험, 피로시험
압축강도시험	MTS UTM	제작사 : MTS 사 양 : Max. 500ton Teststar II control	공시체 재료시험
계측장비	TDS 302	제작사 : Tokyo Sokki 사 양 : 8ch. Max. 1Hz	변위, 변형량 계측
계측센서	Dial Gauge	계측범위 : 50mm 정 밀 도 : 1/100mm	
	Strain Gage		
	Loadcell	사 양 : 25ton	Actuator 내장
기타	FlexTest II	Actuator Control, 계측 프로그램	피로시험, 정적시험

### 3.2 성능시험 순서

초기다짐은 실제 고속철도의 경우에 시험운행을 통하여 일정정도 다짐이 이루어지고 도상의 거동이 안정적인 상태에 이르게 되므로 이를 모사하기 위하여 일정횟수를 반복하중으로 가하여 도상의 안정적 거동을 확인 후 본 시험을 수행하였다.

1차 정적 재하시험은 시험 전에 시험체의 정적 하중에 대한 응력상태를 기록하기 위한 정적 재하시험을 하였다. 17ton까지 정적하중을 가한 후, 원점으로 복귀한 다음 다시 23ton까지 정적하중을 가한 후 원점으로 복귀하는 방법으로 1회 시험하였다. 1차 반복재하 100만회 시험의 경우에는 최소 1ton에서 최대 17ton까지 3Hz로 가력하였으며, 신축이음장치의 간격은 700mm로 하였다. 2차 정적 재하시험은 100만회 반복 재하시험이 끝난 후 1차 정적 재하시험과 같이 시험을 수행하였다. 2차 반복 재하 100만회 시험은 신축이음장치의 간격을 50mm 추가로 이동한 후 반복 재하하였다. 3차 정적 재하시험은 200만회 반복 재하 시험이 끝난 후 1차 정적 재하시험과 같이 시험하였다. 3차 반복 재하 100만회 시험은 최대 23ton의 하중으로 100만회 반복 재하하였다. 재하 주기는 마찬가지로 3Hz로 가력하였으며, 시험시작 전에 신축이음장치의 간격은 50mm 복원하였다. 4차 정적 재하시험은 300만회 반복 재하시험이 끝난 후 1차 정적 재하시험을 수행하였다.

방수성능시험은 총 300만회 반복 재하시험이 끝난 후 T-MAT의 방수성능을 평가하기 위한 실험으로 양 측면에 임시 고무판을 설치하고 T-MAT 상부에 유색잉크를 부어 누수여부를 점검하였다.

수평 정적 가력시험의 경우에는 신축이음장치 상부 MAT에 길이방향으로 등분포 하도록 수평력을 가력하였다. 이때 가력하중은 4ton/m, 5ton/m, 6ton/m이며, 각 하중 단계별로 5분간 지속하중을 가하여 수평변위와 구조적 거동을 평가하였다.

## 4. 시험결과 및 분석

### 4.1 콘크리트 재료시험

무수축 콘크리트는 신축이음장치와 시험구체를 고정하기 위한 연결부위에 사용되며, KS규격에 적합한 것을 사용하거나 상부 구조물인 P.C. Box의 공칭 압축강도인  $\sigma_{ck}=400\text{kg/cm}^2$  이상인 무수축 콘크리트로 타설하였다. 강도시험은 KS-F-2405에 의거하여 수행되었다.

Table 3 Strength Test Results of Non-Shrinkage Compensating Concrete

측정항목	1	2	3	4	평균
최대 변형률	0.0028	0.0031	0.0029	0.003	0.00295
최대 강도(kg/cm <sup>2</sup> )	450	447	390	352	409

4.2 동적 재하시험

동적 재하시험은 신축이음장치 시험시방 기준에 따라 시험체 상부에 고속철도축하중에 해당하는 피로하중을 규정된 3Hz 가력 싸이클로 반복 재하하여, 시험체의 구조적 성능을 검증하였다. 초기 정적 재하시험 및 100만회 반복 재하, 유간이동, 100만회 추가 재하, 유간이동 및 30% 증가하중에 대한 100만회 추가 재하시험으로 진행되었다. 검사 후 육안시험으로 각 항목별로 검사한 결과 Table 4와 같은 결과가 나타났다. 100만회, 200만회, 300만회 시험 후 신축이음장치 상단부, 측면등에 대한 육안점검 결과 기능의 저하 및 특별한 손상은 발견되지 않았다. 또한 재하시험기간 중 신축이음장치 하단부로 자갈 또는 쇄석의 낙하여부를 검사한 결과, 자갈낙하는 발견되지 않았다.

100만회, 200만회 및 300만회 재하시험 완료후 신축이음장치에 대한 전반적인 신축이음기능에 대해 육안검사한 결과로는 신축이음장치의 이동성, T-MAT과 바닥앵글 사이의 접합상태, 기타 전반적인 기능상 유해사항 여부에 하자를 발견할 수 없었다. 또한 측면 고무판의 신축에 의한 손상도 발견되지 않았다.

Table 4 Performance Test Results of T-MAT Expansion Joint

반복횟수	검사내용					
	정적시험		자갈낙하 (육안검사)	균열검사 (육안검사)	기능점검 (육안검사)	고무점검 (육안검사)
	17ton	23ton				
초기	O.K.	O.K.	O.K.	-	-	-
100만회	O.K.	O.K.	O.K.	-	O.K.	-
200만회	O.K.	O.K.	O.K.	-	O.K.	-
300만회	O.K.	O.K.	O.K.	-	O.K.	O.K.
수평재하 및 최종검사	4,5,6ton O.K.		O.K.	O.K.	O.K.	O.K.

4.3 방수성능시험

T-MAT형 신축이음장치의 수밀성을 평가하기 위한 방수시험을 위하여, 300만회 동적 재하시험 및 수평 재하시험이 끝난 후 T-MAT 상단에 유색잉크 용액을 부어 약 3일간 누수여부를 관찰하였다. 결과적으로 신축이음부 하단부에 놓인 백색 용지에 유색잉크가 떨어지지 않았음을 알 수 있었으며, T-MAT 하단부에도 누수의 흔적은 발견되지 않았다. 따라서 본 시험체의 방수형식은 T-MAT와 하단부의 방수포 사이를 볼트로 체결된 구조임에도 불구하고 이 사이로 신축과 동적하중 재하에 의하여 손상이 가해지지 않았음을 알 수 있다.

4.4 정적 수평재하시험

신축이음장치는 열차하중에 의한 수직방향의 반복하중뿐만 아니라, 열차하중의 수평방향 성분과 온도 수축 등에 의한 수평력을 받는다. 따라서 이러한 수평력에 의한 신축이음장치의 구조적 타당성을 검토하기 위하여 정적 수평재하시험을 수행한 결과, 수평변위는 최대 12mm정도 발생하였으나, MAT 상단에 특별한 손상이 발견되지 않았으며, 상당한 변위에 비하여 복원성이 우수한 것으로 나타나 수평력에 대하여 충분한 내구성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 3과 Fig. 4는 정적 수평가력 시험결과로서 수평방향 하중을 받는 T-MAT의 수평방향 변위와 수평력을 나타내고 있다. 각 단계별로 4, 5, 6ton/m의 하중이 재하되었으며 각각 5분간의 지속하중을 주어 신축이음판의 변형을 조사하였다. 아래의 힘-변위선도에 나타난 바와 같이 신축이음판의 적절한 단성거동과 복원성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한, 볼트 체결 상태를 육안검사한 결과 볼트 보호용 아스팔트가 건전하게 부착되어 있는 상태였으며, 특별한 풀림현상은 발견되지 않았다.

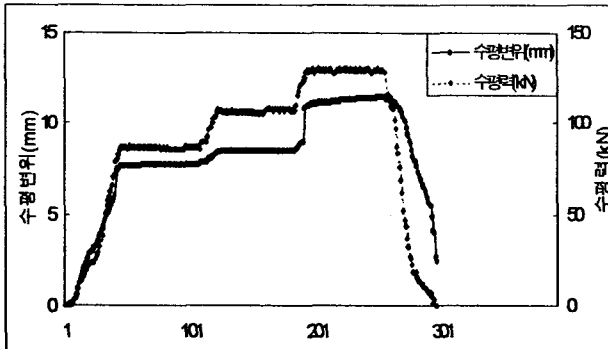


Fig. 3 The Relationship between Horizontal Displacement and Applied Load

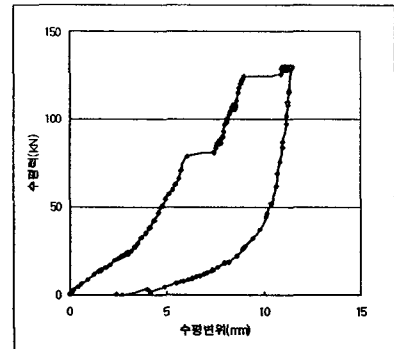


Fig. 4 Bending Displacement of T-MAT

## 5. 결론

T-MAT형 고속철도 신축이음장치에 대한 구조적 검증은 목적으로 수행된 본 연구로부터 신축이음장치는 300만회 동적실험 각 단계별 검사 및 최종완료 후 시험체에 대한 검사결과에서 유해한 변형은 발생되지 않았으며, 양호한 접지상태를 나타내 기능성 확보에 문제가 없는 것으로 판단된다. 또한, 수평제하 및 방수 시험결과 신축이음장치의 구조적 성능과 방수성능에 문제가 없다고 사료되며, 기타 볼트의 체결상태 및 접속 아스팔트 포장 등도 최종 시험 완료시, 건전한 상태를 유지하는 것으로 나타나 철도용 신축이음장치로서의 성능 및 내구성에 대한 증명이 가능하였다.

## 참고문헌

1. (주)케이알 기술연구소, "KSB Joim의 정·동적 거동 및 제반에 관한 연구", 1998
2. (주)케이알, 현대건설 기술연구소, "T-MAT 고속철도 교량신축이음장치 완제품 성능평가시험", 2002
3. 성균관대학교 생산기술연구소 "TransFlex Joint에서 Finger Joint로의 일괄교체공정 연구", 2001
4. 산업기술시험평가연구소, "교량 신축이음장치의 용접품질 및 피로강도 향상에 대한 연구", 1998
5. 한국도로공사, "도로설계요령 - 교량편", 한국도로공사, 2001
6. 대한토목학회, "도로교설계기준·해설", 대한토목학회, 2003