

# 시험열차 증속시험을 통한 분기기 선형조건별 차량, 궤도 주행안전성 평가

## Vehicle and track running stability evaluation due to the turnout linear characteristics by test-train acceleration test

박성백\*\*†, 신승훈\*, 권세곤\*, 김영철\* , 백인철\*

Seong-back Park\* \*\*†, Young-tak Heo, Se-gon Kwon, young-chul Kim, In-chul Back

**Abstract** Current turnout branch line maximum speed limits are passing standards for ensuring maximum vehicle running stability which is passing rate is not considered an turnout distance with consecutive turnout. there is no Velocity standards through consecutive turnout branch line At home and abroad

In the case of consecutive # 8 Turnout in Korea has continued derailment is going on railway premises. improving the safety of train operation and shunting has been constantly demand. This study is aimed at three consecutive Turnout (# 8) it is being used in most train stations. Vehicle dynamic characteristics that occur when the measurement was conducted. Through the test train. Turnout branch line acceleration test (5km / h ⇒ 10km / h ⇒ 15km / h ⇒ 20km / h ⇒ 25km / h) and then performed field measurement vehicle running stability due to the turnout linear characteristics were analyzed and reviewed.

**Keywords** : turnout , vehicle running stability, turnout linear, turnout branch line maximum speed

**초 록** 현행 분기기 분기선측 최대 통과속도 제한기준은 단분기의 주행안전성 확보를 위한 기준을 준용한 것으로 이는 분기기 이격거리와 연속된 분기기를 고려하지 않는 최대 통과속도이며, 연속된 분기기를 통과하는 국내,외 분기기 최대 통과속도 산정 기준은 없는 실정이다. 또한 국내에 부설된 연속 #8 분기기의 경우 지속적인 정거장 탈선 사고가 일어나고 있으며 열차운행 및 입환시 안전성 향상이 지속적으로 요구되고 있다. 본 연구는 대부분 역 구내에 설치 사용중인 3연속 분기기(#8)를 대상으로 차량 진행시 발생하는 차량거동 특성을, 분기기 이격거리별 증속시험(5km/h ⇒ 10km/h ⇒ 15km/h ⇒ 20km/h ⇒ 25km/h) 승차감분석을 시행하여 분기기 선형으로 인한 차량주행특성을 철도차량 기술기준, UIC518에 의거하여 안전성(차체 좌우,상하, 대차 좌우 방향 진동가속도), 궤도윤중,횡압 분석 통해 각각의 주행안정성을 분석 및 검토 하였다.

**주요어** : 분기기, 주행안전성, 분기기선형, 분기선 통과속도

# 1. 서론

본 연구는 대부분 역구내에 설치 사용중인 3연속 분기기(8#)를 대상으로 차량 진행시 발생하는 동특성을 궤도 및 차량에서 측정하여 분기기 선형특성으로 인한 차량주행 안전성을 검토하고자 대전조차장역 유치선에 현차 시험을 실시하였다. 본연구에서 시행한 현차시험은 현행 분기기 허용 통과속도 이내에서 연속된 분기기(8#)를 대상으로 무궁화 객차 7량, 무개화차 8량을 4400대 디젤기관차에 각각 조성 시험운행을 하여 차량주행특성을 mimitab 통계 분석툴을 이용한 주행안전성 검토가 목적이며, 운중횡압 및 진동가속도의 관련 매개변수들에 대한 민감도 분석을 수행하여 열차주행 안전도 향상에 기여하는 매개변수들 간의 상호 영향을 분석하였다.



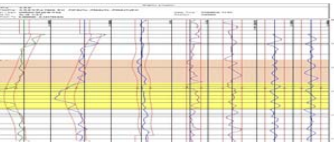
# 2. 본론

## 2.1 열차주행 안전성 계측 및 분석

열차 주행의 각 매개변수(측정차량종류, 통과분기, 통과속도, 운전방식, 분기기위치, 운중, 횡압, 탈선계수, 운중변동율)에 의한 열차 주행 안전 성능 분석 및 검토를 위한 연구를 수행하기 위해 Diadem 및 Minitab을 이용하여 수치해석 및 도식화를 수행하였다.

### 2.1.1 주행안전성 시험개요

본연구의 매개변수별 객관성을 확보하기 위하여 트랙마스터의 정밀분석을 통한 선로유지 보수 작업 실시하여 궤도틀림의한 차량 및 궤도에 미치는 응력의 영향을 배제하였다.

		
		
트랙마스터 계측	트랙마스터 계측결과 분석	분기부 유지보수 시행

### 2.1.2 현장계측 위치 선정

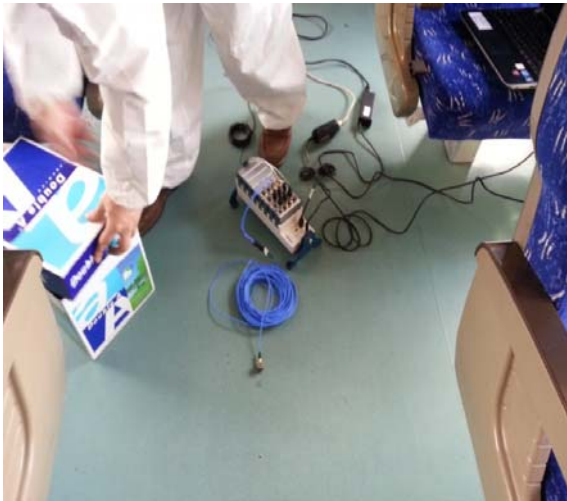
전국 정거장 분기기(#8 철차) 연속구간으로 한국철도공사 중점관리 대상리스트 중 과제 수행 및 계측에 적합한 분기기를 대상으로 경부선 대전조차장역 유치선 최종 선정.

### 2.1.3 시험열차 종류 및 제원

	<p>4400대 디젤 기관차</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 차량중량 : 88,000Kg</li> <li>- 대차중량 : 14,361Kg</li> </ul>
	<p>객차</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공차중량 : 40,400Kg</li> <li>- 대차중량 : 6,250Kg</li> </ul>
	<p>화차</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공차중량 : 20,500Kg</li> <li>- 대차중량 : 4,600Kg</li> </ul>

### 2.1.4 계측항목 및 설치위치

- 객차 주행안전성 시험



<차체 수직, 횡 가속도>

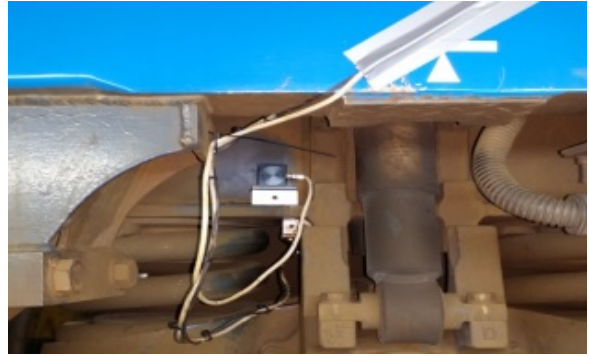


<대차 횡가속도>

◦ 화차 주행안전성 시험



<차체 수직, 횡 가속도>



<대차 횡가속도>



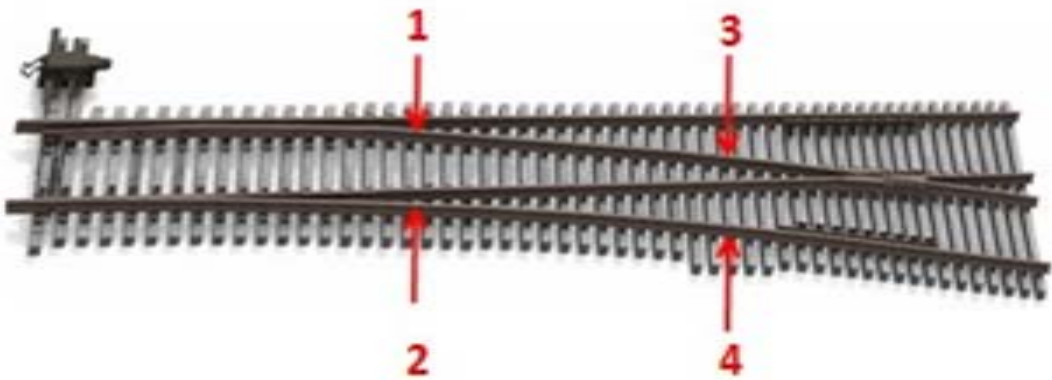
객차 대차 좌우, 차체좌우, 차체상하 진동가속도 측정위치



화차 대차 좌우, 차체좌우, 차체상하 진동가속도 측정위치

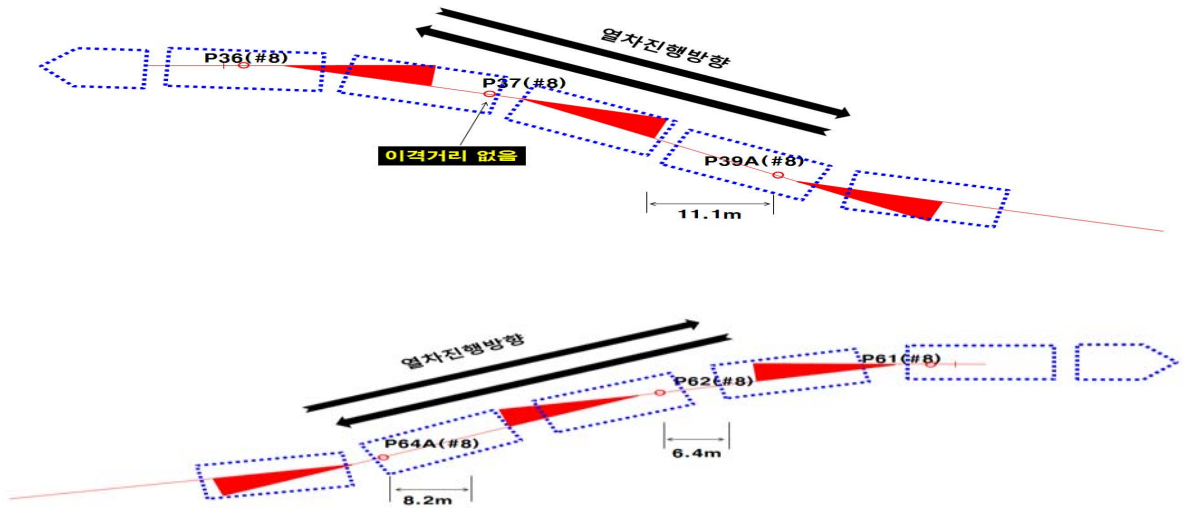
2.1.5 현장계측 포인트

운중, 횡압 측정을 위한 스트레인 게이지 포인트는 분기기 전체의 거동을 확인하기 위해 세분기 각각 리드부에 다음 그림과 같이 4포인트 지정하여 측정하였다.



2.1.6 현차 시험운전 개요

경부선 조차장역 유치선 구간에서 분기기 분기선측 통과속도별 궤도 및 차량의 거동을 측정을 위해 5km/h의 단계별 증속시험을 통한 계측결과 분석 하였다.



<시험열차 운행 경로>

시험구간	시험운전	시험열차	운행속도
P36(#8 우편개) →P37(#8 우편개) → P39A(#8 좌편개)	대향 방향 : 추진운전 배향 방향 : 견인운전	기관차 및 객차 6량 기관차 및 화차 7량	5km/h 10km/h 15km/h 20km/h 25km/h

<이격거리가 없는 P36 시험열차 운행 기록표>

시험구간	시험운전	시험열차	운행속도
P61(#8 좌편개) →P62(#8 좌편개) →P64A(#8 우편개)	대향 방향 : 추진운전 배향 방향 : 견인운전	기관차 및 객차 6량 기관차 및 화차 7량	5km/h 10km/h 15km/h 20km/h 25km/h

<이격거리가 확보된 P61 시험열차 운행 기록표>

### 2.1.7 매개변수에 따른 열차주행 안전성 분석

차량종류, 분기통과 구분, 통과속도, 운전방식, 계측포인트 측정차축, 윤중, 횡압, 탈선계수, 윤중변동율(윤중감소율)을 Minitab분석 툴을 이용하여 요인별 반응 통계분석

## 3. 결 론

### 3.1 차량진동에 의한 열차의 주행안전성 검증 기준

#### ○ 관련근거

- 철도차량 안전기준에 관한 지침(국토해양부고시 제2010-637호) 제17조 관련 별표 15
- UIC CODE 518:Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Running behaviour, International Union of Railways

EN 14363:Railway applications. Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles. Testing of running behavior and stationary test.

EN 14067-1:Railway applications. Aerodynamics. Symbols and units

EN 14067-6:Railway applications. Aerodynamics. Requirements and test procedures for cross

#### 시험항목 및 측정위치

- 차체 좌우방향 진동가속도 : 측정대차 중심 상부의 측정차량 차체 바닥
- 차체 상하방향 진동가속도 : 측정대차 중심 상부의 측정차량 차체 바닥
- 대차 좌우방향 진동가속도 : 대차프레임 끝단

#### 데이터 분석

##### 측정 항목 에 대한 필터링

- 1 차체 좌우방향 진동가속도 6 Hz Low-pass filter
- 2 차체 상하방향 진동가속도 0.4~4 Hz Band-pass filter
- 3 대차 좌우방향 진동가속도 10 Hz Low-pass filter

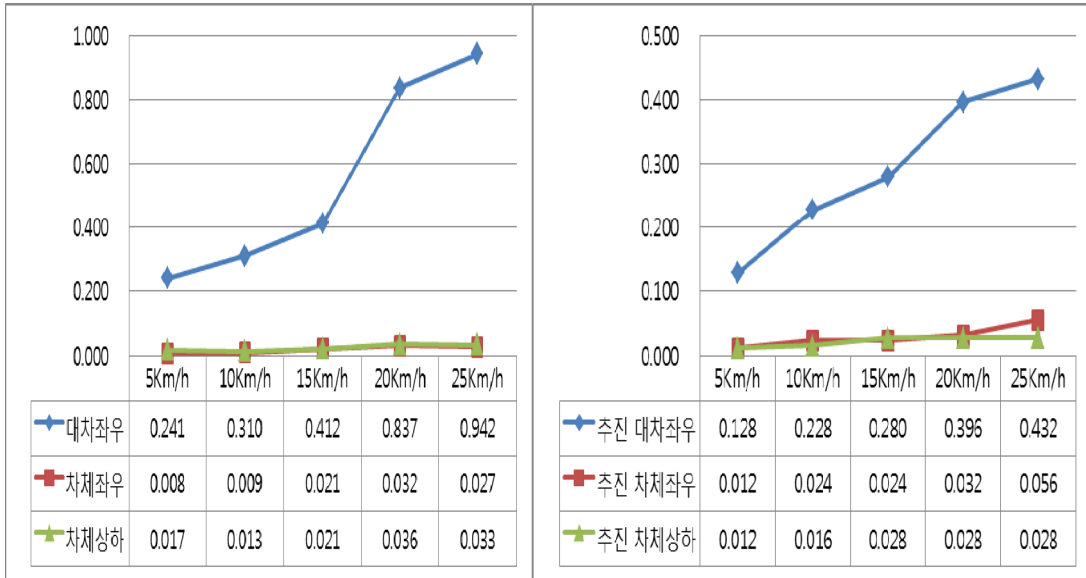
○ 판정기준

	측정항목	Maximum value( $m/s^2$ )	
1	차체 좌우방향 진동가속도	3	
2	차체 상하방향 진동가속도	3	
3	대차 좌우방향 진동가속도	12-Mb/5	

3.2 분기선측 속도대역별 진동 분석 결과

1. 객차

- P36,37,39 3분기 통과(추진운전)

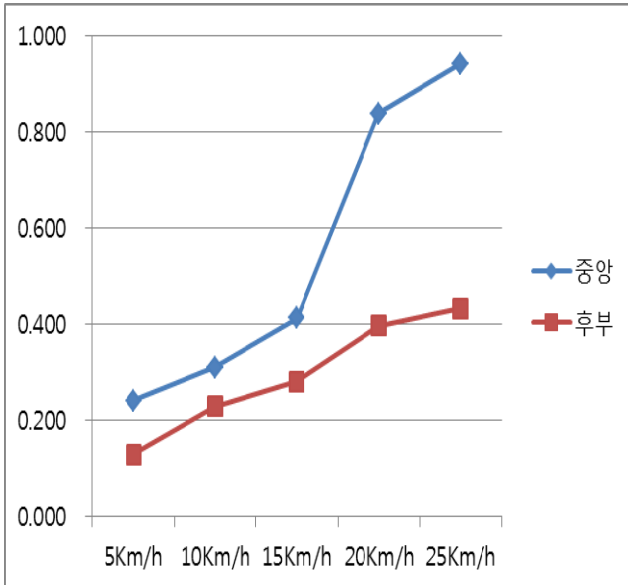


<차량중앙>

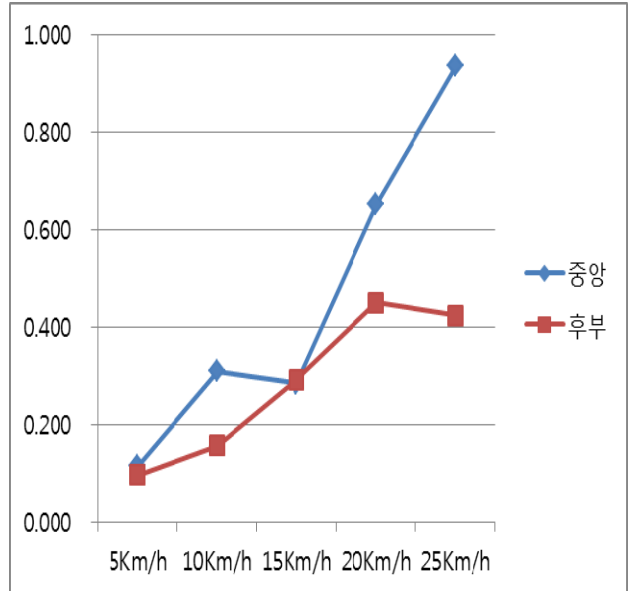
<차량후부>

2. 분기선측 객차 차량 중앙부, 후부 차량진동 비교

- P36,37,39 3분기 객차 통과 (대차진동가속도 비교)



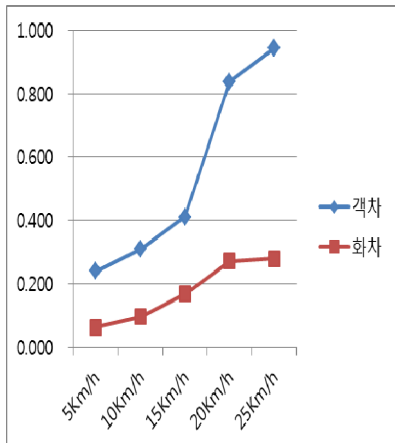
<추진운전>



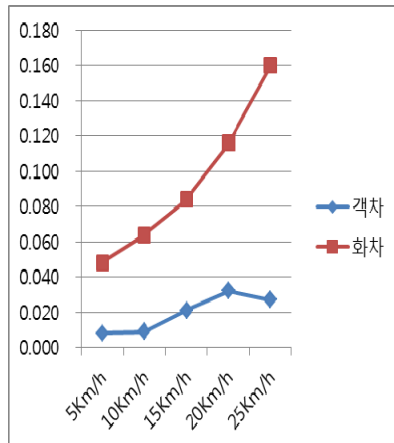
<견인운전>

3. 차량 종류별 진동 비교

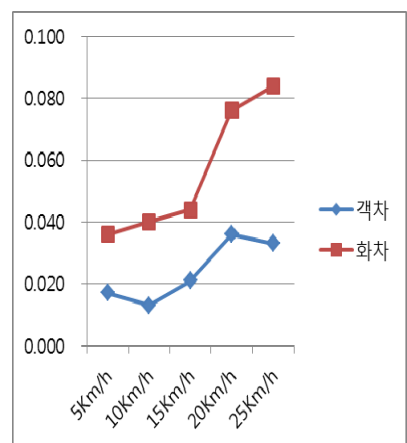
- P36,37,39 3분기 통과 객차화차 비교 (추진운전)



<대차 좌우진동가속도>



<차체 좌우진동가속도>

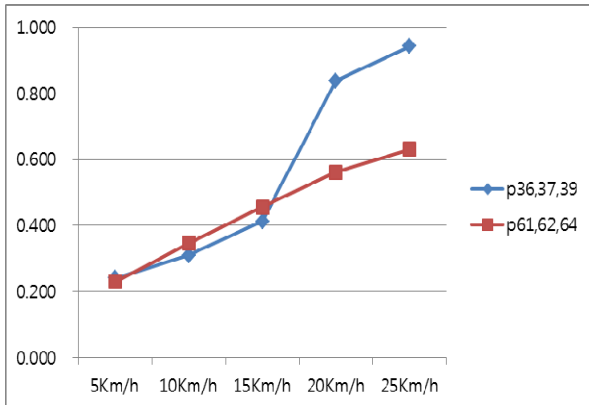


<차체 상하진동가속도>

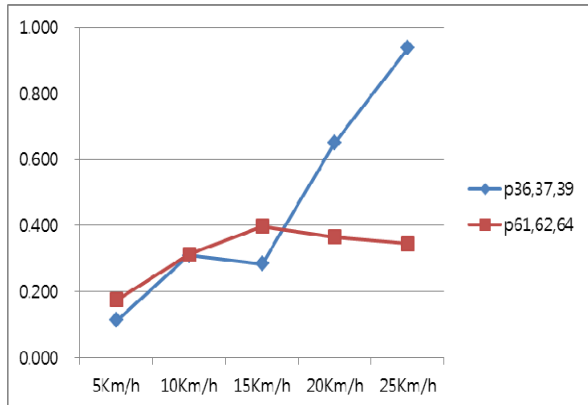


#### 4. 분기선측 분기기 이격거리별 진동 비교

- 3분기 통과 (객차 중앙 비교)



< 추진운전 대차 좌우진동가속도 >



< 견인운전 대차 좌우진동가속도 >

### 3.3 철도차량 윤중변동들에 의한 주행안전성 평가기준

철도차량기술기준(국토교통부고시 제2014-820호) 일반철도차량 주행안전성 시험

◦ 윤중감소량

가. 정적윤중(V)

차량의 진동에 의한 영향이 없는 경우의 윤중으로 차량의 자중에 따라 그 크기가 결정되며, 윤중의 기본적인 값은 평탄 직선 구간을 5 km/h 정도의 속도로 주행할 때 윤중을 측정하여 수십개의 평균치를 구한 것으로 한다. 이것은 탈선계수 측정용 윤축의 교정값을 검증할 수 있도록 정확히 구하여야 한다.

나. 윤중감소비( $\Delta V/V$ )

차량의 진동이나 중심의 편기, 궤도 및 차량의 평면성 틀림, 곡선에서의 캔트 및 원심력, 풍압 등에 의해 윤중의 감소가 발생한다. 이때 윤중 감소치( $\Delta V$ )에 대한 정적인 윤중(V)의 비를 윤중감소비라 하며 이 값이 허용한도를 초과하면 탈선의 위험이 있다.

- 시험 방법

곡선추종성을 평가하기 위한 탈선계수 및 윤중감소량 측정은 차량의 운용상태, 주행하는 선로 조건, 차량에 적재된 하중조건 등에 따라 다양하게 변화하므로 본선 시운전시 실제 선로에서 차량의 주행중에 측정하는 것을 원칙으로 하며, 횡압 및 윤중의 측정은 차량에 스트레인 게이지를 부착하여 정비·교정한 윤축을 차량에 장착하여 측정하고, 이 때 시험조건은 다음과 같다.

- 윤중감소율

공차중량상태의 정적인 윤중감소량은 동일 차축에서 양쪽 차륜 평균치의 최대 60%까지 허용된다. 동적인 윤중감소량은 빈도누적확률로 나타내어 기준에 적용한다. 이때 허용한도는 빈도누적확률로 100%일 때 50%, 0.1%일 때 80% 이하를 기준으로 평가한다.

### 3.4 윤중감소량 분석

#### 1. 정적윤중

가. 윤중감소량 분석은 분기 리드부에 윤중을 측정용 스트레인게이지를 3연속 분기기 4회(총 12개)에 설치 측정하였으며, 기관차+객차(7량), 기관차+화차(8량)을 각각 견인, 추진운전으로 주행시의 윤중을 측정하였다. 정적인 윤중감소량을 분석 하기위하여 철도 차량기준에 제시된 5km/h 속도에서 시행하였음.

#### 나. 정적윤중 분석결과

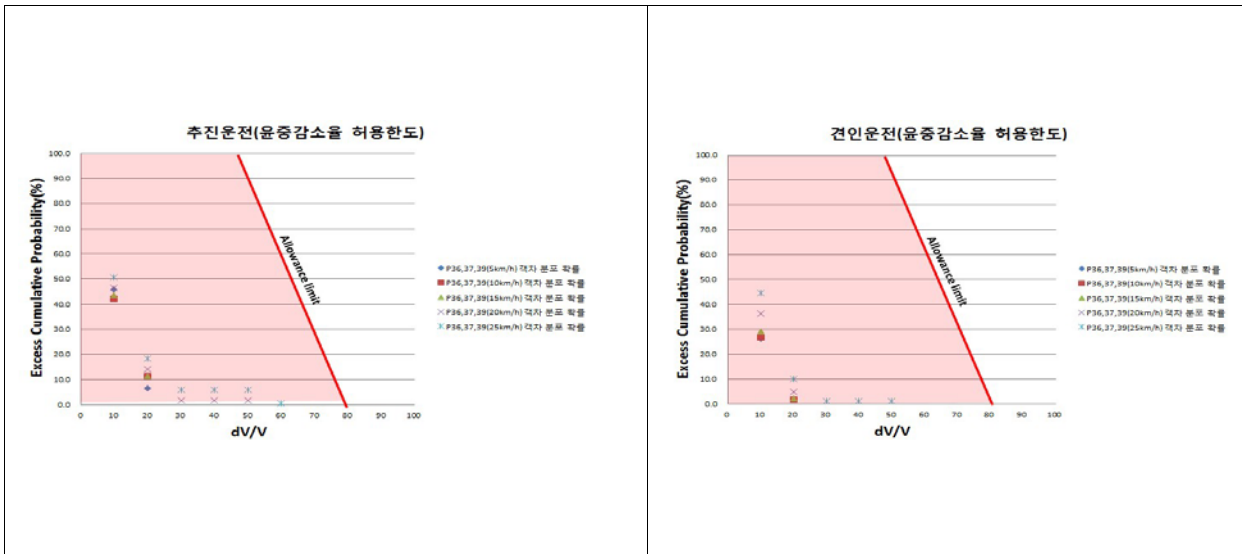
- 3연속분기통과 시 60퍼센트이상의 윤중감소는 화차의 경우 P36,37,39 분기기 추진운전 총 384개(화차차축 32 × 분기별 4회 측정 × 3연속 분기기)의 분석개수중 1회에서만 윤중감소율이 60.05%로 분석되었으나 이는 기준치대비 근소한 차이이고 1회에 지나지 않아 차량주행안정성에 끼치는 영향은 미소하다고 판단된다.

#### 2. 동적윤중

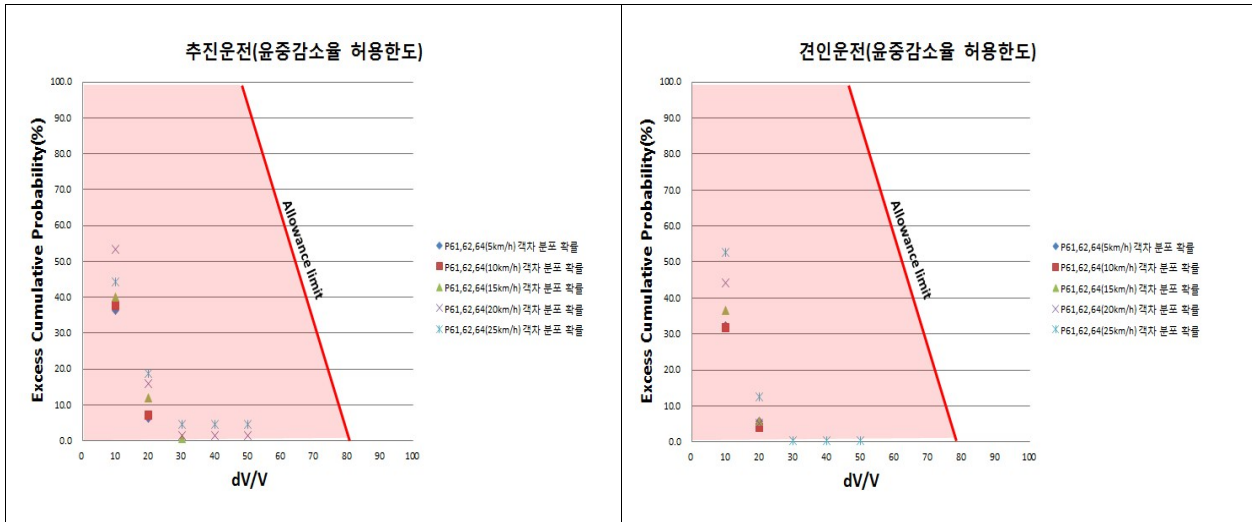
가. 철도차량기술기준 적용의 경우, 동적인 윤중감소량은 측정 전구간을 차륜 1회전마다 최소 윤중(Pmin)을 읽고 윤중감소비를 계산하여 10% 단위로 나누어 빈도누적확률로 나타내어 기준에 적용한다. 이때 허용한도는 빈도누적확률로 100%일 때 50%, 0.1%일 때 80% 이하를 기준으로 평가하였음.

#### 나. 동적윤중 분석결과

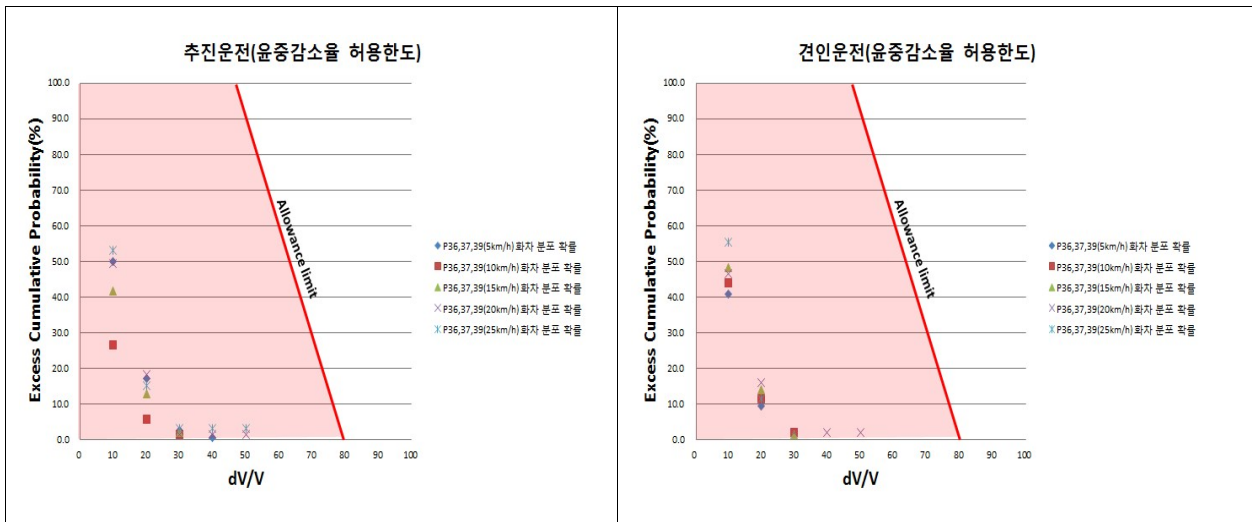
- P36,37,39 객차 추진, 견인 운전 빈도누적확률 분포



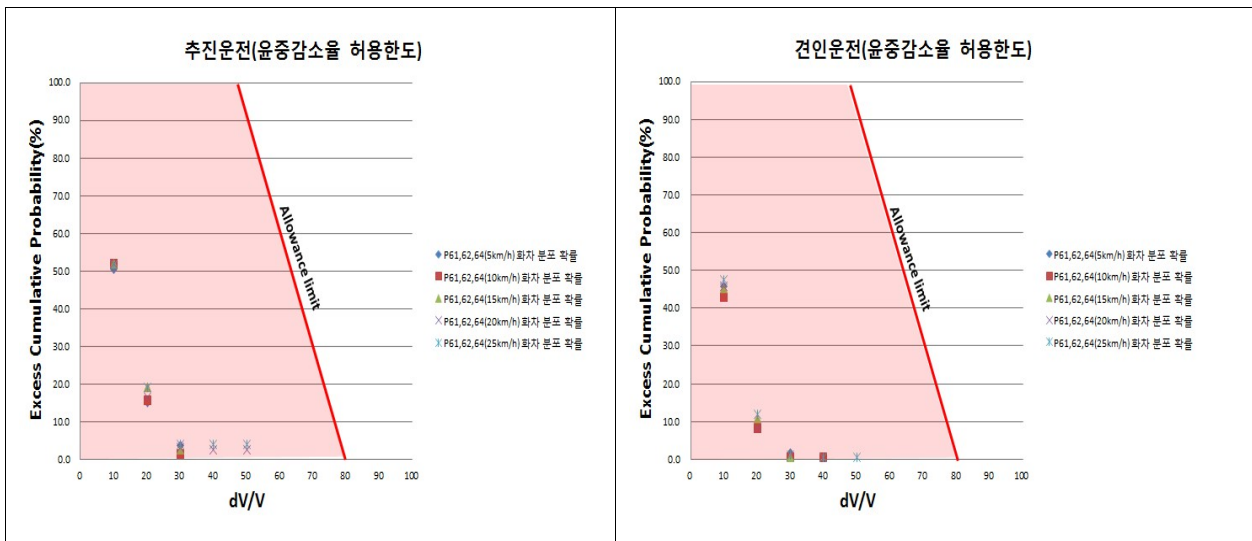
- P61,62,64 객차 추진, 견인 운전 빈도누적확률 분포



- P36,37,39 화차 추진, 견인운전 빈도누적확률 분포



- P61,62,64 화차 추진, 견인운전 빈도누적확률 분포



◦ 빈도누적확률 100%일 때 50%, 0.1%일 때 80% 이하를 기준으로 평가의 빈도누적확률 적용결과 모든계측 데이터에서 허용기준을 만족하였으나, 동적인 윤중감소량분석의 보수적인 기준인 윤중감소율 50% 적용시

#### 1. 추진운전의 경우

##### 가. 객차

1) P36,37,39 3연속 분기기 통과 20km/h속도대의 경우, 총 336회중 3회에서 50.16%~55.15%로 분석되었고, P61,62,64 3연속 분기기 통과 20km/h속도대의 경우 총 384회중 3회 50.56%~54.99%로 분석되었다.

2) P36,37,39 3연속 분기기 통과 25km/h속도대의 경우, 총 336회중 10회에서 50.72%~60.45%로 윤중감소율이 분석되었고, P61,62,64 3연속 분기기 통과 25km/h속도대의 경우 총 384회중 9회 50.18%~53.96%로 윤중감소율이 분석되었다.

##### 나. 화차

1) P36,37,39 3연속 분기기 통과 20km/h속도대의 경우, 총 336회중 3회 52.22%~54.57%로 분석되었고,

2) P36,37,39 3연속 분기기 통과 25km/h속도대의 경우, 총 384회중 6회 50.51%~53.33%로 윤중감소율이 분석되었고, P61,62,64 3연속 분기기 통과 25km/h속도대의 경우 총 384회중 1회 53.05%로 분석되었다.

#### 2. 견인운전의 경우

##### 가. 객차

- P36,37,39 3연속 분기기 통과 25km/h속도대의 경우, 총 336회중 2회 50.14%~51.89%로 분석되었고, P61,62,64 3연속 분기기 통과 25km/h속도대의 경우 총 384회중 1회 53.05%로 윤중감소율이 분석되었다.

##### 나. 화차

- P36,37,39 3연속 분기기 통과 20km/h속도대의 경우, 총 384회중 4회 53.29%~54.83%로 윤중감소율이 분석되었고, P61,62,64 3연속 분기기 통과 25km/h속도대의 경우 총 384회중 1회 54.40%로 윤중감소율이 분석되었다.

### 3.3 결론

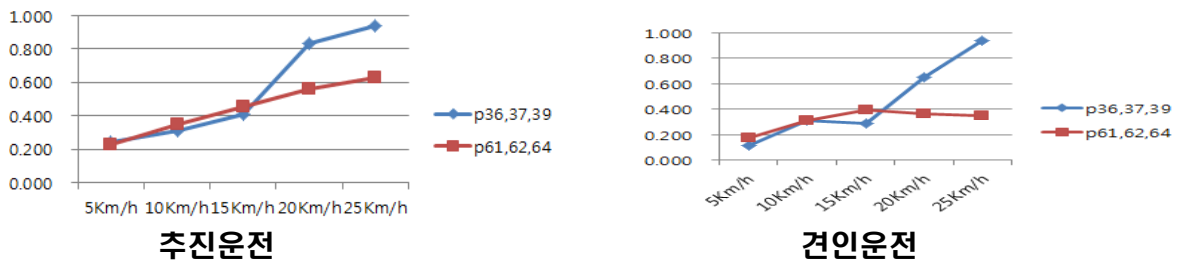
본 연구는 대부분 역구내에 설치 사용중인 3연속 분기기(8#)를 대상으로 차량 진행시 발생하는 동특성을 궤도 및 차량에서 측정하여 분기기 선형특성으로 인한 차량주행 안전성을 검토하고자 대전조차장역 유치선에 현차 시험을 실시 하였다. 본 연구에서 시행한 현차시험은 현행 분기기 허용 통과속도 이내에서 연속된 분기기(8#)를 대상으로 무궁화 객차 7량, 무개 화차 8량을 4400대 디젤기관차에 각각 조성 시험운행 하여 차량주행특성을 mimitab 통계분석툴을 이용하여 분석,검토하여 다음과같은 연구결론을 얻었다.

## 철도차량 주행안전성 평가 기준 및 항목

차량 주행안전성 시험은 국제적으로 널리 사용되는 기준인 UIC 518 Simplified method, 국내의 철도차량기술기준(국토교통부고시 제2014-820호), 궤도재료설계(한국철도시설공단) 별표4 현장설치 시험 항목 및 기준 현차주행 성능시험에 의거하여 평가하였다.

○ 객차, 화차진동 시험중 진동 최대치가 측정된 P36,37,39 객차 추진운전의 경우 대차 횡가속도는 0.942m/sec<sup>2</sup> (기준치대비 9.42%), 차체 횡가속도 0.027m/sec<sup>2</sup> (기준치대비 0.9%) 차체 수직가속도 0.033m/sec<sup>2</sup>(기준치대비 1.1%)로 분기선측 운행속도 25km/h 이하의 속도에서는 기준치 대비 안전한 것으로 분석되었음 그 이유는 UIC 518과 철도안전법의 차량거동 기준치는 일반 선구 최고 허용 속도를 기준으로 제시한 것으로 낮은 속도대에서 진동가속도의 크기는 최고허용속도 보다 현저히 낮은 속도로 운행하면서 측정된 결과로 최대진동가속도가 기준대비 10%이하 수준으로 나타났다.

아래그림과 같이 이격거리가 없는 P36, 37, 39 분기에서 이격거리가 확보된 구간 P61, 62, 64 분기와 비교하여 20km/h~25km/h 속도에서 진동가속도가 급격히 크게 나타났으며,



○ 통과속도별 윤중감소율 분석 결과, 철도차량 기술기준에 제시된 윤중감소율 분석의 경우, 객차와 화차 각각 추진 및 견인운전 시 윤중감소율 빈도누적확률의 분포가 허용한계내로 측정되어 철도차량기술기준의 허용한도(Allowance limit)범위를 초과하지 않는 것으로 분석되었지만, 보수적 기준 윤중감소율 50% 적용시 연속해서 3분기를 분기선측으로 통과하는 경우 20km/h이상 속도에서 일부 윤중감소율 50%를 초과 하는 것으로 나타났다. 실제 운행선에 부설된 분기기 대부분은 반복적인 열차운행으로 궤도틀림이 발생할 수 있는 구조이므로 본 연구 과정에서 측정한 윤중감소율 기준치 초과횟수가 실제로 많이 나타날 수도 있다.

○ 따라서, 3연속 분기(관절식 #8)를 분기선측으로 통과하는 경우, 분기기 상태 점검 및 속도 제한등 별도 유지 관리가 필요하겠다.

## 참고문헌

- [1] 철도차량 기술기준(국토교통부고시 제2014-820호)