

혹서기 장대레일 궤도의 레일온도에 따른 열차운행속도

장윤재*, 박종찬*, 배현웅**, 임남형*

*충남대학교

** (주)로드키네마틱스

e-mail:happybeer174@naver.com

Train Speed according to Rail temperature of CWR track in hot weather

Yun-Jae Chang*, Jong-Chan Park*, Hyun-Ung Bae**, Nam-Hyoung Lim*

*Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University

**Road Kinematics Co., Ltd.

요 약

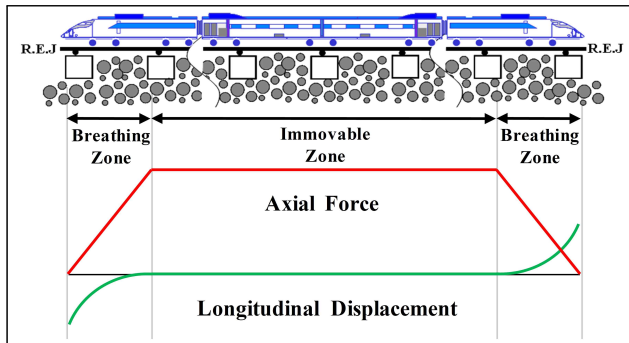
최근 여름철 기후 상승으로 인해 레일의 온도가 기준치 이상으로 상승하는 경우가 빈번하게 발생한다. 이러한 이유로 혹서기 열차의 속도를 제한하는 사례가 발생한다. 이는 혹서기 레일온도에 따른 열차운행속도를 단순히 레일온도에 따라 운행을 제한하기 때문이다. 장대레일 궤도의 좌굴은 기후조건 및 유지보수작업 조건 등에 따라 변동하는 불확실성이 높은 궤도 매개변수의 영향을 받는다. 본 논문에서는 장대레일 궤도의 좌굴 확률 평가 시스템을 개발하여 혹서기 고속철도의 열차운행속도를 제안하였다.

1. 서론

장대레일(Continuous Welded Rail, CWR)은 기존 레일을 연속적으로 용접하여 이음매를 제거한 레일(고속철도 300m이상)로 소음 및 진동의 발생감소, 궤도재료의 손상감소, 승차감 양호, 궤도보수주기 연장, 열차의 고속화 및 수송력 강화 등 많은 장점을 갖는 궤도구조이다. 이와 같이 장대레일은 신축이음을 용접함으로써 이음부에서 발생하는 문제점을 원천적으로 해소할 수 있는 장점을 가지고 있지만 레일의 길이방향 신축거동에 따른 구조적인 문제점을 갖게 된다.

종방향 길이가 긴 레일은 체결장치에 의해 도상, 침목 등에 이중 탄성 체결되는 특성으로 인하여 양단 약 150m 이후의 구간에서 온도변동에 따른 신축의 영향을 받지 않는 부동구간이 발생하게 된다. 부동구간에서는 온도변동 시 레일의 자유팽창 및 수축이 구속되므로 레일의 길이방향으로 과도한 축력이 발생하게 된다[그림 1].

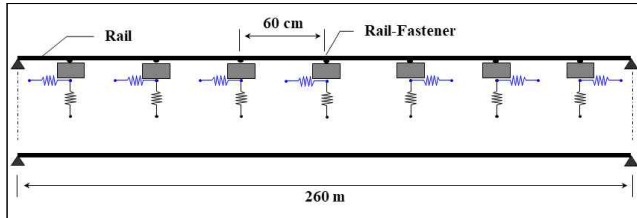
과도한 축력은 혹서기 궤도의 좌굴을 유발시켜 열차의 안전을 위협한다. 그리하여 현재 혹서기 열차운행속도 제한은 레일온도에 따라 안전측으로 규제하고 있다. 하지만 궤도 좌굴은 단순히 레일온도 상승으로 인한 과도한 축력으로 발생하는 것이 아닌 주행열차의 사행동, 궤도틀림 그리고 궤도의 기하학적 조건들 또한 좌굴에 상당한 영향을 미치고 있다. 실제 현장에서 위와 같은 궤도 조건들은 온도, 열차운행조건, 궤도유지관리 등 다양한 영향인자에 의해 그 특성들이 불확실하게 변화한다. 그러므로 궤도 구정인자들의 불확실성 및 임의성을 보다 합리적으로 고려하기 위해서 확률론적 기법을 적용하였다. 그리하여 본 논문에서는 장대레일 궤도의 좌굴확률평가 시스템을 개발하여 혹서기 고속철도의 열차운행속도를 확률론적 기법을 반영하여 제안하였다.



[그림 317] 레일 신축 거동

2. 궤도의 허용좌굴온도 모델링

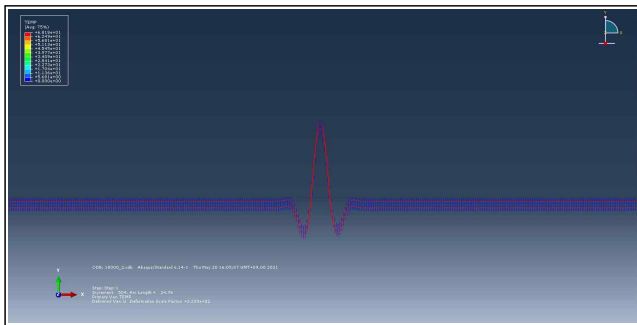
궤도의 허용좌굴온도 도출을 위해 다음 그림 2와 같은 F.E. 좌굴 해석 모델을 작성하였다[그림 2].



[그림 2] 좌굴 해석 모델

적용된 궤도는 RHEDA 2000 자갈궤도이며 레일은 KR60, 체결장치는 자갈궤도용 E-Clip, 침목은 콘크리트 침목, 궤간은 표준궤간 그리고 침목 간격은 0.6m이다. 궤도의 물성치는 국내의 문헌을 참고하였다.

궤도의 허용좌굴온도 도출을 위한 해석 프로그램은 범용 유한요소 프로그램인 ABAQUS 2019를 사용하였으며 Riks method를 사용하였다[그림 3].



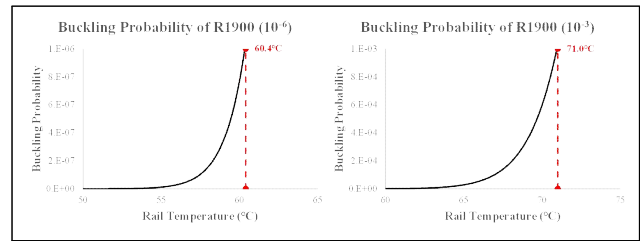
[그림 3] 좌굴 해석(Scale Factor=200)

3. 고속철도 열차운행속도

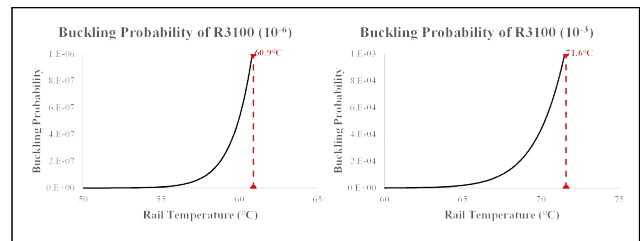
3.1 고속철도 좌굴취약도 평가

선로유지관리지침과 철도의 건설기준에 관한 규정에 따라 곡선반경이 R1900이상 되는 궤도를 선정하였다. 마지막으로 실제 국내 고속철도의 곡선반경을 선로일람약도를 통해 확인해 본결과 역 인근을 제외하고는 곡선반경이 R1900 이하인 구간이 존재하지 않는다. 또한 곡선반경의 경우 약 R3100 이상에서 점점 증가하는 폭이 줄어들기 때문에 고속철도에서 좌굴 확률분석은 안전측으로 곡선반경 R1900, R3100 두 가지로 나

누어 분석하였다.



[그림 4] R1900에서의 좌굴확률 (10^{-6} & 10^{-3})

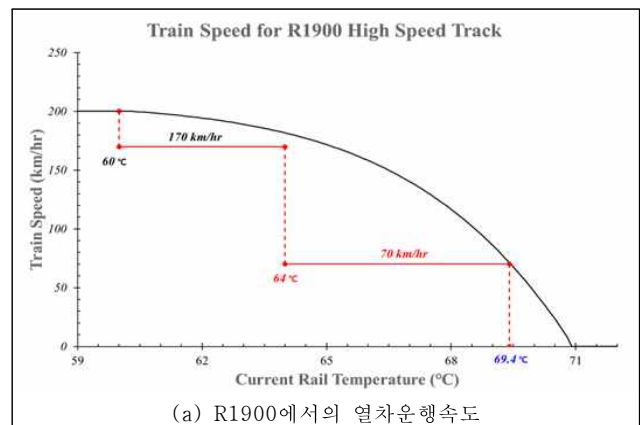


[그림 5] R3100에서의 좌굴확률 (10^{-6} & 10^{-3})

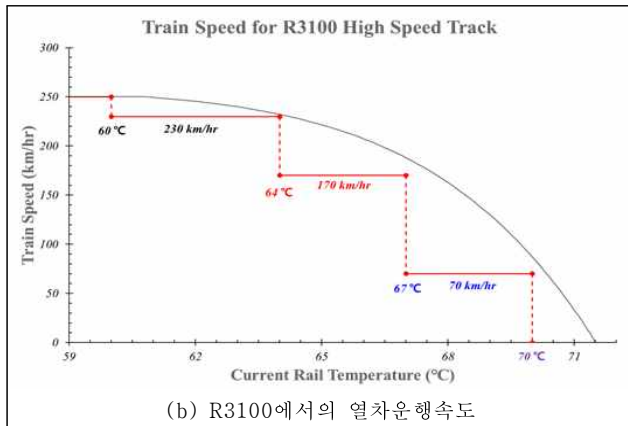
좌굴확률분석 결과 전체적인 양상은 동일하게 지속되는 것을 볼 수 있으며 동일한 좌굴확률에서 R3100 궤도가 R1900에 비해 약 0.5~1.0°C 가량 높을 것을 확인하였다[그림 4][그림 5].

3.2 좌굴확률을 통한 열차운행속도 제안

국외의 연구에서 좌굴 발생에 의한 피해정도와 차량운동에너지의 관계를 이론적으로 가정하였다. 이에서는 열차속도규제 온도(T_{Cr})는 열차운행속도의 규제가 시작되는 확률의 온도로 10^{-6} 을 사용하고 있다. 먼저 R1900 궤도의 경우 최대 설계속도가 200km/h이다. 여기서 고속철도의 열차속도 체계가 70 → 170 → 230 → 300km/h으로 주행하도록 설계되어있다. 그리하여 알맞은 열차운행속도로 감속하여 열차가 주행하도록 분석하였다.



(a) R1900에서의 열차운행속도



[그림 6] 좌굴확률분석을 통한 열차운행속도 곡선

R1900이상 구간에서의 열차운행속도 분석결과 [그림 6]과 같이 60°C에 도달하게 되면 170km/h으로 주행하도록 하며, 60~64°C 구간에서는 70km/h의 속도로 주행하도록 한다. 또한, R3100 궤도의 경우 60°C [그림 6]과 같이 이전까지 최고속도로 주행하다가 60~64°C 구간에서는 230km/h, 64~67°C 구간에서는 170km/h, 67~70°C 구간에서는 70km/h으로 주행할 수 있으며, 70°C 이상이 되면 열차운행을 제한해야 한다[표 1].

[표 18] 레일온도에 따른 열차운행속도(제한)

열차운행제한	레일온도 (제한)	
	R1900~R3100	R3100이상
관찰	50°C 이상 60°C 미만	50°C 이상 60°C 미만
230km/h	60°C 이상 64°C 미만	60°C 이상 64°C 미만
170km/h	(170km/h)	64°C 이상 67°C 미만
70km/h	64°C 이상 70°C 미만	67°C 이상 70°C 미만
STOP	70°C 이상	70°C 이상

감사의 글

본 연구는 ‘폭염대비 선로안정성 강화를 위한 기준개정’ 연구용역의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 장윤재, “레일온도에 따른 고속철도 열차의적정 운행속도에 관한 연구”, 충남대학교 석사학위논문, 2021년.
- [2] 배현웅, “장대레일 궤도의 좌굴 위험도 분석을 위한 좌굴확률 평가시스템”, 충남대학교 석사학위논문, 2011년.
- [3] 장윤재, “장대레일 궤도 조건에 따른 좌굴민감도 분석”, 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp. 332-333, 11월, 2019년.

- [4] 한국철도공사, “고속철도 운전취급 세칙”, 6월, 2020년.
- [5] 국가철도공단, “선로유지관리지침”, 12월, 2018년.
- [6] 국토교통부, “철도의 건설기준에관한 규정”, 7월, 2020년.
- [7] International Union of Railways, “UIC Code 720 R”, 2005.
- [8] A. Kish and G. Samavedam, “Risk Analysis Based CWR Track Buckling Safety Evaluations”, AREMA Track and Structures Technical Conference, 1998년.
- [9] ERRI Specialists’ Committee D 202 and M. A. Van, “Stability of Continuous Welded Track”, European Rail Research Institute(ERRI) D 202/RP 4, 1999년.