

## 도시철도 궤도구조별 궤도충격계수 평가

## The Evaluation of Track Impact Factor on the Various Track Type in Urban Transit

최정열<sup>†</sup> · 박용걸<sup>1</sup> · 이상민<sup>1</sup>

Jung-Youl Choi · Yong-Gul Park · Sang-Min Lee

**Abstract** Impact factor of concrete and ballast track which has been used in Korea railway was applied to equation  $(1+0.513V/100)$  from AREA. As the use of this equation, overcapacity of track design might be occurred. Therefore, this study compared impact of ballast track (well, bad) and concrete track (sleeper embeded system, rail floating and sleeper floating) by field test to analyzing dynamic effect of track structure's characterstic and wheel load on service line. In addition, it suggested a method to generate reasonable impact factor on each track type.

**Keywords** : Track impact factor, Field test, Track type

**초 록** 현재 한국에서 궤도설계 시 사용하고 있는 궤도충격계수는 미국철도기술협회(AREA)의 식 $(1+0.513V/100)$ 을 사용하고 있다. 이 식은 자갈 및 콘크리트궤도 모두 동일하게 적용되고 있으며 이러한 단일수치로서의 충격계수는 다양한 궤도구조의 역학적 거동특성을 반영하지 못하여 경우에 따라 과다설계가 될 소지가 있다. 또한 자갈궤도의 경우 도상자갈의 상태변화에 따라, 콘크리트궤도는 궤도탄성층의 구성과 탄성범위에 따라 궤도에 작용하는 동적하중의 효과, 즉 충격의 효과가 상이하게 발생된다. 이에 본 연구에서는 자갈궤도(도상 상태 양호 및 불량개소)와 콘크리트궤도(일반적인 침목매입식 궤도, 레일플로팅궤도, 침목플로팅궤도)에서의 현장측정을 통해 도상별, 궤도구조별 열차 주행시 발생하는 운중의 동적효과를 분석하여 궤도의 상태 및 구조적 특성과 궤도충격의 효과와의 상관관계 및 영향을 비교, 분석하였다. 연구결과 궤도구조의 특성을 감안하여 궤도충격의 영향을 합리적으로 산정 할 수 있는 제안식을 제시하였다.

**주요어** : 궤도 충격계수, 현장측정, 궤도구조

## 1. 서 론

현재 국내 궤도설계 시 사용하고 있는 궤도 충격계수는 미국철도기술협회(AREA)의 식 $(1+0.513V/100)$ 을 사용하고 있다[2]. AREA에서 제안한 충격계수식은 속도범위 100km/h에 대해 동적 하중의 영향을 약 1.5배 할증시키는 개념에서 현재 국내 궤도설계 시 자갈 및 콘크리트 궤도 모두 동일하게 적용되고 있으며 이러한 단일수치로서의 충격계수는 다양한 궤도구조의 역학적 거동특성을 반영하기에는 어려움이 있을 것으로 판단되었다. 더욱이 최근 콘크리트궤도 구조는 점차 다양해지고 있으며 실 운행선 궤도의 동적거동은 설계시 고려한 동적영향과는 많은 차이를 나타낼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 자갈궤도(도상 상태양호 및 불량개소)와 콘크리트궤도(일반적인 침목매입식 궤도, 레일플로팅 궤도, 침목플로팅궤도)에서의 현장측정을 수행하였으며 측정된 동적 운중 데이터를 이용한 궤도충격계수와 궤도설계 시 적용되는 궤도충격계수 기준과의 비교를 통해 현장여건이 반영된 운행선 궤도의 충격의 수준을 평가하고자 하였다.

## 2. 현장측정

## 2.1 현장측정 개요

본 연구의 대상선로는 현재 지하철 차량이 운행중인 자갈 궤도 2개소(도상상태 양호 및 불량구간)와 콘크리트궤도가 부설된 5개소로써 총 7개소를 선정하였으며 콘크리트궤도는 궤도 시스템별로 구분하여 일반궤도 구간, 레일 플로팅, 침목 플로팅구간을 측정하여 비교하였다. 측정구간은 모두 60kg 장대레일을 사용하는 직선 선로이며 해당궤도의 탄성수준을 파악하기 위해 설계 도서를 참조하여 설계당시에 고려된 궤도의 종합스프링계수를 정리하여 Table 1에 나타내었다. 측정구간의 제원 및 전경은 Table 1 및 Fig. 1과 같다.

## 2.2 동적 운중 측정[7][8][9]

대상 구간에서 실운행 차량 통과 시 궤도에 작용하는 동적 운중의 특성을 파악하고자 침목간 레일 중앙부 레일복부에 2축 스트레인게이지를 설치하여 운중측정을 수행하였으며 측정신호를 MGC - Plus (Data Acquisition System)에 저장한 후, 오리진™ 프로그램을 이용하여 분석하였다. 현장에서 측정되어지는 동적 운중은 운행열차의 운중 및 횡압을 상호간섭 없이 안정적으로 측정하기 위해 Wheatstone bridge

<sup>†</sup>교신저자 : 베를린공과대학교 철도·궤도공학과  
E-mail : cjy passion@hotmail.com

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과

Table 1 Properties of field test site [5][6]

구 분	Ballast Track		Concrete Track				
			Elastic Fastening		Rail Floating	Sleeper Floating	
	Bad	Well	E Type	B Type		L Type	P Type
통과톤수(MGT)	3.5	6.6	0(시험선)	0.3	0(시험선)	2.5	3.1
곡선반경(R)	직선		직선	직선	직선	직선	직선
레 일	장대, 60kg		장대, 60kg	장대, 60kg	장대, 60kg	장대, 60kgs	장대, 60kg
체결장치 종합스프링계수* (kN/mm)	133.3		14.54	16.77	4.2	18.9	14.14
침 목	PC침목		RC Block	Precast Slab Panel	-	RC Block	PC침목
침목간격(mm)	625		618	625	634	625	625

※주. 해당 궤도설계 시 고려된 궤도 종합스프링계수를 의미함.(설계도서 참조)

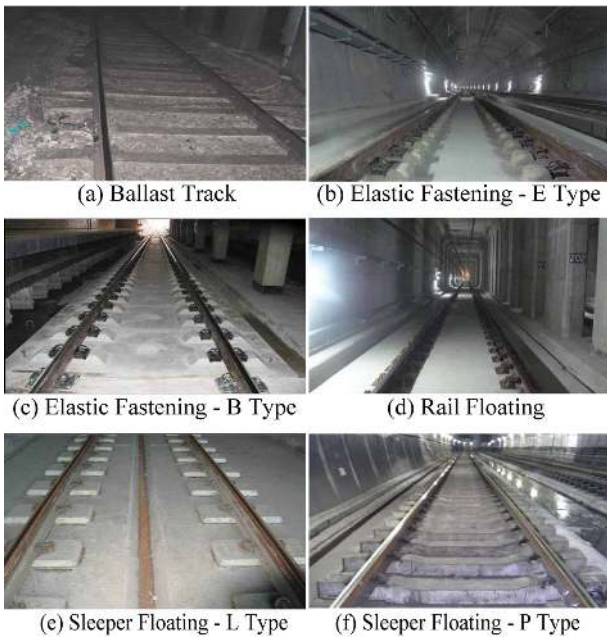


Fig. 1 View of track type

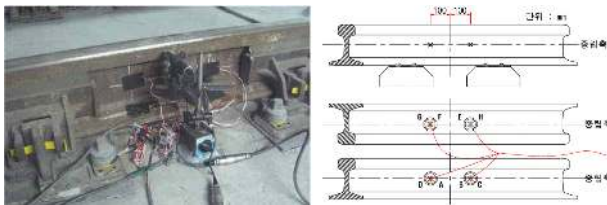


Fig. 2 View of wheel load sensor installation

를 구성하는 회로도를 이용하여 Fig. 2와 같이 침목간 중심에서 각각 100mm 떨어진 위치에 레일복부의 중립축에 45°의 각도를 가지고 8방향으로 결선된 윤중계이지를 부착하여 측정하였다.

윤중계이지는 내·외측 레일(2개소)에 스트레인계이지를 부착하여 측정하였다. 현장계측 시 주행 열차하중에 의해 발생한 윤중을 왜곡하거나 데이터의 손실이 발생되지 않도록 1kHz 이상의 충분한 수집율(Sampling Rate)을 설정하였다.



Fig. 3 View of the test of the load calibration

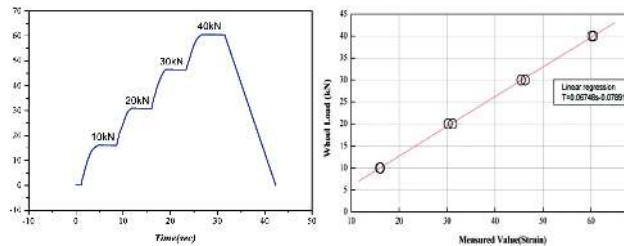


Fig. 4 Measured results of the wheel load calibration

레일에 부착한 스트레인계이지를 통하여 직접 측정된 값은 변형률 데이터로써 레일의 전단변형과 비례하여 발생한다. 전단변형은 역시 윤중과 비례하여 발생하므로 데이터 수집장비를 통하여 얻은 변형률을 실제 작용하는 윤중의 절대량으로 환산하기 위하여 윤중 검정(Calibration)을 수행하고 이때 얻어진 정적 윤중 데이터를 이용하여 선형회귀분석(Linear Regression)을 통해 환산 윤중을 도출함으로써 동적 윤중값(kN)을 구하였다. Fig. 2와 같이 윤중계이지를 레일에 부착하고, 유압잭을 이용하여 Fig. 3과 같이 0kN에서 40~50kN까지 정적 하중을 단계적으로 가압하여 이때 발생한 계측값을 기록하였다. 이때 오차발생과 선형회귀식의 신뢰성을 고려하여 3회 이상 동일한 실험을 반복하였다.

여기서 얻은 발생 변형률과 작용하중과의 관계에 대한 선형관계식은 선형회귀분석법(Linear Regression)을 이용하여 도출하였다. Fig. 4는 10kN 부터 40kN까지 단계별 재하한 정적 작용하중을 동적으로 계측하여 인력으로 재하한 정적 하중이 일정해지는 구간의 변형률 데이터의 평균값을 하중-변형률 선도로 도시하였으며 측정 변형률을 윤중(하중단위)으로 환산하고자 수행한 선형회귀분석의 결과를 나타낸다.

### 3. 현장측정 결과

측정구간별 동적 윤중 측정결과의 예를 Fig. 5에 나타내었으며 측정구간별 측정데이터의 개수 및 열차 주행속도는 Table 2와 같다. 계측 시 측정구간을 주행한 모든 열차에 대한 측정응답 중 측정상의 오류나 이상신호가 계측된 경우를 제외하고 가급적 많은 데이터를 동적 윤중 분석에 사용하였다.

본 연구에서 수행한 현장측정은 도시철도 운행선 및 시험선에서 수행한 것으로서 Fig. 6~Fig. 9와 같이 전체적인 속

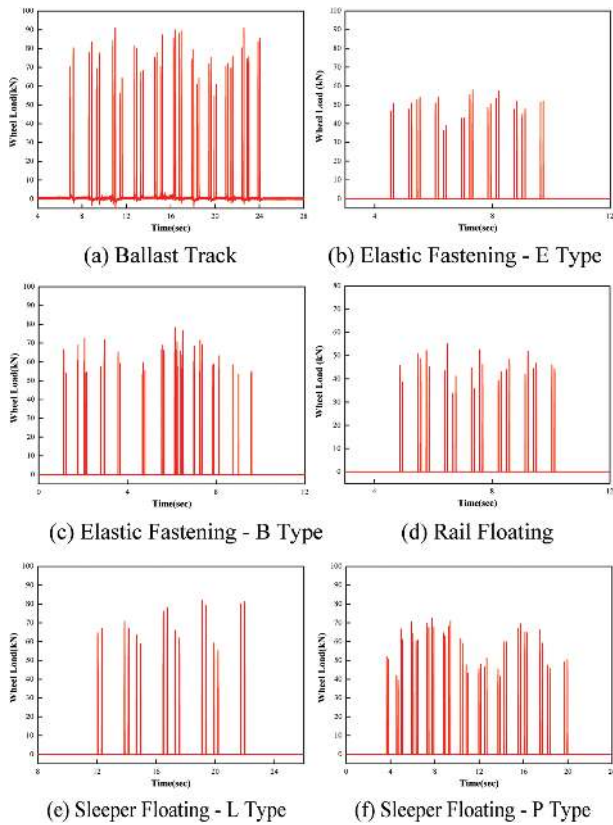


Fig. 5 Example of measured wheel load on each track

Table 2 Occurrence of measurement & Vehicle velocity

Track Type	Measured times (No.)	Vehicle speed (km/h)	
		Min	Max
Ballast track(Bad)	38	41	59
Ballast track(Well)	44	28	47
Elastic Fastening (E Type)	18	5	80
Elastic Fastening (B Type)	36	31	39
Rail Floating	18	5	80
Sleeper Floating (L Type)	32	32	45
Sleeper Floating (P Type)	45	38	73

도별 동적 윤중 데이터의 분포도에서 속도대역이 비교적 일정한 대역으로 작게 나타났으며, 궤도구조 Elastic Fastening (E Type), Rail Floating 궤도의 경우 시험선에서의 측정으로 속도대역을 5~80km/h까지 20km/h씩 변화시켜가며 열차 주행속도에 따른 동적 윤중의 변화를 측정하였다. Fig. 6과 같이 자갈궤도 중 도상상태가 불량한 경우 속도별 측정 윤중 데이터의 분포가 도상상태가 양호한 궤도의 경우보다 넓은 범위에 분포하는 것으로 나타나 동적 윤중의 변동수준이 다소 큰 것으로 분석되었다. 또한 Fig. 9와 같이 콘크리트 궤도 중 Sleeper Floating (L Type) 및 Sleeper Floating (P Type) 궤도의 경우에는 Rail Floating 궤도 보다 측정 동적

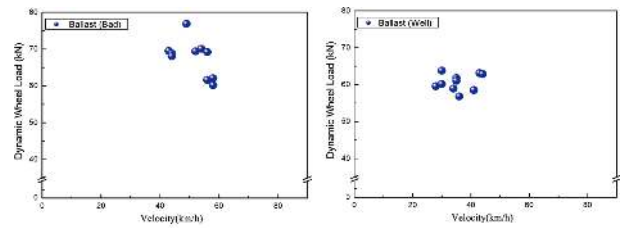


Fig. 6 Results of dynamic wheel load on ballast track

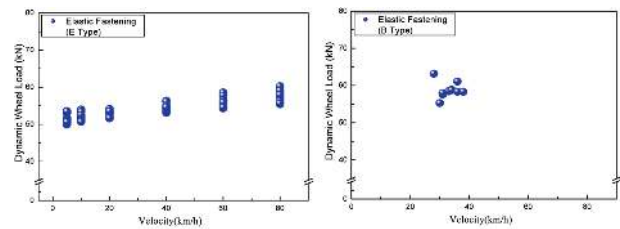


Fig. 7 Results of dynamic wheel load on elastic fastening system

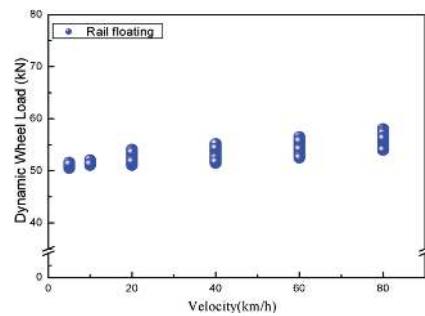


Fig. 8 Results of dynamic wheel load on rail floating track

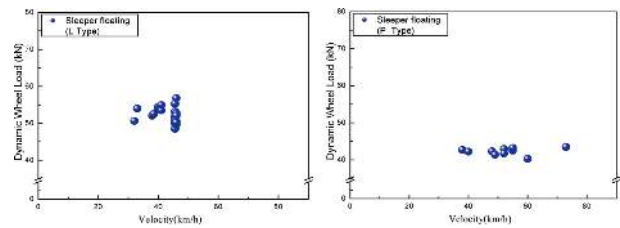


Fig. 9 Results of dynamic wheel load on sleeper floating system

윤중 데이터의 분포가 속도변화 대비 비교적 큰 것으로 나타났다.

#### 4. 충격계수 분석[2][3][4]

주행하는 열차에 의해 궤도에 작용하는 동적 윤중은 열차 자중에 의한 정적 하중 이외에 열차속도의 증감 및 기타 동적 하중증폭요인에 의해 발생하는 충격하중의 영향까지 포함되어 발생된다. 따라서 현장측정으로 획득한 윤중은 열차 주행에 따른 동적 하중이며, 열차의 정적 하중과 비교하여 열차속도에 따른 궤도의 충격계수를 산출할 수 있다.

또한 정적 윤중의 측정은 승객 탑승으로 인한 자중증가를 고려하기 위하여 열차의 운행시간에 실시되었으므로, 정확한 승객의 수와 각 열차의 정적 하중을 산정하기는 현실적으로 어렵다. 따라서 첫차 운행부터 막차 운행까지는 계측을 통한 공차하중 및 혼잡시간대(Rush-Hour)에 발생하는 전체 윤중변동을 측정하였다. 승객하중은 1인당 62kg을 기준으로 하였으며, 승차인원은 비교적 승객이 많은 구간, 보통 구간, 승객이 적은 구간 등 3개 구간으로 나누어 승차인원을 가정하였다. Table 3에서는 승차인원에 따른 차량의 정적 윤중을 나타냈고, Table 4는 측정구간을 주행하는 차량의 공차중량을 바탕으로 승차인원을 승객정원의 60%로 적용하고 각 측정 구간별 차량의 윤중 개수를 고려하여 정리한 정적 윤중을 나타낸다.

동적 윤중계측을 이용한 궤도 충격계수 산정시에는 측정된 윤중변동률의 표준편차( $\sigma$ )의 2배를 고려하여 가우시안 확률분포에서 약 68%이상의 확률밀도를 확보하는 것이 일반적이다[7]. 윤중변동률은  $(P_{dyn}-P_{sta})/P_{sta}$ 로 나타내며 이는 열차주행에 따른 동적 윤중의 변동량을 정적 윤중으로 나눈 값이다. 충격계수시험에 의한 확률분포는 Fig. 10과 같이 정규분포로 가정할 수 있다.

이러한 정규분포는 평균( $m$ )값에서 최대 확률값을 가지며 평균( $m$ )에서 멀어짐에 따라 하강하여  $x=m\pm\sigma$ 에서 변곡한다.

Table 3 Passenger loads in Urban Transit [3][4]

구 분	산정기준	적용인원		승객하중( kN)	
		선두차	중간차	선두차	중간차
비교적 승객이 많은 구간	차량당 승차정원 적용	148명	160명	92	99
보통인 구간	승차정원의 60%적용	89명	96명	55	60
승객이 적은 구간	좌석이 만석으로 간주	54명	54명	33	33

Table 4 Static wheel loads of vehicles on test track

구 분	Ballast Track	Concrete Track				
		Elastic Fastening		Rail Floating	Sleeper Floating	
		E Type	B Type		L Type	P Type
정적 윤중(kN)	53.7	48.2	54.3	48.2	48.2	37.7

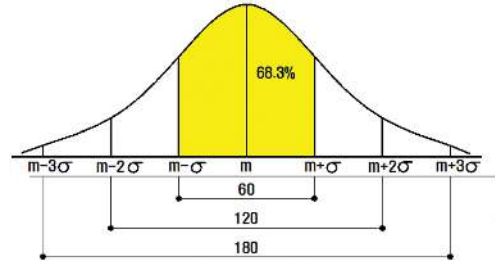


Fig. 10 Normal distribution diagram of track impact factor[7]

또한 평균에서 멀어짐에 따라 확률은 0의 값으로 접근하며 분포곡선과 x축으로 둘러싸는 넓이가 전도수를 나타낸다. Fig. 10과 같이  $x\pm m$ 의 범위 내에서는 68.3%,  $m\pm 2\sigma$ 의 범위 내에서는 95.5%,  $m\pm 3\sigma$ 의 범위 내에서는 99.7%로 된다. 동적 윤중을 이용한 충격계수 산정방법은 국내의 경우 AREA에서 산정하는 방법을 적용하고 있다. 측정된 동적 윤중 데이터를 이용하여 윤중변동률의 표준편차와 여기에 안전율을 고려한 윤중변동률의 표준편차값( $2\sigma$ )을 취하여 충격계수의 값을 나타낸다[9]. 미국(AREA)이나 일본철도에서 사용하고 있는 운행속도 100km/h를 기준으로 환산한 충격계수식은 식 (1)과 같으며 80km/h를 기준으로 환산한 충격계수식은 식 (2)와 같다[1][2][3].

본 연구에서는 지하철 (도시철도) 의 최고 운행속도 80km/h를 기준으로 하는 식 (2)를 궤도충격계수 검토 시 비교 수치로 적용하였다.

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

$$i = 1 + 0.410 \frac{V}{80} \quad (2)$$

#### 4.1 자갈궤도의 측정 궤도충격계수

측정 대상선로 중 자갈도상 궤도의 경우 도상자갈의 상태에 따라 궤도의 동적응답의 수준이 상이하게 나타나므로 도상자갈의 상태평가가 궤도의 충격계수 평가에 앞서 시행되어야 할 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 해당 선로에서 채취한 도상자갈에 대한 입도분석 및 내마모 강도 약화 정도를 파악하기 위한 마모시험을 통해 상태평가를 실시하였으며 그 결과를 바탕으로 불량과 양호로 구분하였다. 자갈도상의 상태평가를 위한 시험은 체가름 시험과 마모시험을 실시하였으며 이는 철도용품 표준규격 도상자갈규정(철

Table 5 Results of the screen classification test

체의 호칭 (mm)	체별 통과중량의 백분율(%)		기준치
	Ballast (Bad)	Ballast (Well)	
22.4	33	28	0~5
31.5	60	55	5~35
40	82	72	30~65
50	96	94	60~100
63	100	100	100



도 5610-1058 가)에 근거하여 KS F 250 에 의한 방법으로 각 시료당 3 회의 각 체별 통과중량을 평균하여 결과를 산출하였다. 마모시험은 KS F 2508 기준에 따라 LA 마모시험기로 수행하였다.

Table 5는 체가름 시험을 Table 6은 마모시험 결과를 각각 나타내고 있으며 Fig. 11은 체가름 시험결과를 바탕으로

Table 6 Test result of abrasion ratio

시료구분	Ballast (Bad)	Ballast (Well)	기준치
마모율(%)	15.2	8.2	25 이하

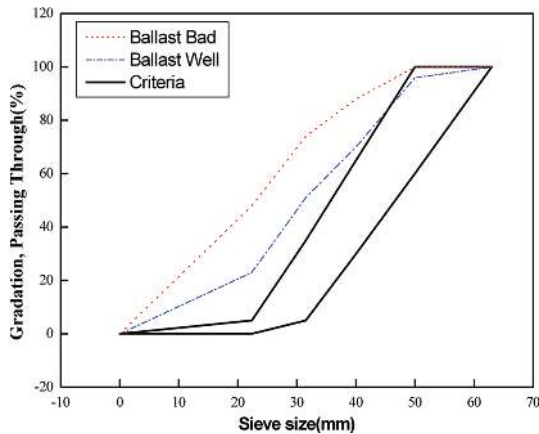
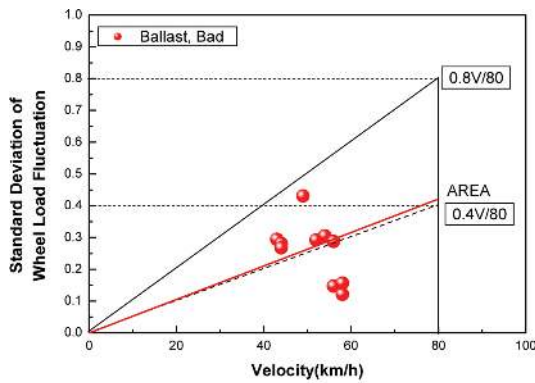
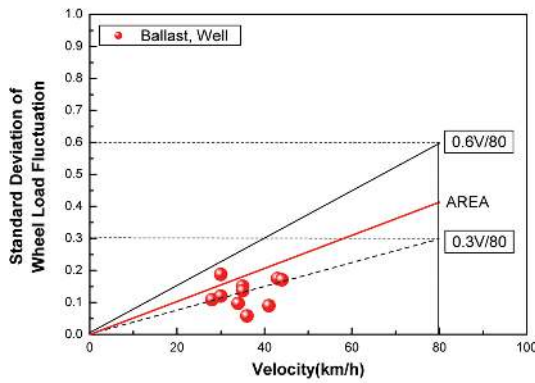


Fig. 11 Results of the screen classification test



(a) Ballast (Bad)



(b) Ballast (Well)

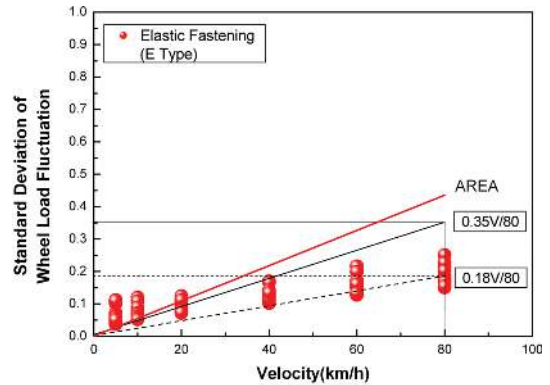
Fig. 12 Results of impact factor on ballast track

분석한 구간별 입도분포 곡선을 표준 입도분포곡선과 비교하여 나타내었다. 체가름 시험 결과, 측정구간의 시료 모두 22.4mm이하의 잔골재를 28~33%이상 포함하고 있었으며, 31.5mm, 40mm이하의 골재 또한 기준치를 상회하는 수준으로 포함되어 있어 현재 세립화가 어느 정도 진행되고 있는 것으로 분석되었다. 반면 마모시험 결과 Table 6과 같이 전체 시료 모두 기준치를 만족하는 것으로 나타나 현 궤도상태에서의 대상구간 도상자갈의 내마모 강도 약화 수준은 심각한 수준이 아닌 것으로 분석되었다. 각 시료에 대한 입도분포곡선을 종합하여 Fig. 7에 나타내었다. 그래프의 실선은 표준 입도분포기준을 나타낸다. 현장측정결과를 이용한 현 궤도상태에서의 궤도충격계수 검토 결과 Fig. 12와 같이 도상상태가 비교적 불량한 자갈궤도의 경우 0.8V/80이며, 도상상태가 양호한 자갈궤도의 경우 0.6V/80정도의 충격계수가 산출되었다. 이는 현재 국내 궤도 설계 충격계수로 사용하고 있는 0.410V/80(도시철도 최고속도 80km/h 적용)를 모두 상회하는 것으로 나타났다.

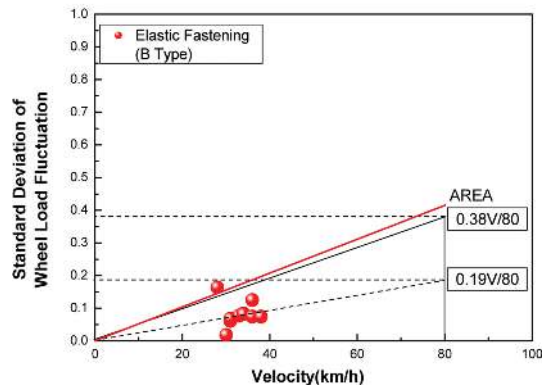
## 4.2 콘크리트궤도의 측정 궤도충격계수

### 4.2.1 일반 침목매입식 궤도

일반적인 침목매입식 콘크리트 궤도의 궤도충격계수 검토 결과 Fig. 13과 같이 E Type의 경우 0.35V/80로 나타났으



(a) Elastic Fastening (E Type)



(b) Elastic Fastening (B Type)

Fig. 13 Results of impact factor on elastic fastening system

며, B Type의 경우 0.38V/80정도의 충격계수가 산출되었다. 이는 국내 궤도 설계 충격계수로 사용하고 있는 0.410V/80를 하회하는 수준으로 나타났다.

#### 4.2.2 레일 플로팅 궤도

레일 플로팅 궤도의 궤도충격계수 검토결과 Fig. 14와 같이 0.30V/80로 측정대상 궤도구조 중 가장 낮은 충격계수가 산출되었다. 이는 국내 궤도 설계 충격계수로 사용하고 있는 0.410V/80을 하회하는 수준으로 나타났다.

#### 4.2.3 침목 플로팅 궤도

침목 플로팅 궤도의 궤도충격계수 검토결과 Fig. 15와 같

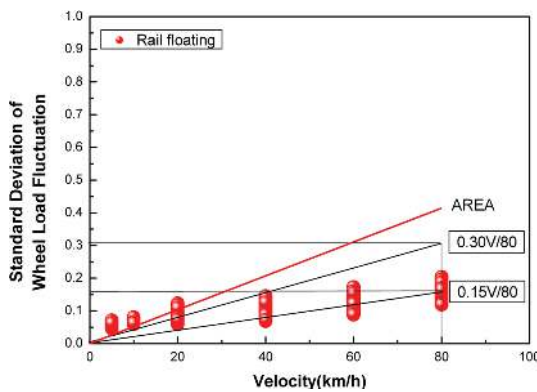
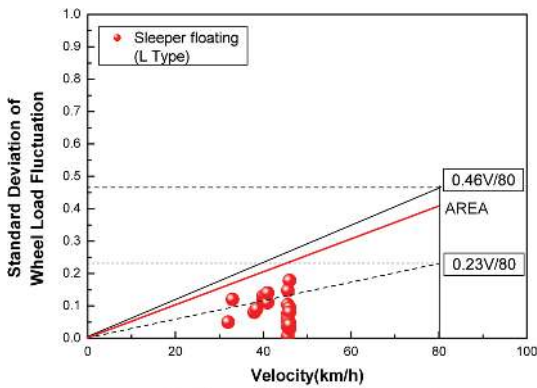
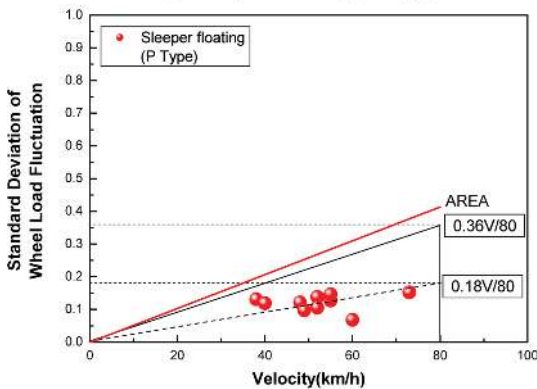


Fig. 14 Results of impact factor on rail floating track



(a) Sleeper Floating (L Type)



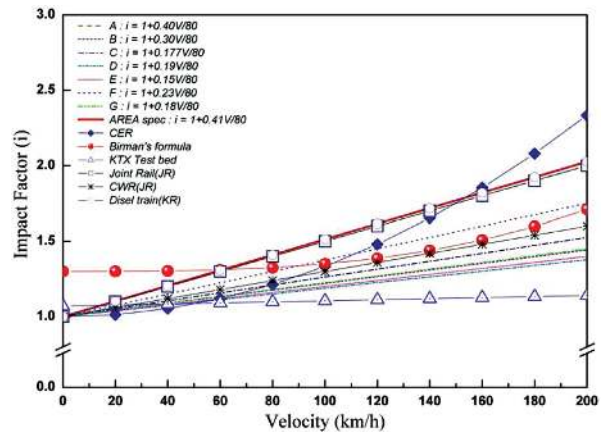
(b) Sleeper Floating (P Type)

Fig. 15 Results of impact factor on sleeper floating system

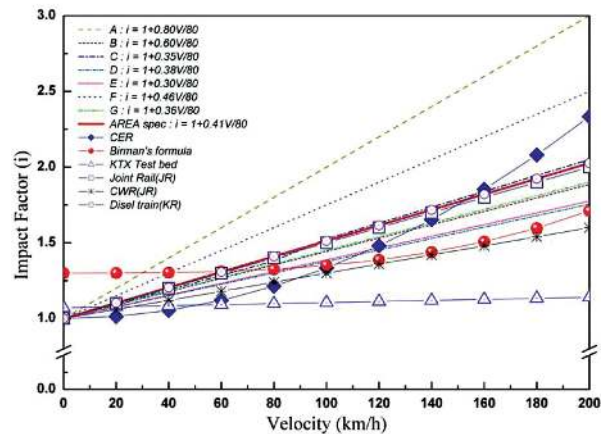
이 L Type의 경우 0.46V/80로 충격계수가 산출되어 국내 궤도 설계 충격계수(AREA)기준을 초과하였으며, P Type의 경우 0.36V/80의 충격계수가 산출되어 국내 궤도 설계 충격계수(AREA)로 사용하고 있는 0.410V/80를 하회하는 것으로 나타났다.

#### 4.3 측정 궤도충격계수 검토 결과[2][10]

측정구간별 현장측정을 통해 산출한 궤도충격계수는 Fig. 16 및 Table 7과 같이 자갈궤도에서는 모두 국내 궤도 설계 충격계수(AREA) 및 CER, JR(Joint Rail), KR (Diesel)을 상회하였으나 콘크리트궤도의 경우는 국내 궤도설계 충격계수(AREA) 기준을 모두 하회하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 분석결과는 모두 측정 운중 데이터의 동적 운중변동을 표준편차의 2 $\sigma$ 를 적용하였을 경우이며 실제 발생하는 동적 운중변동에 따른 충격의 효과(1 $\sigma$ )는 Fig. 16(a)와 같이 도상상태가 불량한 자갈궤도를 제외하고 콘크리트궤도의 경우 국내 궤도설계 충격계수(AREA) 및 CER, JR(Joint Rail), KR(Diesel)을 약 2배 이상 크게 하회하는 수준인 것으로 나타났다. 또한 도상자갈의 상태가 좋지 않은 자갈궤도의 경우에도 AREA의 기준과 거의 유사한 것으로 나타났으며 도



(a) Case : 1 $\sigma$



(b) Case : 2 $\sigma$

Fig. 16 Comparison of measured & empirical impact factors

**Table 7** Comparison of measured track impact factor by applied on standard deviation of wheel load fluctuation

구 분	Ballast track		Concrete track					AREA
			Elastic Fastening		(E) Rail floating	Sleeper floating		
	(A) Bad	(B) Well	(C) E Type	(D) B Type		(F) L Type	(G) P Type	
충격계수(1σ)	0.4V/80	0.3V/80	0.18V/80	0.19V/80	0.15V/80	0.23V/80	0.18V/80	0.41V/80
AREA대비(%)	98	73	44	46	37	56	44	
충격계수(2σ)	0.8V/80	0.6V/80	0.35V/80	0.38V/80	0.30V/80	0.46V/80	0.36V/80	
AREA대비(%)	195	146	85	93	73	112	88	

상상태가 양호한 개소는 AREA기준 보다 약 26%정도 낮게 나타났다.

따라서 현장측정결과를 바탕으로 분석한 운행선 궤도에서 발생하는 동적 윤중 증폭에 따른 충격의 효과(1σ)는 국내 궤도설계 시 고려되는 충격효과 (AREA) 보다 전반적으로 매우 낮은 수준인 것으로 분석되었다. 또한 측정선로가 현재 공용상태인 점을 감안하고 레일 및 차륜의 요철 등과 같은 궤도충격요인을 고려하여 측정 동적 윤중변동율의 2배(2σ)를 적용하더라도 콘크리트 궤도의 경우에는 모두 설계 시 고려되는 충격계수의 수준을 크게 하회하는 것으로 나타나 콘크리트궤도의 경우 설계 충격계수가 다소 과다한 수준인 것으로 판단되었다. 또한 콘크리트궤도의 경우 궤도 종합 스프링계수가 클수록 충격계수가 다소 크게 나타나 궤도의 탄성수준이 궤도충격의 효과에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

### 5. 결 론

현재 국내 도시철도구간에 부설되어 있는 다양한 형식의 궤도구조별 궤도충격계수를 평가하고자 운행선에서 실 주행차량을 이용한 현장측정을 수행하였으며 측정된 동적 윤중 데이터를 이용한 궤도충격계수와 궤도설계 시 적용되는 궤도충격계수 기준과의 비료를 통해 현장여건이 반영된 운행선 궤도의 충격의 수준을 평가하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 동적 윤중 측정결과를 이용하여 궤도충격계수를 산출한 결과, 자갈궤도의 경우 도상상태가 불량한 구간에서는 국내 궤도설계 시 고려되는 충격계수 기준(AREA)을 크게 상회하는 것으로 나타났으며 이는 도상자갈의 노후화에 따른 동적 하중증폭 효과에서 기인한 것으로 판단되었다. 또한 도상자갈의 상태가 양호한 구간인 경우 불량한 개소보다 궤도충격의 수준이 약 25% 낮게 나타나 도상자갈의 상태가 자갈궤도의 궤도충격에 직접적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

(2) 또한 콘크리트궤도의 경우에는 전반적으로 모두 국내 궤도설계 시 고려되는 충격계수 기준(AREA)과 유사하거나 크게 하회하는 수준으로 나타났다. 그러나 이러한 분석결과는 모두 측정 윤중 데이터의 동적 윤중변동율 표준편차의 2σ를 적용하였을 경우이며, 실제 발생하는 동적 윤중변동에 따른 충격의 효과는 자갈궤도를 제외하고 콘크리트궤도의 경

우 전반적으로 AREA의 기준을 약 2배 이상 크게 하회하는 수준인 것으로 나타났다.

(3) 따라서 현장측정결과를 바탕으로 분석한 운행선 궤도에서 발생하는 동적 윤중 증폭에 따른 궤도충격의 효과는 궤도설계 시 고려되는 충격효과 보다 매우 작은 수준인 것으로 분석되었으며 측정구간이 현재 공용상태인 점을 감안하고 안전율을 고려하여 측정 동적 윤중변동율의 2 배를 적용하더라도 콘크리트궤도의 경우에는 모두 설계 시 고려되는 충격계수의 수준을 크게 하회하는 것으로 나타나 콘크리트궤도의 경우 설계 충격계수가 다소 과다한 것으로 판단되었다. 또한 콘크리트궤도의 경우 궤도 종합 스프링계수가 클수록 궤도충격계수가 커지는 경향이 나타나 궤도의 탄성수준이 궤도충격의 효과에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

(4) 다양한 구조적 특성 및 궤도탄성의 범위로 개발되어 적용되고 있는 콘크리트궤도의 경우, 자갈궤도와 동일한 설계 궤도충격계수를 적용하는 것은 궤도 설계하중의 증가를 유발하여 콘크리트궤도 설계 시 도상 슬래브 단면 및 침목형상 등에 대해 다소 과다설계를 초래할 소지가 있을 것으로 판단된다. 따라서 콘크리트궤도의 경우, 궤도설계 시 다양한 콘크리트궤도의 구조적 특성 및 탄성수준을 감안하여 적정수준의 설계 충격계수를 적용하는 것이 보다 합리적일 것으로 판단되며 실제 측정데이터를 이용한 이에 대한 추가적인 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- [1] Arnold D. Kerr (2003) Fundamental of Track Dynamics
- [2] J.H. Um, Y.H. You, K.I. Um (2003) Evaluation of Track Impact Factor in the Conventional Line, *Journal of the Korean Society for Railway*, 6(4), pp. 88-104.
- [3] J.Y. Choi, K.D. Kang, Y.G. Park (2006) Evaluation of Track Impact Factor on Ballast Track in Subway using field Test, *Journal of the Korean Society for Railway*, 9(6), pp. 784-791.
- [4] Graduate School of Railway (2009) A Study on the Maintenance and Estimate of Fatigue Life for Used Rail, Seoul Metro.
- [5] Track Design Technical Report (2005) Structural Technical Report(Track division), Shinbundang Line.
- [6] Track Design Technical Report (2006) Structural Technical Report(Track division), Seoul city Metro Line 9.
- [7] Sato, New railway Track engineering Mechanics.

- [8] S.J. Lee, J.T. Oh, O.J. Park (2003) Parametrics study about Measuring Train Loads.      lasted Rail Tracks: A Geotechnical Perspective, Taylor&Francis.
- [9] RTRI (1997) Design Standard and manual for Railway Structure (Ballasted Track), Japan.      집수일(2010년 12월 20일), 수정일(2011년 2월 1일),  
게재확정일(2011년 3월 28일)
- [10] Buddhima Indraratha, Wadud Salim (2005) Mechanics of Bal-