

일반철도의 후서기 열차운행속도에 대한 연구

장윤재*, 박종찬*, 배현웅**, 임남형*
 *충남대학교
 **(주)로드키네마틱스
 e-mail:happybeer174@naver.com

A Study on the Train Speed of Hot Weather in General Railways

Yun-Jae Chang*, Jong-Chan Park*, Hyun-Ung Bae**, Nam-Hyoung Lim*
 *Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University
 **Road Kinematics Co., Ltd.

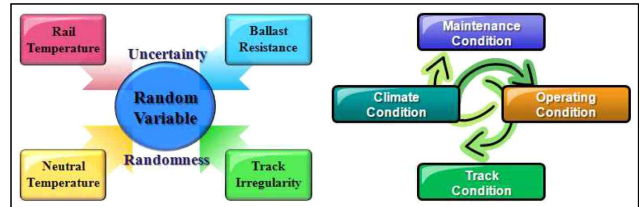
요약

최근 궤도는 장척레일에서 장대레일(CWR) 궤도는 기존의 레일 궤도의 취약점인 이음매를 용접을 통하여 원천적으로 해결하고 있다. 하지만 여름철 레일의 온도가 기준치 이상으로 상승하는 경우 장대레일은 좌굴에 취약해 열차운행을 제한해야 한다. 이에 반해 국내에는 일반철도의 레일온도에 따른 열차운행 규정이 따로 존재하지 않는다. 다만 일본에서의 레일 축력과 레일온도의 관계식을 대입하여 측정 도상횡저항력에 대한 궤도 좌굴온도를 산출된 열차운행속도를 고속철도와 일반철도 구분하지 않고 반영하고 있다. 하지만 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 후서기 일반철도에서 레일온도 상승에 따른 열차운행을 검토하였다.

1. 서론

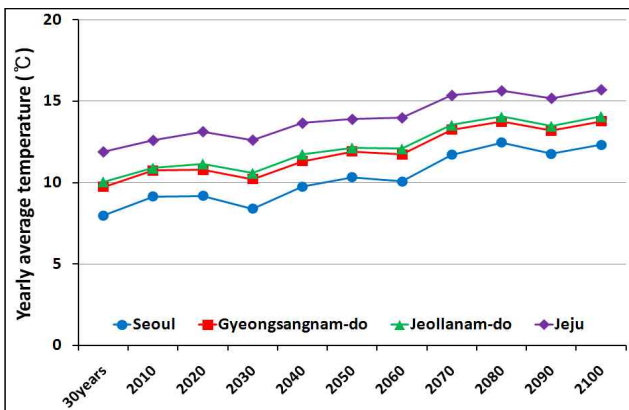
지구온난화 등 복합적인 이유로 인해 전 세계적으로 여름철 대기온도 상승이 가속화되고 있다. 국내 기상청 보도에 따르면 1912년부터 여름철 대기온도가 점차 증가하고 있으며, 겨울에 비해 여름이 늘어났다고 보고하였다. 이러한 여름철 대기온도 상승은 레일온도 상승에 직접적으로 영향을 미친다. 온도에 의한 레일축력은 1°C에 18.72kN 씩 부과된다.

면 2100년 연평균대기온도는 약 5°C 가량 증가할 것으로 예측된다[그림 1].



[그림 2] 궤도 매개변수의 불확실성

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, 열차운행 조건, 궤도유지관리 등 다양한 영향인자에 의해 그 특성들이 불확실하게 변화한다. 그러므로 궤도 구성인자들의 불확실성 및 임의성을 보다 합리적으로 고려하기 위해서 확률론적 기법을 적용하였다. 그리하여 본 논문에서는 장대레일 궤도의 좌굴확률평가 시스템을 개발하여 후서기 일반철도의 열차운행속도를 확률론적 기법을 반영하여 제안하였다[그림 2].

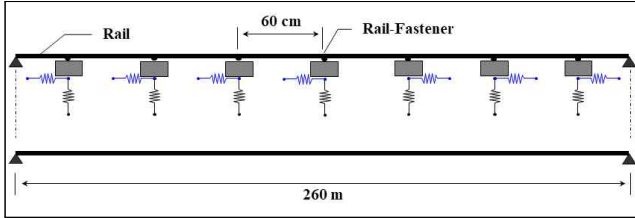


[그림 301] 레일 신축 거동

국립기상연구소에서 지난 30년 동안 평균 대기온도를 기반으로 지역기후모델을 적용한 A1B시나리오의 분석결과에 따르

2. 허용좌굴온도 모델링

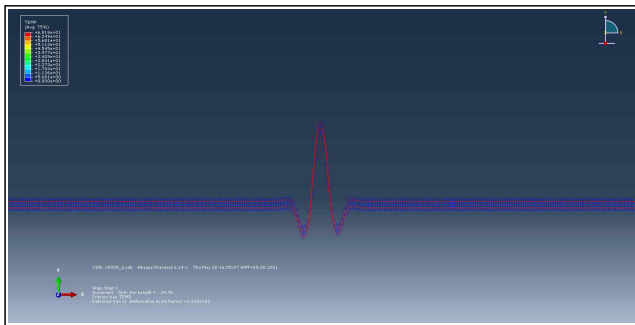
궤도의 허용좌굴온도 도출을 위해 다음 그림 3와 같은 F.E. 좌굴 해석 모델을 작성하였다[그림 3].



[그림 3] 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 국내외 문헌을 참고하였다.

궤도의 허용좌굴온도 도출을 위한 해석 프로그램은 범용 유한요소 프로그램인 ABAQUS 2019를 사용하였으며 Riks method를 사용하였다[그림 4].



[그림 4] 좌굴 해석(Scale Factor=200)

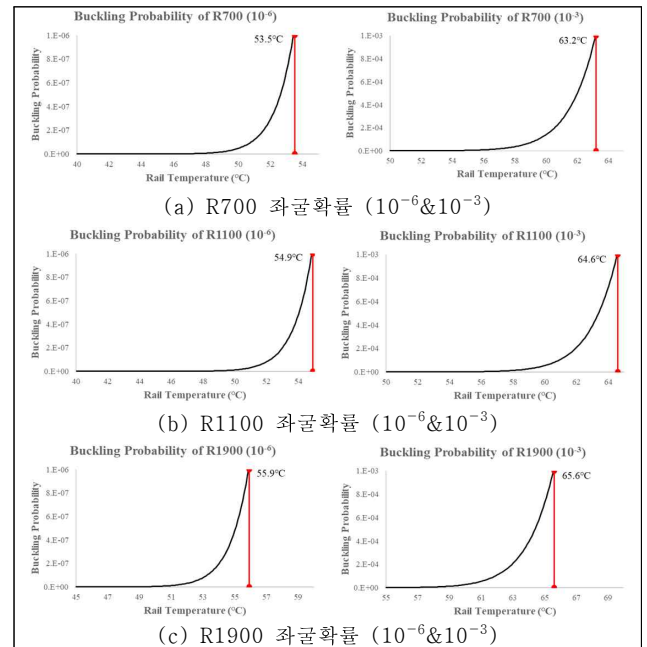
3. 좌굴취약도 분석을 통한 열차운행속도

일반철도는 고속철도와 달리 다양한 열차와 궤도로 구성되어 있다. 이를 해결하기 위해 실제 사용하고 있는 KR60과 50N 레일 그리고 여객열차와 화물열차를 동일한 환경에서 분석해 본 결과 KR60 그리고 화물열차를 선정할 모델이 가장 위험도가 크기에 이를 기준으로 레일온도에 따른 열차운행속도를 제안하고자 한다.

3.1 일반철도 좌굴취약도 분석

일반철도의 좌굴취약도 분석을 위해 필수적으로 선행되어야

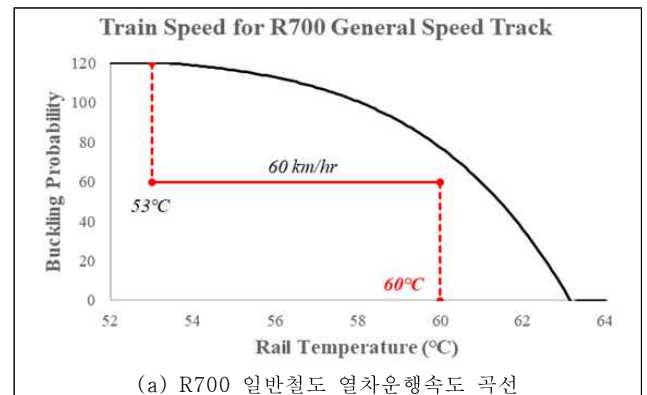
하는 요소는 도상횡저항력 값을 지정하는 것이다. 현재 일반 철도의 도상횡저항력 값은 500 kgf per m rail을 만족하도록 하는 기준이 있다. 하지만 이 또한 일본의 기준을 반영한 것이다. 하지만 일본에서는 이 값을 산악 및 특수 지형에서의 도상횡저항력으로 구분하고 있으므로 국내에 곧바로 적용하는데 옳바르지 않다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 500~900kgf per m rail에서의 분석을 통해 현재 상황에 맞는 도상횡저항력을 제시하였으며, 이 값은 평균값 800kgf per m rail 그리고 최소값이 560kgf per m rail을 만족하도록 제안하였다[그림 5].



[그림 5] 800 kgf 에서의 일반철도 좌굴취약도 분석

3.2 일반철도 열차운행속도 제안

일반철도의 경우 곡선반경이 다양하게 분포한다. 이때 곡선 반경을 R700, R1100, R1900 3개의 경우로 나누어 분석한다.



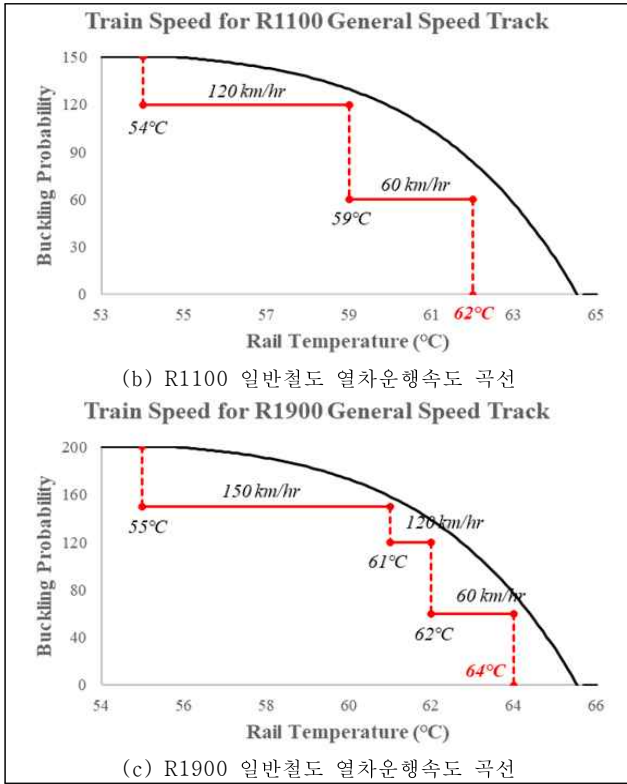
(a) R700 일반철도 열차운행속도 곡선

감사의 글

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

참고문헌

- [1] 장운재, “레일온도에 따른 고속철도 열차의적정 운행속도에 관한 연구”, 충남대학교 석사학위논문, 2021년.
- [2] 배현웅, “장대레일 궤도의 좌굴 위험도 분석을 위한 좌굴 확률 평가시스템”, 충남대학교 석사학위논문, 2011년.
- [3] 최진유, “기후변화에 대비한 장대레일 온도특성 연구”, 한국철도학회논문집, 제13권, 제2호 pp. 179-185, 2010년.
- [4] 국립기상연구소, “A1B 시나리오에 따른 한반도 기후변화 시나리오 자료”, NIMR 기후연구과, 2009년.
- [5] International Union of Railways, “UIC Code 720 R”, 2005.
- [6] A. Kish and G. Samavedam, “Risk Analysis Based CWR Track Buckling Safety Evaluations”, AREMA Track and Structures Technical Conference, 1998년.
- [7] ERRI Specialists’ Committee D 202 and M. A. Van, “Stability of Continuous Welded Track”, European Rail Research Institute(ERRI) D 202/RP 4, 1999년.
- [8] 한국철도공사, “고속철도 운전취급 세칙”, 6월, 2020년.
- [9] 국가철도공단, “선로유지관리지침”, 12월, 2018년.
- [10] 국토교통부, “철도의 건설기준에관한 규정”, 7월, 2020년.



[그림 6] 800 kgf 에서의 일반철도 좌굴취약도 분석

[표 17] 레일온도에 따른 열차운행속도(제한)

속도제한	분석결과		
	R700	R1100	R1900
주의운전	50 ≤ T < 53	50 ≤ T < 54	50 ≤ T < 55
V ≤ 200km/h	-	-	-
V ≤ 150km/h	-	-	55 ≤ T < 61
V ≤ 120km/h	-	54 ≤ T < 59	61 ≤ T < 62
V ≤ 60km/h	50 ≤ T < 60	59 ≤ T < 62	62 ≤ T < 64
STOP	60°C 이상	62°C 이상	64°C 이상

곡선반경에 따른 열차운행속도 분석 결과는 [그림 6]과 같다. 또한, 이를 현장에 적용하기 위해 표로 정리한 것은 [표 1]과 같다. 하지만, [표 1]은 현재 현장에 즉각 적용하기에는 다양한 문제가 있으므로 일반철도의 열차운행속도에 관한 추가적인 연구가 필수적이다.