

한국형 고속전철 연결링의 주행시 응력변화에 대한 안정성 평가

Safety Evaluation of Stress Variation of Carrying Ring of Running Korean High-Speed Train

김승철* 이용우** 서승일***
Seung Chul Kim Yong-Woo Lee Sung-Il Seo

ABSTRACT

The connecting ring of Korea High Speed Train(KHST) have been evaluated the safety for fluctuating strain when it was driving. The strain gauges are mounted on the weak points of the connecting ring. We proceed the spectrum analysis for each weak points using the evaluated fluctuating strain data both on the high speed line and on the conventional line. The result from comparison between the high speed line and the conventional line data shows that the travelling on the high speed line receive bigger strain than the conventional line. Also, the car body joint sections and the side of the connecting ring receive the strong strain.

1. 서론

G7 객차의 연결부는 재래식 차량과는 달리 견인력, 제동력 및 차체 전체의 지지력이 발생하는 부위이며 지속적인 인장 압축하중을 지탱하여야 하고 차량간 및 차체 대차간의 관절 역할 과 승객 이동의 통로 역할을 하는 중요한 메커니즘을 제공하는 장치이다. 본 실험에서는 연결부 중 Carry Ring의 고속선과 기존선에서의 주행 중 strain을 측정하여 설계시 한계 하중과 비교하여 안전성을 검증하였다.

2. 한국형 고속철 연결링 제원 및 사전 해석

2.1 한국형 고속철 연결링 구성과 기능

Ring은 차체와 차체의 연결부위를 통틀어 말하며 운반링, 고정링, 그리고 이들을 결합시켜주는 핀, 관절, 그리고 대차와의 연결부 및 Air Bag 지지부 등으로 구성된다. 그리고 승객의 차안 이동 통로로 이용되며 3점 지지 차량에서는 견인력 및 제동력을 전달하는 주요한 기계적 연결부위이다.

삼점지지의 한 축은 고정링에서, 나머지 두곳은 이차현수장치에서 지지되며 다시 고정링은 차체절반의 무게로 운반링에 전달되며 등가의 반력이 Air Bag Support에 작용하는 힘의 구조를 이루고 있으며 운반링 프레임의 하부 King Pin은 대차 Pivot과 연결되어 제동력 및 견인력을 전달한다.

* 과학기술연합대학원대학교(UST) 박사과정

sckim@krri.re.kr

** 연세대학교 기계공학과 석사

*** 한국철도기술연구원 단장

그림 1은 관절대차의 개략적인 구조도를 나타내고 있다. 관절대차는 고정링(①)과 운반링(②)의 조합으로 구성되어 있으며, 링은 객차에 고정되어 있으며 우측의 원형부분에 고정링이 위로 얹혀지게 된다. A-S7G0.6 T6의 재질로 사형 주조를 통하여 제조되었다.

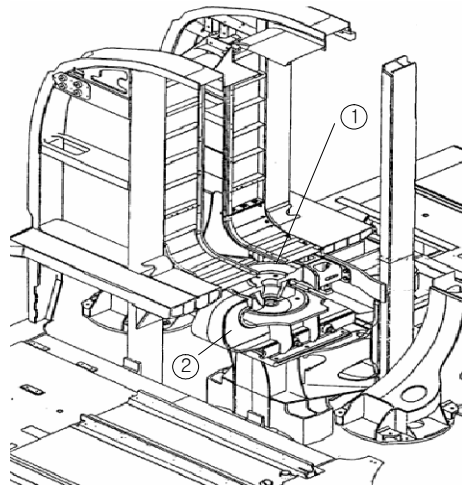


그림 1 관절대차의 구조도

2.2 응력 spectrum의 결정

철도차량 주행시 차량과 링에 작용하는 하중은 그림 2와 같이 간략화 된다. 링에 대한 stress spectrum에 의한 수명 평가시 링에 작용하는 하중은 차량 진행 방향이나 차량 진행 방향에 대한 좌우 방향의 하중에 대해서는 고려하지 않았으며, 상하 방향의 동하중만을 고려하였다.

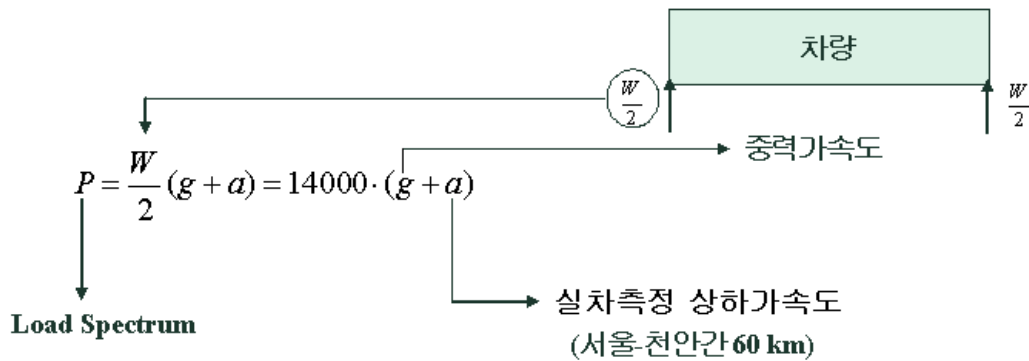


그림 2 차량에 작용하는 load spectrum

그림 2의 load spectrum 식으로부터 한국형 고속전철 시운전시험에서 측정한 광명역-천안아산역간 74km 구간에서의 상하 방향의 가속도 spectrum을 통해 load spectrum이 구해짐을 알 수 있다. 이것을 이용하여 응력 spectrum은 응력과 하중간에 선형성을 가정하여 추가적으로 발생하는 응력 스펙트럼은 비례적으로 식(1)에 의하여 구하여진다.

$$\sigma' = \left(1 + \frac{a}{g}\right) \sigma_0 \quad (1)$$

여기서,

σ' = 응력 spectrum (kgf/mm^2)

a = 실차측정상하가속도 (m/s^2)

$g = \text{중력가속도 (m/s}^2\text{)}$

$\sigma_0 = \text{구조해석에서의 응력값 (kgf/mm}^2\text{)}$

이와 같은 관계를 통해 그림 3는 수직하중만을 고려한 상태에서의 응력 spectrum을 보여주고 있다. 여기서 응력은 주응력을 의미한다.

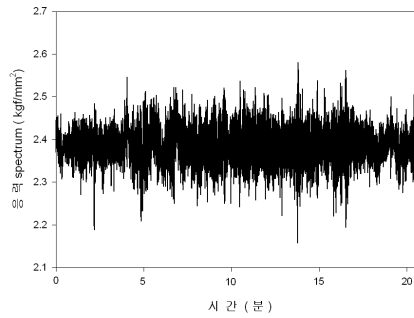


그림 3 응력 spectrum

3. 주행중 응력 측정

G7 열차의 carrying ring에 대하여 스트레인 게이지를 부착하여 고속선 및 기존 선로에서 실제 주행중 변형률값을 측정하였다. 또한 실제 가속도계를 부착하여 유한 요소 해석을 통해 주행시에 대한 응력 spectrum을 선형적으로 도출 할 수 있도록 하였다.

3.1. 게이지 부착 위치

그림 2.1.22는 철도기술연구원에서 실제 스트레인 게이지를 부친 위치에 대한 개략도이다. 각각의 위치는 본 연구의 1차년도 결과 및 취약 판단위치에 따라 결정되었으며, 각각의 실제적인 위치는 그림 4에서 보여주고 있다. 각각의 게이지는 3축방향의 로제트를 부착하였다. 각각의 위치 및 축 방향을 고려하여 유한요소 해석의 결과를 바탕으로 응력 spectrum 도출하였다.

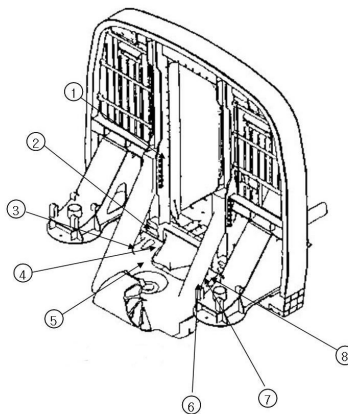


그림 4 게이지 부착 위치

3.2. 변형률 spectrum의 측정

실제 시험에 의한 변형률 spectrum측정은 표 3와 같이 측정되었다. 측정은 고속선 주행시와 기존선 주행시로 구분하였다. 각각의 주행에 따른 분류는 실제 G7 주행시 굴곡이 거의 없는 고속선에서는 최대

속도 300km/h로 운행되며, 굴곡이 비교적 많은 기존선에서는 최대속도 150km/h로 운행된다. 굴곡이 많은 기존선에서는 속도는 비교적 낮으나 굴곡에 따른 진동이 고속선에 비해 비교적 높으며 주행 조건 또한 상당히 다르기 때문에 각각에 대해 측정되었다.

표 3 게이지 위치별 시험 구간

선로	구간	Strain Gauge No.
고속선	광명-동대구	2
	동대구-광명	3
	광명-오송	4
	오송-광명	5
	동대구-광명	6
	광명-오송	7
	동대구-광명	8
	기존선	목포_오송
광명-목포		2
목포_오송		3
광명-목포		4
목포_오송		5
목포_오송		6
광명-목포		7
광명-목포		8

3.3. 응력 spectrum 계산

실제 시험에 따른 변형률은 식 9에 의해 계산되었다. 식 2에서 bridge excitation in volts는 10V이며, amplifier gain은 800, gage factor of the strain gage는 2.08로 계산 되었다.

$$V_{OUT} = V_{br} \times A \times K / 4 \times \mu\epsilon \times 10^{-6} \quad (2)$$

여기서 ,

V_{OUT} : amplifier output in volts (at + - 10v output)

V_{br} : bridge excitation in volts

A : amplifier gain

K : gage factor of the strain gage

$\mu\epsilon$: strain in microstrain (microinches/inch)

식 2에 의해 계산된 변형률을 선형적으로 계산하여 A-S7G0.6 T6의 탄성계수인 $7300kgf/mm^2$ 를 곱하여 응력 spectrum을 도출하였다. 응력 spectrum은 주응력으로 계산되었다.

4. 응력 spectrum에 따른 수명 평가

4.1. 응력 spectrum 결정

그림 5는 고속선에서 게이지별 실제 측정된 응력 스펙트럼과 유한 요소 해석에 따른 응력 spectrum을 보여주고 있으며 그림 6는 기존선로에서의 응력 spectrum을 보여주고 있다. 응력 spectrum은 구간별 추출하지 않고 실제 운행한 전 구간에 대하여 도출하였다.

그림 5에서 2번 및 8번에서의 응력 spectrum이 비교적 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이 부분들은 그림 4에서 알 수 있듯이 ring구조물과 객차의 연결부위에서 나타남을 알 수 있다. 다른 위치의 게이

지에서는 비교적 안정한 값의 spectrum을 보여주고 있음을 볼 수 있다.

또한 그림 6에서 알 수 있듯이 기존 선로 구간에서는 비교적 안정한 값 이내로 응력 spectrum이 분포하고 있음을 알 수 있다. 실제 측정된 응력 spectrum과 유한요소 해석을 통한 응력 spectrum의 결과는 유사한 경향을 보임을 알 수 있다.

4.2. 응력 spectrum에 따른 수명 평가

피로 신뢰성 프로그램을 기반으로 하여 각각의 위치에 따라 수명을 예측 평가하였다. 평가의 절차는 1차년도 보고서와 같이 1000만km를 목표 수명으로 하고 표 4는 게이지의 위치 및 선로별 damage값을 나타내고 있다.

표 4 게이지의 위치 및 선로별 damage 값

게이지 \ 조건	고속선	기존선
	실측값	실측값
1	-	0
2	4.07e+02	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	1.95e+02	4.06e+12

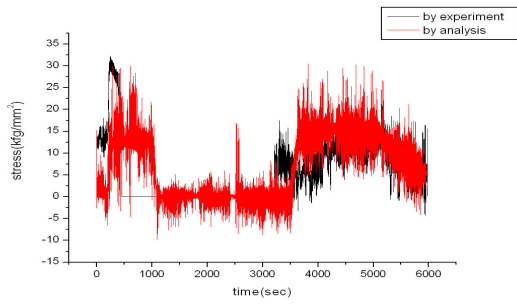
표 4의 결과에서 볼 수 있듯이 고속선의 경우 2번 게이지와 8번 게이지에서 다른 부분보다 큰 응력을 받는 것을 알 수 있다. 그리고 기존선로 구간에서도 8번 게이지에서 큰 응력을 받는 것으로 나타났다. 이 부분들은 관절대차의 링 모델과 차체의 연결부로 좀 면밀한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

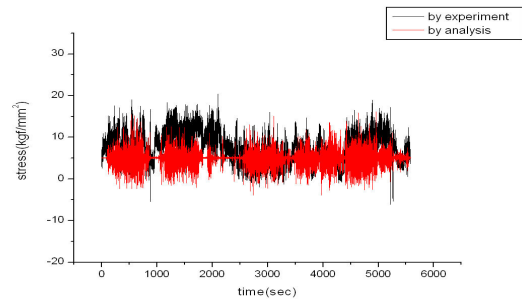
1. 링의 주행시 하중변동은 주행가속도에 영향을 받는다.
2. 링은 고속선 주행시 기존선 주행시보다 더 큰 응력을 받는다. 이는 고속선 주행시 가속이나 제동시 가속도가 기존선 주행시보다 더 크기 때문이다.
3. 차체 연결부에서는 다른 측정부분에 비하여 더 큰 응력을 받는다.

6. 참고문헌

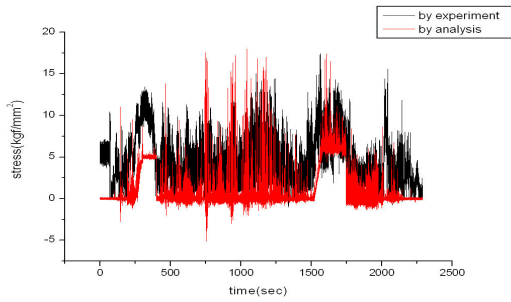
- (1) Kang Yong Lee and Taek Sung Lee “Fatigue Limits of Crack Initiation and Propagation at Notched Plate,” Engineering Fracture Mechanics, Vol.25, No.1, pp.111-114, 1986.
- (2) Kang Yong Lee “Cyclic AE Count Rate and Crack Growth Rate under Low Cycle Fatigue Fracture Loading,” Engineering Fracture Mechanics, Vol.34, No.5/6, pp.1069-1073, 1989.
- (3) Kang Yong Lee and Gun Young Kim “Fatigue Crack Growth in Consideration of Mean Stress and Damage Accumulation,” Engineering Fracture Mechanics, Vol.46, No.1, pp.165-171, 1993.
- (4) KIMM, ‘객차개발 (차량 연결부설계)’, 보고서)



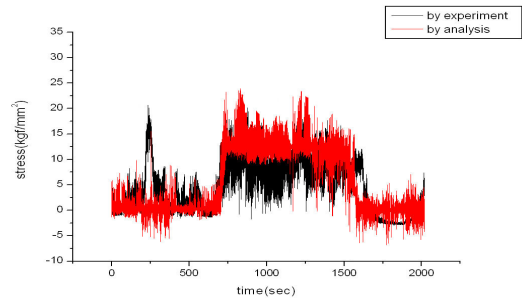
(a) 2번 게이지에서의 응력 spectrum



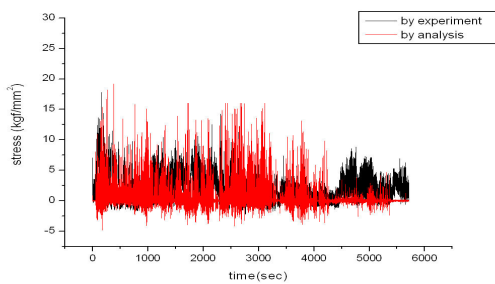
(b) 3번 게이지에서의 응력 spectrum



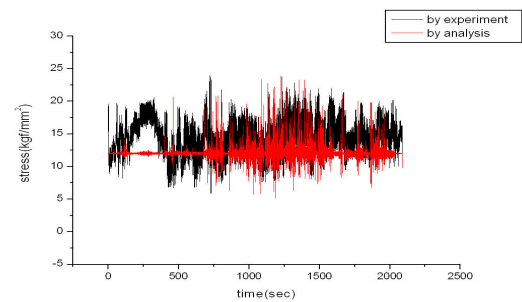
(c) 4번 게이지에서의 응력 spectrum



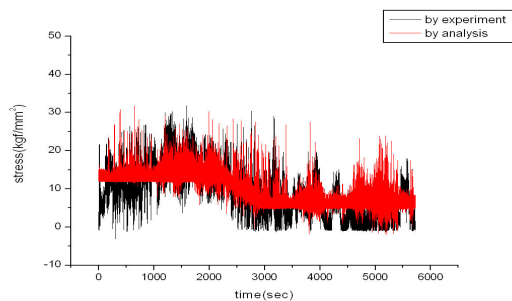
(d) 5번 게이지에서의 응력 spectrum



(e) 6번 게이지에서의 응력 spectrum

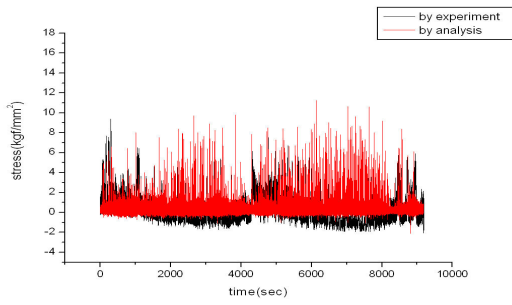


(f) 7번 게이지에서의 응력 spectrum

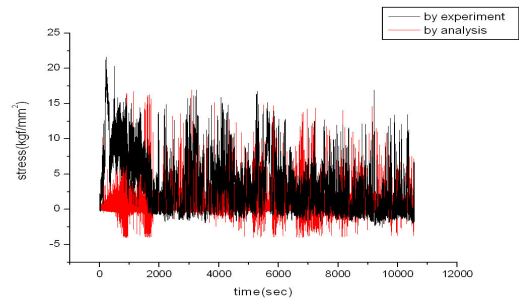


(g) 8번 게이지에서의 응력 spectrum

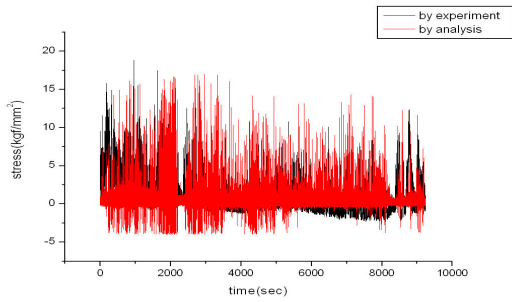
그림 5 고속선에서의 응력 spectrum



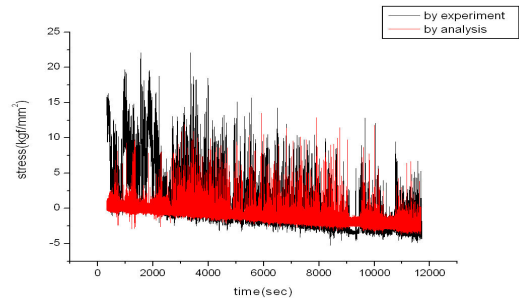
(a) 1번 게이지에서의 응력 spectrum



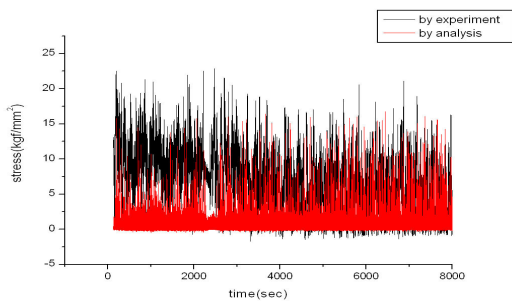
(b) 2번 게이지에서의 응력 spectrum



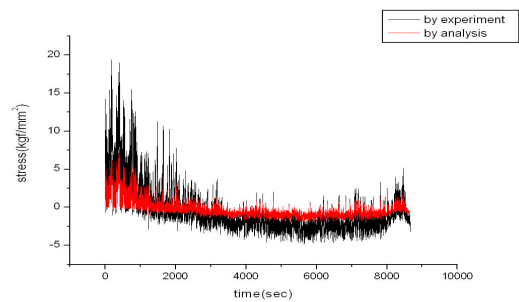
(c) 3번 게이지에서의 응력 spectrum



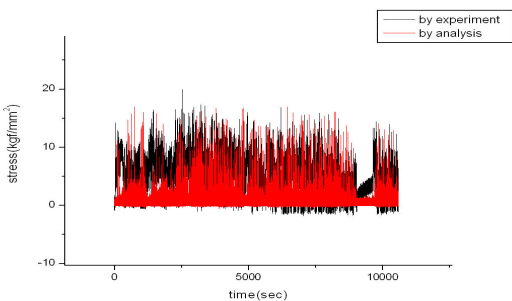
(d) 4번 게이지에서의 응력 spectrum



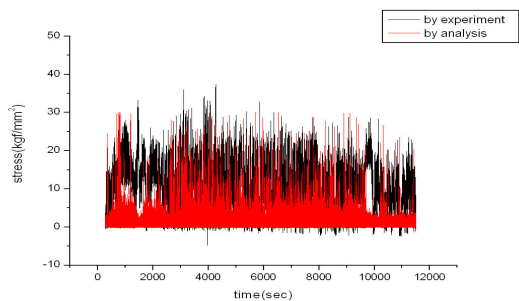
(e) 5번 게이지에서의 응력 spectrum



(f) 6번 게이지에서의 응력 spectrum



(g) 7번 게이지에서의 응력 spectrum



(h) 8번 게이지에서의 응력 spectrum

그림 6 기준선에서의 응력 spectrum