

<기술논문>

# 샤시코너모듈 개발을 위한 부품의 내구 성능 예측에 대한 연구

최성진<sup>\*1)</sup> · 박정원<sup>1)</sup> · 전광기<sup>1)</sup> · 유영면<sup>1)</sup> · 최규재<sup>2)</sup> · 박태원<sup>3)</sup>

자동차부품연구원<sup>1)</sup> · 군산대학교 기계공학부<sup>2)</sup> · 아주대학교 기계공학부<sup>3)</sup>

## A Study on Durability Performance Estimation for Development of Chassis Corner Module

Sungjin Choi<sup>\*1)</sup> · Jungwon Park<sup>1)</sup> · Kwangki Jeon<sup>1)</sup> · Youngmyun Yoo<sup>1)</sup> · Gyoojae Choi<sup>2)</sup> · Taewon Park<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Automotive Technology Institute, 74 Yongjung-ri, Pungse-myun, Cheonan, Chungnam 330-912, Korea

<sup>2)</sup>Kunsan National University, Cheonbuk 573-701, Korea

<sup>3)</sup>Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

(Received 22 July 2005 / Accepted 3 October 2005)

**Abstract** : Chassis system has a large influence on ride quality, stability and NVH performance of a car. To improve the performance and reduce cost, the development of chassis modular assemblies is emphasized. To develop chassis corner modules, it is necessary to predict the performance of full vehicle motion such as ride, handling performance, NVH characteristics and durability of modules. In this paper, full vehicle test is performed to acquire the road load data of chassis corner module of passenger car. 3-axis simulator modeling are carried out to simulate reaction force analysis and fatigue analysis of new developed modules. Also, real simulator tests to validate performance of new developed modules are performed. We had developed the accelerated durability test procedure of KATECH PG and it is used to test chassis corner modules at laboratory and simulate durability performance. All these results have been provided to module and parts company and make an important role to develop chassis corner modules.

**Key words** : Chassis corner module(샤시코너모듈), Vehicle dynamics(차량 동역학), Ride(승차감), Road load(도로하중), Durability(내구성).

### 1. 서론

승용차용 샤시코너모듈은 차량의 승차감, 조종 안정성, NVH 등의 차량 성능을 좌우하는 핵심부품이다. 이와 같은 샤시코너모듈을 개발하기 위한 기술은 단품 개발에 사용되는 기술과는 차이가 많으며 차량 전체의 특성을 이해하여 모듈의 설계 요구 조건을 도출하는 시스템 관점에서의 접근이 필요하다. 따라서 단품 단위에서의 부품 설계 및 평가를 벗

어나 시스템 단위의 모듈 개발을 개발 초기부터 해당 부품의 기능과 작용 요소에 대해 정확히 분석하고 인지함에 따라 고성능화 및 최적화된 모듈의 개발을 가능하게 한다. 또한 해석 및 시험기를 통해 개발 제품을 미리 평가함으로써 시제품 제작과 시행착오 횟수를 줄여 개발기간 단축 및 비용절감을 추구할 수 있다.

기존의 제품 개발 및 내구 신뢰성을 평가하기 위해서는 단품 해석과 단품 내구 시험이 주로 행해져 왔으나 지금은 모듈 단위에서 해석을 통해 부품의 내구 성능을 예측하고 가속내구모드를 이용한 내구

\*To whom correspondence should be addressed.  
sjchoi@katech.re.kr

시험을 수행하여 개발 부품을 평가하는 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1,2)</sup>

본 논문에서는 샤시코너모듈 개발을 위한 부품의 내구 성능 예측에 관한 시스템 해석 및 시험평가 등의 연구를 수행하였다.

샤시코너 부품에 작용하는 하중이력을 구하기 위해 일반도로 및 자동차부품연구원 주행성능시험장에서 각 부품에 작용하는 주행하중 측정시험을 수행한 후<sup>1)</sup> 측정된 데이터를 이용하여 가속내구시험 모드를 생성하였다. 이 모드는 개발 모듈의 내구평가를 위한 가진 입력조건으로 제공하고, 개발된 모듈을 3축 시험기에 장착하여 내구시험을 수행하였다. 또한 3축 시험기 모델과 관심 부품의 유한요소 모델을 구성하여 하중 반력 해석과 내구해석을 수행하였다. 이 결과를 통해 시험결과와 비교 분석하여 해석 모델을 검증하였으며 관심대상 부품의 내구 성능을 평가하였다.

## 2. 실차 주행시험

부품의 내구 신뢰성을 확보하기 위한 가속주행 내구시험은 실제 도로를 자동차 수명시간 동안 주행하며 받게 되는 손상도와 동일한 값으로 특수로를 포함한 주행시험로를 통해 샤시부품에 손상을 가하며 시간을 단축하는 시험방법이다.<sup>2,3)</sup>

가속 시험모드를 생성하기 위해서는 일반도로 주행에서의 주행하중 이력과 벨지안로 등의 특수로 주행하중 이력이 필요하다. 따라서 실제 국내 일반도로 16만km 주행한 것과 같은 손상도를 차량 부품에 동일하게 줄 수 있도록 국내 일반도로 및 자동차 부품연구원의 주행시험장에서 시험 차량을 이용해 실차 주행시험을 수행하였다. 시험에서 획득한 하중 이력은 범용 소프트웨어를 이용하여 각 도로를 조합하고 내구 목표 하중과 손상도가 유사한 자동차부품연구원 성능시험장(KATECH PG) 가속내구 모드를 개발하였다.<sup>4,5)</sup>

### 2.1 일반도로 주행하중 측정 시험

일반도로 주행하중 측정은 유럽지역 완성차업체와 부품업체의 하중 표준화 작업을 위한 협의체인 CARLOS의 operating profile<sup>2)</sup>을 기준으로 16만km

상당의 목표 내구하중을 설정하여 실시하였으며 샤시코너 부품 및 휠하중에 대해 신호를 측정하였다. 휠하중 측정은 휠 센터에 WFT(Wheel force transducer)를 장착하여 측정하였고 샤시코너 부품의 하중 측정은 각 부품에 스트레인 게이지(strain gauge)를 부착하여 측정하였다. Fig. 1은 샤시코너 부품의 하중 이력을 측정하기 위한 측정시스템을 나타내었다. Table 1은 국내 일반도로 실차 주행시험 실측거리를 나타내고 있다.

측정 신호의 분석은 rainflow counting method<sup>4)</sup>를

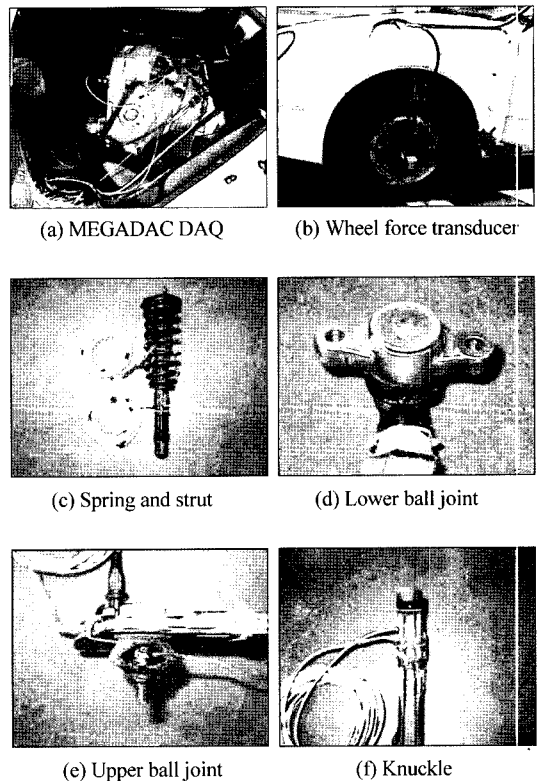


Fig. 1 Load measurement system of chassis corner parts

Table 1 Measured distance of domestic roads

Road type	Operating profile	Measured distance	Extrapolation factor
Express way	48,000 km (30 %)	147 km	326.5
Off road	6,400 km (4 %)	14 km	457.1
City road	36,800 km (23 %)	103 km	357.3
Highway	46,400 km (29 %)	125 km	372.7
Local road	22,400 km (14 %)	191 km	117.6
Total	160,000 km (100%)	579 km	276.3

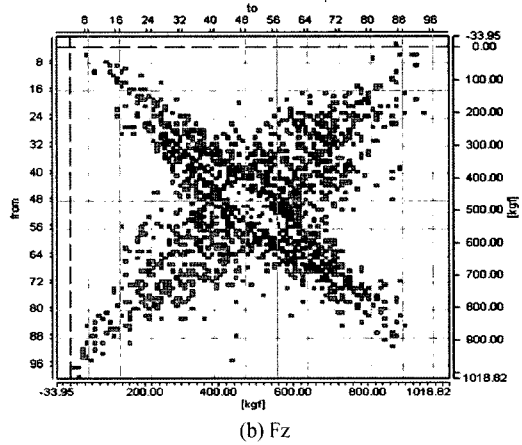
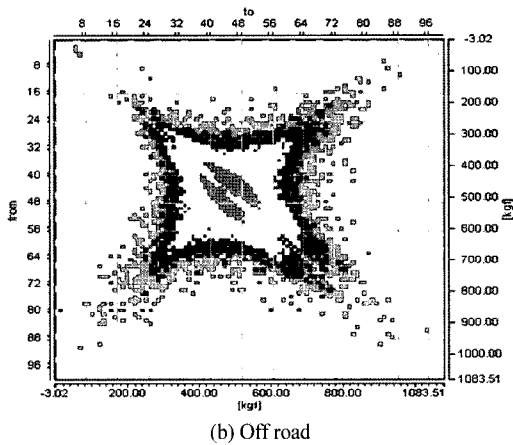
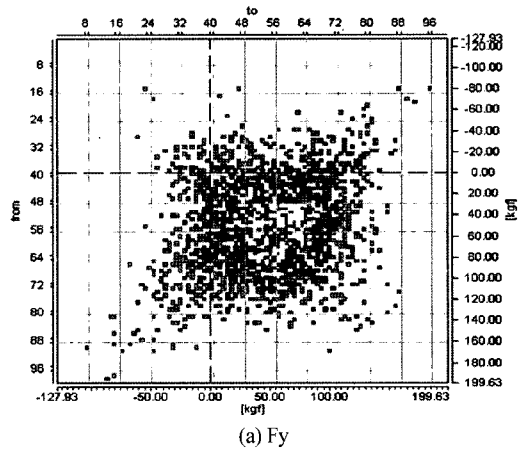
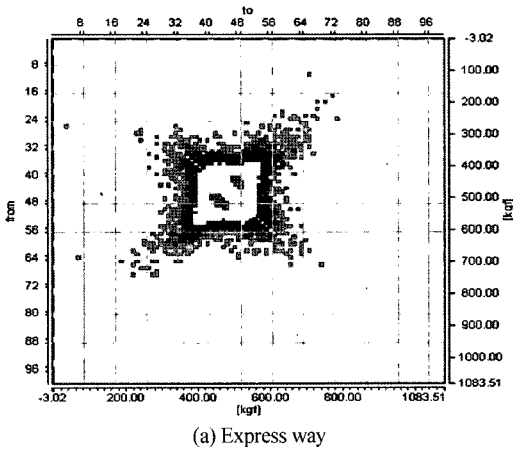


Fig. 2 Rainflow matrix of wheel force(Fz)

Fig. 3 Wheel force of Belgian road(50km/h)

사용하여 방대한 측정 데이터의 크기를 축소시키면서도 피로 역학적으로 의미 있는 데이터를 rainflow matrix 등으로 만들어 분석하였다. Fig. 2는 일반적으로 주행 시 고속도로와 비포장로 휠-하중의 수직방향 성분인 Fz를 rainflow matrix로 도시한 것으로 고속도로보다 비포장로의 하중 분포가 큼을 알 수 있다.

matrix로 나타낸 것으로 벨지안로 특성상 수직방향의 하중분포가 횡방향 보다 큼을 알 수 있다.

### 2.2 KATECH PG 주행하중 측정 시험

### 2.3 KATECH PG 가속내구모드 생성

일반도로 주행하중 측정 시험에서 측정된 하중이력과 대등한 조건을 갖는 대표성 있는 하중이력을 추출하고 이를 반복적으로 검증할 수 있는 가속 주행 내구시험모드 생성을 위해 자동차부품연구원 주행시험장의 다양한 특수로 주행과 이벤트(event) 시험을 수행하였다. 그 예로 Fig. 3은 50km/h의 차속으로 벨지안로 주행 시 측정된 휠-하중을 rainflow

matrix로 나타낸 것으로 벨지안로 특성상 수직방향의 하중분포가 횡방향 보다 큼을 알 수 있다.

각 부품에서 측정된 하중 이력은 범용 소프트웨어<sup>9)</sup>를 이용하여 물리량으로 변환하여 신호 처리하였다. 가속내구모드 생성은 일반적으로 16만km 상당의 주행 시 측정된 휠-하중의 가상 손상도와 range pair counting 선도가 유사하도록 각종 특수로와 특수 이벤트 하중 이력을 조합하여 샤시코너 부품에 동일한 내구 손상을 줄 수 있도록 하였다. 이 가속 내구모드는 3축 시험기의 입력신호로 사용되어 시험실 내에서 개발 모듈의 내구시험을 단기간에 수행할 수 있게 하였다.

Fig. 4는 가속내구모드의 생성 절차를 나타내었

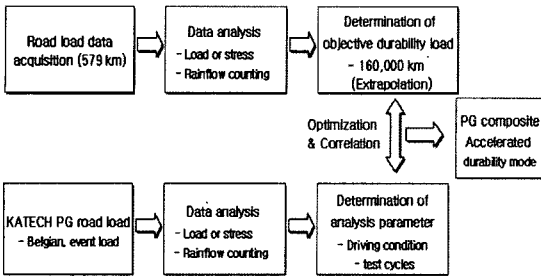


Fig. 4 Generation process of accelerated durability mode

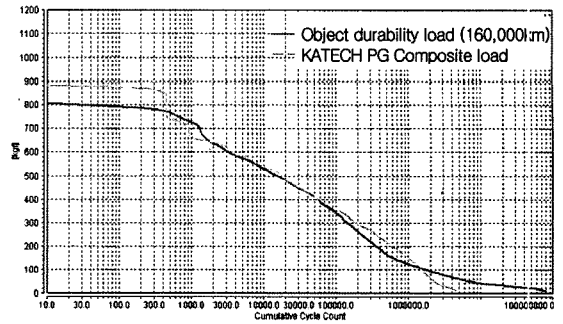
Table 2 Components of KATECH PG composite accelerated durability mode

Driving mode	Speed (km/h)	Driving distance(m)	1 cycle (320km Equivalent)	500 cycle (16,000km Equivalent)
Belgian	30	200	4	2,000
	40	200	1	500
Cobble stone	10	100	4	2,000
	20	100	3	1,500
Standard rough road	30	200	3	1,500
Sudden braking	20	10	2	1,000
8-shaped drive	20	30	1	500
Slalom	50	250	20	10,000
	60	250	5	2,500

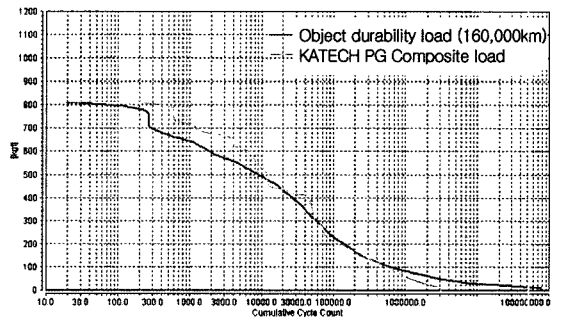
으며 Table 2는 가속내구모드의 생성 절차에 의해 자동차부품연구원 주행시험장 내의 각종 특수로 주행 및 특수 이벤트 시험 하중을 조합한 국내도로 16만km 상당의 가속내구모드를 나타내고 있다.

국내 일반도로 320km 상당의 가속내구모드 1 cycle은 자동차부품연구원 주행시험장 8.6km의 특수로와 특수 이벤트 시험 주행한 것과 가상 손상도가 일치하는 37.2의 가속도 값을 가진다.

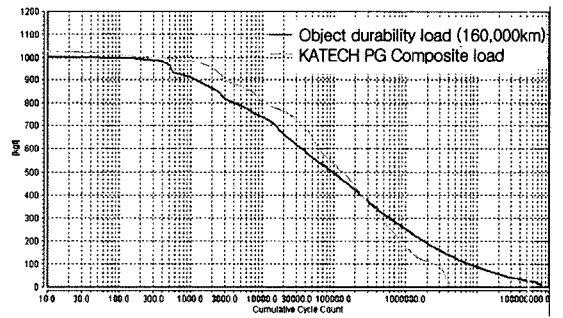
KATECH PG 조합 가속내구모드의 휠-하중 Fx, Fy, Fz 가상 손상도(pseudo damage)는 목표 내구하중인 국내 일반도로 16만km 상당하는 가상 손상도 대비 각각 101%, 103%, 110%로 매우 유사하고, range pair counting 선도 또한 Fig. 5와 같이 유사하게 일치하였다.



(a) Fx of wheel force



(b) Fy of wheel force



(c) Fz of wheel force

Fig. 5 Range pair counting curves of object durability load and accelerated durability mode

### 3. 사시코너 부품의 내구성능 평가

#### 3.1 3축 시험기를 이용한 내구 평가

##### 3.1.1 가속내구시험 구동 파일 생성

3축 시험기를 이용한 내구시험 과정은 Fig. 6과 같이 실차 주행시험, 신호처리, 전달파수 생성, 반복(iteration), 내구시험의 5단계를 통해 실차에서 측정된 하중을 재현할 수 있게 된다.

가속내구시험은 앞에서 기술한 KATECH PG 조

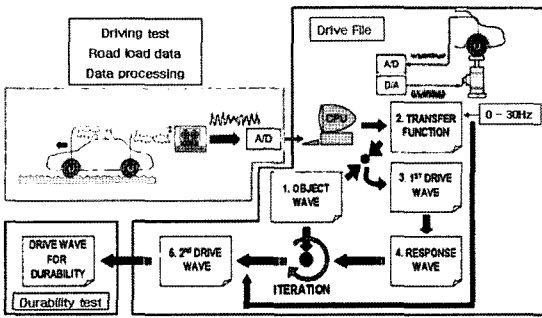


Fig. 6 Durability test procedure of 3-axis simulator

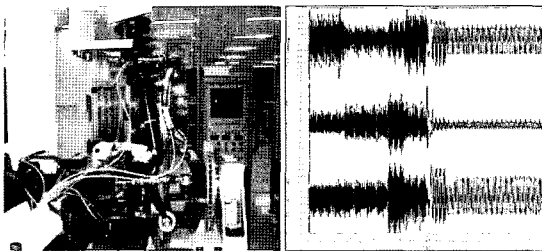


Fig. 7 3-axis simulator test and object profiles

합 가속내구모드를 이용하여 3축 시험기에 입력될 구동 파일을 생성하고, 개발 모듈의 내구시험을 수행하였다.

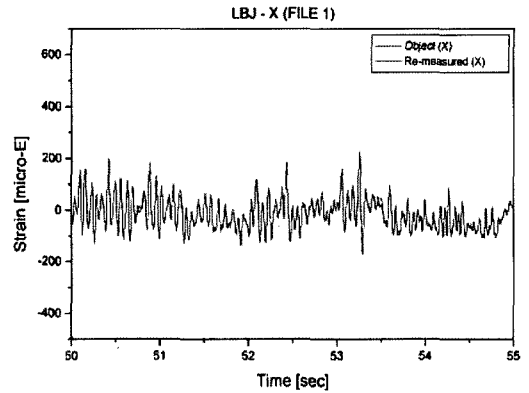
3축 시험기의 구동 파일을 만들기 위해 lower ball joint의 x, y 방향 하중, spring 4.75 권 외측(z 방향)의 변위를 기준 신호로 하여 Fig. 7과 같은 목표 파형을 만든다. 이 목표 파형을 이용하여 3축 시험기에 장착된 lower ball joint와 spring에서의 출력신호가 실차주행시 측정된 신호와 잘 일치하도록 여러 번 반복 작업을 통해 구동 파일을 생성하였다.

이와 같이 생성된 구동 파일은 목표 파형과 비교하여 2% 이내의 RMS 오차를 가지도록 반복작업을 수행하였으며 이를 Fig. 8에 나타내었다.

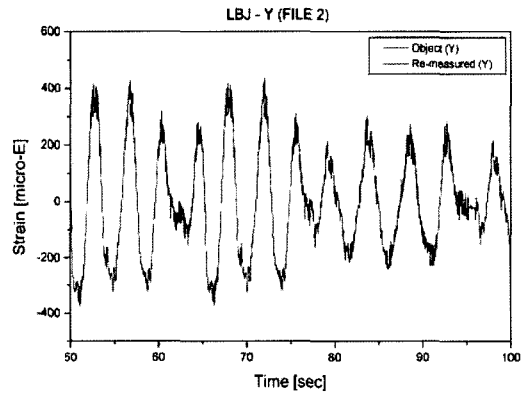
### 3.1.2 내구시험 결과

개발 모듈을 대상으로 가속내구모드 1cycle을 500회 반복하여 국내 일반도로 16만km 상당의 주행 내구목표 하중을 시험실 내에서 1주일 이내에 완료할 수 있었다.

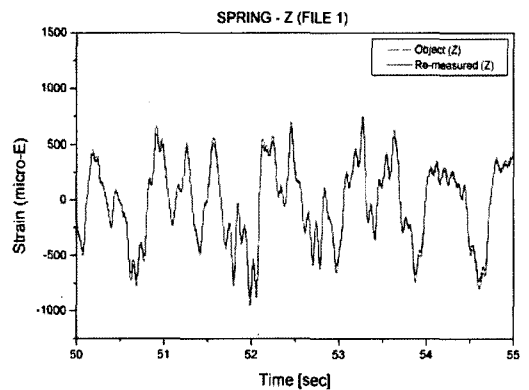
시험 도중에 shock absorber의 top mount A/B bush가 Fig. 9와 같이 내구 cycle 260회(83,000km 상당)와 650회(208,000 km 상당)에서 파손된 것을 제외한다면 샤시코너모듈 구성 개발품에는 크랙(crack)이나



(a) X-axis of lower ball joint



(b) Y-axis lower ball joint



(c) The outside of spring 4.75-round

Fig. 8 Comparison of object profiles and drive files at 3-axis simulator (Belgian 30km/h)

영구변형이 발생하지 않았다. 따라서 shock absorber의 top mount A/B bush의 내구 강도를 증가시킨다면 전체 샤시코너모듈 개발품은 국내 일반도로 32만 km 상당 이상의 내구수명을 갖는 것으로 확인되었다.

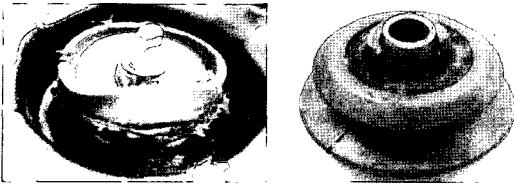


Fig. 9 Top mount A/B bush prototype After test

Table 3 Durability test results at 3-axis simulator

Characteristics of components	Test result (160,000km equivalent)	Test result (320,000km equivalent)
- 5th generation bearing	- A/B bush crash (260cycles, 83,000km)	- A/B bush crash (650cycles, 208,000km)
- Steel knuckle		
- Steel s/absorber	- Normal completion of other chassis components	- Normal completion of other chassis components
- High stress spring		
- Prototype A/B bush		

### 3.2 샤시코너 부품 내구성능 해석 평가

샤시코너 부품의 내구성능 해석은 상용 제품과 개발품을 대상으로 모드 중첩법과 S-N 방법을 사용하였다.<sup>5)</sup>

#### 3.2.1 유연성 부품 모델링

동역학 해석<sup>7,8)</sup>과 내구해석<sup>9)</sup>의 전 단계로써 내구 평가의 대상 부품에 대해 유한요소 모델을 생성하고 자유 경계조건에서의 고유진동수 해석을 수행하여 각 모드에 대한 특성 파일을 생성하였다. Fig. 10은 고유진동수 해석에서 나온 너클의 주요 저차 모드를 도시하였다

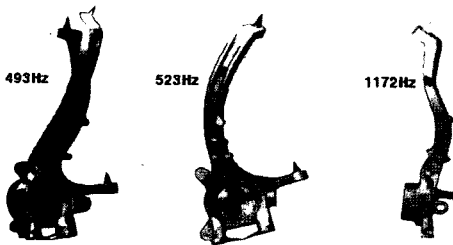


Fig. 10 Modal analysis of conventional knuckle

#### 3.2.2 3축 시험기 모델링

3축 시험기 모델은 유연체 너클과 함께 3축 시험기의 wheel jig, actuator jig 질량과 관성 영향이 포함되도록 모델링하였다. 해석 모델의 가진 조건은 Fig. 11과 같이 실제 3축 시험기의 actuator jig와 같은 방향( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ )으로 가진하였다.

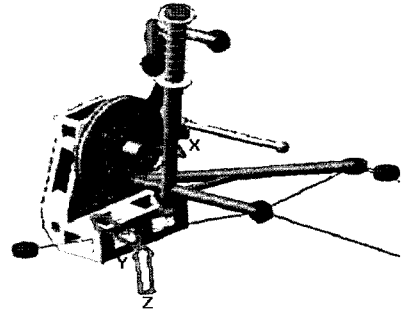
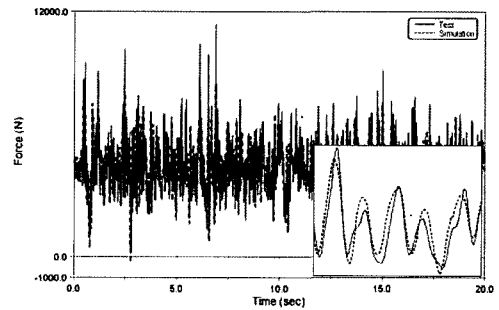


Fig. 11 3-axis simulator modeling

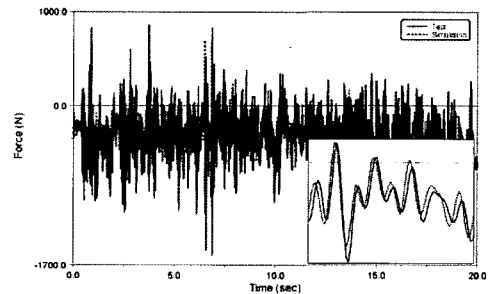
### 3.2.3 해석 모델 검증

#### 가. 부품 반력 해석

부품 반력 해석에 의한 모델 검증은 벨지안로 주행 시험을 재현한 구동파일을 사용하여 3축 시험기의 actuator에서 발생하는 힘 성분을 모델의 입력 조건으로 가진하였다. Fig. 12는 상용품에 대한 3축 시험기의 시험 결과와 해석 결과를 비교한 것으로, 각 부품에서 발생하는 반력의 해석 결과가 시험 결과와 잘 일치함을 확인할 수 있어 해석 모델의 타당성을 검증하였다.



(a) Lower ball joint,  $F_z$



(b) Upper arm,  $F_y$

Fig. 12 Comparison of reaction forces between test and analysis

**나. 응력 수준 비교**

내구 해석 모델 검증은 벨지안로 구동과일을 가진 입력으로 하여 실제 3축 시험기에 부착된 너클의 스트레인 게이지에서 출력되는 측정값과 유연체 모델의 응력 해석 결과를 비교함으로써 모델의 정확도를 검증하였다. Fig. 13은 상용품 너클에 대하여 시험과 해석의 응력 추출 부위와 결과를 보여주고 있다. 시험과 해석을 통해 얻어진 응력 값은 Von Mises stress로 나타내었으며 RMS값으로 비교하면 시험결과는 3.346, 해석결과는 3.53으로 해석 결과가 시험 결과와 잘 일치하고 있어 해석 모델의 정확도를 검증하였다.

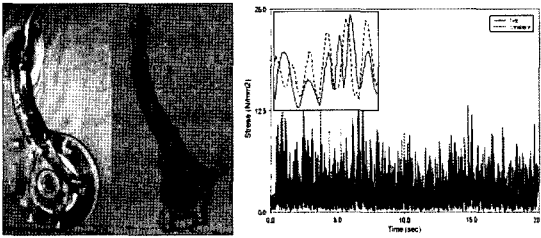


Fig. 13 Comparison of test and analysis results

**3.2.4 동역학 해석 및 결과 출력**

내구성 해석을 수행하기 위해서는 KATECH PG 조합 가속내구모드 1 cycle에 대한 동역학 해석이 이루어져야 한다. 그러나 가속내구모드 1 cycle의 데이터는 926초 분량으로 컴퓨터 메모리 부족 등의 문제로 인해 해석 및 결과 분석이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 가속내구모드 1 cycle 데이터를 분할하여 해석을 수행하고 각 해석결과는 시간대별로 다시 연결하는 방법을 사용하였다.

**3.2.5 내구 해석**

동역학 해석의 결과로 얻어진 응력 값을 이용하여 내구 해석 전용 프로그램인 MSC/Fatigue에서 내구 해석을 수행하였다.

대상 부품의 내구 수명은 일반적으로 재질이 취성재료로서 소성변형이 거의 존재하지 않고 피로 수명이 고 사이클 영역에 존재하는 경우 많이 사용되는 S-N 방법을 채택하였으며 Fig. 14는 해석에 적용된 부품의 S-N 선도를 나타내었다.

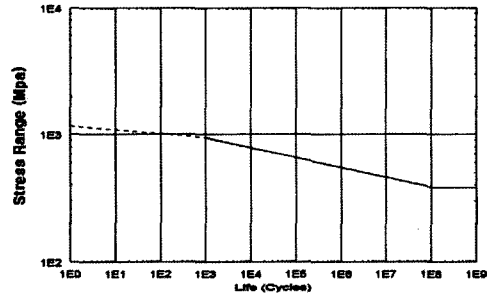


Fig. 14 S-N curve (conventional)

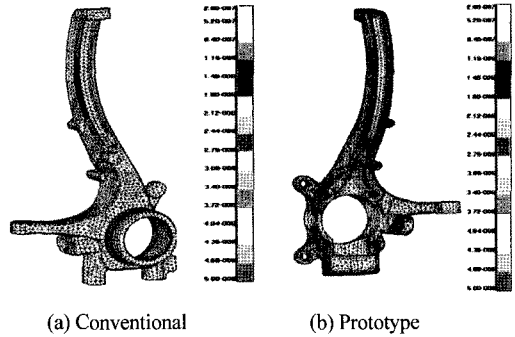


Fig. 15 Fatigue analysis results

Table 4 Fatigue analysis results

	node-No.	damage	life -repeats	log -life	log -damage
Conventional	1655	2.168E-7	4.613E6	4.6127E6	6.6640
	1654	1.953E-7	5.120E6	5.1200E6	6.7093
	1653	1.928E-7	5.186E6	5.1861E6	6.7148
Prototype	86896	1.939E-6	5.157E5	5.1571E5	5.7124
	87624	1.789E-6	5.590E5	5.5903E5	5.7474
	87626	1.789E-6	5.590E5	5.5903E5	5.7474

**3.2.6 내구 해석 결과**

상용품과 개발 너클에 대한 내구 해석 결과를 Fig. 15에 도시하였으며, Table 4는 손상도가 가장 큰 노드 순서로 내구해석 결과를 수치로 나타내었다.

내구 해석 결과, 상용품과 개발 너클의 경우 내구 수명이 가속내구모드 1cycle 대비 약 4E6 cycle과 5E5 cycle을 갖는 것으로 나타났다. 이는 가속내구모드 1 cycle이 실차주행 320km에 해당하므로 실제 내구수명은 4E6×320(cycle), 5E5×320(cycle)이 되어 무한수명이라 볼 수 있다. 이는 3축 시험기의 내구 시험 결과인 32만 km 이상의 내구 수명 결과와 유사하다는 것을 알 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 샤시코너모듈을 개발을 위한 부품의 내구 성능 예측에 관한 것으로써 시험과 해석을 수행하여 부품의 내구성능을 평가하였다.

- 1) 샤시코너 부품에 작용하는 하중이력을 측정하기 위해 일반도로에서의 하중이력과 KATECH PG의 특수로 측정 데이터를 이용하여 가속주행 내구모드를 생성하였다.
- 2) 개발된 가속내구모드를 이용하여 3축 시험기에서 일주일 내 내구 시험을 수행하였고 시험 결과, shock absorber의 top mount A/B bush를 제외하고는 모두 32만 km 상당의 내구 수명을 확인하였다.
- 3) 3축 시험기 모델 및 관심대상 부품의 유한요소 모델을 구성하여 시스템에서의 반력 해석 및 응력 해석을 통해 해석 모델을 검증하였다.
- 4) 또한 3축 시험기의 시험기 모델에서 가속내구모드를 이용하여 관심 부품의 내구 성능을 평가한 결과가 시험 결과에서 확인한 바와 같이 무한 수명임을 확인하였다.

© 향후 부품의 내구 성능을 평가하는 방법을 좀 더 개선하여 부품 설계 및 개발 시 적용함으로써 부품의 성능 및 품질 향상을 추구하고자 한다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 중기거점기술 개발사업(승용차용 샤시코너모듈 기술 개발)의 연구결과이며, 공동 참여한 (주)만도, 대원강업(주), 동아산업(주) 관계자의 협조에 사의를 표합니다.

## References

- 1) Development of Test Standardization and Evaluation Technology for Vehicle Parts, 3th Technical Report, KATECH, 2001.
- 2) 1997 KATECH International Technical Seminar - Technology of Performance Test for Vehicle and Its Parts, KATECH, 1997.
- 3) J. A. Bannantine, J. J. Comer and J. L. Handrock, Fundamentals of Metal Fatigue Analysis, Prentice Hall, 1989.
- 4) ADAMS User's Manual, 2000.
- 5) MSC Fatigue User's Manual, 2002.
- 6) LMS User's Manual, 2000.
- 7) T. Y. Yi, "Vehicle Dynamic Simulations Based on Flexible and Rigid Multi-body Model," SAE 2000-01-0114, 2000.
- 8) Y. Zhang, P. Xiao, T. Palmer and A. Farahani, "Vehicle Chassis/Suspension Dynamic Analysis - Finite Element Model VS. Rigid Body Model," SAE 980900, 1998.
- 9) R. S. Ballinger, "Brake Conner System Modeling and Simulation," SAE 1999-01-3400, 1999.