

한국형 틸팅차량 완화곡선 주행시 궤도작용력 발생경향 분석

Analysis of Occurrence Tendency of Rail Force According to Running the Hanvit 200 Train on Transition Curve Track

박용걸[†] · 최승룡* · 김연태** · 최정열***

Yong-Gul Park · Sung-Yong Choi · Youn-Tae Kim · Jung-Youl Choi

Abstract A trial run of locally-developed tilting train has been in process on Chungbuk line since the test vehicle was first produced. For the system stabilization, interface verification among the systems including track, structure, catenary and signaling system, not to mention the rolling stock, is very crucial. Therefore, in this study, the dynamic rail force of the tilting (Hanvit 200), high-speed (KTX) and general (Mugunghwa) vehicle caused by driving in transition curve track was measured. And, it compared the tilting response with the other by using the measured rail force data in transition curve track, and then evaluated probability the range of load fluctuation for the variable dynamic vertical and lateral wheel load. As a result, a range of rail force by occurred a change of cant from the high-speed and general vehicle which had fixed bogie structure was distributed throughout small deviation. Otherwise, in case of the tilting train which was consisted of the pendulum bogie structure was distributed wide range about large deviation by changed of cant.

Keywords : tilting train(Hanvit 200), transition curve, cant, wheel load, lateral wheel load

요 지 국내에서 개발된 한국형 틸팅열차는 현재 시제차량 제작을 마치고, 충북선을 시작으로 시운전 시험이 단계적으로 진행되고 있다. 시운전 시험에서는 한국형 틸팅열차의 시스템 안정화를 위해 차량 외에 궤도, 구조물, 전차선, 신호 등 각 시스템 상호간의 인터페이스 검증이 필요하며, 선로구축물 분야에서는 개발차량의 증속이 궤도구조에 미치는 영향을 비롯한 궤도부담력 검토를 통해 궤도구조의 안정성과 주행안정성 평가가 수행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 완화곡선구간을 주행하는 틸팅차량(한빛200호), 고속차량(KTX) 및 일반차량(무궁화)에 의해 궤도에서 발생하는 동적 윤중 및 횡압을 측정하였다. 측정데이터를 통해 차종별 주행패턴을 비교하고 윤중과 횡압의 증감율을 확률적으로 분석하였다. 분석결과, 고정식 대차구조를 갖는 기존 차량의 캔트변화에 따른 발생 윤중 및 횡압의 분포범위는 일정 범위 내에서 작은 편차로 분포하였다. 반면 진자식 대차구조인 틸팅차량의 경우 캔트변화에 따른 차체의 틸팅작용에 의해 비교적 넓은 범위에 큰 편차로 궤도작용력이 분포하는 것으로 나타났다.

주요어 : 틸팅차량, 완화곡선, 캔트, 윤중, 횡압

1. 서론

한국형 틸팅차량인 한빛 200호는 기존선 속도향상을 위해

개발되었고 기존 차량에 비해 승차감의 저하 없이 곡선부를 더욱 빠르게 주행할 수 있어 전체 운행시간 및 표정 속도를 단축시킬 수 있는 장점이 있다. 틸팅차량은 현재 시제차량 제작을 마치고, 충북선을 시작으로 시운전 시험이 단계적으로 진행되고 있으며 틸팅차량의 시스템 안정화를 위해 차량 외에 궤도, 구조물, 전차선, 신호 등 각 시스템 상호간의 인터페이스 검증을 위한 관련분야의 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 현장측정을 통해 획득한 틸팅차량(한빛200호)과 고속차량(KTX) 및 일반차량(무궁화)의 완화곡선구간 주행시 발생하는 동적윤중 및 횡압 측정 데이터를 이용하여 캔

[†] 책임저자 : 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과, 교수, 공학박사

E-mail : ygpark@snu.ac.kr

TEL : (02)971-6575 FAX : (02)978-6575

* 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도건설공학과, 박사수료 (한국철도시설공단 호남지역본부, 본부장)

** 정회원, 서울산업대학교 건설공학부 구조공학과, 교수, 공학박사

*** 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 뉴레일연구소, 연구원, 공학석사

트체감구간에서의 탈팅차량과 기존 차량의 주행패턴을 비교하고 윤중, 횡압변동량의 확률적인 검토를 수행 하였다.

2. 이론적 배경[1]

2.1 완화곡선의 개념

곡선부 열차 주행 시 탈선을 막기 위해 원심력과 차량중량의 합력이 궤간 내에 들어가도록 캔트를 설정한다. 곡선과 직선의 접속개소에서는 이 캔트를 연속적으로 체감시키는 완화곡선 구간이 필요하다. 캔트의 체감은 차량의 3점지지에 의한 탈선을 막고 승차감 확보를 위해 충분히 완만하여야 한다. 완화곡선에 대한 기본적인 개념도는 Fig. 1과 같다.

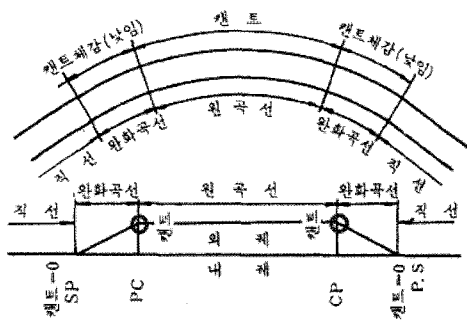


Fig. 1. Concept of transition curve

완화곡선의 역할은 곡률, 캔트, 슬랙을 체감하여 직선과 원곡선을 원활하게 연결하는 것이므로 완화곡선의 길이는 주행하는 열차의 속도와 캔트에 따라 충분히 확보되어야만 한다. 완화곡선의 길이는 차량에 3점지지 현상이 일어났을 때 차륜플랜지의 최소 높이(25mm)까지 부상하여도 탈선하지 않는 구배의 캔트 체감 거리이어야 하고, 열차 주행 시 속도에 따라 1초에 1/4"의 높이로 변화하기 때문에 승차감을 고려하여 충분한 완화곡선 길이를 정해야 한다. 또한, 캔트량의 급변화로 인해 열차 통과 시 단위시간에 경사가 지는 정도와 열차가 받는 원심가속도의 변화 등으로 승차감이 나쁘지 않는 정도의 길이를 정하여야 한다.

현재 국철에서 규정하고 있는 완화곡선의 삽입곡선의 반경과 길이 제한은 Table 1과 같다.

Table 1. Limit radius to install & Length of transition curve (korean national railway)

선로등급	완화곡선 삽입곡선의 반경(m)	완화곡선 길이(m)
고속선	-	2,500-C
1급선	5,000	1,700-C
2급선	3,000	1,300-C
3급선	2,000	1,000-C
4급선	800	600-C

2.2 곡선통과 시 횡압의 발생원인과 저감대책

열차의 곡선통과 시 발생하는 횡압의 주된 원인은 곡선부 캔트의 과부족에 기인하여 발생된 초과 원심력과 곡선통과 시 대차나 차축이 궤도에 안내되어 방향을 바꿀 때에 차륜과 레일간 마찰력에 기인하여 발생하는 곡선전향 횡압을 비롯하여, 궤도틀림으로 인한 차체와 대차의 동요나 사행동 등에 수반되는 차량동요 등이 있다. 또한 레일 이음매나 분기기, 신축이음매 등을 통과할 때의 충격에 수반하여 발생하는 충격적인 횡압 등도 있다.

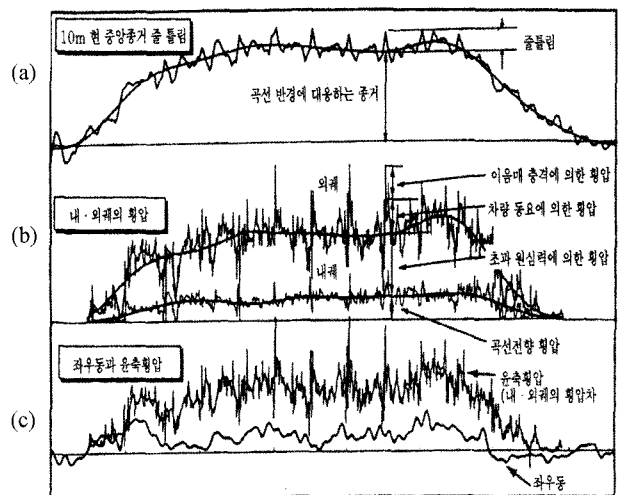


Fig. 2. Example of lateral force, yaw, irregularity on passing curve [5]

곡선부에서 발생하는 횡압의 저감은 크게 차량측과 궤도측에서의 2가지 측면에서 고려해 볼 수 있다. 차량측의 횡압 저감대책으로는 차체의 경량화, 축거의 단축 및 차량의 좌우방향 진동특성 향상이 있으며, 궤도측의 횡압 저감대책으로는 곡선부 선형 개량, 궤도정비 상태의 개선, 레일의 장대화에 의한 이음매부의 제거, 내궤측 레일 두부상면에 대한 살수, 기름칠(도유) 및 내, 외궤 비대칭 레일단면의 채용 등의 방법이 있다.

2.3 측정 윤중 및 횡압의 판정기준[3]

현행 윤중과 횡압 측정치의 판정은 일본 신간선 고속열차의 측정기준을 준용하고 있으며, 이 기준은 신간선 시험선에서의 증속시험 시 각종 시험궤도의 성능시험 결과를 바탕으로 제정되었다. 이 기준에서 표준치는 설계 개념으로써 극한한계치의 의미를 가지고 있으며, 참고치는 측정 결과를 바탕으로 제정된 수치로써 측정결과가 통상 이 범위 내에 있는 값을 의미하며 측정 평균치를 나타낸다. 또한, 한국철도기술연구원에서 고속선 KTX 증속 시 주행 안전성 판단을 위해 사용한 독일기준과도 비교하였다.

이와 같이 궤도작용력의 측정결과를 판정하기 위한 대표적인 국외 기준(일본 신간선, 독일 고속선)을 정리하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Regulation of rail force on high-speed railway in Japan & German

구분	신간선(일본)		KTX증속시 기준 (독일HSR)
	표준치	참고치	
윤증 (kN)	최대치	300	200
	최소치	25	
횡압(kN)	68	40	40

3. 현장측정

3.1 측정대상 차량 현황

측정대상 차량은 크게 탈팅차량(한빛 200호), 고속차량(KTX) 및 일반차량(무궁화)으로 구분되며, 열차별 완화곡선 구간 주행에 따른 궤도작용력을 평가하였다. 측정구간을 통과하는 차량의 하중 제원과 열차종별 측정횟수 및 평균 주행속도는 각각 Table 3 및 Table 4와 같다.

Table 3. Comparative table of design load by vehicle

열차종류	설계축중(kN)	설계윤증(kN)
Diesel train	220	110
무궁화 객차	110	55
KTX	170	85
TTX(한빛200호)	150	75

Table 4. Counts of measured data & Average velocity by vehicle

구분	측정횟수	평균주행속도
무궁화호	83회	84km/h
KTX	53회	105km/h
TTX	14회	120km/h

3.2 측정구간 제원

완화곡선구간을 주행하는 열차에 따른 궤도작용력을 검토하기 위해 시운전 구간 중 곡선반경이 600m이고 완화곡선상의 캔트변화가 뚜렷한 개소에서 윤증과 횡압을 측정하였다.

완화곡선 시, 종점부를 포함하고 일정한 캔트체감 간격을 고려하여 완화곡선상의 5개소를 측정개소로 선정하여 윤증 및 횡압 측정을 실시하였으며, 측정 위치별 캔트량은 Fig. 3과 같다.

본 연구에서 선정한 측정개소를 통과하는 차량의 주행방향은 원곡선 종점에서 완화곡선을 지나 직선구간으로 진입

하는 방향으로, 가속 구간에서 측정하였다.

Table 5는 측정구간의 궤도현황을 나타낸 것이며, 탈팅차량(한빛200호)의 완화곡선부 주행전경은 Fig. 4와 같다.

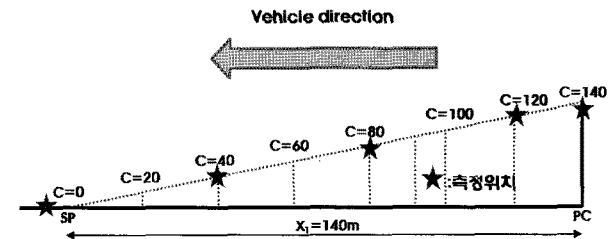


Fig. 3. Measured point on transition curve by variety cant

Table 5. Track properties of field test

구분	제원
선로등급 / 제한속도	3급선 / 110km/h
원곡선반경(R)	600m
완화곡선장	140m(1,000-C)
캔트(C)	0, 40, 80, 120, 140mm
침목	PCT
체결구	e-clip

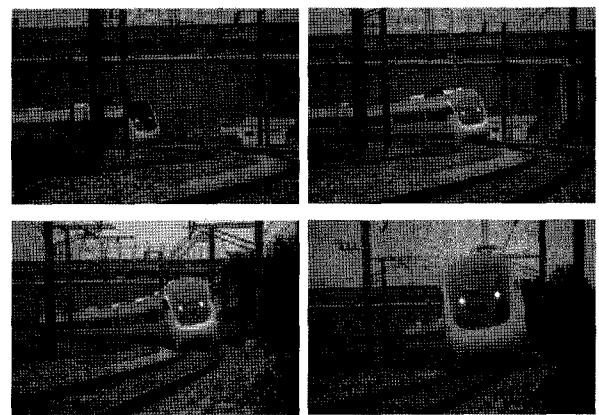


Fig. 4. View of driving of Hanvit 200 on transition curve

3.3 측정시스템 구축

측정 시 열차는 고속으로 주행하므로 실제 발생한 응답치의 왜곡과 데이터 손실을 방지하고자 Table 6과 같이 충분한 데이터 수집율(Sampling Rate)을 설정하여 측정을 실시하였다. 또한 발생한 윤증 이외의 노이즈 성분들은 주파수 분석을 통해 디지털 필터로 로우패스 필터링(Low pass filtering)과 하이패스 필터링(High pass filtering) 처리를 함으로써 데이터의 신뢰성을 높였다. Table 6은 계측에 사용된 주요장비의 사양이다.

Table 6. Specification of measuring equipment

장비명	용도	모델명	주요사양
Data Acquisition System	신호증폭 및 센서구동	MGC-Plus	•Sampling rate : 2kHz •32-Channel
Strain Gauge	윤중 및 횡압측정	FLA-5-11-1L	•Resistance : 120 Ω

또한, Fig. 5와 같이 완화곡선구간내 총 5개소에서의 캔트제감에 따른 윤중과 횡압 변형율의 변화를 동시에 측정할 수 있도록 현장측정 시스템을 구성하였으며, 대상선로에서 측정된 윤중과 횡압은 증폭기를 통해 증폭되어 MGC-PLUS(Data Acquisition System)에 저장한 후, 오리지널 TM 프로그램을 사용하여 분석하였다. 측정위치별(캔트별) 센서설치 전경은 Fig. 5와 같다.

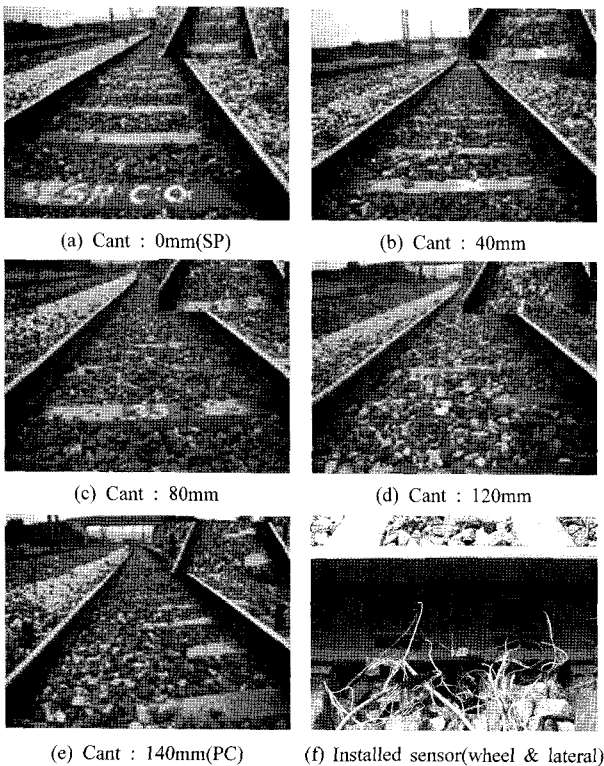


Fig. 5. View of sensor installation

3.4 윤중 측정

윤중은 레일과의 접촉면을 통하여 차륜에서 궤도로 전해지는 힘으로서, 차량의 중력에 기인하는 힘(정적 윤중)과 주행에 기인하는 동적인 변동분을 더한 것(동적 윤중)이며, 레일의 수직방향으로 작용하는 힘이다.

윤중 게이지 설치위치는 측정구간의 내, 외측 레일에 Fig. 6과 같이 침목간 중심에서 각각 100mm 떨어진 위치에 레일 복부의 중립축에 45°의 각도를 가지고 8방향으로 결선된 윤중

게이지를 부착하여 측정한다. 계측 시 열차는 고속으로 주행하므로 실제 발생한 윤중을 왜곡하거나 데이터의 손실이 발생되지 않도록 충분한 수집율(Sampling Rate)을 설정하였다.

3.5 횡압 측정

횡압 게이지 부착위치는 곡선구간을 주행하는 열차에 의해 레일 및 궤도에 발생하는 동적횡압을 파악하기 위해 곡선구간 내, 외측 레일에 변형률 게이지를 부착하여 측정하였다. 레일에 발생하는 횡압을 측정하기 위한 횡압 게이지 설치전경 및 부착도는 Fig. 6과 같다.

횡압측정은 Fig. 6과 같이 침목간 중심에서 각 100mm 떨어진 위치의 레일 플랜지 내, 외측에 변형률 게이지를 부착하고 결선면 레일의 종방향 힘의 영향을 배제시켜 전단 변형률로써 측정할 수 있다.

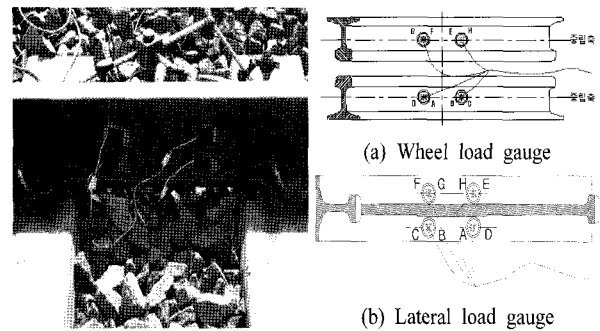


Fig. 6. View of wheel & lateral load sensor installation

횡압 게이지는 레일복부와 플랜지 사이의 우각부에는 변형률 게이지가 들어가지 않으므로 될 수 있는 한 복부에 가깝게 부착한다. 윤중 게이지는 레일 복부상의 중립축에 부착이 가능하기 때문에 완전한 전단변형 측정이 될 수 있지만, 횡압게이지는 중립축에 부착이 곤란하기 때문에 이와 같이 배치한다.

윤중과 횡압 게이지를 통해 획득한 변형률 신호를 하중으로 환산하기 위해 현장에서 소정의 가력프레임(윤중 및 횡압 검정기)을 이용하여 정적 궤도작용력(윤중 및 횡압) 검정시험을 수행하였다. 하중검정은 단계별(10~40kN, 4단계)가력시 획득한 정적 윤중 및 횡압변형률을 이용하여 선형회귀분석을 수행하며, 이를 통해 산출한 1차 선형회귀식에 측정 변형률 신호를 대입하여 하중단위로 환산할 수 있다[2].

4. 측정결과 및 분석

4.1 열차종별 윤중 및 횡압 검토

측정구간을 주행하는 열차종별 캔트변화에 따른 내, 외측 최대 윤중 및 횡압의 대표적인 예를 Table 7에 나타내었

Table 7. Max. wheel & lateral load according to variety cant & vehicle (example: partial data of total measured data)

구분		Cant : 0mm(SP)	Cant : 40mm	Cant : 80mm	Cant : 120mm	Cant : 140mm(PC)	
Diesel train (88km/h)	윤중	내측(kN)	143	133	141	146	138
		외측(kN)	145	142	150	154	146
	횡압	내측(kN)	12(-6)	10(-3)	25(-8)	40(-7)	49(-8)
		외측(kN)	20	6(-5)	21(-13)	37(-13)	45(-14)
무궁화 객차 (88km/h)	윤중	내측(kN)	78	76	81	112	81
		외측(kN)	80	75	86	95	94
	횡압	내측(kN)	7(-6)	7(-5)	15(-8)	22(-6)	29(-8)
		외측(kN)	11	9(-8)	8(-13)	8(-13)	10(-14)
KTX (107km/h)	윤중	내측(kN)	113	98	110	107	94
		외측(kN)	115	130	126	142	133
	횡압	내측(kN)	12(-8)	15(-16)	17(-19)	47(-20)	35(-17)
		외측(kN)	29(-25)	16(-20)	19(-16)	36(-16)	25(-7)
TTX (129km/h)	윤중	내측(kN)	110	75	101	88	82
		외측(kN)	110	106	123	124	124
	횡압	내측(kN)	10	8	14	13(-4)	16(-7)
		외측(kN)	15	10	14(-8)	19(-12)	26(-14)

으며, 열차 주행 시 발생하는 열차종별 외측 윤중 및 횡압 측정 파형의 예(C : 80mm)는 Fig. 7과 같다.

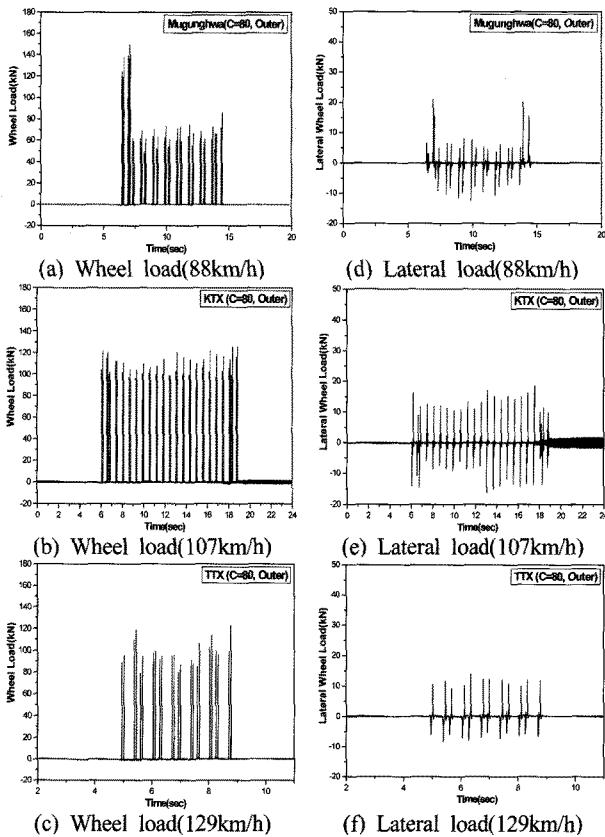


Fig. 7. Example of measured wheel & lateral load by vehicle (C : 80mm)

열차종별 완화곡선부 통과 시 캔트변화에 따른 내, 외측 횡압 측정결과, Fig. 7과 같이 무궁화 및 KTX의 경우 캔트량 40mm 이상에서 내, 외측 횡압의 (+), (-) 방향 성분이 함께 발생하는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 2(b)와 같은 기존의 연구결과[1]에서 나타났듯이 완화곡선 구간내의 선형 조건 및 구조적으로 불가피한 평면성 틀림에서 기인하여 발생하는 차량의 동요 및 초과원심력에 의한 내, 외측 횡압의 증가분으로써 틸팅차량의 경우 차체의 틸팅 작용에 의해 곡선주행시 차량의 동요 및 초과원심력에 의한 효과가 다소 완화되어 (+), (-)횡압의 증가량이 비교적 작게 나타난 것으로 판단된다.

C=0mm와 C=140mm 구간은 완화곡선 시, 종점 부분이므로 기하구조 특성상 C=40mm, C=80mm, C=120mm와는 하중 변화 패턴이 다르게 나타나고 있다.

4.2 열차종별 하중발생 확률분포[2]

현장에서 측정되는 궤도 작용력(윤중, 횡압)의 경우 측정 대상 현장의 궤도 상태(레일 요철, 도상 자갈의 상태, 침묵 상태 등) 및 열차 운전습관 등에 따라 다양한 크기의 궤도 작용력이 발생 되는 것으로 나타났다. 또한 이러한 궤도작용력의 발생경향이 설계하중의 크기에 지배적으로 영향을 받음으로써 대부분의 빈도수를 차지하는 대표적인 윤중(혹은 횡압)과 그 값을 기준으로 분포하는 크거나 작은 하중이 발생되는 것으로 나타났다.

또한 이러한 데이터 분포가 정규 분포에 가까운 것으로

판단하여 가우시안 확률분포(Gaussian probability distribution)를 측정 궤도 작용력의 분석에 적용하였다.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

평균이 μ 이고 표준편차가 σ 인 정규분포의 확률 밀도 함수 $f(x)$ 는 식 (1)과 같다.

본 절에서는 현장측정 데이터를 캔트 및 열차종별로 구분하여 각각의 측정데이터의 평균, 표준편차 및 상관계수를 산출함으로써 식 (1)을 이용하여 궤도작용력(윤증, 횡압)의 확률분포를 검토하였다.

4.2.1 열차종별 윤증발생 확률분포 검토

열차종별 완화곡선 통과 시 캔트변화에 따라 변동하는 내, 외측 측정 윤증 데이터를 이용한 동적 윤증 발생 확률 분포 검토 결과는 Fig. 8과 같다.

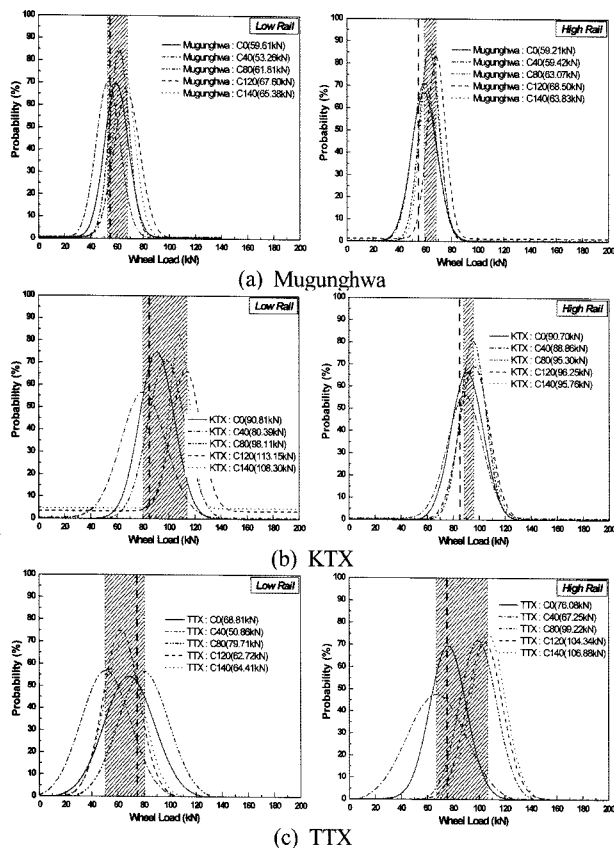


Fig. 8. Probability of wheel load by vehicle

내, 외측 발생 윤증의 최대 편차는 무궁화호의 경우 각각 14.34kN, 9.29kN으로 나타났으며, KTX는 각각 32.76kN, 7.39kN으로 나타났다.

반면, 틸팅차량의 경우 캔트별 내측 윤증 최대 편차는

28.85kN, 외측 윤증의 최대 편차는 39.63kN으로 나타나고 정식 대차구조의 기존 차량보다 캔트변화에 따른 발생 윤증의 편차가 큰 것으로 나타났다.

무궁화 및 KTX차량과 같이 틸팅효과가 없는 고정식 대차구조의 경우 일반적으로 캔트제감에 따른 윤증 발생의 분포범위가 일정범위 내에서 작은 편차로 나타났으나, 틸팅차량의 경우 차체의 틸팅효과로 인한 동적 윤증의 변동으로 인해 보다 큰 범위에 분포하는 것을 확인할 수 있다.

4.2.2 캔트별 윤증발생 확률분포 검토

캔트변화에 따른 열차종별 윤증 발생 확률분포는 Fig. 9와 같으며, 열차 및 캔트별 내, 외측 측정 윤증의 최대 확률 발생값을 각 차량별 설계하중과 비교하여 Table 8에 나타났다.

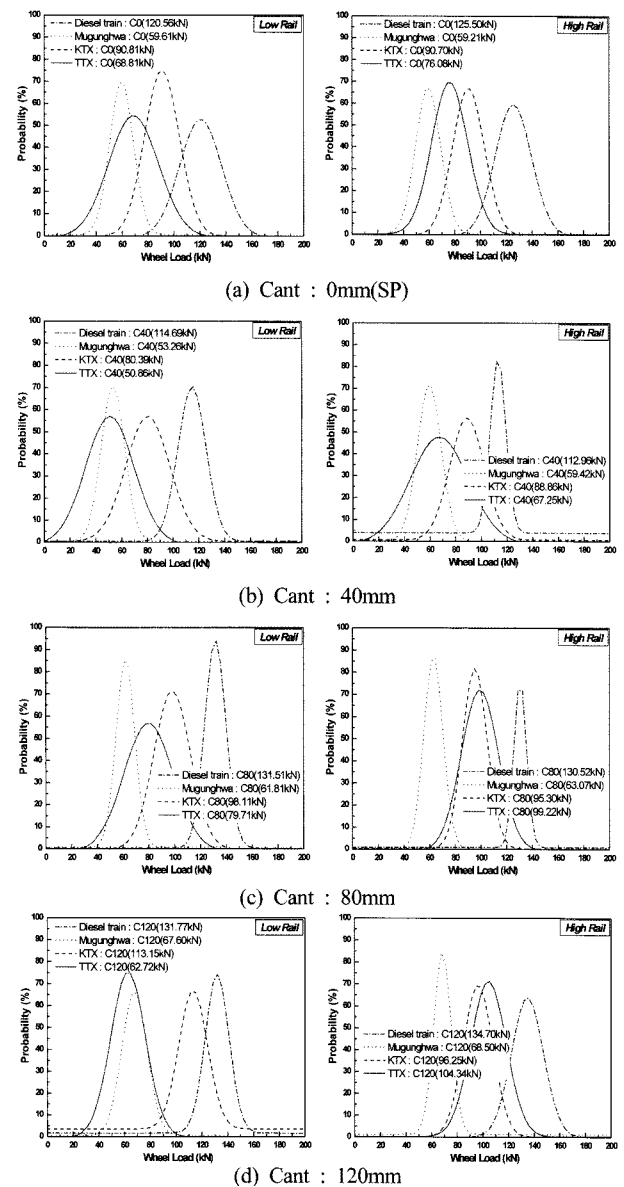


Fig. 9. Probability of wheel load by cant

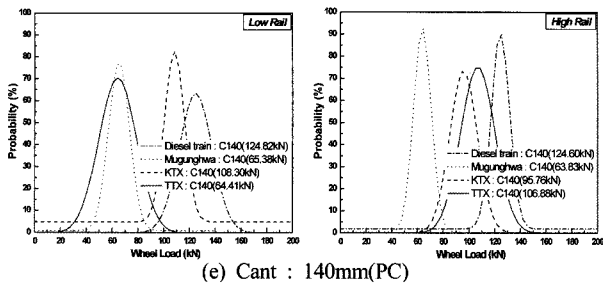


Fig. 9. Probability of wheel load by cant (continued)

Table 8. Max. probability of wheel load by vehicle & cant (UNIT : kN)

구분		C:0 (SP)	C:40	C:80	C:120	C:140 (PC)	설계 하중
Diesel train	내측윤증(kN)	120.56	114.69	131.51	131.77	124.82	110
	외측윤증(kN)	125.50	112.96	130.52	134.70	124.60	
	측정축중(kN)	246.06	227.65	262.03	266.47	249.42	220
무궁화 객차	내측윤증(kN)	59.61	53.26	61.81	67.60	65.38	55
	외측윤증(kN)	59.21	59.42	63.07	68.50	63.83	
	측정축중(kN)	118.82	112.68	124.88	136.1	129.21	110
KTX	내측윤증(kN)	90.81	80.39	98.11	113.15	108.30	85
	외측윤증(kN)	90.70	88.86	95.30	96.25	95.76	
	측정축중(kN)	181.51	169.25	193.41	209.4	204.06	170
TTX	내측윤증(kN)	68.81	50.86	79.71	62.72	64.41	75
	외측윤증(kN)	76.08	67.25	99.22	104.34	106.88	
	측정축중(kN)	144.89	118.11	178.93	167.06	171.29	150

열차종별 캔트 0mm인 지점(SP) 주행 시 내, 외측 윤증은 유사하나 캔트 증가에 따라 내, 외측 윤증의 증가폭이 다소 커지는 경향이 나타났다. 또한, 틸팅차량의 경우 캔트의 변화에 따라 설계축중과의 편차가 기존 일반차량보다 다소 크게 나타났다.

4.2.3 열차종별 횡압발생 확률분포 검토

열차종별 완곡선 통과 시 캔트변화에 따라 변동하는 내, 외측 측정 횡압 데이터를 이용한 동적 횡압 발생 확률 분포 검토 결과는 Fig. 10과 같다.

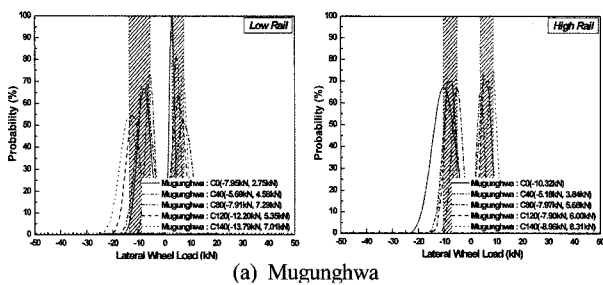


Fig. 10. Probability of lateral wheel load by vehicle

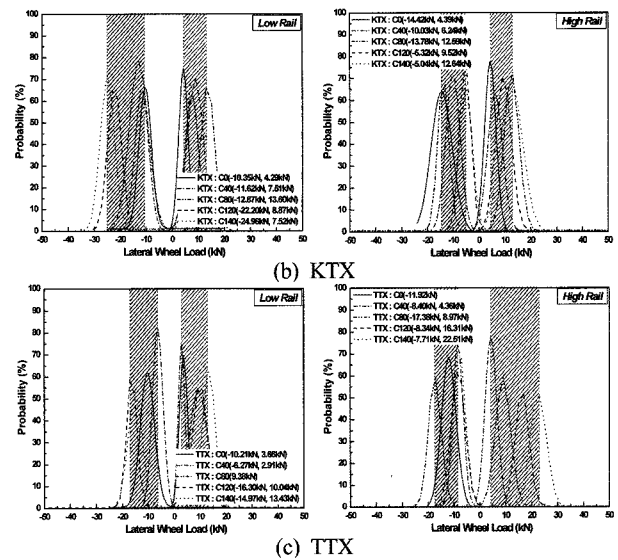


Fig. 11. Probability of Lateral wheel load by cant

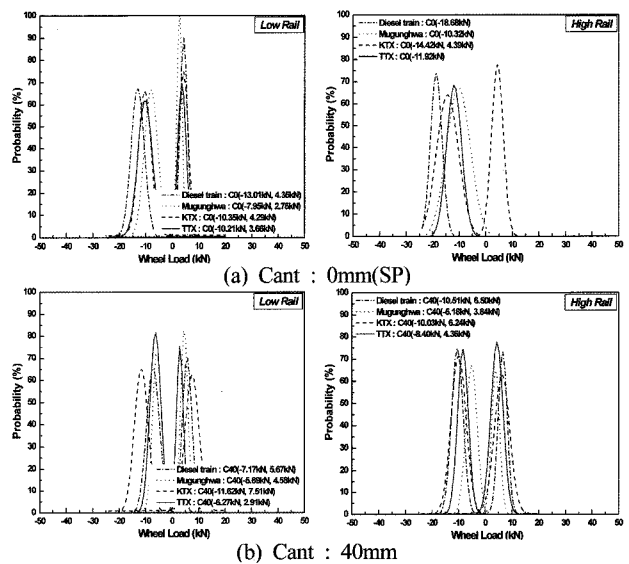
Fig. 10. Probability of lateral wheel load by vehicle (continued)

내, 외측 발생 횡압의 최대 편차는 무궁화호의 경우 각각 4.54(-8.10)kN, 8.31(-5.14)kN으로 나타났으며, KTX는 각각 9.31(-14.61)kN, 8.25(-9.38)kN으로 나타났다.

반면, 틸팅차량의 경우 캔트별 내측 횡압 최대 편차는 10.52(-16.30)kN, 외측 횡압의 최대 편차는 22.51(-9.67)kN으로 나타나 기존 차량보다 캔트변화에 따른 발생 횡압의 편차가 다소 큰 것으로 나타났다.

4.2.4 캔트별 횡압발생 확률분포 검토

캔트변화에 따른 열차종별 횡압 발생 확률분포는 Fig. 11과 같으며, 열차 및 캔트별 내, 외측 측정 횡압의 최대 확률 발생값을 Table 9에 나타냈다.



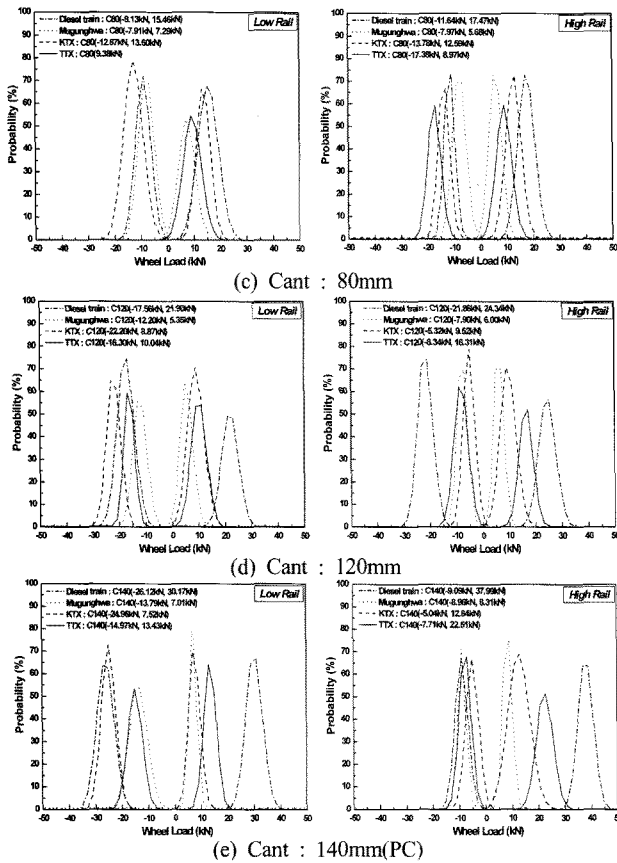


Fig. 11. Probability of Lateral wheel load by cant (continued)

Table 9. Max. probability of Lateral wheel load by vehicle & cant (UNIT : kN)

구 분		C:0 (SP)	C:40	C:80	C:120	C:140 (PC)
Diesel train	내측횡압 (kN)	(-)	-13.01	-11.17	-15.13	-17.56
		(+)	10.35	13.02	15.46	21.90
	외측횡압 (kN)	(-)	-18.68	-10.51	-11.64	-15.86
		(+)	0	16.19	17.47	24.34
무궁화 객차	내측횡압 (kN)	(-)	-7.95	-5.69	-7.91	-12.20
		(+)	2.75	4.58	7.29	5.35
	외측횡압 (kN)	(-)	-10.32	-5.18	-7.97	-7.90
		(+)	0	3.84	5.68	6.00
KTX	내측횡압 (kN)	(-)	-10.35	-11.62	-12.87	-22.20
		(+)	4.29	7.51	13.60	8.87
	외측횡압 (kN)	(-)	-14.42	-10.03	-13.78	-5.32
		(+)	4.39	6.24	12.59	9.52
TTX	내측횡압 (kN)	(-)	-10.21	-6.27	0	-16.30
		(+)	3.66	2.91	9.38	10.04
	외측횡압 (kN)	(-)	-11.92	-8.40	-17.38	-8.34
		(+)	0	4.36	8.97	16.31

캔트 C=0mm(SP), C=140mm(PC)인 지점 주행시는 완화곡선 시, 종점으로 선형 기하구조 특성상 하중발생 경향이 유사하게 나타나고 있으나, 캔트 증가에 따라 내, 외측 횡압의 증가폭이 다소 커지는 경향으로 나타났다. 탈링차량의 경우 캔트의 변화에 따라 설계축중과의 편차가 기존 일반차량보다 다소 크게 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 기존선 완화곡선부 주행 시 완화곡선 궤도에 미치는 궤도작용력을 평가하고자 고속차량(KTX), 일반차량(무궁화) 및 탈링차량의 측정결과를 비교, 검토 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 캔트 및 열차종별 운중발생 확률분포 검토결과, 고정식 대차구조를 갖는 기존 차량의 캔트변화에 따른 발생 운중은 일정 범위 내에서 작은 편차로 분포하는 것으로 나타났으나 진자식 대차구조인 탈링차량의 경우 캔트의 변화에 대응하는 차체의 탈링작용에 따라 비교적 넓은 범위에 큰 편차로 분포하는 것으로 나타났다.

또한 캔트 0mm인 지점에서 내, 외측 운중은 유사하나 캔트가 증가함에 따라 내, 외측 운중의 증가폭이 다소 커지는 경향이 나타났다.

2. 캔트 및 열차종별 횡압발생 확률분포 검토결과, 일반 열차에 비해 탈링차량의 경우 차체의 탈링작용에 따른 곡선구간 주행 시 차량의 동요 및 초과원심력에 의한 내, 외측 횡압 증가량을 기존 차량보다 캔트 140mm(PC) 구간에서 최대 48% 감소시키는 것으로 나타났다.

또한, 완화곡선 시 종점부는 선형 기하구조 특성상 하중 발생 경향이 유사하게 나타나고 있으나, 캔트 증가에 따른 내, 외측 횡압의 증가폭이 다소 커지는 경향이 나타났다.

3. 본 연구를 통해 곡선반경과 캔트 등의 선형조건이 정량적이지 못하고 직, 곡선사이의 캔트체감을 위해 불가피하게 평면틀림이 유발되는 완화곡선부에서의 열차주행에 따른 궤도작용력을 장기간의 측정데이터를 이용하여 최대 발생 빈도에 근거한 확률 분석을 수행함으로써 완화곡선 궤도가 부담하는 궤도작용력의 발생경향을 캔트변화에 따른 열차종별 확률 밀도 함수의 범위로 도출하였다.

후 기

본 연구는 국토해양부의 미래철도기술개발사업의 지원으로 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 서사범저(2005), “선로공학,” pp. 311-313.
 2. 김우철 외(2006), “제 4개정판 통계학 개론,” pp. 127-133.
 3. 한국철도기술연구원(2003), “기존선 속도향상을 위한 선로시스템 개선기술 개발.”
 4. 신광복 외(2003), “틸팅 시스템 실용기술 개발.”
 5. 한국철도기술연구원(2000), “기존선의 고속화를 위한 시스템에 관한 연구.”
 6. 박용걸, 최정열(2006), “현장측정을 통한 자갈도상궤도의 동적거동 분석,” 한국철도학회 논문집, 제9권 제4호.
 7. 박용걸 외(2007), “틸팅차량 주행에 따른 기존선 곡선 궤도의 거동 특성,” 한국철도학회 논문집 제10권 제6호.
 8. 강기동, 박종방, 나성훈, 김정환(2000), “고속철도 궤도계측에 관한 연구,” 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 435-438.
- 접수일(2009년 5월 6일), 수정일(2009년 7월 1일),
게재확정일(2009년 9월 23일)