

고속철 주행속도를 대비한 교량받침의 내구성 평가기준 개발연구

Durability Evaluation Criteria Development of Bridge bearings against the High Speed Railway Running Speed

정신효*[†], 오순택*, 이동준*

Shin Hyo Jeong*[†], Soon-Taek Oh*, Dong Jun Lee*

Abstract Recently, through the operation records of KTX express train friction plate damage to the pot or spherical bridge bearings related to the dynamic behavior due to the high-speed running speed and deterioration various corruption cases fell short of the useful life has been reported. Therefore, the design criteria of the national bridge bearings as urgent measures provided for this is the lack cope with the accumulative distance increases and the damage caused by the dynamic behavior of bridge bearings according to running speed increases only limited KS based on the external dimensions, and thus the realistic high the development of quantitative evaluation method for friction durability performance is required. For friction bearings outside the reference, friction test method for accumulative distance over than 50,000m, the design criteria with a threshold criteria can be established. Therefore, the improvement of test methods considered appropriate to domestic conditions with the field measured data associated with the numerical results for the dynamic behavior of high speed railway bridges are required.

Keywords : pot or spherical bridge bearings, friction plate, quantitative evaluation, design criteria

초 록 최근 고속철 KTX 의 운영을 통하여 고속주행속도에 의한 동적 거동과 관련된 포트 또는 스페리컬 교량받침의 마찰판 손상 및 기능저하 등 내구연한에 미치지 못한 다양한 손상 사례가 보고되고 있다. 따라서 이에 대한 시급한 대책마련으로 국내 교량받침의 설계기준은 외형 치수 변위한계에 한정된 KS 기준만으로는 주행속도 증가에 따른 교량받침의 누적이동거리 증가 및 동적 거동으로 인한 손상에 대처하기 부족하다. 이에 대한 현실성 높은 정량적인 마찰판의 내구성 성능평가 방법의 개발이 요구된다. 국외 마찰받침 기준의 경우, 마찰판 누적이동거리 50,000m 이상에 대한 실험방법, 한계 평가기준을 통한 설계기준이 수립되어있다. 따라서 고속철 교량의 동적 거동에 대한 수치해석 결과와 관련된 현장실측자료를 함께 고려한 국내 실정에 적합한 실험방법의 개선이 요구된다.

주요어 : 포트 & 스페리컬 교량받침, 마찰판, 성능평가, 설계기준

1. 서 론

기존 국내에 상용 중인 300km/h의 KTX와 2013년 428km/h 시험주행에 성공한 HEMU와 2007년 프랑스에서 575km/h, 2011년 중국에서 487km/h의 시험운행이 성공하면서 증가 될 주행속도

[†] 교신저자: 서울과학기술대학교 공과대학 건설시스템공학과(sinhyoz@gmail.com)

* 서울과학기술대학교 공과대학 건설시스템공학과

2. 본 론

500km/h 이상의 초고속철의 상용화가 예상되며 이를 대비하여 기존에 적용되고 있는 구조물의 안정성과 주행안정성에 관한 설계기준의 대폭적인 수정과 보완이 필요하다. 스페리컬 받침 마찰판의 장기마찰실험 EN 1337-2에서 규정된 장기마찰법은 온도변화에 의한 거동과 활하중에 의한 거동으로 구분되어 적용하고, 실험속도는 온도하중에 의한 거동인 경우 저속 0.4 mm/s을, 활하중에 의한 거동인 경우 고속 2mm/s(EN 1337-2 기준)와 15 mm/s(CUAP 03.01/78 기준)를 각각 적용하고 있다. 본 실험은 실험시간의 한계로 누적이동거리 25,000m를 수행하기 위하여 고속실험에서 15mm/s를 적용하였다.

개발된 마찰실험 장치의 개입도를 Fig. 1 에 나타내었다. 실험장치의 외부는 일정한 적용온도를 유지하기 위하여 실험장치를 밀폐하였다. 압축하중은 수직 로드셀의 센서로 측정하여 $\pm 1\text{kN}$ 내로 유지하였다. 수직 로드셀 하부에 상부마찰판, 지그플레이트(+스테인레스 스틸), 하부마찰판 순서로 배치된 지그플레이트를 수평 이동시켜 수평력을 측정하였다. 수평이동을 위해 수평가력 축에 베어링을 배치하여 편심을 제어하고 이동거리는 변위계로 측정하여 일정하도록 제어하였다. 발생된 수평하중은 수평 로드셀의 센서로 출력 값을 얻었다.

시험 시편은 직경 $\phi 75\text{mm}$, 두께 8mm로 준비하며 CUAP 03.01/78에 의거 가로 13.5mm, 세로 15mm의 교차 간격으로 홈(Dimple)을 가공하며 Fig. 2 의 상하방향으로 이동시키며 마찰면에 그리스(Grease)를 도포한다. 시험시편은 고정판(Fixed plate)에 5mm 홈을 내어 상하 대칭으로 삽입하며 돌출량은 3.0mm이다.

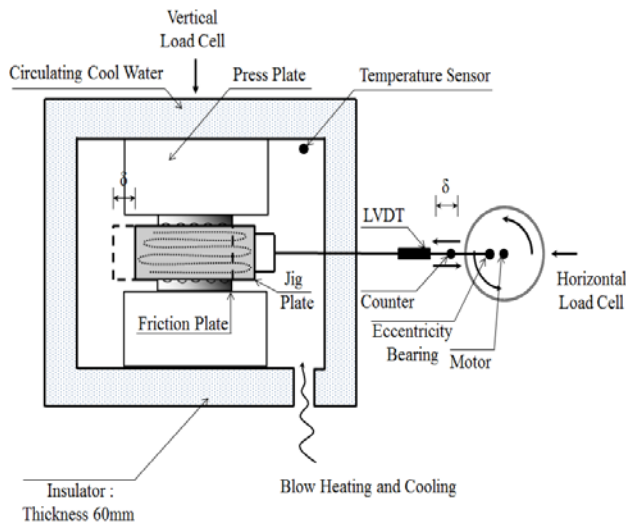


Fig. 1 Internal Structure Detail of Friction Tester

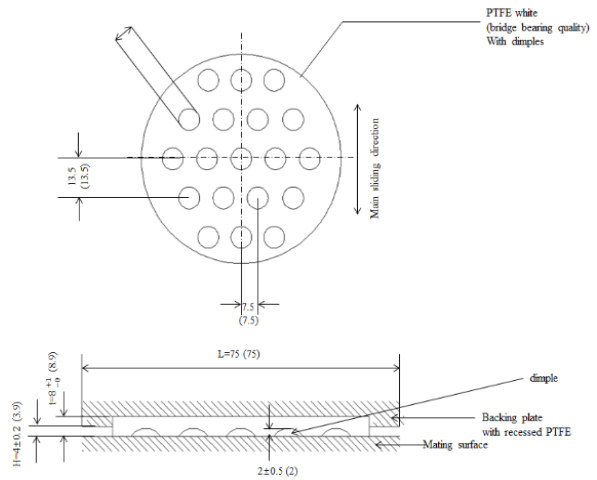


Fig. 2 Detail of Test Specimen

CUAP 03.01/78 코드의 마찰실험 조건을 Table 1 에 나타내었다. Fig. 3 에 나타낸 바와 같이, Type A를 수행하기 위한 마찰횟수가 EN 1337-2의 1100 Cycles에 비하여 1700 Cycles로 증가되며 70°C 온도구간이 추가된다.

Table 1 Friction Test Conditions (according to CUAP03.01/78)

		Type A ₁ (phase 1,3,5 Temperature)	Type B (phase 2,4,6 ...)
Contact pressure	σ_c	$0.33f_k^c$ (MPa)	$0.33f_k^c$ (MPa)
Temperature	T	+21/0/-10/-20/-35/+35/+70/+21 (± 1) ($^{\circ}\text{C}$)	21 ± 1 ($^{\circ}\text{C}$)
Temperature gradient		0.5 ± 1.0 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	0.5 ± 1.0 ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)
Preload Time	t_{bi}	1 (h)	
Sliding distance	s	$10_0^{+0.5}$ (mm)	$8_0^{+0.5}$ (mm)
Dwell time at the end of the strokes	t_0	12 ± 1 (s)	
Number of cycles	n	1700	$65000 \leq n \leq 650000$
Sliding speed	v	$0.4_0^{+0.1}$ (mm/s)	$15_0^{+0.1}$ (mm/s)
Dwell between phases	t_0	1 (h)	

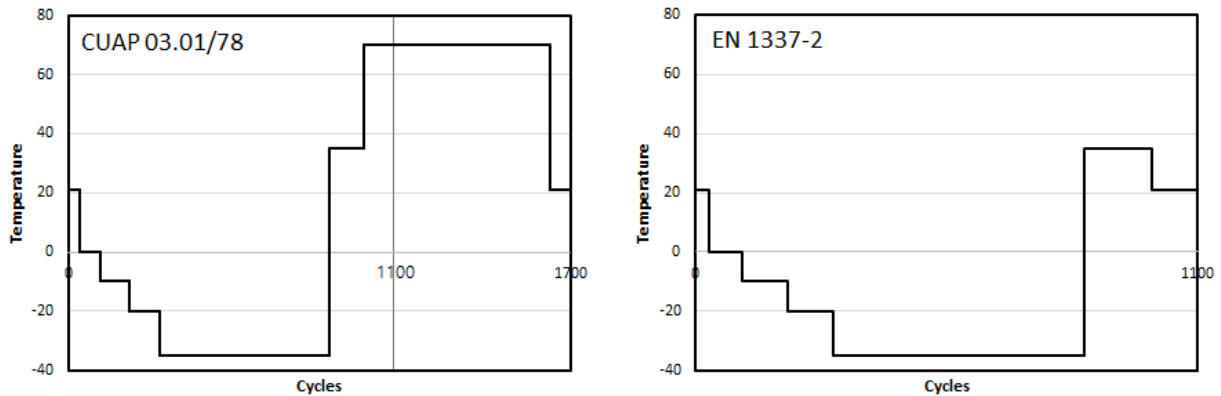


Fig. 3 Comparison between CUAP03.01/78 and EN 1337-2 for Cycles & Temperature gradation

3. 분석

마찰재 내구성 시험 종료 후 시편의 마모율, 직경 변화율 그리고 마찰계수 3가지 항목으로 구분하여 진행하였다. 시편의 마모율은 전체 두께를 기준으로 평균 약 3.27% 감소하였고, 시편의 직경 변화율은 상하부 평균 약 1.2% 증가하였다. 마모율과 직경 변화율은 재료 특성에 관한 기준에 적용, 평가하여 기준에 만족하였다.

마찰 계수는 각각의 온도에 따라 계산하였다. 마찰재에서 마찰계수의 산정은 받침의 이동이 발생하는 첫 번째 사이클의 수직하중(F_V)에 대한 수평하중의 값(F_H)의 비(Ratio)로 계산되며 무차원의 값을 가진다. 정적 마찰계수(Static friction coefficient)는 첫 번째 사이클의 최대 수평하중과 수직하중 비로 산정되고 동적 마찰계수(Dynamic friction coefficient)는 최소 수평하중과 수직하중의 비로 산정하였다.

마찰계수를 타입 별로 전형적으로 나타나는 값과 추세에서 벗어난 특정한 구간의 값을 Fig. 4에 나타내었다. 저속시험 구간에서 초반 적용온도가 내려갈수록 마찰계수가 증가되며 저온에서 고온으로 갈수록 마찰계수가 감소하였으며, 시험Phase가 진행함에 따라 마찰계수가 0.05905에서 0.6979로 증가하는 것으로 보아 온도의 영향보다 이동거리에 따른 마찰계수의 변화가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

고속실험에서는 일정 구간으로 나누어 각 구간의 최대값을 선택하여 분석한 결과 이동에 따라 Fig. 4 (b)에 나타낸 것과 같이 최초 Phase 결과와 대표결과를 비교하면, 대체적으로 마찰계수가 증가하였다. 하지만 변동 폭이 1%에서 최대 10%까지 나타나 완벽한 대칭은 이루지 않았다.

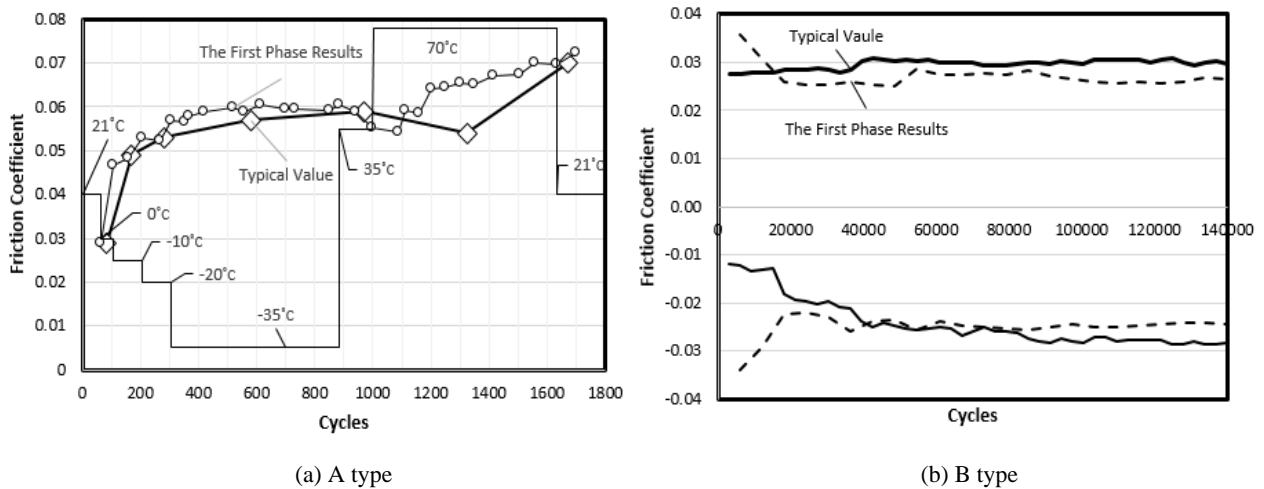


Fig. 4 Friction Coefficient for type

본 연구의 기반인 마찰판 장기마찰 실험방법, 한계 마찰계수 평가기준을 통한 설계기준이 국외의 경우 잘 수립되어있는 반면 국내 기준은 주행속도 증가에 따른 교량받침의 누적이동거리 증가 및 동적 거동으로 인한 손상에 대처하여 평가하는데 문제가 있다. 따라서 차세대 초고속철의 주행속도에 대비하고 국내 환경에 적용 가능한 교량받침 장기마찰실험법을 보완하고 개발된 실험방법과 현장 실측을 통하여 교량받침의 한계상태 성능평가기준을 개발하여야 할 것이다.

4. 결론

초고속철 주행속도에 대비하여 고속철 교량받침의 내구성 평가를 위한 국내외 설계기준을 비교하였다. EN 1337-2 와 CUAP03.01/78에서 규정된 장기마찰 실험을 비교하고 개발된 실험장치와 실험조건을 이용하여 누적이동거리 25,000m 장기마찰실험을 수행하였다. 온도하중에 의한 Type A와 활하중에 의한 Type B의 실험결과 마찰계수는 최초 Phase 결과에 의해 대표 마찰계수는 최대 10% 이내의 증가를 기록하였고 각각 0.07과 0.03의 최대 마찰계수를 측정하여 해당

실험범위 내 안정된 결과를 도출하였다. 본 실험방법에 적용된 압축하중과 실험속도 그리고 적용온도에 대하여 국내 고속철 환경에 적합한 표준으로 현장실험과 수치해석을 통한 개선이 요구된다.

참고문헌

- [1] S. T. Oh, D. J. Lee, J. H. Lee (2013) Dynamic Analysis of Wheel Forces of KTX Vehicle Running with High-Speed on the PSC Bridge, Journal of the Korea Society of Hazard Mitigation, pp. 227-283
- [2] S. T. Oh, D. J. Lee (2014) A Dynamic Analysis of Rotations at the center of Vehicle Running High Speed KTX Train on the PSC Box Bridges, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, pp. 059-067
- [3] S. T. Oh, D. J. Lee, H. J. Lee, S. H. Jeong (2015) Numerical Analysis of Accumulated Sliding Distance of Pre-Stressed Concrete (PSC) Bridge Bearing for High-Speed Railway for Ubiquitous Technology, Journal of the Korea Society of Digital Industry and Information Management, pp. 09-18
- [4] S. T. Oh, D. J. Lee, J. S. Yeon, Y. S. Kim, S. H. Jeong (2013) Dynamic Bearing Behavior Analysis of PSC Box Bridges for KTX, Proceeding of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, YangYang SolBeach Hotel Gangwon-Do, pp. 711-712.
- [5] S. T. Oh, D. J. Lee (2014) Numerical Analysis of Accumulated Sliding Distance of Pre-Stressed Concrete(PSC) Bridge Bearing for High-Speed Railway, Proceeding of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Global Plaza KyungPook National University, pp. 595-596.
- [6] H. J. Lee, S. T. Oh, D. J. Lee, S. H. Jeong (2014) Durability Evaluation of Pre-Stressed Concrete (PSC) Bridge Bearing for High-Speed Railway, Proceeding of Korean Society of Steel Construction, Bexco Busan, pp. 196-170.
- [7] S. T. Oh, D. J. Lee, K. R. Park, S. H. Jeong (2014) Durability Evaluation of Pre-Stressed Concrete(PSC) Bridge Friction Bearing for High-Speed Railway, Proceeding of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Lotte City Hotel Jeju, pp. 436-438.
- [8] S. T. Oh, D. J. Lee, S. H. Jeong, H. J. Lee, Y. S. Kim (2015) Long Term Friction Tests of Bridge Bearing for High-Speed Railway, Proceeding of Korean Society for Urban Railway, BTC Academy Busan Transportation Corporation, pp. 186-187.
- [9] Eggert. H. & Kauschke. W. (2002) Structural Bearings, Ernst and Sohn Verlag fur Architektar und Technische Wissenschaften Gmbh, Berlin Germany.
- [10] EOTA (2011) CUAP 03.01/78 - Spherical bearings with special sliding material and lubricant suitable for high operating temperatures, Building Testing and Research Institute, Brussels Belgium
- [11] Deutsche Norm (2004) DIN EN 1337-2 – Structural bearings Part 2: Sliding elements