

# 차량 로드 휠의 복합축 평가 프로세스 구축을 통한 내구신뢰성 강건화 및 주행안정성 향상

정수식\* · 유연상\* · 김대성\*\*

## Improvement of Durability and Reliability by Developing a Bi-axial Test Process of Road Wheel

Chung, Soo Sik\*, Yoo, Yoen Sang\*, Kim, Dae Sung\*\*

Key Words : Steel Wheel(스틸 휠), Uni-axial Test(단축시험), Bi-axial Test Mode(복합축 시험 모드)

### ABSTRACT

The steel road wheel on ventilation holes was cracked in the vehicle durability test. But the component durability test by uni-axial, CFT(Cornering Fatigue Test) and RFT(Radial Fatigue Test) had been satisfied. That is, the uni-axial component test could not forecast the crack of vehicle. Therefore this study developed the bi-axial test mode to reflect a vehicle condition(to reflect both vertical and lateral force simultaneously) based on real load data which was measured in Europe and China and developed CAE simulation too. It reproduced the cracks same as vehicle's and verified by bi-axial test machine in the LBF(Fraunhofer Institute for Structural Durability and System Reliability) durability research center in Germany. Finally this the durability CAE simulation by using HMC(Hyundai Motor Company)'s the bi-axial test mode predicts feasibly the steel wheel's durability performance before vehicle durability test.

### 1. 서론

필드 조건을 유사하게 반영하는 차량 내구평가에서 스틸 재질로 제작된 로드 휠에서 크랙이 발생하였다. 벤틸레이션 홀부에서 시작되어 중심부로 전파되는 균열이며 주행 중 크랙 부위에서 발생하는 이상 소음으로 문제가 발견되었지만 만약 휠이 파단될 경우 승객 안전과 직결되므로 균열 원인을 찾아 개선하고, 문제 사전 방지책을 수립하는 것은 매우 중요하다.

일반적으로 이러한 문제는 국내, 미국 보다 고속주행, 급선회 등의 핸들링을 선호하는 유럽지역에서 발생하기

쉽다. 특히, 좌회전 시 조수석 쪽 휠은 횡방향 하중과 수직방향 하중이 동시에 작용하므로 휠 내구성능에 불리한 조건이다.

그러나 현재 단품 시험과 해석은 횡방향과 수직방향 하중을 각각 별도로 부하하는 단축 조건의 시험으로 실제 코너링 중인 차량 휠에 작용하는 복합축 하중조건과 다르기 때문에 실차 내구평가에서 발생한 문제현상을 동일하게 재현하기 위해서는 단축 평가 및 해석법의 현실화가 필요하다.

### 2. 본론

#### 2.1. 단축 내구 시험법

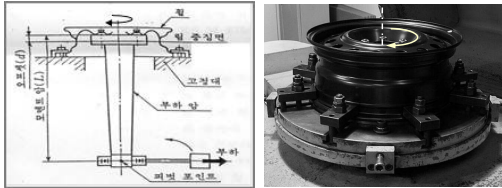
로드 휠의 내구성능 평가는 CFT(Cornering Fatigue

\* 현대자동차

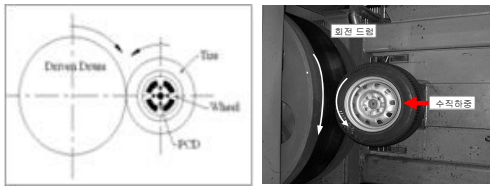
\*\* 자동차부품연구원

E-mail : bigchung@hyundai.com

Test)와 RFT(Radial Fatigue Test) 단축시험법을 사용하고 있다. CFT시험은 Fig. 1(a)와 같이 스틸 휠을 회전판 위에 고정하고 축방향 수직으로 모멘트를 부가하여 회전시키는 내구시험으로 코너링 조건을 반영하는 시험이고, RFT시험은 Fig. 1(b)와 같이 휠과 타이어 맞새이를 회전하는 드럼에 일정한 수직 하중을 가해 차량 하중을 반영하는 시험이다.<sup>(1)-(8)</sup>



CFT 평가



(b) RFT 평가

Fig. 1 단축 내구시험

실차시험에서 크랙이 발생한 스틸 휠의 경우 위 2 가지 단축시험으로 내구시험 및 해석 목표수명을 만족하였기 때문에 실제 차량 내구시험에서도 문제가 없을 것으로 예측할 수 있었다.

또한 단축 내구시험으로 목표회수를 초과하여 크랙이 발생할 때까지의 실시한 한계내구 시험결과에서도 Fig. 2와 같이CFT는 휠 중심면의 프렛팅(Fretting)에 의해 기준면 원주방향으로 균열이 발생하였고, RFT는 용접부 선단에서의 응력집중으로 림(Rim)의 용접부위에서 균열이 발생하였는데 벤트 홀과 Hat부위(벨틸레이션 홀 주위 상부로 볼록한 부)에서 크랙이 발생한 실차 내구시험과

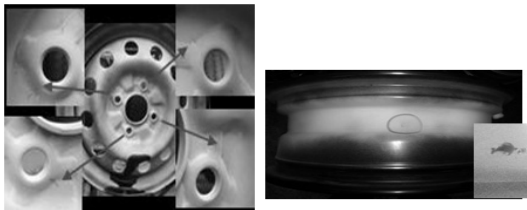


Fig. 2 CFT 및 RFT 시험 크랙 발생 위치

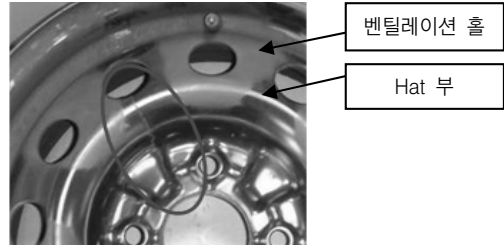


Fig. 3 실차 내구시험 휠 균열

Table 1 조건별 크랙발생 위치

	실차 내구	단품 CFT	단품 RFT
크랙발생 위치	벤트홀 부	기준면	림 용접부

는 문제현상이 다르게 나타났다(Fig. 3).

그러므로 단축 내구시험(CFT, RFT)은 실제로 휠에 작용하는 수직력과 횡력을 동시에 반영하는데 한계가 있으므로 이러한 점을 보완하고자 하였다.

## 2.2. 복합축 내구시험법

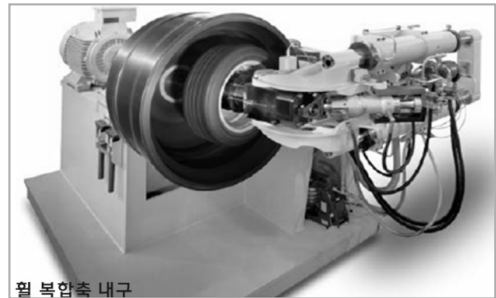


Fig. 4 복합축 시험장비

### 2.2.1. 시험모드 선정

복합축 내구평가모드는 세계 여러 나라에서 계측된 노면하중 데이터 및 지역별 가혹수준을 분석하여 현대차의 독자적인 내구 기준신호를 만들었다.

입력하중은 주행 중 발생하는 6방향 하중/모멘트를 휠 내구에 큰 영향을 미치는 횡방향, 수직방향 하중 및 휠 회전속도로 구분하여 횡방향 하중은 스페인 피렌체 산맥의 산악도로이고, 수직방향 하중은 중국 태원 인근 비포장도로 주행 데이터를 이용하였고 전륜 축중과 타이어 동반경을 고려한 100kg기준 파형으로 노멀라이징(Normalizing)

하였다.

시험모드 1사이클은 500km 주행 상당의 가속도를 나타내는데 600사이클 반복 시 목표 주행거리와 동일한 손상도를 가지며 총 소요시간은 약 183시간(7.7일)이다. 복합축 시험모드명은 “HMC(300K)”로 명명하였다.

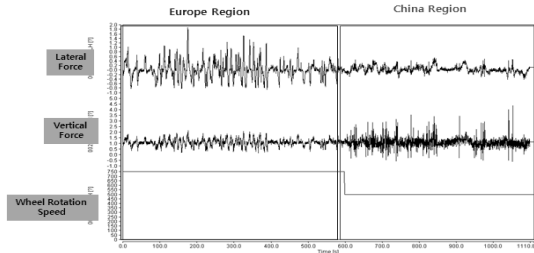


Fig. 5 복합축 시험모드

### 2.2.2. 시험모드 비교

유럽에서는 독일 뉘어버깅(Nurburging)서킷을 모사하여 개발한 LBF의 “Eurocycle”이 대표적이고, 호켄하이머링(Hockenheimring)도 있으며 미국은 DC(Daimler Chrysler)는 “DC MODE”모드를 활용하고, SAE J2562 규격으로 공개되어 있다.

본 연구에서 개발한 복합축 내구평가 모드 “HMC(300K)” 횡방향 하중은 Hockenheimring > DC > CFT > Eurocycle > HMC(300K) > SAE > RFT10 > RFT 시험조건 순으로 나타났으며 수직방향 하중은 RFT > RFT10 > SAE > Eurocycle > DC > HMC(300K) > Hockenheimring > CFT 시험조건 순으로 손상도가 나타났다. 따라서 HMC(300K)는 유럽모드를 대표하는 Eurocycle 시험모드와 횡방향과 수직방향에서 거의 유사한 가속도를 갖고 있는 것을 알 수 있다.

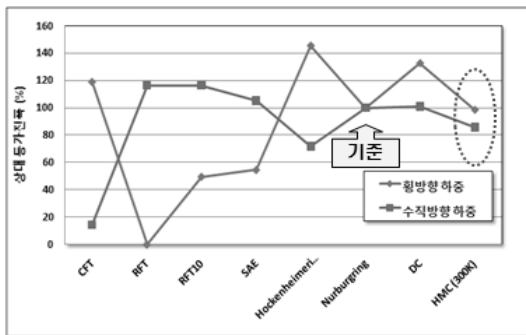


Fig. 6 복합축 시험모드 비교(횡/수직방향 하중)

### 2.3. 복합축 내구해석법

휠 내구성능의 사전 예측을 위해 복합축 시험모드 “HMC(300K)”를 이용하여 내구해석법을 개발하였다. 그리고 스틸 휠 해석 모델의 응력 민감부위를 대칭으로 Hat부와 림 내측부 표면에 23위치 59채널의 스트레인게이지(3축 18개, 1축 5개)를 부착하여 노면으로부터 스틸 휠에 횡방향과 수직방향 하중 입력조건에 따른 스틸 휠의 응력분포를 측정하였고, 해석모델의 기준으로 삼았다.

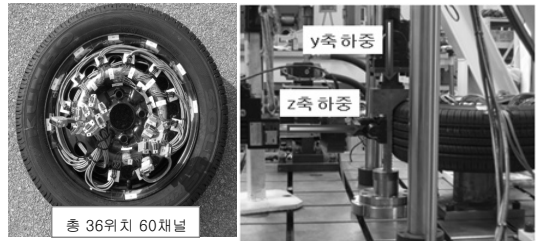


Fig. 7 휠, 수직방향 하중별 휠 응력측정

휠은 솔리드 모델에 셸(Shell)요소를 사용하여 유한요소 모델을 만들었으나 타이어는 구조가 복잡하고 특성이 비선형이므로 별도로 모델을 만들지 않고, 타이어의 영향을 간단한 경계조건으로 치환하여 효율적인 해석이 가능하도록 하였다. 즉, 모델의 림 부위 하중 경계조건에 횡방향 하중과 수직방향하중을 부가하여 타이어 유한요소 모델을 제거, 해석 부하(시간)를 줄였다.

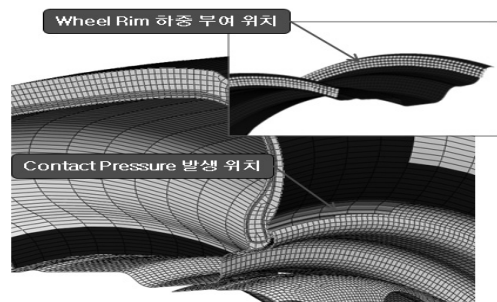


Fig. 8 휠 림부 하중 경계조건

해석 시뮬레이션 검증은 스틸 휠 디스크 표면에 부착한 스트레인게이지 위치별 측정된 응력측정치와 전산모델의 해석 결과치를 비교한 결과 Fig. 9와 같이 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

차량 로드 휠의 복합축 평가 프로세스 구축을 통한 내구신뢰성 강건화 및 주행안정성 향상

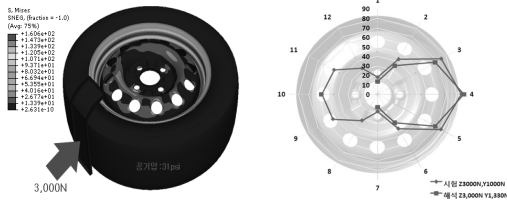


Fig. 9 실험값 대비 모델 해석결과 비교

2.4. 복합축 내구해석 결과 및 검증

수직방향 하중(Fz)은 코너링 시 차량 롤링에 의한 타이어의 변형으로 휠 내측 부위가 외측 플랜지 보다 많이 부가되기 때문에 립부 180도 범위에 하중을 65 : 35의 비로 부가하였다.

횡방향 하중(Fy)은 하중 분포 각도에 따라 스틸 휠 디스크부의 응력이 민감하게 반응하는 것으로 나타나는데 코너링 시 하중 분포 각도를 40도로 좁게 하여 휠 타이어 접촉면의 하중을 받게 되는 립 편측에만 적용하였다.

이들은 경험적인 판단과 해석모델에서 수차 시험착오를 거쳐 결정하였다.

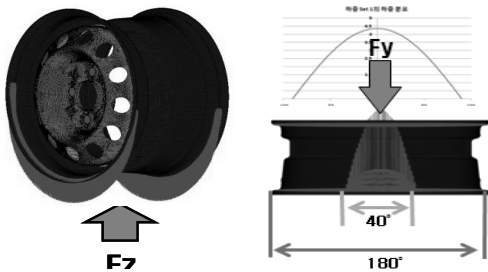


Fig. 10 복합축 하중 경계조건

손상도 계산은 팸팸(FEMFAT)을 이용하였으며 B1 수명을 기준으로 내구수명 해석에서 휠 Hat부위에 손상도가 가장 크게 나타났으며 실차내구시험에서 발생한 크랙 부위와 같다. 그리고 복합축 시험모드를 이용한 내구해석



Fig. 11 내구 문제 및 해석결과 비교

은 실제 크랙을 동일하게 재현하였고 수명은 약 목표대비 40% 수준으로 예측되었다.

본 복합축 해석 시뮬레이션의 검증은 복합축 시험장비를 보유하고 있는 독일LBF에서 평가하였는데 목표 대비 38% 에서 복합축 해석 및 실차내구 실차 결과와 유사한 Hat 부위에 크랙이 발행한 것으로 볼 때 HMC(300K) 모드가 적합한 것을 알 수 있다.

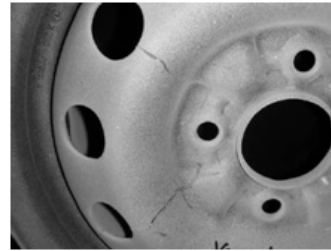


Fig. 12 복합축 시험결과

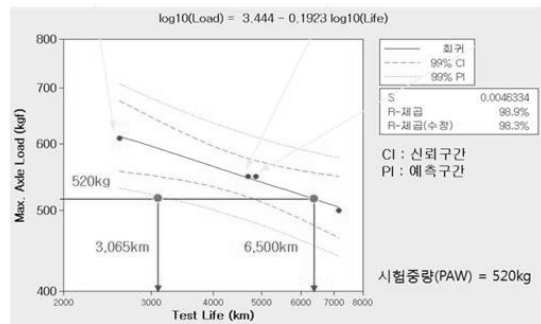


Fig. 13 복합축 시험결과 그래프

3. 결론

본 연구는 기존 단축 시험방법인 CFT(Cornering Fatigue Test)와 RFT(Radial Fatigue Test)의 한계를 보완하고자 실제 차량에서 발생하는 횡방향 및 수직방향 하중을 동시에 가하여 휠의 복합축 내구시험이 가능하도록 현대자동차의 독자적인 시험모드 및 해석 프로세스를 개발하였고, 결론은 다음과 같다.

첫째, 단축으로 실시하는 휠 내구시험의 불리한 점을 보완하고자 복합축 시험모드를 개발하였다.

둘째, 스틸 휠이 제작되기 전에 휠의 내구성을 사전 예측할 수 있도록 실차 조건과 같이 수직력과 횡력이 동시에 부하되는 복합축 내구해석 프로세스를 구축하여 실

제적인 스틸 휠 수명예측 신뢰성을 향상하였다.

셋째, 차량 메이커로서의 복합축 휠 내구성능 요구사항 제시가 가능하도록 기술적 토대를 만들었으며 필드에 서 휠의 내구신뢰성을 강화 및 차량 주행안정성 향상 기반을 구축하였다.

향후 복합축 내구시험 및 해석기술의 자립으로 당사의 글로벌 내구신뢰성을 확보가 가능하도록 하였다.

### 참고문헌

- (1) JASO C 614, Automobile Parts-Disc Wheel, 2004.
- (2) JIS D 4103, Automobile parts-Disc wheels Performance requirements and marking.
- (3) S. T. Rolfe and J. M. Barsom, "Fracture and Fatigue Control in Structures - Applications of Fracture Mechanics", Prentice Hall, 1977.
- (4) W. G. Clark, Jr., "Fracture Mechanics in Fatigue", Experimental Mechanics, September 1971, pp. 421~428.
- (5) Shawn You, Sang-Gun Joo, "Virtual Testing and Correlation with Spindle Coupled Full Vehicle Testing System", SAE, 2006.
- (6) J D Reid, D A Boesch, R W Bielenberg, "Detailed Tire Modeling for Crash Applications", I Crash, 2006.
- (7) J. Pelc, "Towards Realistic Simulation of Deformations and Stresses in Pneumatic Tyres", Applied Mathematical Modelling, 2007.
- (8) Tatsuya Fukushima, Hitoshi Shimonishi, Kimihiro Hayashi, Masaki Shiraishi, "Simulation of a Vehicle Running on to a Curb by Using Tire and Vehicle FE Models", LS-DYNA Users Conference, 2005.