

# 궤간 가변 잠금부품들의 접촉응력해석

## Contact Stress Analysis of Locking Parts in the Gauge - Adjustable Wheelset System

김철수\*, 안승호\*\*, 정광우\*\*, 장승호\*\*\*, 김정규\*\*\*\*

Chul-Su Kim, Seung-Ho Ahn, Kwang-Woo Chung, Seung-Ho Jang, Jung-Kyu Kim

---

### ABSTRACT

To reduce the cost and time of transport in the Eurasian railroad network such as TKT, TCR and TSR owing to the problem of different track gauges(narrow/standard/broad gauge), it is important to develop the gauge - adjustable wheelset system to adapt easily to these gauges. Therefore, to assure the safety of the gauge-adjustment wheelset system, it is necessary to evaluate integrity of locking parts in the system using stress analysis. In this study, it was performed to contact stress analysis of locking parts by using FEA(finite element analysis) simulator during the guage changeover operation and freight trains' service in the curved track, respectively.

---

### 1. 서론

국가기간 산업망인 철도는 최근 남북한 화해무드의 조성으로 남북직결운행 및 대륙철도 연계운행에 대하여 관심과 노력을 집중하고 있다. 그러나 대륙철도의 연계운행은 각 국의 궤간의 상이함으로 인한 대차교환이나 환적의 어려움으로 많은 문제점을 초래한다[1]. 환적, 윤축 또는 대차교환의 방법들은 운영 비용, 다룰 수 있는 용량의 제한, 윤축 또는 대차를 보관할 큰 공간 등으로 인하여 최선의 시스템으로 선정되기가 어렵다. 그러므로 이종 궤간 주행시에 안전성을 유지하면서 국경에서 특정 부품을 장착하거나 제거하기 위하여 멈출 필요가 없는 차량 시스템이 요구된다. 이를 위하여 고안되어진 것이 궤간 가변 윤축시스템(gauge - adjustable wheelset system)이며, 이는 차량의 주행 중에 서로 상이한 궤간(협궤/표준궤/광궤)을 가지는 선로를 대차교환이나 환적 없이 신속하고 안전하게 직결 운행할 수 있는 자동 궤간 변환 장치시스템이다. 따라서 동북아 물류체계 및 철도네트워크에 적합하고 운송시간 및 비용을 절감하기 위하여, 이종궤간(협궤/표준궤/광궤)을 겸용 운행할 수 있는 궤간 가변 윤축시스템의 개발이 중요하다.

대륙연계수송에 대비한 궤간가변 윤축시스템에 관련하여 국외 연구들[1~6]은 각국의 독자적인 기술로서 활발히 추진되어 상용화되고 있다. 예를 들어 스페인 Tago사는 1966년부터 개발에 착수하여 세계최초로 Tago TD와 XXI차량을 개발하여 실용화하였고, 일본의 경우 1994년에 일본철도총합연구소(RTRI)와 일본철도건설공단의 연합으로 궤간가변 동력분산식 전기차량인 GCT 시험차량으로 현재 시험운행 중이다[3~5]. 그리고 폴란드는 모듈형 궤간가변 윤축인 SUW2000시스템 장착차량을 개발하여 현재 상업운행에 착수하였으며, 독일도 역시 모듈형으로 DBAG/RAFIL-V형 궤간가변윤축을 개발하였다[3~5]. 이에

---

\* 한국철도대학 차량기계과

\*\* 한국철도대학 운전기전과

\*\* 철도기술연구원 선임연구원

\*\*\* 한양대학교 기계공학부

반하여 국내 개발현황은 이와 관련된 개발연구가 추진하는 단계이며, 현재 궤간가변 윤축에 관한 특허 출원된 상태이다. 그러므로 궤간가변차량의 안전성을 확보하기 위하여 각 시스템 및 부품들의 구조해석을 통한 건전성을 평가하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 개발중인 궤간가변 윤축시스템의 안전성 검토의 연구의 일환으로서, 궤간 변환구간에서 유한요소해석(finite element analysis) 시뮬레이터를 이용하여 궤간가변의 핵심부품인 잠금부품들의 접촉응력을 평가하고자 한다. 또한 곡선부 주행시 차륜의 횡압하에 잠금부품들 사이의 접촉응력을 해석함으로써, 궤간가변 윤축시스템을 갖는 화차의 주행안전성을 검토하고자 한다.

## 제 2 장 이론 해석

### 2.1 궤간 가변 구간에서 궤간 가변 윤축시스템

현재 한국형 궤간 가변장치는 국제 규격 UIC 510-4[6]을 준수하여 설계 및 개발 중이다. Fig.1은 한국형 궤간 가변장치의 윤축시스템 및 이의 부품들을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 윤축시스템은 크게 6가지 부품으로 구성되며, 이 시스템의 각 부품을 살펴보면 다음과 같다. 고정캡을 갖는 차축, 구르브 원통을 갖는 차륜, 스프링, 플랜지, 잠금기구, 스프링 홀더로 구성된다. Fig.2는 표준궤도에서 광궤로 변환시 궤간가변장치의 윤축시스템 동작 메커니즘을 순차적으로 나타낸 것이다. 이의 동작 메커니즘을 살펴보면 다음과 같다. Fig. 2(a)~(c)에서 플랜지는 잠금기구에 삽입되고, 삽입한 상태로 잠금기구는 시계방향으로 회전하면서 차륜의 구르브 원통은 해제된다. 이로 인하여 Fig. 2(d)와 같이 가이드레일에 따라 차륜의 구르브 원통은 이동하므로 표준궤도에서 광궤로 변환된다. 그리고 Fig.2(e)~(f)에서 보는 바와 같이 변환중에 플랜지와 잠금기구는 다시 분리되고, 잠금기구는 반시계방향으로 역회전하면서 다시 차륜 구르브 원통에 구속된다[1,2].

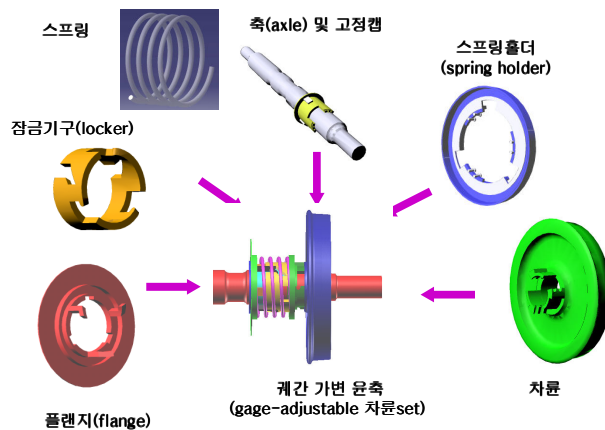


Fig.1 locking parts in the gauge-adjustable wheelset system

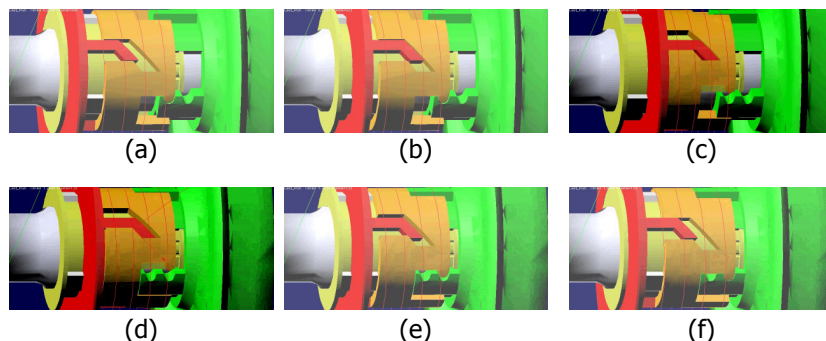


Fig. 2 The changing process of the gauge-adjustable wheelset system when each axle passes through a special installation mounted between tracks of different gauges

### 3. 해석결과 및 고찰

#### 3.1 궤간가변구간에서 잠금부품의 접촉응력해석

궤간 가변 잠금부품들 중에서 잠금기구와 플랜지는 궤간변환 과정동안 물림위치에 따른 접촉하중이 발생한다. 따라서 궤간 변환구간에서 궤간 가변 잠금부품의 안전성을 검토하기 위해서는 유한요소해석(finite element analysis)을 이용한 잠금기구와 플랜지사이의 작용하는 접촉응력의 평가가 필요하다.

Fig.3은 잠금기구와 플랜지의 내구성 및 응력해석을 위한 유한요소망 생성(finite element mesh generation)과 각 부품별 유한요소모델을 각각 나타낸 것이다. 해석시간의 최적화를 고려하여 플랜지 디스크와 축의 요소형태는 강체(rigid contact body)로 정의하고, 플랜지 레버와 잠금기구의 요소형태는 변형체(deformable body)로 정의하였다. 요소 형태는 3차원해석을 위한 8절점 직육면체요소이며, 총 요소수와 총 노드수는 각각 2,0875 및 1,5603이다. 해석에 입력자료로서 사용되는 재료의 탄성계수(elastic modulus)는 207GPa이고, 프아송비(poisson's ratio)는 0.29이다. 요소망 모델링 및 전후처리과정은 요소망 생성 전용소프트웨어인 MSC.PATRAN[7] 및 MSC.MENTAT[8]을 함께 사용하였으며, 응력해석시뮬레이션은 MSC.MARC[8]에 의하여 수행되었다.

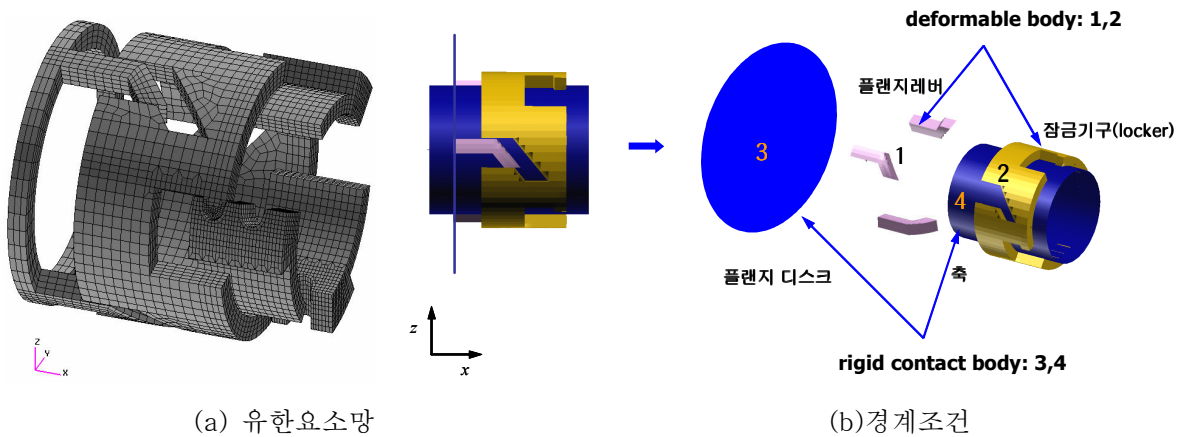


Fig. 3 Finite element mesh generation and model

작용 하중조건은 최대 궤간변환 속도 30km/h에서 플랜지 디스크의 x방향으로 50mm이동시 발생하는 조건이다. 그리고 경계조건은 잠금기구의 우측경계면의 x축방향 변위를 구속하고, 축과 플랜지 레버 및 잠금기구 사이는 각각 강체 면접촉 조건(rigid body contact condition)을 구현하였으며, 잠금기구(locker)와 플랜지 레버의 사이는 변형체 면접촉조건(deformable body contact condition)을 부여하였다.

Fig.4는 궤간 가변 잠금부품의 플랜지와 잠금기구사이의 접촉응력해석 시뮬레이션 결과를 정리한 것이다. 이는 궤간변환 동안 플랜지와 잠금기구사이의 접촉시 발생하는 von-Mises 응력분포를 순차적으로 시작, 중간, 최종단계로 나누어 해석한 결과이다. Fig. 4(c)에서 보는 바와 같이 최대응력은 플랜지와 잠금기구 사이 접촉지점으로서, 플랜지 레버의 끝부분에서 13MPa이다.

#### 3.2 곡선구간에서 잠금부품의 접촉응력해석

개발중인 궤간가변 윤축을 갖는 화차의 주행안전성을 검토하기 위해서는 곡선부 주행시 잠금부품들의 접촉응력해석이 중요하다. 이를 위하여 먼저 곡선부 주행시 잠금부품에 작용하는 작용하중인 차륜의 횡압을 평가하고 이로부터 잠금부품들 사이의 접촉응력해석이 필요하다.

Fig.5 (a) 및 (b)는 북한 경원선에서 곡선구간 일부의 레일 중심위치와 요잉 및 툴링각도를 각각 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 곡선부 반경은 300m로서, 국내 선로조건보다 비교적 곡률반경이 작은 조건이다. Fig. 6은 Fig. 5의 선로조건에서 차량속도 75km/h 통과시 궤간 가변 윤축의 차륜의 횡압

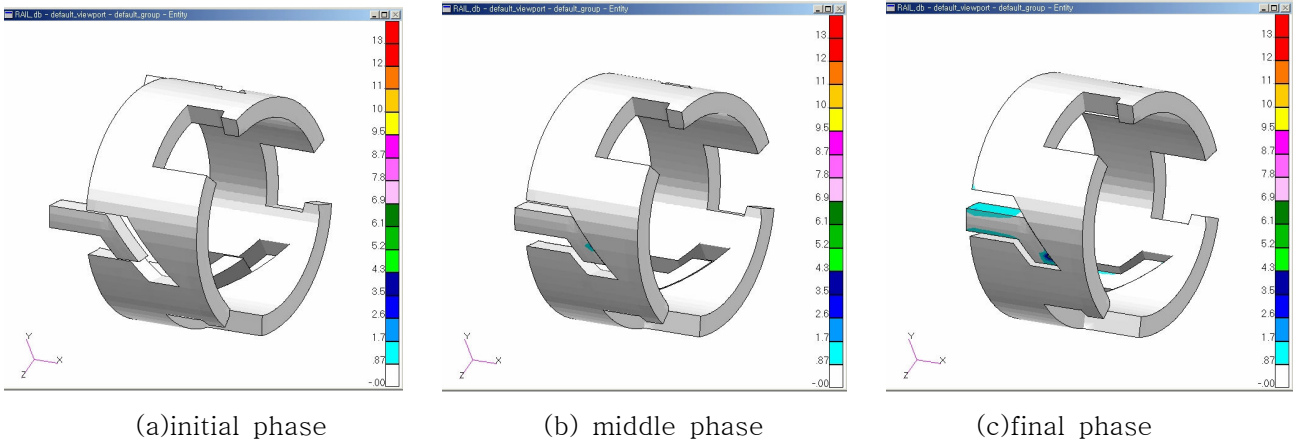
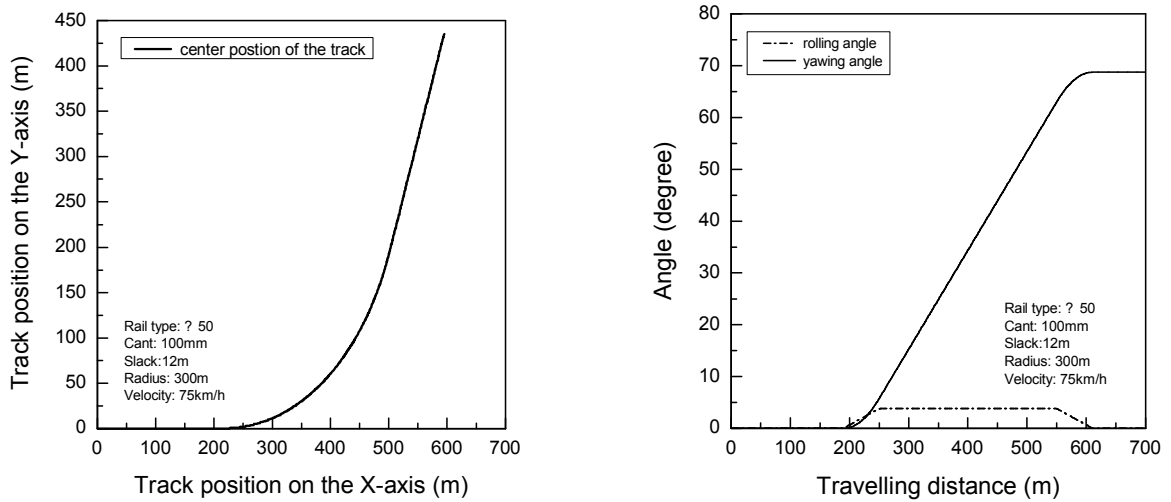


Fig. 4 contact stress distribution between flange and the locker in the gage - adjustable wheelset



(a) center position of the curved track

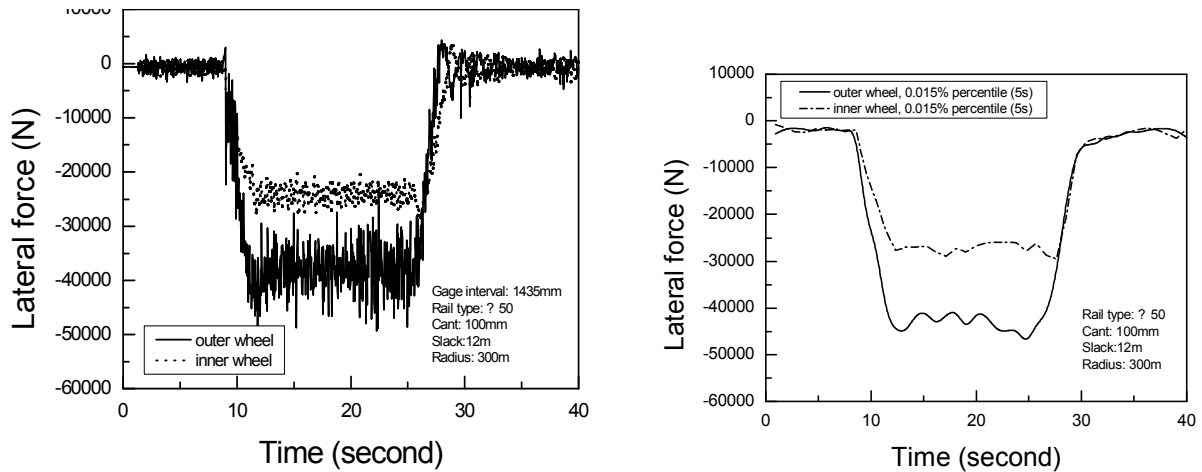
(b) track rolling angle yawing angle

Fig.5 A example of a curved track of Kyoung-Won railroad in North Korea

을 평가한 결과이다.

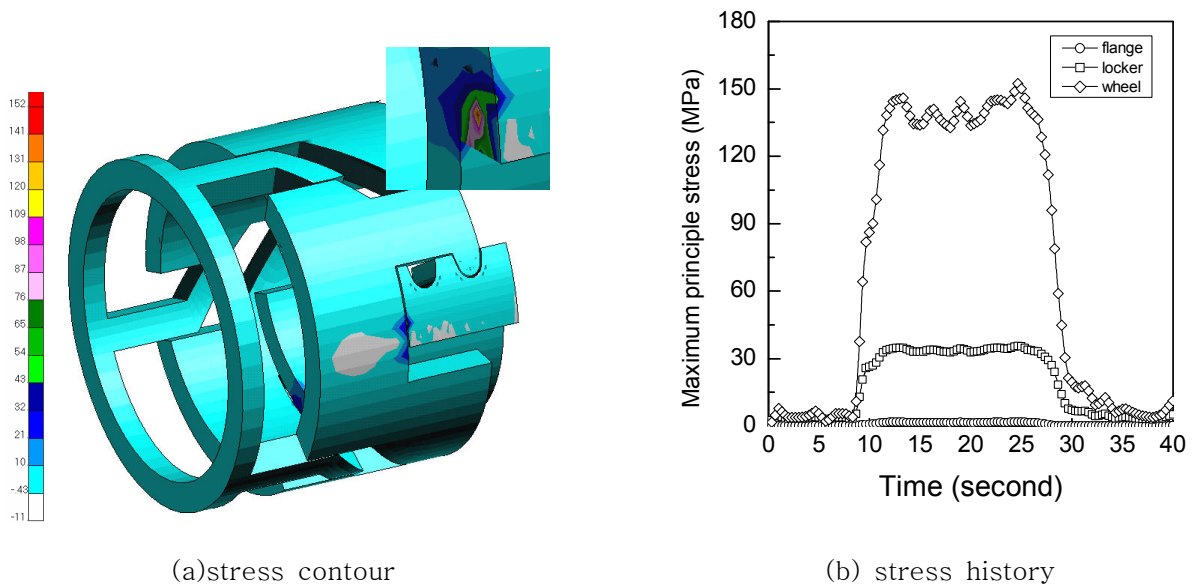
이는 동역학 해석시뮬레이터인 ADMAMS/Rail[9]을 이용하였으며, 사용된 차량의 수는 영차조건의 궤간 가변 윤축이 적용된 화차 1량이다. 그림에서 실선(—)은 곡선중심에서 바깥쪽 차륜의 횡압이력이고, 점선(---)은 안쪽차륜의 횡압이력으로서, 바깥쪽 차륜의 횡압이 안쪽 차륜 보다 크다. 따라서 보수적 설계 관점에서 궤간 가변 잠금부품들에 작용하는 차륜횡압은 바깥쪽 차륜의 횡압이력을 선택하는 것이 합리적이다.

Fig. 7은 Fig. 6의 표준궤도 곡선부 통과시 작용된 차륜 횡압하에 잠금부품의 접촉응력 분포 및 이력을 나타낸 것이다. 해석시 사용되는 차륜의 횡압이력은 Fig. 6으로 부터 UIC 518규격[10]에 준하여 필터링하여 주행성능에 적합하도록 변환 된 이력이다. 그림에서 보는 바와 같이 곡선부 통과시 잠금부품들의 응력은 플랜지와 잠금기구 접촉, 차륜과 잠금기구 접촉, 플레지 레버에서 동시에 발생한다. Fig. 7(b)는 각 부품들의 최대응력이 존재하는 지점에서 시간에 따른 응력이력을 나타낸 것이다. 최대 접촉응력은 Fig.7 (a)에서 보는 바와 같이 궤간변환의 경우와 달리 잠금기구와 차륜사이에서 발생하는 152MPa이다.



(a)raw load history (b) filtering lateral wheel load history

Fig. 6 Lateral wheel load history in the curved track derived from Dynamic analysis results



(a)stress contour

(b) stress history

Fig. 7 Contact stress distribution of the locking part in the Gage - Adjustable Wheelset during a freight train's service in the curved track

#### 4. 결론

본 연구에서는 개발중인 궤간가변 윤축시스템의 안전성 검토의 연구의 일환으로서, 궤간 변환구간 및 곡선부 주행시 차륜의 횡압하에 잠금부품들 사이의 접촉응력을 유한요소해석 시뮬레이터를 이용하여 평가하였다. 이로 부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 궤간변환구간에서 궤간가변장치 잠금부품들의 물리위치에 따라 발생하는 von-Mises 응력분포를 평가하였다. 이때의 최대응력은 플렌지와 잠금기구 사이의 플렌지 레버의 끝부분에서 발생하였으며, 이 값은 12.5MPa이다.
2. 표준궤도 곡선부 통과시 작용된 차륜 횡압하에 잠금부품의 접촉응력 분포 및 이력을 평가하였다. 최대 접촉응력은 궤간변환구간의 경우와 달리 잠금기구와 차륜사이에서 발생하는 152MPa이다.

## 감사의글

본 연구는 국가교통핵심기술개발사업의 일환으로 건설교통부의 연구지원에 의해 이루어졌습니다.

## 참고문헌

- [1] 건설교통부, 2004, “궤간가변장치 기술개발”, 국가교통핵심기술개발사업 1차년도 보고서.
- [2] 건설교통부, 2005, “궤간가변장치 기술개발”, 국가교통핵심기술개발사업 2차년도 보고서.
- [3] J. L Sanchez-Gonzalez, 1984, "Variable gauge axle", Rail International, pp.139 ~ 148.
- [4] W. Saliger, 2000, "Gauge-Adjustable Wheelsets", Rail International, pp.7 ~ 13.
- [5] Brochure, SUW2000, "Polish System of Automatic Track Gauge Changing For Wagons, Coaches And Traction Vehicles in Transcontinental Railway Traffic",
- [6] UIC 510-4, 2nd ed., 2002, "Wagons -- Variable-gauge running gear for 1435 mm/1520 mm and 1668 mm -- Recommendations for bilateral agreements".
- [7] MSC. SOFTWARE, 2005, MSC.ADAMS.
- [8] MSC. SOFTWARE, 2005, MSC.PATRAN.
- [9] MSC. SOFTWARE, 2005, MSC.MARC/Mentat.
- [10] UIC 518, "Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behavior - Safety - Track fatigue - Ride quality".