

# 기존선 궤도의 충격계수 산정에 관한 연구

## Evaluation of Track Impact Factor in the Conventional Line

엄주환<sup>1</sup>, 유영화<sup>1</sup>, 엄기영<sup>2</sup>

Ju-Hwan Um, Young-Hwa You, Ki-Young Eum

**Keywords** : Wheel Load(윤중), Impact Factor(충격계수), Track(궤도), Variational Ratio of Wheel Load(윤중변동률), Continuous Welded Rail(장대레일)

### Abstract

In this paper, the track impact factor of conventional line was evaluated using the data for wheel load measured in field and the properties of current operating trains. The equation for track impact factor was presented through the statistical analysis of variational ratio in wheel load and compared with other design equations in domestic and foreign countries. A review on the safety of track system in conventional line was made from the relationship between the velocity and the corresponding impact factor. It was found that the impact factor from the proposed equation is a little less than the values from the equations adopted in both AREA and domestic railway, while it is same as the equation for continuous welded rail(CWR) in Japan. Therefore it could be said that the track satisfies a criteria for dynamic load caused by the train and the corresponding level of safety is guaranteed for dynamic load of the train

### 1. 서론

기존선 속도향상을 목적으로 개발 중인 틸팅차량<sup>[1]</sup>은, 현재 운행 중인 기존차량에 비해서 보다 높은 속도로 주행이 가능하며, 기존차량보다 높은 속도로 인하여 궤도가 부담하게 되는 힘은 증가한다<sup>[2]</sup>.

우리나라의 경우, 궤도 부담력<sup>[3]</sup>에 관한 검토는 고속전철을 대상으로 하여 궤도 구조의 성능평가를 실시한 적이 있다<sup>[4]</sup>. 국철의 경우에는 개량화 사업에 의해서 선로 개선이 이루어진 구간도 일부 있지만, 그 대부분의 노선이 부설 후 반세기 이상이 지났기 때문에 상당히 노후화되어 있는 상태에 있는 것이 사실이다. 또한, 선로를 구성하는 궤도와 구축물 및 구조물의 노후화와 선로 선형 개량에 따른 정확한 관련 자료의 부재 등으로 인하여 기존선은 고속 전철의 궤도 구조에 비해 상대적으로 취약한 부분들이 많이 존재

하고 있는 것이 사실이다. 따라서 현재 추진 중인 기존선 고속화 사업에 따라 향후 기존선에 틸팅 차량을 투입할 경우 차량의 주행 안전성을 확보하고 발생 가능한 사고 등을 미연에 방지하기 위해서는 기존선 궤도의 성능에 대한 정량적인 평가가 수립되어야 한다<sup>[5]</sup>.

열차가 궤도를 주행하는 경우, 열차와 궤도의 상호 간에는 작용력이 발생하게 되며, 이 작용력의 크기는 열차의 주행속도, 축중, 선로의 선형 등의 함수로 구성되며 적절한 안전율을 갖도록 제한할 필요가 있다<sup>[2]</sup>.

주행하는 열차의 안전성을 확보하기 위해서는 두 매개체간의 상호 작용력에 의한 차량과 궤도의 운동 안전성 확보가 필수적이다. 이와 같이 차량의 주행으로 인하여 궤도에 전달되는 힘으로는 윤중과 횡압이 있다. 윤중은 한 개의 차륜(wheel)을 통하여 레일에 작용하는 수직하중을 말한다. 일반적으로 윤중은 궤도에 작용하는 정적 하중뿐만 아니라, 시간에 따라 변화하는 동적하중의 영향도 포함하여 일컫는다. 따라서 윤중을 실측하는 경우에는 궤도에 작용하는 동적하중의 영향을 검토할 수 있을 뿐 만 아니라, 공차

\*1 정회원, 한국철도기술연구원, 인프라기술개발팀, 선임연구원

\*2 정회원, 한국철도기술연구원, 인프라기술개발팀장, 선임연구원

하중 혹은 정적하중과의 관계로부터 궤도 설계시 고려된 충격력의 영향에 대한 적절성 또는 타당성을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 기존선에 대해서 현재 운행 중인 열차를 대상으로 현장 계측한 운중 데이터와 열차의 제원을 사용하여 기존선 궤도의 충격계수를 산정하고 궤도 설계 시 일반적으로 적용하고 있는 설계식과의 비교·검토를 통하여 주행 차량의 속도와 이에 따른 궤도의 충격계수와와의 관계로부터 향후 탈팅차량 운행에 대비하여 기존선 궤도구조의 충격계수 산정을 통한 안전성 평가를 수행하였다.

## 2. 동적 충격계수

### 2.1 충격계수의 경험적 평가 방법

속도 증가에 따른 하중 증가는 일반적으로 정적 하중에 대한 일정한 증분(충격계수)으로 나타낸다. 충격계수를 산정하는 방법으로는 여러 가지 식들이 제안되고 있으나 본 연구에서는 대표적으로 유럽 철도의 충격 기준치와 Birman식, 일본의 이음매 궤도, 경부고속철도 KTX 열차 운행시 궤도 충격을 및 LS-22 설계하중 등에서 사용하고 있는 제안식들을 비교·검토하였다. Fig. 1은 상기의 제안식들에 대해서 열차속도에 따른 충격계수를 비교한 것이다<sup>[4]</sup>.

Fig. 1에서 각 제안식들은 다음과 같다.

#### (1) Formula of Central European Railways(CER, 1936)

$$i = 1 + \frac{V^2}{30,000} \quad (1)$$

#### (2) Birman's formula(1966)

$$i = 1 + \alpha + \beta + \gamma \quad (2)$$

여기서  $\alpha = 0.05 \left( \frac{V}{100} \right)^3$ ,  $\beta = 0.2$   
 $\gamma = \gamma_o \cdot \alpha \cdot \beta$

$$\gamma_o = 0.1 + 0.017 \left( \frac{V}{100} \right)^3$$

#### (3) 경부고속철도 KTX 시험선 구간 측정에 의한 동적충격계수

$$i = 1.070 + 3.511 \cdot 10^{-4} V \quad (3)$$

#### (4) 이음매 궤도에 대한 동적 충격계수(일본)

$$i = 1 + 0.5 \frac{V}{100} \quad (4)$$

#### (5) 장대레일궤도에 대한 동적 충격계수(일본)

$$i = 1 + 0.3 \frac{V}{100} \quad (5)$$

#### (6) 국내의 디젤 기관차의 충격계수<sup>[6]</sup>

$$i = 1 + 0.513 \frac{V}{100} \quad (6)$$

여기서  $i$ 는 충격계수이고  $V$ 는 열차의 속도(km/h)이다.

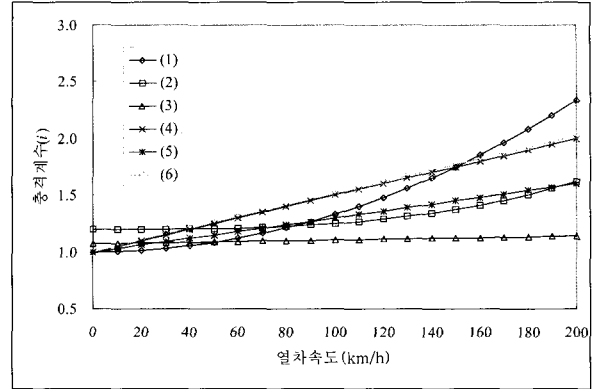


Fig. 1 Impact factors with train speed

### 2.2 충격계수의 비교·검토

Fig. 1에 나타난 각 식으로부터 차량의 특정 속도에 따른 충격계수를 Table 1과 같이 정리하였다.

Table 1과 Fig. 1로부터 시속 200km/h까지의 충격계수를 살펴보면 (1)식은 저속운행시를 기준으로 하였기 때문에 시속 100km/h를 초과할 경우 충격계수가 지나치게 큰 값이 산정되고 (2)식은 시속 100km/h이하에서는 충격계수에 큰 변화가 없으며 200km/h이상의 고속영역인 경우에는 급작스럽게 커지는 경향이 있다.

(3)식은 경부고속철도의 궤도충격계수로서 궤도틀림이 없는 이상치 1.16치에 근접하고 있어 상태가 이상적인 궤도에 적합한 식이다. (4)와 (5)식은 이음매와 장대레일궤도에 대한 제안식(일본)이며 (6)식은 국내 기관차에 적용하고 있는 궤도충격계수이다. 이는 AREA 코드를 준용하고 있는데 속도가 1마일 증가시 33인치(83.8cm)를 기관차의 동륜직경으로 나누어 얻은 값의 1/100만큼 비율로 증가한다는 가정에서 나오게 된다. 따라서 본 연구에서는 기존선 궤도의 충격계수 검토 시 (5)와 (6)식을 비교의 대상으로 하여 검토하도록 한다.

**Table 1 Typical impact factors with train speed**

구 분	50km/h	100km/h	150km/h	200km/h
(1)	1.083	1.333	1.750	2.333
(2)	1.205	1.241	1.339	1.535
(3)	1.088	1.105	1.123	1.140
(4)	1.250	1.500	1.750	2.000
(5)	1.150	1.300	1.450	1.600
(6)	1.257	1.513	1.770	2.026

**3. 기존선 궤도의 동적 윤중 측정**

**3.1 운행차량의 제원**

본 연구의 계측 대상구간인 기존선에서 현재 운행 중인 디젤 및 전기기관차의 제원은 아래의 표와 같다.

**Table 2 Property and capacity of diesel locomotives**

구 분	7100~7200호대	7500호대
견인 마력(HP)	3,000	3,000
운전정비 중량(tonf)	132	132
운전축당 중량(tonf)	22	22
차륜직경(mm)	1,016	1,016
고정축거(mm)	3,708	3,708
대차간 중심거리(mm)	12,497	12,497
최소곡선반경(m)	83.5	83.5
최고속도(km/h)	150	150

**Table 3 Property and capacity of electric locomotives**

구 분	8001~94호대
최소곡선반경(m)	78
최고속도(km/h)	85
최대출발견인력(kN)	약 410
연속정격속도/견인력(km/h/kN)	46/321.4
운전정비중량(tonf)	132
대차중량(tonf)	52.8
대차 중심간 거리(mm)	5,900
고정 축거(mm)	2,900
운전축당 중량(tonf)	22tonf
차륜직경(mm)	1,250

**3.2 측정항목 및 방법**

상기의 기존차량 통과 시에 대한 레일의 윤중과 횡압을 측정하기 위해 기존선 구간 중 윤중과 횡압이 클 것으로 예상되는 3지점과 장대레일의 직선구간 1지점을 선정하였다. 측정지점에 관한 상세 현황은 Table 4에 나타난 바와 같이, 침목종류와 곡선종류에 따라 PC침목 구간, 목침목 구간, 직선 구간, 곡선 구간으로 분류하여 각 구간에 대해 총 5회 통과 차량에 대한 윤중과 횡압을 측정하였다.

계측에 사용된 장비로는 Data Acquisition System, Dynamic Strain Amplifier, Displacement Transducer 및 5mm 2축 strain gauge 등을 사용하였다. 데이터를 저장할 수 있는 채널은 모두 32개 채널이며, 게이지, 변위계, 가속도계를 조합하여 32개 채널을 모두 측정할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 특히, Data Acquisition 장비는 계측 직후에 저장한 신호들을 현장에서 바로 확인 할 수 있으며, 샘플링율(Sampling Rate)을 자유롭게 설정할 수 있다. 또한 다이내믹 스트레인 앰프에서 출력되는 신호가 10V 정도로 매우 크고, 증폭비율을 자유롭게 조절할 수 있으므로 측정대상물의 스트레인 계측범위를 미리 예측하여 설정하면 노이즈가 적은 양질의 신호를 획득할 수 있다. 계측에 사용된 주요장비의 사양이 Table 5에 나타내었다.

윤중의 측정은 Fig. 2와 같이 침목간 중심에서 각 100mm 떨어진 위치의 중립축에 45°의 각도를 가지고 8방향으로 스트레인게이지를 부착한다. 그리고 Fig. 2에서와 같이 결선하여 단면힘의 영향을 배제하고 전 단면형을 측정한다. 이 상태에서 내력형의 윤중 검정기를 이용하여 5tf(약 50kN)까지 재하하고 윤중을 검정한다.

횡압의 측정은 Fig. 3과 같이 침목간 중심에서 각 100mm 떨어진 위치의 레일 저부상면에서 내측에 스트레인 게이지를 부착하고 결선면 레일 종방향 휨의 영향을 배제시켜 전단력으로 측정할 수 있다. 횡압 측정 위치는 Fig. 3과 같이 레일저부 상면에 크로스게이지를 부착하고 결선한다. 그 위치는 레일복부와 플렌지 사이의 우각부에 변형게이지가 들어가지 않으므로 될 수 있는 한 복부에 가깝게 부착한다. Fig. 4와 5는 현장 레일의 윤중 및 횡압 게이지의 부착상황을 나타내고 있다. 여기서 횡압 측정게이지는 중립축에 부착이 곤란하기 때문에 그림에서와 같이 배치한 것이다.

Table 4 Measuring information of conventional line

측정구간	위 치	레 일	측정일자	비 고
곡선부 PC침목 (조차장~봉양)	150.48km (상선)	50kgN	2003.4.3 0	R400 C100 PC침목
곡선부 목침목 (삼곡~도담)	168.3km (단선)	50kgN	2003.5.1	R400 C100 목침목
직선부 PC침목 (안정~영주)	213.9km (단선)	장대레일 50kgN	2003.5.1	직선 PC침목
곡선부 목침목 (판대~간현)	192km (단선)	50kgN	2003.5.2	R400 C100 목침목

Table 5 Typical measuring equipments

장비명	모델명	제조회사
Data Acquisition System	Vision	Nicolet Technologies
Tape Recorder	RD-200T PCM Data Recorder	TEAC
Dynamic Strain Amplifier	SC16	NCode
Signal Conditioning System		PCB
Displacement Transducer	Model-CDP5	Tokyo Sokki
FFT Analyzer	SA390	Scientific Atlanta

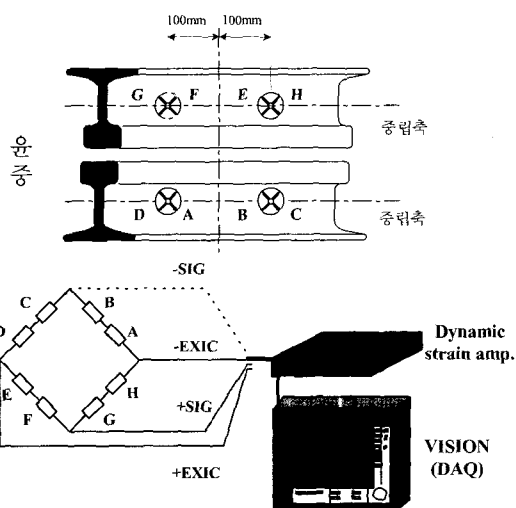


Fig. 2 Gauge location for wheel load

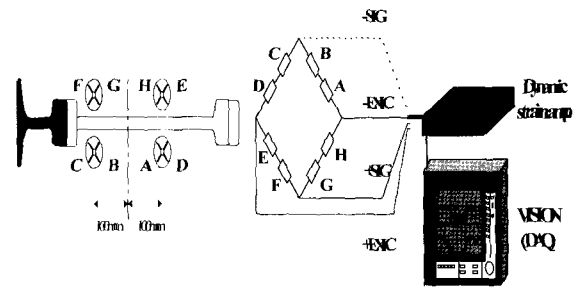


Fig. 3 Gauge location for lateral wheel pressure

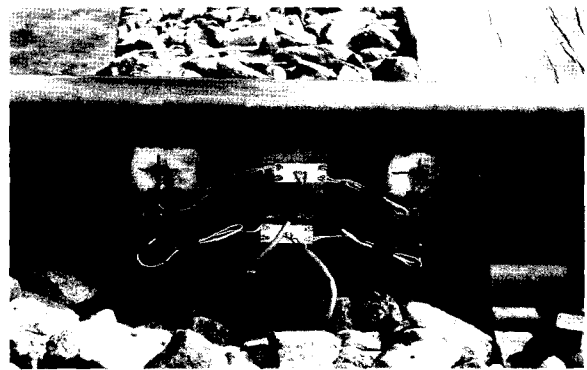


Fig. 4 Example of wheel load gauges in rail web

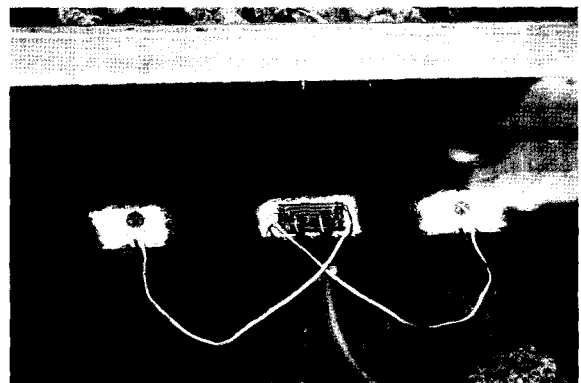


Fig. 5 Example of Lateral wheel pressure gauge in rail flange

#### 4. 기존선 궤도의 충격계수 산정

##### 4.1 구간별 정적 윤중 산정

윤중의 측정은 화물차 및 여객열차의 경우, 승객 탑승 및 화물로 인한 자중증가를 고려하기 위하여 열차의 운행시간에 실시되었으므로, 정확한 승객의 수와 화물중량에 대한 각 열차의 정적하중을 산정하기

는 현실적으로 곤란하다. 따라서 여객열차의 경우는 각 열차제원에 의한 자중과 승객이 승차한 상태에서의 승객 하중을 고려하여 정적 하중을 산출하였으며, 화물열차는 그 특성상 정확한 하중을 산정하기 어려우므로 검토 대상에서 제외하였다.

승객하중은 일반적으로 지하철 설계 시 적용하는 1인당 62kgf를 기준으로 하였으며, 승차인원은 구간별 특성 및 시간에 따라 다소 차이가 있겠지만 여기서는 주말이 아닌 주중이라는 점을 고려하여 만차 시의 50% 정도 승차인원을 가정하여 정적 하중을 산출하였다<sup>7)</sup>.

Table 6은 열차 종류별 정적 윤중을 나타낸 것이다.

Table 6 Static wheel load

구 분	디젤 기관차	전기 기관차	객차
차량 중량(tonf)	132	132	38
승객 중량(kgf) [좌석수(72개) × 62kgf]의50%			2.232
총 중량(tonf)	132	132	40.232
$P_{sta}$ (tonf) (총중량 × 0.5/축수)	11	11	5.029

정적 윤중에 대해서는 열차의 종류별로 Table 5에서 정리한 값을 이용하였으며, 화물열차는 앞에서 언급하였듯이 정확한 정적 윤중을 산정하지 못하는 관계로 기관차의 윤중만을 적용하였다. 그리고 속도의 함수인 충격계수를 통계적으로 간단히 산정하기 위해 열차 속도별로 각 윤축에 대한 동적하중을 산정하였으며, 통계분석을 위한 윤중 변동율  $(P_t - P_s)/P_s$ 의 표준편차를 일률적으로 정리하였다. 여기서  $P_s$ 는 동하중( $P_{dyn}$ )과 정하중( $P_{sta}$ )을 합한 전체하중으로서,  $P_{dyn}$ 과 같은 의미를 갖는다.

4.2 윤중 측정 결과의 분석

주행하는 열차에 의해 궤도에 작용하는 윤중은, 열차 자중에 의한 정적하중 이외에 열차의 주행속도에 따라 발생하는 동적 효과인 충격력의 영향까지 포함된다. 따라서 측정된 윤중은 열차속도에 따른 동적 하중으로 간주할 수 있으며 열차의 정적하중과 비교하여 궤도의 열차 주행에 따른 충격계수를 추정할 수 있다.

여객열차 1편성(6량~8량)이 주행하는 경우 기관차

를 포함하여 약 30~38개의 윤축에 의한 윤중이 발생하게 되며, 모든 축에서 발생한 주행속도에 따른 충격계수의 평균값과 표준편차를 구간에 따라 속도별로 구분하여 Table 7과 같이 정리하였다. 이 표로부터 충격계수는 평균적으로 1.04~1.58의 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6는 모든 측정구간에 대해서 산출한 충격계수와 차량의 속도와의 관계를 나타낸 것이다. 열차 주행에 따른 동적하중은 전반적으로 속도가 증가함에 따라 비례하여 증가하는 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 대부분의 열차속도가 25km/h~70km/h 사이에서 계측이 이루어진 것을 알 수 있는데, 이는 해당선구에서 가장 급곡선부인 곡선반경 400m인 구간을 위주로 측정하였기 때문이다. 그리고 열차속도가 50km/h 이하에서는 대부분 화물열차이며, 50km/h~70km/h의 속도대역은 대부분 여객열차이다.

Table 7 Standard deviation with train speed

구 분	속도 (km/h)	$P_{sta}$ (평균) (tonf)	$P_{dyn}$ (평균) (tonf)	충격계수 ( $P_{dyn}/P_{sta}$ ) 평균(tonf)	충격계수 표준편차
삼곡~도담	39.3	11	11.87	1.08	0.076
	41.1	11	11.53	1.05	0.075
	42.9	11	11.70	1.06	0.039
	45.3	11	12.89	1.17	0.036
	57.4	6.02	8.04	1.30	0.105
안정~영주	51	11	12.23	1.11	0.091
	51.7	11	12.70	1.15	0.075
	53.7	11	12.30	1.12	0.052
	54.9	11	17.36	1.58	0.043
	57.6	6.02	8.82	1.52	0.236
조차장~봉양	25.9	11	13.57	1.23	0.076
	33.9	11	11.85	1.08	0.042
	34.5	11	12.72	1.16	0.045
	53.9	11	13.83	1.26	0.081
	60.2	6.05	8.91	1.43	0.181
판대~간현	48.9	11	11.55	1.05	0.068
	48.9	11	11.48	1.04	0.065
	49.0	11	12.15	1.10	0.041
	61.0	6.02	7.31	1.19	0.102
	67.1	6.74	8.24	1.28	0.132
	67.3	6.02	8.06	1.35	0.12

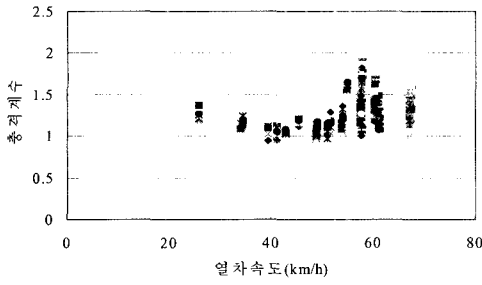


Fig. 6 Impact factor with train speed

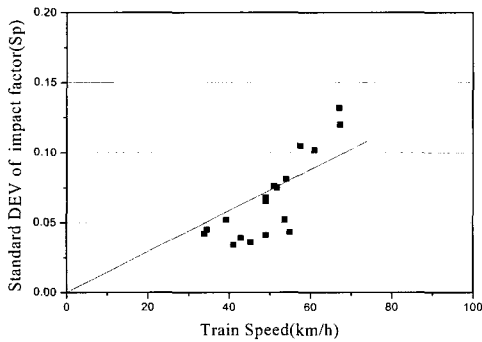


Fig. 7 Standard deviation of variational ratio of wheel load

Fig. 7은 속도에 따른 각 윤중 변동율을 나타내고 있다. 윤중 변동율은  $(P_t - P_s) / P_s$ 로 나타내며, 이는 열차주행에 따른 윤중의 변동량을 정적 윤중으로 나눈 값으로서 순수한 동적하중의 변동값을 나타낸다. 그림으로부터 윤중 변동율은 열차의 속도증가에 따라 변화함을 알 수 있다.

4.3 충격계수 산정식 추정

충격계수는 윤중 변동율에 대한 표준편차의 2배, 즉  $2\sigma$ 를 사용하여 산정하는 것이 일반적이다.

Fig. 8은 연속 확률변수  $X$ 가 정규분포  $N(m, \sigma^2)$ 를 따를 때, 표준편차  $\sigma \sim 3\sigma$ 일 때의 정규 분포도를 나타내고 있다. 이 그림에서  $x = m$ 에서 최대이고  $m$ 에서 멀어짐에 따라 하강하여  $x = m \pm \sigma$ 인 점에서 곡률이 변하게 된다. 즉 아래쪽의  $\sigma$ 로부터 위쪽의  $\sigma$ 로 변하게 된다. 또한  $m$ 으로부터 무한대로 멀어짐에 따라  $x$ 축으로 근접한다.

분포곡선과  $x$ 축으로 둘러싸는 넓이가 전 뫇수를 나타낸다. 그림에서와 같이  $m \pm \sigma$ 의 구간에서는 68.3%,  $m \pm 2\sigma$ 의 구간에서는 95.5%,  $m \pm 3\sigma$ 의 구간에서는 99.7%의 확률분포를 가지게 된다. 일본의 경우에는, 설계상의 윤중 변동분은 그 검토 대상에 따라  $\sigma$  또는  $3\sigma$ 에 대응한 값을 사용하고 있으며, 특히 충격계수 산정에 있어서의 윤중 변동은 표준편차의  $2\sigma$ 의 값으로 표현하고 있다<sup>18)</sup>. 따라서 본 연구에서도 현장 계측을 통한 충격계수 산정시 윤중 변동율의 표준편차에 2배한 값, 즉  $2\sigma$ 를 사용하였다.

Fig. 9는 표준편차의 평균값과 여기에 안전율을 고려한 표준편차의 2배( $2\sigma$ )를 취하여 충격계수값을 나타낸 것이며, 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$i = 1 + 0.18 \frac{V}{60} \tag{7}$$

위의 식 (7)은 계측시의 열차·운행속도가 최대 60km/h 정도였으므로 이 속도를 기준으로 제시한 공식이며, 이 결과를 설계시 적용하는 열차속도 100km/h에 대한 공식으로 계산하면 다음 식과 같다.

$$i = 1 + 0.3 \frac{V}{100} \tag{8}$$

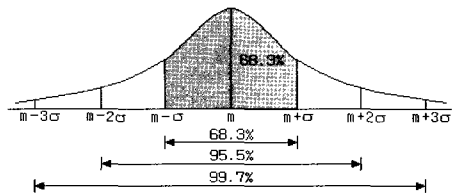


Fig. 8 Normal distribution curve

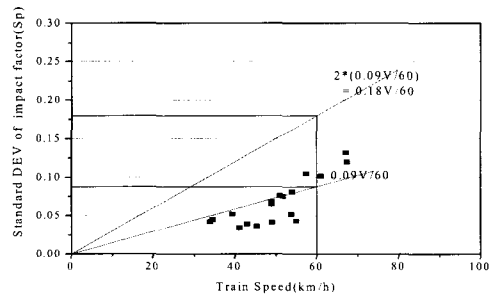


Fig. 9 Standard deviation of variational ratio of wheel load applying  $2\sigma$

4.3 충격계수 평가 결과의 비교 및 분석

기존선에 대한 구간별 실측데이터로부터 충격계수를 산정하여 분석한 결과,  $1+0.3V/100$ 의 관계에 있는 것으로 분석되었다. 이 값을 일본에서 현재 적용중인 충격계수(정척레일: $1+0.5V/100$ , 장대레일: $1+0.3V/100$ )와 비교하면 장대레일 구간에 적용하는 식에 해당하며, 미국 AREA 및 우리나라 국철의  $1+0.513V/100$ 에 비해서 다소 작은 값이다. Fig. 10은 이들 각각의 충격계수를 비교한 그림이다. 국철에 적용하는 충격계수 산정식에 의한 결과보다 실측된 기존선의 충격계수가 작다는 사실로부터, 기존선 궤도는 열차 주행으로 인한 동적인 하중에 대한 허용기준을 만족하고 있으며, 충격계수의 차이에 해당하는 크기의 안전율을 확보하고 있다고 볼 수 있다. 더욱이 향후의 기존선 속도향상을 위해 지속적이고 강도 높은 궤도의 유지관리를 수행하고 있는 점을 고려한다면 현재의 선로상태가 충격하중에 대해서는 안전하다고 평가할 수 있다. 또한 향후 기존차량보다 축중이 가벼운 틸팅차량이 운행되는 경우에 궤도가 부담하게 될 부담력의 증가는 거의 없거나 무시할 정도의 수준이 될 것으로 예상된다.

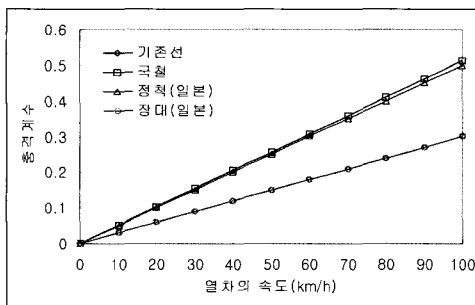


Fig. 10 Comparison of the Impact factors

5. 결론

본 연구에서는 틸팅차량 투입 예정 노선인 기존선의 궤도에 대해서 현장 측정에 의해서 얻은 운중 데이터를 사용한 동적운중과 현재 운행중인 열차의 제원을 사용하여 산정된 정적운중을 사용하여 충격계수를 산정하였다. 또한 기존열차에 대한 운중별동율을 사용하여 통계적인 분석에 근거한 기존선 궤도의 충격계수 산정식을 제안하였고, 이를 우리나라의 국철과

일본에서 적용하고 있는 설계식과 비교하였다. 본 연구에서 기존선의 충격계수를 산정하여 비교 및 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- i) 기존선 궤도의 동적인 충격에 대한 안전성 평가를 위해서 곡선부 및 직선부의 4 개소를 설정하여 열차통과 시 발생하는 운중에 대한 현장 측정을 실시하였다.
- ii) 실측한 운중 데이터와 정적 운중을 사용하여 산출한 충격계수와 차량의 속도와의 관계를 분석한 결과, 열차 주행에 따른 동적하중과 운중 변동률은 속도의 증가에 비례하여 증가함을 알 수 있었다.
- iii) 기존선에 대한 구간별 실측데이터로부터 통계적 분석에 의해 기존선의 충격계수 산정식을 제시하였다. 이 관계식은 일본의 경우 장대레일 구간에 적용하는 식과 동일한 반면에 미국 AREA 및 우리나라 국철에 적용하는 식에 비해서는 다소 작게 평가되고 있다.
- iv) 기존선 궤도는 열차 주행으로 인한 동적인 하중에 대한 기준을 만족하고 있으며, 충격계수의 차이에 해당하는 크기의 안전율을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 기존선의 고속화를 위한 시스템에 관한 연구, 한국철도기술연구원, 2000
2. 家田仁外2人 “速度と軌道構造に関する提案”, 鐵道線路, 日本鐵道施設協會, 1981.2
3. 서사범, 선로공학, 열과알, 2002.
4. 시운전시 궤도·노반 시설물의 성능 검증, 한국철도기술연구원, 2000
5. 선로구축물 시스템 엔지니어링 기술개발(2단계 2차년도 보고서), 한국철도기술연구원, 2001
6. 국유철도건설규칙, 철도청, 2000.
7. 건설교통부, 도시철도 표준화 연구개발사업, 2002년도 연구결과 최종보고서, 2002
8. 鐵道構造物等設計標準·同解説[軌道構造(有道床軌道)](案) 鐵道總合技術研究所, 1997