

# L형 전륜 로어 암의 대하중 강도 해석 기법 연구

이순욱<sup>†</sup> · 구자석<sup>\*</sup> · 송민수<sup>\*\*</sup>

## A Study on the Non-Linear Static Analysis for L-type Front Lower Control Arm

Soon-Wook Lee, Ja-Suk Koo and Min-Soo Song

**Key Words :** Suspension(서스펜션), Lower Control Arm(로어 콘트롤 암), 5-Layers(5-레이어), Suspension Bush(서스펜션 부쉬), Ball Joint(볼 조인트),

### Abstract

Under driving condition, A vehicle experiences various kinds of loads, which brings on the buckling and fracture of suspension systems. Lower control arm (LCA), which consists of 2 bush joints and 1 ball joint connection, is the one of the most important parts in the suspension system. The bush joints absorb the impact load and reduce the vibration from the road. When analyzing the LCA behavior, it is important to understand the material properties and boundary conditions of bushing systems correctly, because of the nonlinearity characteristics of the rubber. In this paper, in order to predict the large scale deformation of the LCA more precisely, three factors are newly suggested, that is, coupling of bush stiffness between translation and rotation, bush extraction force and maximum rotation angle of ball joint. LCA stiffness is estimated by CAE and component test. Analysis and test results are almost same and the validity of considering three factors in LCA analysis is verified.

### 1. 서 론

차량은 도로 주행 중 노면으로부터 다양한 형태의 하중을 받게 된다. 하중은 휠과 서스펜션 시스템을 통해서 차체에 전달이 되고, 심각한 외부 하중의 경우, 서스펜션 시스템의 일부분이 파단에까지 이르게 되는 경우도 있다. 그 중에서도 가장 취약한 부품중의 하나로 로어 컨트롤 암 (이하 LCA로 칭함)을 들 수 있다.

LCA는 차륜이 고정되는 너클과 차체의 프레임을 연결하며, 너클의 좌우, 전후력을

지지하게 해주는 (삼각형 모양의) 부품으로 차체에는 부쉬를 이용하여 2 곳에, 너클에는 볼 조인트를 사용하여 연결하는 것이 일반적이다.<sup>(1)</sup>

LCA의 파단은 다른 샤시 부품과 마찬가지로 사망에 이르기까지 치명적인 영향을 줄 수 있으므로, 강도 성능을 충분히 만족할 수 있도록 설계하여야 한다.

LCA의 강도 성능을 해석하기 위해서는 형상, 재료 물성치 및 경계 조건이 필요하게 되는데 LCA와 차체를 연결하는 고무 부쉬의 특성에 관한 이해에 따라 결과에 큰 영향을 준다. 특히 고무의 비선형성에 관한 부분에 있어서 병진 운동과 회전 운동의 커플링 효과를 들 수 있다.<sup>(2)</sup> 그러므로 본 논문에서는 LCA의 대하중 해석을 좀 더 신뢰성 높게 해석할 수 있도록 고무 부쉬의 비선형성, 즉 병진, 회전의 커플링을 고려하여 연구를 수행하였다.

<sup>†</sup> 현대모비스 응용기술연구팀

E-mail : lsw@mobis.co.kr

TEL : (031)288-1994

<sup>\*</sup> 현대모비스 응용기술연구팀

<sup>\*\*</sup> 현대모비스 샤시모듈설계팀

## 2. 시험

### 2.1 부쉬 특성 시험

Fig. 1 은 소형급 승용차에 들어가는 단판형의 전륜 LCA 를 나타낸다. LCA 의 연결부는 크게 볼 조인트와 2 개의 부쉬로 이루어져 있다. 각 연결부의 상세 모양은 Fig.2 와 같다. Fig.2 a)와 같이 G 부쉬는 축방향이 차량 상하 방향으로 향하며, GR1, GR2 방향으로의 부쉬의 스프링 특성을 다르게 하기 위하여 보이드(Void)를 추가한 형상이다. A 부쉬 (Fig.2 b)는 부쉬 축방향이 차량 진행 방향이 되며, 고무를 외철에 압입하는 형식이다.

차량이 주행 중 웅덩이를 통과하거나 연석에 충돌하는 등 차량의 바퀴를 통해 급격히 큰 하중이 들어오는 현상을 대표하기 위해 해석 및 시험적으로 휠 위치에서 큰 하중을 가하는 대하중 강도 시험/해석을 수행하고 있다.<sup>3)</sup> 이러한 조건에서도 일반차량 주행조건 이상으로 큰 하중이 들어오게 되므로 고무가 과도하게 변형하게 되고, 이로 인해 부품의 자세가 변하여, 부품의 좌굴에 큰 영향을 주게 된다. 대하중 강도 해석을 묘사하기 위해 부쉬 단품으로 축 방향, 반경 방향으로 하중을 가하고 Fig.3 과 같이 하중-변위 특성을 얻었다.

### 2.2 대하중 강도 시험

LCA 의 대하중 강도 거동을 보기 위해 Fig.4 와 같이 A, G 포인트는 지그에 고정하고 볼조인트에서 차량 후향 방향으로 힘을 주어 좌굴이 발생하도록 시험을 수행하였다. 동일 차종의 3 개의 샘플에 대해서 Fig.5 와 같이 하중-변위 선도를 얻었다.



Fig. 1 LCA 형상

## 3. 해석

기존의 부쉬 모델링 기법은 부쉬 외부 파이프 절점을 하드포인트에 연결하고 동일 하드포인트 상에서 병진과 회전에 대한 강성을 정의한 스프링 요소를 이용하여 모델링 하였으며, 스프링 강성은 도면의 선형 구간 강성 규제 및 부쉬의 형상을 기

준으로 생성하였다. 그러므로 본 논문에서는 1)강성 커플링, 2)부쉬 빠짐 & 끼임, 및 3)볼 조인트 최대 회전각에 대해서 고려 하였다.

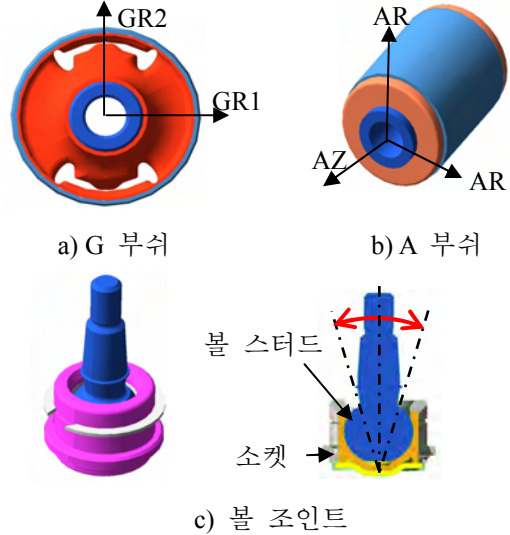


Fig. 2 부쉬 및 볼 조인트의 형상

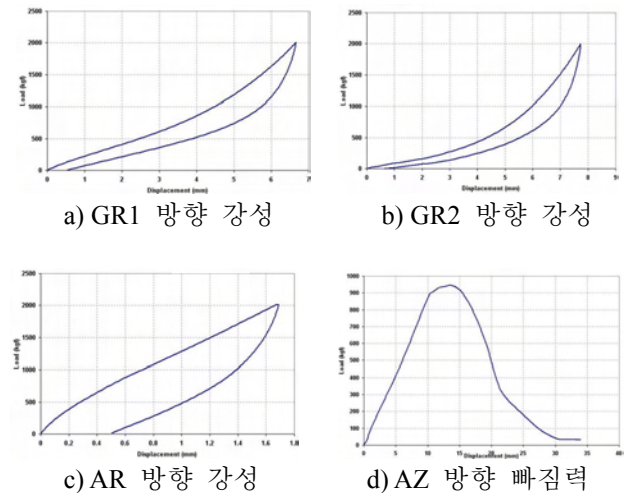


Fig. 3 부쉬의 방향 별 강성 및 빠짐력

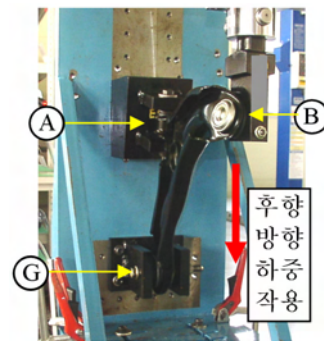


Fig. 4 LCA 대하중 강도 시험

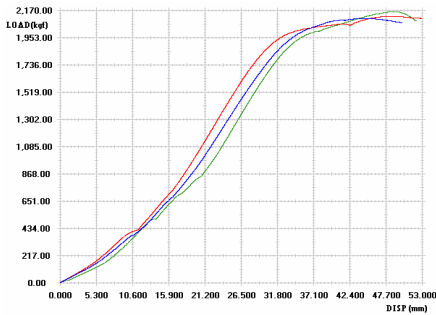


Fig. 5 LCA 볼 조인트부의 하중 변위 선도

### 3.1 부쉬 강성 커플링 고려 방법

부쉬의 반경 방향 회전은 LCA의 좌굴 발생 이후에는 크지만 좌굴 발생 전에는 작게 나타난다. 즉, 본 연구에서의 관심은 좌굴 발생 시점이며, 좌굴 하중까지의 부쉬의 반경 방향 회전은 작으므로, 부쉬의 반경 방향 회전 강성은 국부적인 인장 및 압축에 의해 표현이 가능할 것으로 가정하였다. 이를 묘사하기 위해 Fig.6 a)에서처럼 기존의 하나의 층으로(1-Layer) 이루어지던 강제 요소를 5개의 층(5-Layer)으로 구분하였다. 그리고 각각의 스프링 강성은 부쉬 단품 강성 시험 결과의 20%를 각각의 5-Layer의 강성으로 적용하였다. 그리고 회전에 대한 강성은 각 Layer의 반경 방향 반력과 중심과의 거리로부터 회전에 대한 강성이 발생하게 된다.

Fig.6 b)의 경우 병진 운동과 회전 운동이 동시에 작용이 되는 경우를 나타낸다. 기존 모델링 기법의 경우 병진과 회전에 대한 강성이 커플링되어 있지 않으므로 각각의 강성은 서로 영향을 미치지 못하지만 신규 모델링 기법의 경우 각각의 Layer의 반경 방향 변형량은 병진 운동 및 회전 운동에 대한 강성에 영향을 미치게 된다.

즉 5-Layer 모델링 기법을 적용할 경우, 부쉬의 병진 운동에 대한 물성치만으로도 병진 운동 강성, 회전 운동 강성, 및 커플링 효과를 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.2 부쉬의 빠짐 및 끼임 고려 방법

Fig.7에서처럼 대하중 강도 시험 후 A 부쉬는 축 방향으로 빠짐 현상이 발생하고, 하중이 증가함에 따라 부쉬의 축 방향과 A-포인트 파이프와의 축이 일치하지 않아 다시 복원이 되지 않는 현상이 발생한다. 그러므로 부쉬의 축방향 거동은 빠짐력에 대한 특성과 빠진 후 축의 어긋남에 의한 끼임 현상이 고려되어야 한다. Fig.7 a)는 볼 조인트 부 하중에 대한 A 부쉬 파이프에 작용되는 하중을 나타내며, 그 하중은 축방향 하중과 반경

방향 하중으로 구분이 되며, 축방향 하중은 부쉬의 빠짐 현상과 관련이 있고, 반경 방향 하중은 부쉬의 끼임 현상과 관련이 있게 된다. Fig.7 b)는 A 부쉬의 빠짐 현상과 끼임 현상을 나타내며, 이러한 특성을 고려하기 위해 ABAQUS의 \*Connector Lock 명령어를 사용하였다.<sup>(4)</sup> Fig. 8은 Connector Lock의 특성을 나타내며, 입력값은 부쉬의 강성과 락(Lock) 발생 거리를 정의하게 되는데 부쉬의 강성은 A 부쉬의 빠짐 시험 결과를 이용하였으며, Lock 발생거리는 내부 파이프의 높이와 외부 파이프의 높이 차이의 25%를 적용하였다.

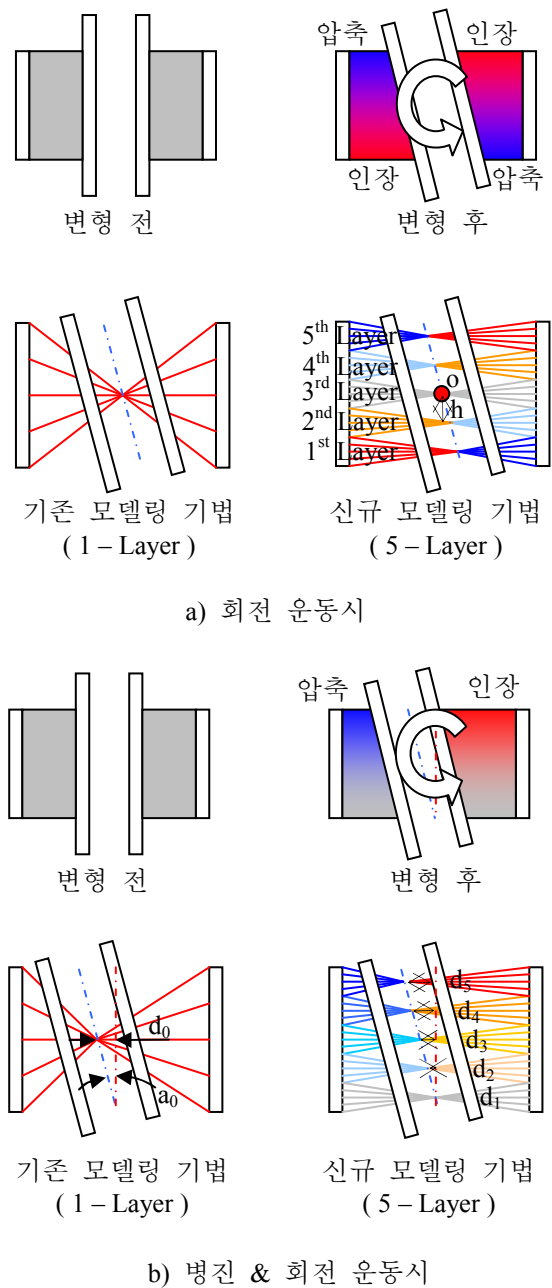
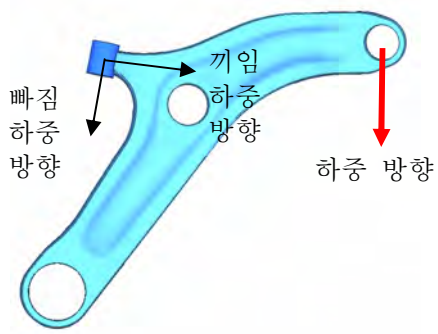
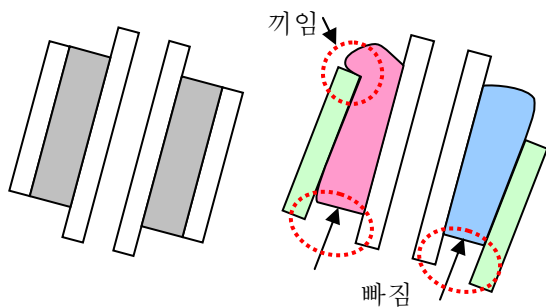


Fig. 6 모델링 기법 비교

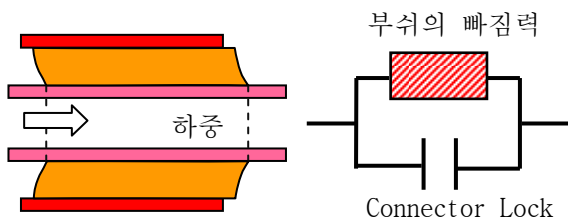


a) A 포인트 하중 분석



b) A 부쉬 빠짐 및 끼임 현상

Fig. 7 LCA 의 A 포인트 반력



외부 파이프 : Fix

\*\*락 변위=(지그 폭-외부 파이프 높이)/4

Fig. 8 A 부쉬 빠짐력 고려 방법

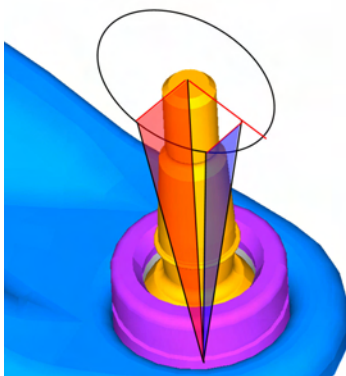


Fig. 9 볼 조인트 형상

### 3.3 볼 조인트 특성 고려 방법

LCA 와 너클은 Fig.9 에서처럼 볼 조인트로 연결이 되며, 최대 회전 각이 존재하게 된다. 이러한 각에 대한 정의가 없을 경우 좌굴 하중이 낮게 나타날 수 있으므로 최대 회전각에 대한 정의가 필요하다.

기존의 모델링 기법은 볼 조인트에 z 방향 변위를 구속하고 -x 방향으로 하중 또는 변위를 적용하므로 360° 회전이 가능하다. 그러므로 본 연구에서는 최대 회전각을 정의하는 방법으로 비선형 스프링을 사용하였다. 일정 회전각 내에서의 회전 강성은 '0'에 가깝고 일정 회전각 이후에서는 회전 강성을 아주 높게 적용하였다.

## 4. 해석 결과 토의

### 4.1 대하중 변형 거동

LCA 의 대하중 강도 시험과 해석으로부터 얻은 하중 변위 곡선을 Fig.10 에 나타내었으며, Fig.11 은 볼 조인트 부 좌굴 후의 형상을 나타낸다.

3 개의 LCA 단품을 이용해서 측정된 좌굴 하중은 Table 1 과 같이 각각 2,106kg, 2,122kg, 2,160kg 으로 좌굴 하중의 평균은 2,130kgf 이다. 대하중 강도해석은 기존 부쉬 모델링 방법과 새롭게 제시된 모델링 방법으로 수행하였으며, 이때의 좌굴 하중은 각각 1,604kgf, 2,130kgf 이다. 그림에서 보는 바와 같이 기존의 모델링 방법을 이용하였을 때는 시험에 의한 좌굴하중의 75% 수준이지만, 부쉬 커플링효과, 부쉬 빠짐력, 볼조인트 회전각을 고려한 해석 좌굴 하중을 시험에 의한 좌굴 하중과 동일하게 맞출 수 있었다

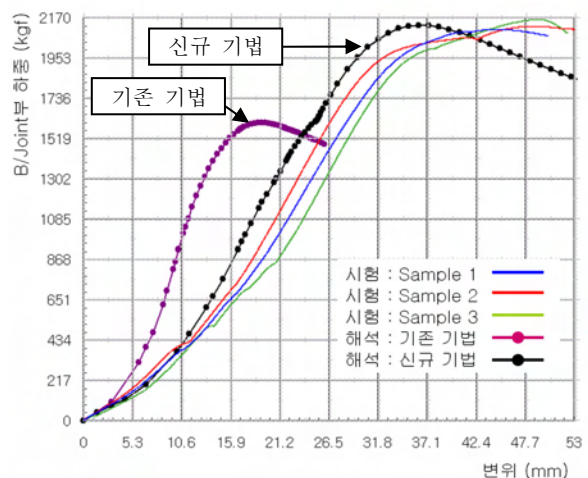


Fig. 10 시험 해석 결과 비교



Fig. 11 LCA의 좌굴 발생 후 B 포인트 부의 형상

Table 1 대하중 강도 시험 결과

시 험	좌굴 하중 (kgf)
Sample 1	2,106.6
Sample 2	2,122.9
Sample 3	2,160.7
평균	2,130.1

Table 2 모델링 기법에 따른 강도 해석 결과

시험	평균	좌굴하중 (kgf)	신뢰도 (%)
		2,130.1	-
해석	기존 방법	1,603.8	75.3
	신규 방법	2,130.5	100.0

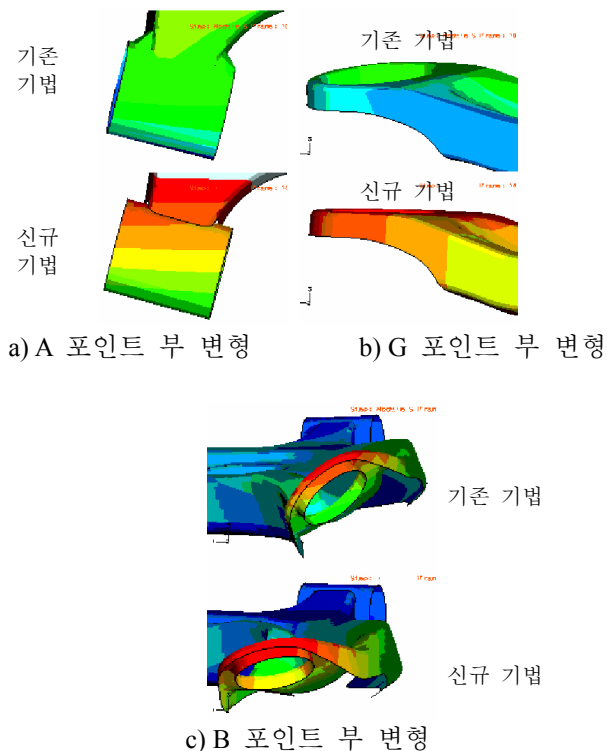


Fig. 12 모델링 기법에 따른 해석 결과 비교

#### 4.2 모델링 기법 비교

우선 부위의 빠짐과 끼임을 고려한 A 부위를 살펴보면, 실제 시험에서는 축방향으로 일정 하중 이상 가해주게 되면, 축방향으로의 빠짐이 일어나게 되고, 이것은 부위의 강성에 영향을 미치게 된다. 또한, LCA의 좌굴로 인해 변형이 과다하게 되면, A 점은 오히려 역행하는 방향으로 변형을 하여 원점으로 돌아오는 거동을 하게 되는데, 이때는 미리 빠져있던 부위가 저항력을 발생시키게 된다. 그러나, 기존의 모델링 기법으로는 이때 발생하는 저항력을 묘사할 수가 없으며, 오히려 A 포인트를 복원시키는 힘이 발생하게 된다. 그러나, 여기서 제안한 방법에서는 Connector lock 요소의 사용으로 빠짐 후의 저항력을 묘사할 수 있었다.

Fig.12의 a)는 기존의 모델링 방법에 의한 변형량과 새로운 모델링 방법에 의한 변형량을 비교하여 나타낸 것이다. 그림과 같이 새로운 방법이 시험거동과 비슷하게 변형이 크게 나타남을 볼 수 있다.

G 포인트 부는 초기에 부위에 미소 회전 운동이 발생하고, 그 이후로 병진 운동이 증가하면서 부위의 축이 다시 원래의 축과 일치하도록 변형 거동을 나타낸다. Fig.12 b)에서 처럼 기존 모델링 기법으로 해석을 수행하면 회전 운동만 증가하여 LCA의 휨을 조기에 발생시켜, 좌굴 하중을 감소시킨다. 그러나, 신규 모델링 기법을 적용하게 되면, 회전과 병진의 커플링으로 인해서 부위 축의 회전에 저항을 발생시키고, 초기의 부위 축과 거의 일치하도록 변형을 하게 되며, 이로 인해 LCA의 좌굴하중이 올라가도록 예측할 수 있다.

실제의 볼 조인트 부는 볼 조인트의 주위에 소켓과 볼 스테드 등 간섭요소들이 존재하여 일정 각도 이상으로는 변형할 수 없다. 그러나, Fig. 12 c)와 같이 기존 모델링 방법에 의하면, 볼 조인트 부가 자유롭게 회전할 수 있어서 LCA의 휘어짐을 쉽게 하여 좌굴 발생을 촉진시킨다. 볼 조인트 부의 최대 회전각을 제한하여 모델링하게 되면, 일정각도 이상에서는 각의 변동이 일어나지 못하도록 함으로써 좌굴 하중이 올라가도록 예측이 가능하게 된다.

3가지의 모델링 기법이 LCA의 좌굴 하중에 미치는 영향도를 분석해 보면, 부위 강성 및 커플링 효과가 전체 좌굴하중의 15% 정도의 영향을 주고 있으며, 다른 두 가지 기법은 각각 5% 정도의 영향을 주고 있다. 그러나, 부위 강성 및 커플링 효과가 가장 큰 영향을 주지만, 다른 2가지의 모델링 방법들도 무시할 수 없는 수준이라 하겠다.

여기서 제안한 3 가지의 부쉬 및 볼 조인트 모델링 방법은 부쉬의 3 차원 모델링에 의한 수고를 덜어주면서도, 시험과 잘 일치하는 결과를 주고 있다. 따라서, 광범위하게 적용되고 있는 역 L 형 타입의 전륜 LCA 의 대하중 강도 해석 시에 본 연구에서 제안한 기법을 사용함으로써, 신뢰성 있는 좌굴 하중의 예측이 가능하게 되었다.

(5) 김완두, 김완수, 우창수, 이학주, 2001, "유한 요소 해석을 위한 고무 재료 시험", 대한기계학회 2001 년도 춘계 학술대회논문집 A, pp.704 ~ 709

## 5. 결론.

전륜 LCA 의 대하중 강도 해석의 신뢰도 향상을 위해 새로운 모델링 기법을 제안하고 시험과 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) A 부쉬의 변형 특징인 빠짐과 끼임 현상을 고려하기 위해 ABAQUS 의 Connector Lock 기법을 적용하여 그 유용성을 검증하였다.
- 2) G 부쉬의 병진과 회전 방향의 강성 커플링 현상을 고려하기 위해 5-Layer 기법을 새롭게 제안하였으며, 그 유용성을 검증하였다.
- 3) 볼 조인트 부의 대변형 시 발생할 수 있는 소켓과 볼 스테드의 간섭을 고려하기 위해 비선형 스프링을 적용하여 그 유용성을 검증하였다.
- 4) 제안된 3 가지의 모델링 기법을 이용하여 L 형 LCA 에서의 좌굴해석을 수행하여 시험과 잘 일치하는 거동을 묘사할 수 있었으며, 향후 동일 형태의 LCA 에 광범위하게 적용이 가능하다

## 참고문헌

- (1) 현대모비스 기술 연구소 “기술연구소 기초공학 전문과정 / 차체 및 샤시 구조” pp. 219~297
- (2) J. K. Ok, W. S. Yoo, J. H. Sohn, 2007, “Experimental Study on the Bushing Characteristics under Several Excitation Inputs for Bushing Modeling”, International Journal of Automotive Technology, Vol. 8, No. 4, pp. 455~465
- (3) ES-Spec. 62500-00/현대모비스
- (4) ABAQUS Keywords Reference Manual  
“\*Connector Lock”