

아스팔트 노반-슬래브 패널 마찰력 실험 및 해석모델링

Asphalt Roadbed-Slab Panel of the Friction Experiment and Analytical Modeling

최윤석*, 정우영*[†], 이진욱**, 이성혁**, 주부석*

Yun Seok Choi*, Woo Young Jung*[†], Jin Wook Lee**, Seong Hyeok Lee**, Bu Seog Ju***

Abstract As an interest in a high speed railway has been recently increasing domestically and internationally, an interest in the track from and superstructure is tremendously increasing Accordingly, the frictional force between a concrete panel and asphalt roadbed was performed and the performance about this was evaluated

Keywords : High-Speed Rail, Friction, Asphalt Roadbed, Concrete Slab, Static Analysis

초 록 최근 국내외적으로 고속철도에 관한 관심이 높아짐에 따라 궤도형태 및 상부구조체에 대한 관심이 매우 증가하고 있다. 이에 따라 콘크리트 패널과 아스팔트 노반사이의 마찰력 실험을 수행, ABAQUS를 통하여 이에 대한 성능을 평가하였다.

주요어 : 고속철도, 마찰력, 아스팔트 노반, 콘크리트 슬래브, 정적 해석

1. 서론

현재의 철도는 안전한 철도수송과 고속화 방향으로 나아가고 있으며 이에 따라 고속화, 승차감 향상, 유지보수비용 절감을 위해 하부 구조에 대한 연구에 많이 이루어지고 있으며, 현재 많이 사용되는 자갈도상 궤도와 콘크리트의 문제점을 보완하기 위한 아스팔트 노반 슬래브 궤도의 연구가 진행 되고 있다. 초기투자 비용이 콘크리트 노반에 비해 저렴하며 다소 정밀한 시공이 필요하지만 궤도강성을 높여 건설 후 유지보수를 대폭 줄일 수 있으며 장기사용 시 빈번한 보수작업 없이도 지속적으로 승객에게 쾌적한 승차감을 제공할 수 있다는 장점이 있다.

본 논문은 기존 슬래브 궤도와는 상이한 아스팔트 노반-슬래브 패널 간 부착경계조건을 실험을 통하여 경계면에서의 마찰계수 평가하고 이들 결과를 통하여 비선형 부착경계모델을 활용한 3차원 유한요소해석 모델링을 개발하여 신뢰성을 검증하였다

† 교신저자: 강릉원주대학교 공과대학 토목공학과(woojung@gwnu.ac.kr)

* 강릉원주대학교 공과대학 토목공학과

** 한국철도기술연구원 첨단인프라연구단TFT

2. 마찰력 실험

2.1 마찰력 실험 방법 및 내용

아스팔트 노반과 콘크리트 패널 사이에 발생하는 부착거동(friction contact model)을 조사하기 위하여 “콘크리트 포장의 슬래브-기층 종류별 마찰력 연구” (박문길, 2008)에서 연구한 내용을 기초로 하여 한국철도기술연구원 주관으로 아스팔트 노반 위 콘크리트 슬래브 패널의 마찰력 실험을 수행하였다.

본 실험에서는 한국철도기술연구원에서 보유하고 있는 횡 방향 재료실험기와 변형률 측정기를 사용하였으며, 크게 하중과 경계조건에 따라서 변수를 설정, 실험을 수행하였는데 아스팔트 노반-콘크리트 경계면 내 부직포를 사용하여 개선된 마찰력에 대한 성능평가와 부직포 사용 없이 재료자체의 마찰에 의한 부착저항력을 각각 평가, 조사하였다.

하중은 콘크리트 패널 횡 단면에 1.0mm/min 재하 속도로 10분간 수행하였다.

2.2 실험 시편 제작

본 실험에서 사용된 마찰력 시험체는 Figure 1과 같이 아스팔트-콘크리트 마찰 시험체를 제작하였고 아스팔트-슬래브 패널에 사이 보강용 재료로 일반적으로 사용되는 Geotextile을 사용하였다. 시험체의 형상은 Figure 2와 같으며, 실험변수 별 각각 3개씩 제작하였다.



Figure 1 Process of Friction Test

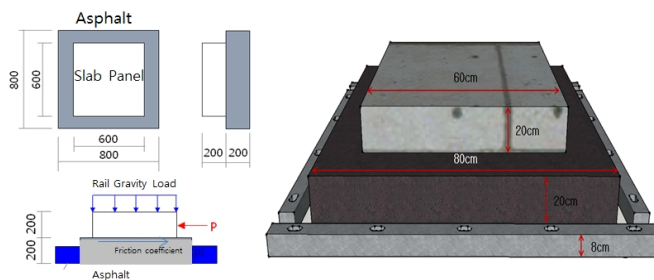


Figure 2 Deformation of Friction Test

아스팔트 노반-슬래브패널 마찰력 실험변수에 따른 상세 시험체 제원은 Table 2와 같다.

2.3 실험 결과

마찰력 실험은 각 조건별 3회씩 총 24회 실시 하여 1mm/min로 수평하중을 재하 하는것을 기본으로 실시하였다. 마찰계수는 Eq(1)과 같이 변수인 축 하중에 콘크리트 자중을 더하여 이를 실험을 통하여 얻은 횡 하중으로 나누어 구하였다. 이때 콘크리트의 자중은 1.65KN이다.

$$\text{마찰계수}(\mu) = (\text{축하중} + \text{콘크리트 자중}) / \text{횡하중} \quad (1)$$

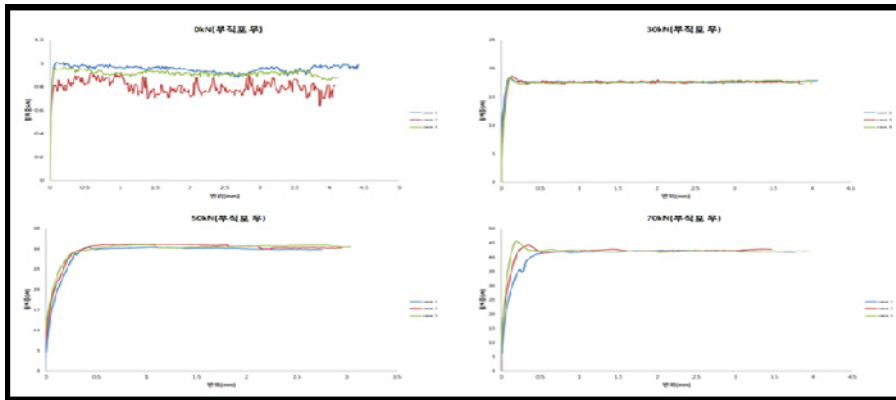


Figure 3 Load-Displacement Graph (Non-Geotextile)

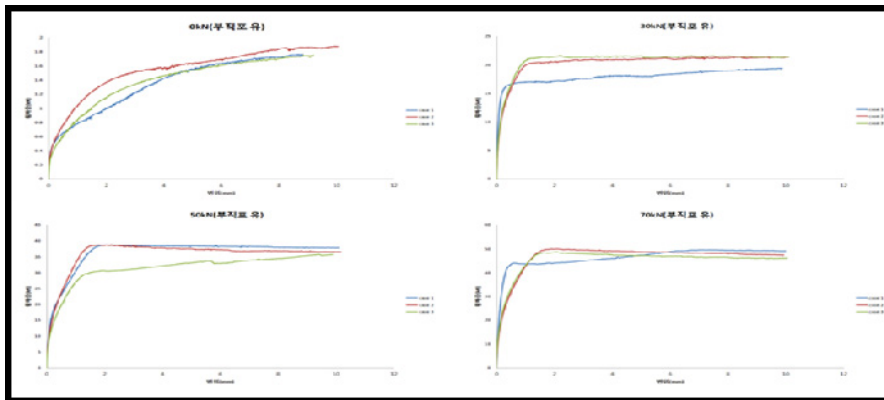


Figure 4 Load-Displacement Graph

Figure 3과 Figure 4는 부직포 여부에 따른 횡 하중- 변위 그래프를 나타낸 것이다. Table 3은 변수에 따른 횡 하중과 마찰계수의 값을 표현하고 있으며, 마찰력 실험 결과 축 하중이 증가 할수록 횡 하중이 큰 폭으로 증가하였으며, 부직포가 있을 경우가 없을 경우보다 횡 하중의 크기가 증가하는 경향을 보였으나, 부직포가 있을 경우 축 하중에 따른 횡 하중과 마찰계수의 변화가 일정하지 않았으며, 특히 축 하중 0kN의 경우 시편제작 시 부직포 부착에 따른 접착력 발생으로 인하여 초기 마찰력이 과도하게 발생하였다. 따라서 본 연구

에서는 초기 과대마찰력 값을 제외한 각 축 하중 별 마찰력 평균값을 사용하였다.

Table 1 Test Result (Non-Geotextile)

	축하중	변위 (mm)	최대 횡하중(KN)	평균		마찰 계수	비고
				변위(mm)	횡하중(KN)		
부직포가 없는 경우	0kN	0.0284	0.873	0.037	0.851	0.52	
		0.0568	0.869				
		0.0251	0.811				
	30kN	0.0928	18.538	0.154	18.869	0.60	
		0.1121	19.091				
		0.1114	18.979				
	50kN	1.0133	30.580	1.046	31.036	0.60	
		1.0895	31.371				
		1.0341	31.158				
	70kN	0.5107	41.256	0.348	43.731	0.61	
		0.3420	44.198				
		0.1927	45.740				

Table 2 Test Result (Geotextile)

	축하중	변위 (mm)	최대 횡하중(KN)	평균		마찰 계수	비고
				변위(mm)	횡하중(KN)		
부직포가 있는 경우	0kN	8.7847	1.810	8.748	1.845	1.12	
		8.3024	1.924				
		9.1583	1.800				
	30kN	9.8867	19.882	7.267	21.286	0.67	
		7.0932	21.897				
		4.8218	22.079				
	50kN	2.0560	38.941	4.555	37.989	0.74	
		2.2253	39.092				
		9.3833	35.934				
	70kN	7.1283	49.742	3.704	49.654	0.69	
		1.9008	50.263				
		2.0824	48.957				

3. 3차원 비선형 Friction Contact Model

3.1 실험결과 비교를 통한 해석모델 신뢰성 검토

본 실험에서 조사된 결과를 토대로 콘크리트 슬래브-아스팔트 부착 경계면에 대한 비선형 3차원 유한요소모델을 상용해석 프로그램인 ABAQUS library를 통하여 거동을 실제적으로 자세히 표현하였다. 3차원 해석모델링의 경우, 실제 수행된 실험결과와의 비교를 위하여 시험체 크기와 동일한 크기로 모델링하여 그 결과를 검토하였다. 수행된 ABAQUS 3D Model은 Figure 5와 같다.

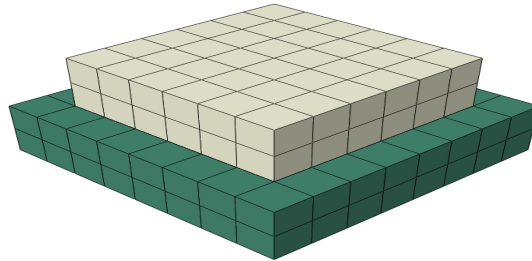


Figure 5 ABAQUS Modeling

3D 비부착 경계모델링 구축을 위하여 실제 시험체 해석 시 고려된 계면전단 콘크리트 시험체에 대한 유한요소 모델링의 경우 3차원 Solid 요소로 구성하였으며 해석의 경우 실제 실험과 동일하게 변위제어에 의하여 해석을 수행하였으며 최종적으로 계면 전단하중-변위 관계를 조사하였다.

본 해석 결과, 계면면 마찰 물성치의 경우 실제 실험 시 도출된 다양한 물성치 중 해석결과와 실험결과간 오차가 상대적으로 작은 마찰계수들을 고려하여 본 해석모델링의 최적 계면 부착모델로 적용하였다.

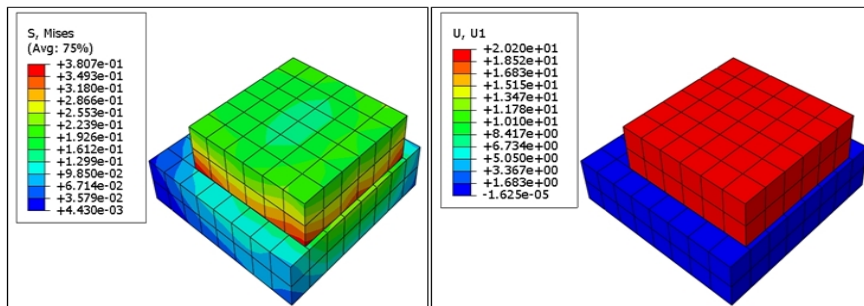


Figure 6 ABAQUS Result

Figure 6은 부착모델의 응력 및 변위 해석결과를 보여준다. Figure 7은 최종적으로 도출된 해석결과와 실제 실험결과를 비교한 그림으로 최대하중의 경우 부직포가 없을 경우 500N 정도의 차이가 발생했고 부직포가 있을 경우 보다 더 실험 치와 근사한 값을 보였다. 따라서 본 논문에서 제시한 3차원 경계부착 유한요소 모델링의 경우 실험결과와의 비교를 통하

여 해석모델에 대한 신뢰성을 검토하였으며 향후 충전제 없이 직결궤도용으로 개발 예정인 아스팔트 궤도용 슬래브의 설계 및 해석 시 보다 높은 구조성능 예측 및 신뢰성을 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

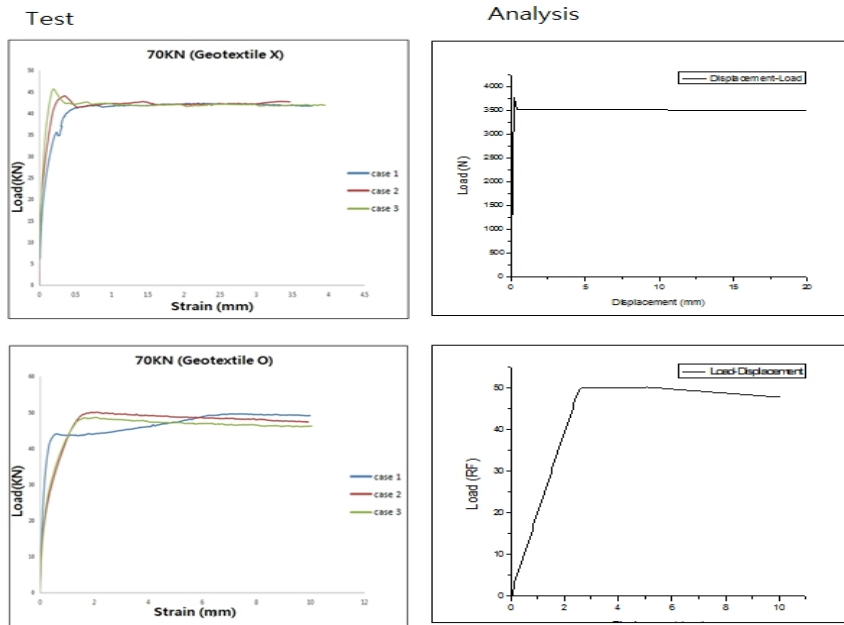


Figure 7 comparison of Analysis and Test

3. 결론

- 아스팔트-콘크리트 슬래브 패널 부착경계 마찰력 실험을 경계부착특성에 맞도록 실험을 수행하였으며 그 결과 축 하중이 증가 할수록 횡 하중이 큰 폭으로 증가하였으며, 부직포가 있을 경우가 없을 경우보다 횡 하중의 크기가 증가하는 경향을 보였으나, 부직포가 있을 경우 축 하중에 따른 횡 하중과 마찰계수의 변화가 일정하지 않았으며, 이는 부직포의 영향이 큰 변수로 작용한 것으로 보인다.
- 실험 결과를 토대로 비부착 경계면에 대한 비선형 유한요소 모델링을 개발하였다. 개발된 비선형 부착경계 해석모델링의 경우 실험결과와의 비교를 통하여 신뢰성을 검토하였으며 향후 아스팔트 궤도구조용 슬래브의 설계 및 구조해석에 보다 정밀한 해석결과를 제공할 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] Korea Railroad Research Institute, (2013) A development of railway asphalt roadbed and track system corresponding to high-speed trains
- [2] Park, Moon Gil Park, Sang Gu, (2008) A Study on Friction between Slab and Different Types of Base of Concrete Pavement, Ksre collection of dissertations
- [3] ABAQUS library