

실 주행열차의 윤중변동에 대한 정량적 분석

A Quantitative analysis about Wheel Load Variations

김현민* 오지택**
Kim, Hyun-Min Oh, Ji-Taek

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine wheel load variations on the bridge. It had been reported that wheel load variations involved un-sprung mass, sprung mass and train running speed, but there are no examples that measured in the running speed actuality track. In this experiment, Attach measurement sensor to equal distance on the track and measured wheel loads by using a dynamic shear strain technique.

1. 서 론

철도에서 고속운전과 관련하여 공진에 대한 문제이외에 주행속도와 함께 증대되는 윤중 변동의 문제를 들 수 있다. 일반적으로 이러한 윤중 변동은 레일의 틀림이 있거나 차륜이 레일에서 떨어져 주행하는 경우에 의해 발생되며 미소 요철 구간에서도 발생하는 것으로 보고되고 있다. 일반적으로 윤중 변동에 대한 이론적인 접근방식은 차량 및 궤도의 상태와 궤도파괴의 입장에서 주행한 전과 관련하여 다루어지지만 실제 선로에서 변동되는 윤중에 대한 정량적인 측정값은 부족한 상태이다. 따라서 본 논문에서는 동적전단변형률 측정기법을 이용하여 주행선상에서 변동되는 윤중을 측정하고 이에 대한 변동특성을 정량적으로 분석하였다.

2. 현장 실험 개요

2.1 윤중 측정 원리

윤중의 측정은 그림 1에 보인 바와 같이 첩목간 중심에서 각각 100mm 떨어진 위치의 증립축에 45° 각도로 내·외 8개의 스트레인게이지(strain gage)를 부착하여 단면 꺾의 영향을 배제시키고 전단력을 측정한다. 그림 2는 절선된 윤중 측정 센서에서 발생하는 측정신호의 합성상태를 나타낸 것으로 열차주행에 따른 인접 차륜의 측정 신호영향이 서로 상쇄되어 차륜이 측정위치를 통과할 경우에만 동일부호의 합성신호를 나타낸다.

* 한국철도기술연구원 구조물동적성연구그룹 주임연구원, 정희원

** 한국철도기술연구원 구조물동적성연구그룹 선임연구원, 정희원

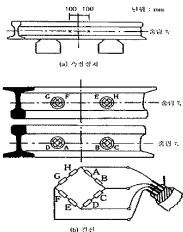


그림 1. 율중 측정 결선

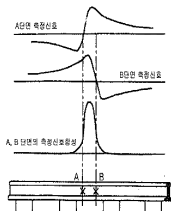
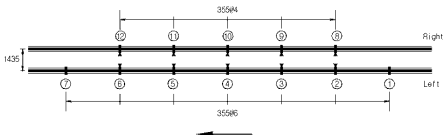


그림 2. 율중측정 신호의 형성

2.2 율중 변동 측정

기존의 율중 변동에 대한 측정은 차상측정 방식으로부터 이루어졌으나 본 논문에서는 구조물에 재하되는 실제적인 율중의 변동분을 정량화하기 위하여 교량 위의 레일 밑에서 계속하는 지상측정 방식으로 수행되었다. 교량 상 레일의 좌, 우에 3.55m의 등간격으로 12개의 율중측정용 센서류 그림 3과 같이 부착하였다.



번호	계측센서 부착위치 / EDX Channel											
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
■	센서-1	센서-2	센서-3	센서-4	센서-5	센서-6	센서-7	센서-8	센서-9	센서-10	센서-11	센서-12
Channel	ch-26	ch-2	ch-4	ch-6	ch-8	ch-10	ch-12	ch-14	ch-16	ch-18	ch-20	ch-22
▲	-	칭압-1	칭압-2	칭압-3	칭압-4	칭압-5	-	칭압-6	칭압-7	칭압-8	칭압-9	칭압-10
Channel	-	ch-3	ch-5	ch-7	ch-9	ch-11	-	ch-13	ch-15	ch-17	ch-19	ch-21

그림 3. 율중 및 칭압 센서 부착 위치

3. 이론적 배경

차륜과 레일이 밀착하여 있는 경우에는 윤중변동에 대해 스프링 상 질량이 관여하지 않는 것으로 가정하여 스프링 하 질량을 주제로 한 모델로 일정한 레일 면 요철에 대한 윤중 변동을 계산할 수 있다. 윤중 변동의 표준편차는 다음과 같이 주어진다.

$$\sigma[\Delta W] = \sqrt{\frac{A}{\pi} \cdot \frac{m_o}{2} \cdot K(1+Q) \cdot V} \quad (1)$$

여기서,

ΔW : 윤중변동

A : 차륜·레일간의 요철의 좌위의 진폭을 나타내는 계수

m_o : 스프링 하 질량 (1차축분)

K : 케토스프링 계수

$Q = 1/2\xi, \xi C/[2\sqrt{K \cdot m_o/2}]$

C : 케토스프링의 감쇠계수

V : 주행속도

즉, 윤중변동은 차륜, 레일간의 요철의 진폭에 비례하고, 스프링 하 질량, 레일 강성 및 레일 지지 스프링 계수에 관계하며, 열차의 주행속도에 비례한다.

4. 측정결과

본 실험에서는 동일한 조건을 갖는 구간에서 동일한 차종(디젤 1량 견인열차)에 대한 윤중변동 특성에 대해 논하고 식(1)에서 나타나고 있는 윤중변동에 대한 열차 주행 속도의 영향을 측정 결과와 비교하였다.

4.1 윤중변동

그림 4와 5는 82km/h와 r로 주행하는 디젤 견인열차(7300호대)의 기관차부 6축에 좌, 우 레일의 교량 상 위치별윤중의 측정 예를 나타낸 것이다. 각 속으로부터 재하되는 윤중의 크기가 측정 위치에 따라 차이가 나는 것을 알 수 있으며 좌, 우 윤중의 변동 패턴이 상이함을 알 수 있다.

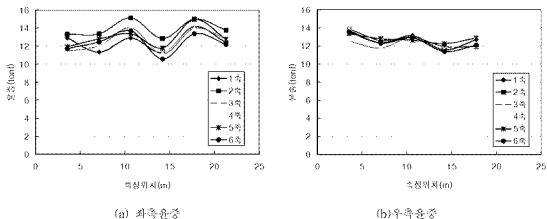


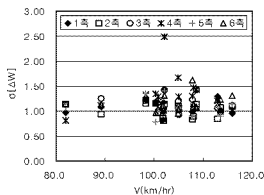
그림 4. 측정 위치에 따른 디젤기관차의 윤중 변동의 예

4.2 정량적 분석

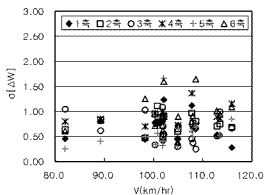
앞 소절에서 논의된 유중 변동의 특성을 정량적으로 분석하고 식(1)의 표준편차의 실제적인 산출을 위하여 계속된 결과의 표준편차 분석을 수행하였다. 본 논문에서는 차량 특성 및 궤도의 특성은 동일 차중, 동일 궤도 구간에서 행해진 실험임을 감안하여 유중변동에 대한 속도의 영향만을 검토하기로 한다. 표1은 측정결과로부터 분석된 속도별 각 열차 축의 표준편차의 계산된 결과로 그림 5에 이를 도식화 하였다. 그림 5로부터 식(1)과는 달리 유중 변동에 대한 주행속도의 영향은 뚜렷하지 않은 것으로 판단된다.

표 1. 속도별 좌, 우 유중의 표준편차

속도 (km/hr)	좌측 유중 편차						우측 유중 편차					
	1축	2축	3축	4축	5축	6축	1축	2축	3축	4축	5축	6축
82.0	0.97	1.14	1.14	0.82	1.08	1.14	0.45	0.63	1.04	0.79	0.25	0.60
89.2	1.09	0.94	1.26	1.12	1.15	1.14	0.81	0.82	0.61	0.85	0.40	0.82
98.3	1.27	1.16	1.24	1.33	1.35	1.22	0.44	0.47	1.02	0.70	0.50	1.25
100.3	1.17	1.16	1.18	1.35	0.79	0.97	0.77	0.94	0.33	0.96	0.33	0.71
100.8	1.03	0.97	0.97	1.29	1.00	1.19	0.77	1.11	0.88	0.75	0.56	0.80
101.8	0.82	0.86	1.01	0.98	1.08	1.11	0.81	0.84	1.09	0.99	0.31	0.72
101.9	1.18	0.81	1.05	1.02	1.28	1.02	0.40	0.49	0.70	0.47	0.40	0.61
102.1	1.43	1.14	1.42	2.49	1.41	1.31	1.23	0.91	0.54	0.89	1.66	1.60
104.9	1.06	1.11	1.20	1.68	1.08	0.95	0.46	0.60	0.29	0.38	0.31	0.39
105.0	1.06	1.06	0.93	1.29	1.06	1.03	0.71	0.65	0.70	0.72	0.66	0.80
107.8	0.99	0.85	1.23	1.30	0.89	1.62	1.11	0.97	0.45	1.36	0.60	0.80
108.0	1.13	0.90	1.03	1.47	1.15	1.14	0.67	0.76	0.37	0.64	0.49	0.91
108.6	1.07	1.15	1.43	1.44	1.08	1.08	0.65	0.80	0.24	0.72	0.69	1.64
112.9	1.30	0.85	1.07	1.21	1.08	1.23	0.53	0.70	0.51	0.89	0.94	1.01
113.5	1.02	1.08	0.99	1.00	0.90	1.24	0.52	0.75	0.99	0.86	0.53	0.94
115.9	0.95	1.10	1.11	1.03	1.15	1.31	0.27	0.68	0.66	1.15	0.84	1.08



(a) 좌측유중



(b) 우측유중

그림 5. 표준축성 위치에 따른 디젤기관차의 유중 변동의 예

5. 결론

본 연구의 실험 및 분석결과로부터 도출한 결론은 다음과 같다.

- 1) 동일한 선로조건과 동일 차종의 율중 변동특성 계측 결과, 이론적인 계산결과와는 다르게 속도에 대한 영향은 크지 않는 것으로 나타났다. 그러나 이는 비소 요철 구간이 존재하지 않음을 전제로 계속된 결과이다.
- 2) 각 속별로 재하되는 속중의 크기는 서로 상이할뿐만 아니라 열차의 진행에 따라 계속해서 변동되므로 추후 이러한 변동 특성이 교량 응답에 미치는 영향을 검토할 필요가 있다.
- 3) 실험 결과로부터 차량의 중량으로부터 계산되는 정적인 하중과 주행열차하중의 실제적인 동적인 하중의 표준편차 및 최대, 최소 율중의 차이가 큰 것으로 나타나 실 운행하중에 대한 표준 하중 선도 수립시 이러한 변동특성이 반영되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 오지택 외 (2002) 대륙간 철도연결에 대비한 표준열차하중 비교,분석, 건설기술혁신사업 2차년도 연차보고서, pp.55~82.
2. 서사범, 선로공학, pp. 294~298