

초경량 컨트롤암 개발을 위한 VPG 통합시스템

김종규*, 김근연**, 이권희**,#
*센트랄중앙연구소, **동아대학교 기계공학과

A VPG Integration System for Development of an Ultra Lightweight Control Arm

Jong-Kyu Kim*, Geun-Yeon Kim**, Kwon-Hee Lee**,#
*Senior Research Engineer: Central Corporation., **Graduate Student: Dept. of Mechanical
Engineering, Dong-a Univ.

(Received 2 February 2015; received in revised form 23 February 2015; accepted 4 March 2015)

ABSTRACT

Car manufacturers and part manufacturers each have their own criteria with regard to strength, stiffness and NVH performance levels. Part manufacturers typically investigate such performances according to the part unit. To do this, the part manufacturer receives information from the relevant car maker. However, the information provided by the car maker is limited, making it difficult to develop a part which meets all of the design requirements specified by the car unit overall. To overcome this difficulty, the utilization of a VPG system is recommended for the designer. In this study, the durability performance of an optimized control arm as suggested in a previous study was investigated using the ETA-VPG, LS-dyna and FE/safe software packages. ETA-VPG provides several types of suspension and steering parts. In this study, a complete car is created using the library included in ETA-VPG, with the exception of the control arm. We also conducted a virtual proving ground analysis to predict the life cycle of the control arm.

Key Words : VPG(Virtual Proving Ground, 가상주행시뮬레이션), Control Arm(컨트롤암), Durability Analysis(내구해석), Suspension System(현가시스템)

1. 서 론

자동차용 컨트롤암은 너클과 차체를 연결해주는 부품으로서, 승차감과 조종안정성에 영향을 미친다. 기존의 연구^[1-2]에서는 단품 단위의 최적화된 형상을 제시하였고 내구시험을 수행하였다. 참고문헌 [1]에서는 유한요소법을 이용하여 강도 및

내구성능을 예측하였고, 컨트롤암의 경량화를 위해 크리깅 내삽법을 이용한 최적화 기법을 적용하였다. 또한 수치해석 결과를 검토하기 위하여 내구시험을 수행하였다. 기존의 연구^[2]에서는 참고문헌 [1]에서 제시한 최적화형상을 갖고 단품단위의 내구시험과 1/4차 시험기를 이용한 내구시험을 수행하였다. 그러나 이 결과는 단품과 1/4차 모델에 대한 것이다.

본 연구에서는 기존 연구에서 수행한 단품 단위의 내구성능 확인을 실차 단위로 수행하고자 한

#Corresponding Author : leekh@dau.ac.kr

Tel: +82-51-200-7638, Fax: +82-51-200-7656

다. 보다 현실적이고 정확한 하중 검토를 위해서는 전체 차량시험을 시행하는 것이 가장 좋은 방법이다. 판매되고 있는 차량의 실차시험을 위한 시험기의 구성 및 시험 장비의 구축은 가능하다. 그러나 시험을 위해서는 사전의 많은 지식과 축적된 기능이 필요하다. 이와 함께 실차시험을 위해서는 많은 시간과 비용이 소요된다. 한편, 개발과정에 있는 차량의 경우에는 실차 구성이 불가능할 수도 있다. 개발 중인 차량의 경우, 부품업체에서는 타 부품업체의 설계정보를 획득하기가 불가능하기 때문이다. 본 연구에서는 부품업체에서 가지고 있는 자사 제품의 정보만을 갖고 실차를 구성하여 내구해석을 수행하였다. 실차의 모델링을 위하여 ETA사에서 개발한 가상내구시물레이션 소프트웨어인 ETA-VPG^[3]를 이용하였다. ETA-VPG는 현가계와 조향계의 종류에 따라 각 부품을 라이브러리에 수록하여 모델링시 이를 이용할 수 있다. 해석프로그램으로는 동역학 해석 시 Ls-dyna를, 피로해석 시 FE/safe를 각각 이용하였다. 본 연구에서는 너클암 개발의 최종단계로서 적용되는 가상주행 시물레이션을 통해 내구성능을 예측하였다.

2. ETA-VPG를 이용한 차량 모델링

자동차 부품의 내구수명은 자동차 업계에서 전통적으로 이용되는 벨지안로드, 코블스톤로 등의 특수로를 조합하여 생성한 복합로를 주행하게 하는 내구시험방법을 이용하여 예측하는 방법이 있다. 또한 특정한 특수로를 1개 선정하여 이를 반복적으로 작용시키는 내구시험 방법이 있다. 이러한 내구시험 방법을 위해서는 실차에서 RLDA(Road Load Data Acquisition)를 통해 획득한 자료의 입수가 필수적인 요소이다^[4].

주행시험 중 대표적인 주행시험으로서 A 완성차 업체의 벨지안로드로 구성된 반복특수로 조건이 있다. 벨지안로드는 일반 도로보다 가혹한 주행 조건을 가질 수 있는 도로이다. A 완성차업체의 기준에 의하면 차량이 벨지안로드의 Tc km 주행을 완료하면 실제 도로의 Tt km 주행을 완료한 것과 같은 결과를 얻는 것으로 등가 시키고 있다.

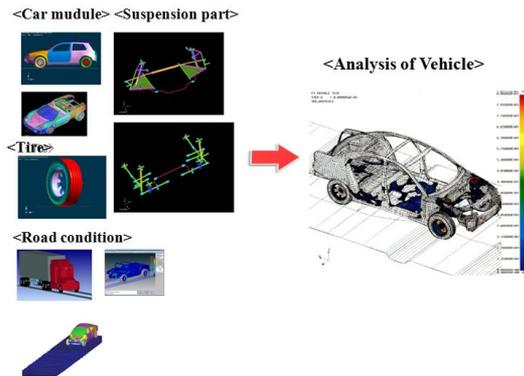


Fig. 1 Full car modeling using ETA-VPG

본 연구에서는 현가계 부품 중 컨트롤암을 개발하는 부품업체 입장에서 실차시험 시, 컨트롤암의 주행시험 시 내구성능을 예측하고자 ETA-VPG를 이용하여 차량을 모델링하였다. 가상주행 시물레이션을 위한 모델링 예를 Fig. 1에 표시하였다.

본 연구에서 이용한 VPG는 다양한 자동차모들, 현가계, 조향계 등과 타이어등의 모든 부분을 유한요소모델의 유연체(flexible body) 또는 강체로 구성할 수 있다. 다음으로 실차에 대한 모델링이 완성되면 주행조건에 대응하는 도로를 선택하여 가상주행시물레이션을 수행할 수 있다^[5-9].

부품업체 또는 완성차 업체에서는 부품개발 시 강도 및 강성특성에 대한 기준을 갖고 있다. 주로 부품업체에서 부품 단위의 성능을 검토하며, 필요할 경우 완성차 업체의 실차정보를 전달 받는다. 그러나 완성차 업체로부터 제공되는 자료는 제한적일 수 있으며 이런 경우, 부품 단위 해석 및 설계에 어려움이 발생한다. 특히 신차 개발 초기에 이런 현상이 발생할 수 있다. 그러나 가상내구시물레이션 프로그램을 이용하면 내부에 포함되어 있는 현가계, 조향계 라이브러리와 도로 주행 조건 라이브러리 등을 이용하여 각 부품의 강도, 강성, 내구 성능 등을 예측할 수 있다.

컨트롤암 개발을 위한 절차를 Fig. 2에 요약하였다. 먼저 초기설계를 수행하고 이 모델에 대한 강도, 강성, 내구 성능 등을 검토하기 위하여 유한요소해석을 이용한다. 그 다음 컨트롤암 경량화를 위하여 메타모델기법에 의한 형상최적설계를 수행

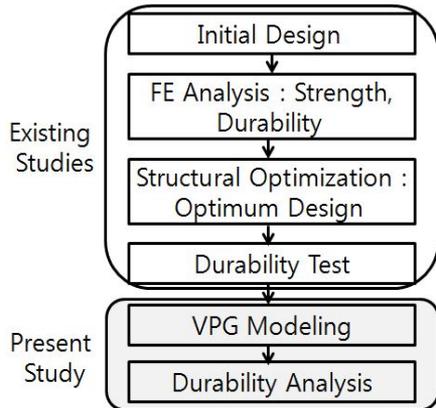


Fig. 2 Development process of the control arm

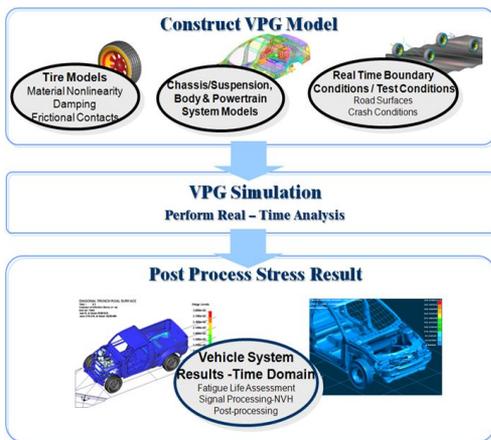


Fig. 3 Full car analysis using ETA-VPG

하였다^[1]. 제시된 형상의 컨트롤암에 대하여 시제품을 제작하고 이를 갖고 내구시험을 수행하였다^[2]. 본 논문은 이의 후속연구로서 ETA-VPG를 이용하여 실차모델링을 구성하고 Ls-dyna를 이용하여 동역학해석, FE/SAFE를 이용하여 내구해석을 수행하였다. 가상내구 시뮬레이션을 이용하지 않는 경우, 먼저 현가계를 모델링하고 주행시험에서 획득한 RLDA를 통해 얻은 입력을 유한요소해석에 이용하여 결과를 산출한다. 그러나 가상내구 시뮬레이션을 위한 프로그램인 ETA-VPG^[3]는 Fig. 3과 같이 라이브러리를 이용하여 단순하게 모델링을 할 수 있다.

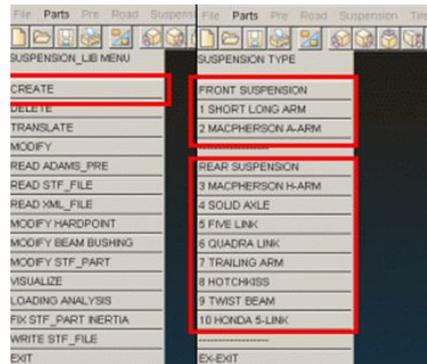


Fig. 4 Modeling of suspension system

2.1 차량 현가계의 모델링

ETA-VPG의 현가계 메뉴에는 다양한 선택이 존재한다. 기존의 모듈을 사용할 수도 있고 VPG 라이브러리 중의 모듈을 사용할 수 있다. 즉, VPG 내부에는 다양한 전륜과 후륜에 대한 라이브러리 자료가 존재한다. 개발차량과 일치하는 모델이 있으면 이를 선택하여 모델링을 할 수 있다. 그러나 그렇지 않다면 유사한 모델을 선택하고 이를 수정하여 사용할 수 있다. Fig. 4는 VPG의 라이브러리에 있는 전륜과 후륜의 현가계 모델링을 위한 선택을 보여주고 있다.

본 연구에서는 우선 차량을 구성하기 위해 본 컨트롤 암이 적용되는 차량에 대한 정보를 파악하였다. Table 1은 본 과제의 컨트롤 암이 장착되는 차량의 사양을 정리한 것이다. 이 차량은 전륜과 후륜이 다른 형식의 현가계로 구성되어 있다. 전륜의 경우 맥퍼슨스트럿, 후륜의 경우 멀티링크 형식이다. 전체 차량의 자료는 동역학프로그램에서 현가계의 자료를 추출하여 VPG 프로그램으로 변환하여 사용하였다. 이때 사용된 각 부품들의 하드 포인트는 Table 2에 정리하였다. 또한 실차를 구성하기 위해서 부시 데이터가 요구되는데 이는 강도,강성, 내구 성능의 예측에 중요한 요소이다. 본 차량의 후륜 현가계에 장착되는 부시 자료의 일부를 Table 3에 표시하였다.

차량 모델링 시 동역학프로그램의 결과 데이터가 VPG 프로그램과 100% 호환이 되지 않아,

Table 1 Specifications of the modelled car

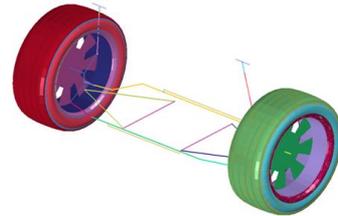
Overall Length	4,650mm
Overall Width	1,800mm
CVW	1,830kg
Front Suspension	McPherson Strut
Rear Suspension	Multi-Link Coil
Brake	Disc Type
Tire	235/65R17

Table 2 Hard point position or rear parts

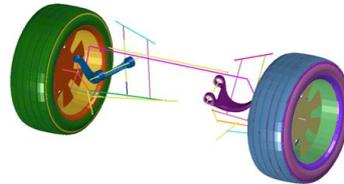
Hard point	Coordinates (mm)		
	x	y	z
TRA ARM, C-MBR	2742	402	-88
TRA ARM, KNUCK	2210	644	-122
LWR ARM, C-MBR	2711	207	-97
LWR ARM, KNUCK	2581	723	-175
AST ARM, C-MBR	2230	413	-60
AST ARM, KNUCK	2428	735	-91
UPR ARM C-MBR	2726	434	78
UPR ARM, KNUCK	2260	627	85
UPR ARM Rear, C-MBR	2791	304	105
WEEL CTR	2546	905	-60

Table 3 Bush data in rear suspension

Bush Data		Stiffness		
		x	z	y
Rear suspension	Radial (kgf/mm)	45		120
	Axial (kgf/mm)		45	



(a) Front suspension



(b) Rear suspension

Fig. 6 Suspension Modeling

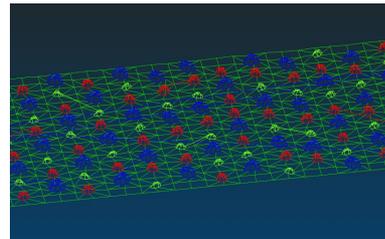


Fig. 7 Cobble stone track modeling

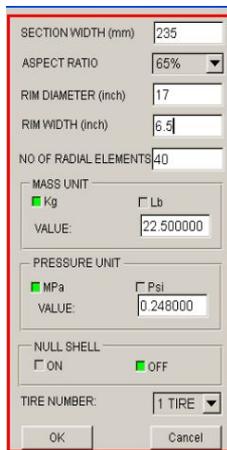


Fig. 5 Modeling of tire in ETA-VPG library

전륜과 후륜의 현가계의 자료만을 구성하여 이를 갖고 컨트롤암을 제외한 다른 현가부품들을 바요소(bar element)로 모델링하였다. 반면에 관심대상 부품인 컨트롤암은 사면체요소로 모델링하였다.

차량에 장착되는 타이어는 차량의 성능에 큰 영향을 주는 부품이다. 차량의 제원에 명시된 타이어를 ETA-VPG 라이브러리에서 선택하여 모델링하였다. 개발 차량의 타이어 제원에 맞는 모델링을 위하여 Fig. 5와 같은 입력을 하였다. 타이어는 폭과 크기와 공기압 등을 입력하여 구성한다. 개발 차량의 전륜과 후륜 현가계에 대한 ETA-VPG에 의한 모델링을 Fig. 6에 표시하였다.

2.2 주행도로의 구성

실차의 내구성능 검토를 위한 해석을 위해서는 차량의 정확한 모델링 뿐만 아니라 주행하는 도로의 모델링 역시 중요하다. 완성차업체에서는 다년간의 경험과 지식에 기초한 가상도로 조건과 모델링에 대한 많은 자료를 보유하고 있다. 그러나 이는 대부분 기밀로 분류되어 부품업체가 관련자료를 원활히 사용하는 데는 한계가 있다. VPG 프로그램은 이와 같은 문제를 해결하기 위해 다양한 가상도로에 대한 모델을 구성해 라이브러리에서 쉽게 사용가능 하도록 하였다. 가상도로를 위하여 본 연구에서는 Fig. 7과 같은 코블스톤 트랙을 선택하였다. 모델링된 차량은 이 가상도로 진행하면서 하중이 작용하고, 이 반복하중에 따라 피로수명을 계산 할 수 있다. 가상내구 시뮬레이션을 위해 최종 모델링된 형상을 Fig. 8에 표시하였다.

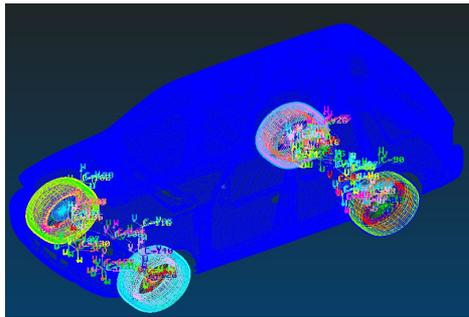


Fig. 8 Full car modeling using ETA-VPG

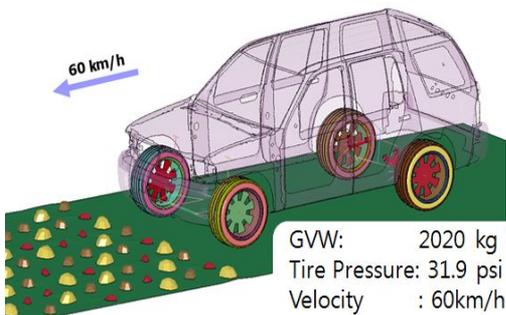


Fig. 9 Dynamic analysis using LS-dyna

2.3 해석조건

개발차량의 모델링이 Fig. 8과 같이 완성된 후 Fig. 9와 같은 조건을 이용하여 동역학 해석을 수행하였다. 동역학 해석을 위해서는 각 부품의 결합 조건, 회전 조건, 하중 조건, 초기 속도 등을 부여해야 한다. 현가계 부품들은 서로의 부시로서 결합되고, 타이어는 회전조인트로 결합된다. 이 부품들은 차체 모델과 함께 모두 통합된다. 기존의 연구를 통해 제시한 최적화된 형상을 갖는 컨트롤암을 장착시킨 실차의 주행도로 조건은 63km/h의 속도로 코블스톤길을 주행하는 것으로 설정하였다.

3. VPG 프로그램을 이용한 내구해석 결과 및 고찰

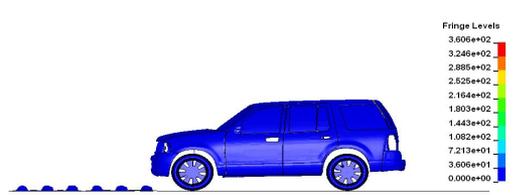
개발차량에 대한 가상내구 시뮬레이션을 수행한 결과 코블스톤 길을 주행하면서 누적된 하중에 의해 산출된 내구수명은 약 8.43×10^6 으로 이는 거리로 환산할 경우 약 330,000km이다. 개발되는 컨트롤암의 단품해석을 통한 수명, 1/4차에 장착 시 수명과 가상내구시뮬레이션을 통해 산출된 수명을 Table 4에 표시하였다.

단품단위의 수명과 1/4차 장착모델은 동일 조건의 반복하중을 작용시킨 것이다. 두 결과에는 약간의 수명 차이를 보이고 있다. 단품단위와 1/4차 장착 모델과 실차모델은 해석조건의 차이가 존재한다. 단품과 1/4차 모델은 전후향, 좌우향, 상하향으로 반복하중을 작용시켰을 때 수명을 산출한 것이다. 반면에 실차에 컨트롤암을 장착하여 가상내구 시뮬레이션을 통해 산출된 수명은 코블스톤도로 조건하에 한 개의 수명이 산출된 것이다.

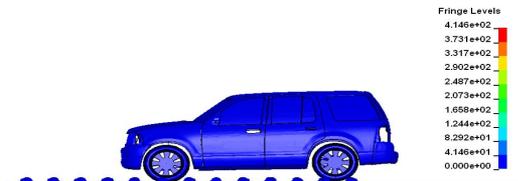
그리고 가상주행 시뮬레이션 시 발생하는 컨트롤

Table 4 Comparison of fatigue life

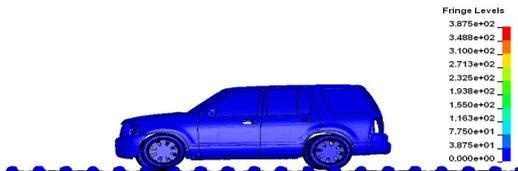
Case	Front-Rear	Left-Right	Up-down
Unit	2.14×10^6	5.48×10^6	1.86×10^6
1/4 car	2.33×10^6	1.00×10^6	2.68×10^6
Full car model	8.43×10^6		



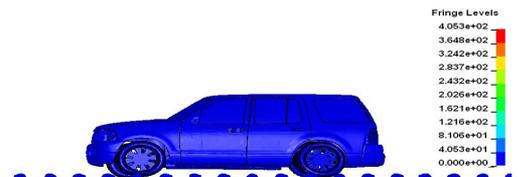
(a) Road = 0m : 360.6 MPa



(b) Road = 10m : 414.6 MPa



(c) Road = 20m : 387.5 MPa

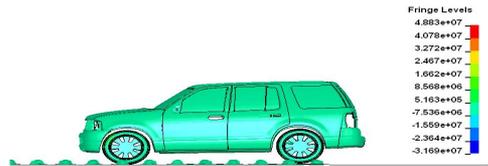


(d) Road = 30m : 405.3MPa

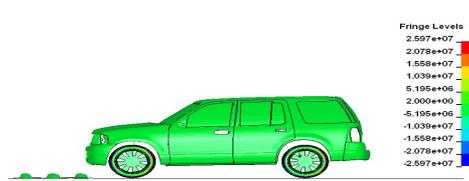


(e) Road = 40m : 531.5MPa

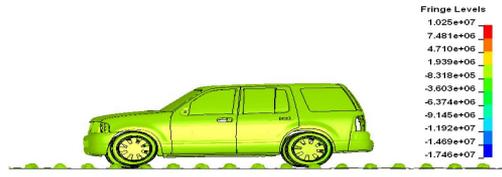
Fig. 10 Stress generation in VPG simulation



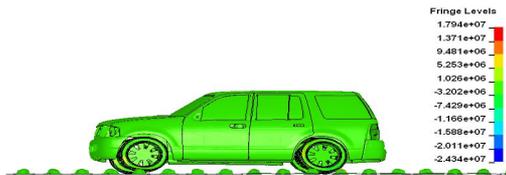
(a) Road = 0m : $4.883 \times 10^7 \text{ rad/s}^2$



(b) Road = 10m : $2.597 \times 10^7 \text{ rad/s}^2$



(c) Road = 20m : $1.025 \times 10^7 \text{ rad/s}^2$



(d) Road = 30m : $1.794 \times 10^7 \text{ rad/s}^2$



(e) Road = 40m : $3.185 \times 10^7 \text{ rad/s}^2$

Fig. 11 x-directional acceleration in VPG simulation

롤암의 응력을 일부 구간에 대하여 Fig. 10에 표시하였다. 차량이 코블스톤에 영향을 많이 받는 조건에서 응력이 많이 발생함을 알 수 있다. 여기서 응력은 관심 부품인 컨트롤암에 발생하는 응력

을 표시한 것이다. 그리고 Fig. 11은 차의 진행방향인 x축에 대한 가속도를 일부구간에 대하여 표시한 것이다. 가속도는 타이어의 중심에 대하여 구해진 것이며, 이 때 등고선의 최대값은 타이어부의 가장 빠른 요소에 대한 값을 표시한 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 실차에 대한 설계 정보가 많지 않다는 가정 하에서 부품업체에서 수행할 수 있는 가상내구 시뮬레이션을 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 컨트롤암의 초기설계, 강도, 강성, 내구 성능을 고려한 구조해석, 경량화를 위한 구조최적설계, 단품해석과 VPG를 이용한 실차해석을 통한 검증으로 이어지는, 컨트롤암의 개발 시 적용할 수 있는 일련의 설계 절차를 제시하였다.

2) 상용프로그램인 ETA-VPG를 사용하여 실차의 모델링을 완성할 수 있었으며 동역학 프로그램과 피로해석 프로그램을 이용하여 동적특성 및 피로수명을 산출할 수 있었다.

3) 본 연구에서 수행한 가상내구 시뮬레이션은 컨트롤암 이외의 다른 부품의 설계정보의 획득이 제한적일 경우, 개발 초기 단계에서 유용하게 내구성능을 예측할 수 있는 방법이다. 그러나 VPG 프로그램을 이용한 관심부품 이외의 현가계, 조향계, 차체의 모델링은 VPG에서 제공하는 라이브러리를 이용하기 때문에 실제 데이터와 오차가 발생할 수도 있다. 이를 극복하기 위해서는 단품단위 해석과 실차해석과의 상관관계 분석, 시험과의 상관관계 분석 등을 통한 경험적인 자료축적이 요구된다.

후 기

“본 연구는 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업(2012H1B8A2026078)으로 수행된 연구결과임”

REFERENCES

1. Song, B.C., Park, Y.C., Kang, S.W., Lee, K.H., "Structural Optimization of an Upper Control Arm, Considering the Strength," *Journal of Automobile Engineering*, Vol. 223, No. 6, pp.

727-735, 2009.

2. Kim, J.K., Jang, B.H., Park, Y.C., Lee, K.H., "Durability Evaluation of Automobile Control Arm", *J. of KSMPE*, Vol. 11 No. 4, pp. 168-172, 2012.

3. ETA, *VPG 3.4 User's Manual*, <http://www.eta.com/inventium/vpg>.

4. Kim, J.K., Structural Design of Suspension Part and Steering Part of the Vehicle, Ph.D. diss., Dong-A University, 2011.

5. Min, H.K., Choi, G.S., Jung, J.A., Yang, I.Y., "Vehicle Dynamic Analysis Using Virtual Proving Ground Approach," *J. of Mechanical Science and Technology*, Vol. 17 No. 7, pp. 958-965, 2003.

6. Cao, Z., Li, J., Guo, K., "Simulation Research on Car Suspension Durability Enhancement Test Based on Virtual Proving Ground," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Vol. 196, pp. 1223~1234, 2013.

7. Kim, I.H., Kim, I.H., Heo, S.J., "Durability Load Prediction of Active Suspension Using ED-VPG Combination Method," *Proceedings of Annual Meeting of KSAE 2011*, KSAE, pp. 900~904, 2011.

8. Kim, H.Y., Heo, S.J., Kang, D.O., "Spindle Load Estimation Study Based on VPG Method," *Proceedings of 30th Anniversary of KSAE*, KSAE, pp. 1283~1288, 2008.

9. Zhang, Y., Tang, A., Palmer, T., Hazard, C., "Virtual Proving Ground: An Integrated Technology for full Vehicle Analysis and Simulation," *International Journal of Vehicle Design*, Vol. 21, No. 4/5, pp. 450~470, 1999.