

탄성 조인트를 포함한 맥퍼슨 현가기구의 특성연구

강희용\*\*, 양성모\*\*, 김동우\*\*, 조재성\*

The Characteristic Study of McPherson Suspension Mechanism with Elastic Joints

H. Y. KANG, S. M. YANG, D. W. KIM and J. S. CHO

ABSTRACT

Elastic elements, at first, were extensively used in suspensions as vibration isolators at joints. Nowadays they are used to improve stability and handling. The design of these elements has become a very important matter since the loading condition of the mechanism gives a new suspension geometry without any modification. This paper presents an analysis of forces and moments of joints with elastic elements in the McPherson suspension mechanism to evaluate accurately the elastic deformation using the displacement matrix method in conjunction with the equilibrium equations. First the suspension is modeled as a multi-loop spatial rigid-body guidance mechanism which has elastic elements at the hardpoints of the suspension. Then a method and design equations are developed to analyze the suspension characteristics by the various tire load. Also the displacement matrices and constraint equations for links are applied to determine the sensitivity of the suspension mechanism. Finally this approach may conduct a realistic design of suspension mechanisms with elastic elements to improve the performance of the automobiles under various driving conditions.

I. 서론

차량 현가장치는 차체와 차륜 사이를 연결해주는 링크들과 스프링으로 구성되어 있고 각 링크의 양 끝단에 휠 어셈블리(wheel assembly)의 운동을 구속시키기 위한 여러 형태의 조인트로 연결된 3차원 폐회로 기구로서 차량의 운동성능을 결정하는 중요한 역할을 한다.

지난 수십여년간 3차원 공간기구에 대한 연구는 컴퓨터의 급속한 보급으로 그 깊이와 폭이 더 세분화되고 발전되어 왔으며<sup>1)-3)</sup> 차량 현가장치와 같이 고도의 비선형성을 갖는 3차원 기구의 해석에 DADS나 ADAMS같은 많은 상용프로그램이 사용됨으로써 해석이 보다 용이해졌다<sup>4)-5)</sup>. Tsukuda<sup>6)</sup>와 Murakami<sup>7)</sup> 등은 현가장치를 탄성조인트를 포함한 2차원 기구로 모델링하여 해석함으로써 고속 주행시 차량의 조종성과 안정성을 향상시키기 위한 연구를 수행하였으며, 상용프로그램을

이용한 일반적인 현가기구의 설계방법<sup>8)</sup>에 대한 연구와 3차원 멀티링크(multi-link) 현가장치의 킹핀(kingpin)축을 결정하는 방법<sup>9)</sup> 등이 제시되었다.

차량 현가기구에는 방진효과를 얻고, 충격을 완화시켜 승차감을 개선할 목적으로 탄성조인트를 널리 사용하고 있다. 그러나 이 탄성변형에 의한 지지점의 변화는 휠의 자세변화를 야기시켜 조종성에 많은 영향을 미친다. 따라서 현가기구를 설계하는데 있어서 탄성 조인트의 특성을 고려하는 것은 매우 중요한 일이며, 이러한 특성은 타이어와 지면과의 접점에 작용하는 힘과 모멘트에 의한 휠 얼라인먼트 값들의 변화로서 나타난다.

따라서, 본 연구에서는 변위행렬방법을 이용한 맥퍼슨 현가기구의 기구학적 구속식과 탄성조인트를 고려한 평형방정식을 유도하여 현가기구의 특성을 해석하였다. 또한 기구학적 구속식을 이용하여 설계점(hard point)에 대한 맥퍼슨 현가기구의 휠얼라인먼트 값(캠버, 캐스터, 토인, 킹핀각)에 대한 수치적 민감도 해석을 수행하여 탄성조인트의 변화, 즉 설계점의 변화가 휠 얼라인먼트

\* 전북대학교 대학원

\*\* 전북대학교 공과대학 기계공학부

트 값에 미치는 영향을 정량화하는 방법을 제시하였다. 해석결과를 토대로 휠 얼라인먼트 값에 가장 민감한 영향을 보이는 방향으로 탄성조인트의 변형이 일어나도록 탄성 강성을 결정할 수 있다.

## II. 맥퍼슨 현가장치

차량 현가장치로서 승용차에 가장 많이 사용되고 있는 맥퍼슨 현가장치(그림 1)는 일반적으로 타이로드(tie rod), 로어암(lower arm), 스트럿(strut) 그리고 타이어를 포함한 휠 어셈블리로 구성되어 있으며, 그림 2에 도시한 바와 같이 RSCS-SSP인 공간 강체 안내기구로 모델링할 수 있다.

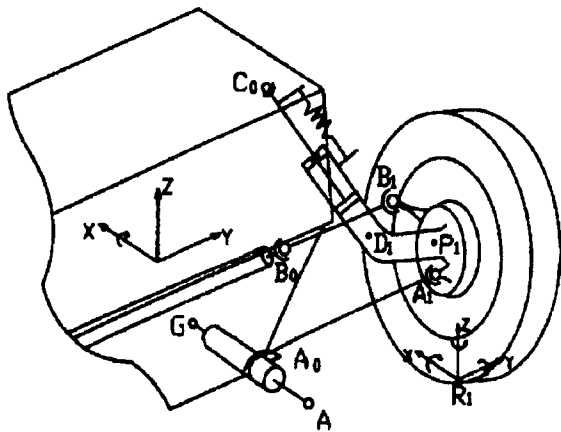


그림 1. A McPherson Suspension System

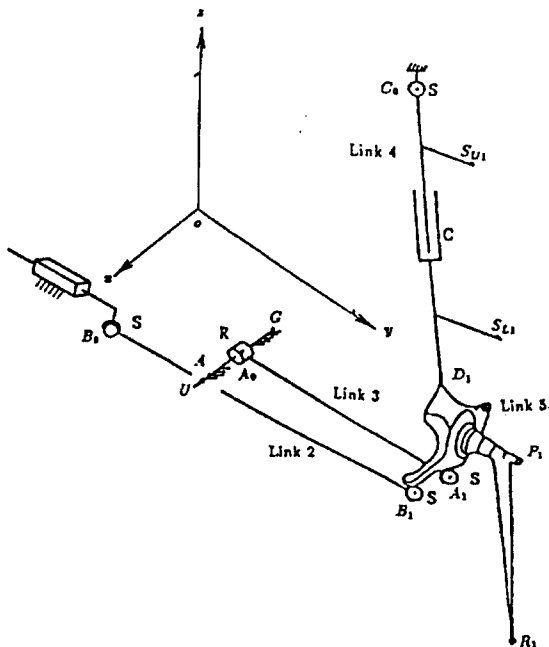


그림 2. An RSCS-SSP Mechanism

맥퍼슨 현가기구는 휠 어셈블리에 대해서 2자유도를 갖는 공간기구로써 조향운동을 위한 P 조인트(prismatic joint)의 병진운동과 휠 어셈블리의 운동을 안내하기 위한 변위로서 두 개의 입력이 주어지면 휠 어셈블리의 완전한 위치가 결정된다.

## III. 설계 방정식

맥퍼슨 스트럿 현가장치(McPherson strut suspension)를 구성하고 있는 각 링크의 구속 방정식을 유도하였으며, 외력의 작용에 의한 탄성조인트의 변형과 반력에 대한 평형방정식을 유도하였다.

### 가. 변위행렬<sup>2)</sup>

공간상의 위치 1에서 위치 2로 이동하는 강체(Link 5)의 한 점  $P_1$ 이  $P_2$ 로 운동할 때  $4 \times 4$  변위 행렬은 다음과 같다.

$$[D_{12}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 강체가 x축에 대하여  $\gamma$ , y축에 대하여  $\beta$ , z축에 대하여  $\alpha$ 만큼 회전한다면 회전행렬은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} CaC\beta & CaS\beta S\gamma - SaC\gamma & CaS\beta C\gamma + SaS\gamma \\ SaC\beta & SaS\beta S\gamma + CaC\gamma & SaS\beta C\gamma - CaS\gamma \\ -S\beta & C\beta S\gamma & C\beta C\gamma \end{bmatrix}$$

위에서  $Sa$ 는  $\sin \alpha_{12}$ ,  $Ca$ 는  $\cos \alpha_{12}$ 를 나타내며 행렬의 다른 요소들은 다음과 같다.

$$\begin{cases} a_{14} = P_{2x} - (a_{11}P_{1x} + a_{12}P_{1y} + a_{13}P_{1z}) \\ a_{24} = P_{2y} - (a_{21}P_{1x} + a_{22}P_{1y} + a_{23}P_{1z}) \\ a_{34} = P_{2z} - (a_{31}P_{1x} + a_{32}P_{1y} + a_{33}P_{1z}) \end{cases}$$

결국 이동된 새로운 위치 2의 좌표값들은 변위행렬 식 (1)를 이용하여 초기위치 1의 함수로 다음과 같이 표현된다.

$$\{ A_2 B_2 D_2 U_{CD_2} \} = [D_{12}] \{ A_1 B_1 D_1 U_{CD_1} \} \quad (2)$$

### 나. 순간 피치(instant pitch)의 속도행렬

3차원 운동을 하는 강체의 순간 스크류축을 구하여 순간운동을 해석하기 위하여 다음과 같은 순간 피치 속도행렬을 사용하며, 순간 스크류는 속도나 가속도에 무관한 기하학적 인자이다.

$$[\dot{D}] = \begin{bmatrix} 0 & -u_z & u_y & \dot{a}_{14} \\ u_z & 0 & -u_x & \dot{a}_{24} \\ -u_y & u_x & 0 & \dot{a}_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\text{여기서, } \begin{cases} \dot{a}_{14} = u_x \dot{s}_{IP} + u_z y_0 - u_y z_0 \\ \dot{a}_{24} = u_z \dot{s}_{IP} + u_y x_0 - u_x y_0 \\ \dot{a}_{34} = u_y \dot{s}_{IP} - u_z x_0 + u_x z_0 \end{cases}$$

$u_x, u_y, u_z$ 은 순간 스크류축의 방향을  $x_0, y_0, z_0$ 는 순간 스크류축상의 한 점을 나타내며  $\dot{s}_{IP}$ 는 순간 피치로서 스크류축의 진행 선속도를 각속도로 나눈 값을 나타낸다. 설계변수  $A_2, B_2, D_2, U_{CD_2}$  등의 속도는 속도 행렬,  $[\dot{D}]$ 를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$\{ \dot{A}_2 \ \dot{B}_2 \ \dot{D}_2 \ \dot{U}_{CD_2} \} = [\dot{D}] \{ A_2 \ B_2 \ D_2 \ U_{CD_2} \} \quad (4)$$

### 다. 구속 방정식

두 강체 사이를 연결하는 각 링크의 기구학적 구속은 강체들의 상대운동으로부터 부과된다. 이러한 조건들이 각 좌표항으로 표현되고 기하학적 방정식들로 나타내어질 때 구속 방정식이라 한다. 맥퍼슨 현가기구를 구성하고 있는 링크들에 대한 구속방정식은 각각 다음과 같다.

#### (1) 변위 구속 방정식

##### - SSP 링크

SSP 링크는 움직이는 강체와 고정된 강체 사이에 있는 강체 링크로서 양 끝단에 구형 조인트로 연결되고 조향운동을 위하여 고정축에 병진 운동이 가능하도록 P 조인트로 되어 있다. 각 조인트의 중심점을 초기위치에서  $B_0$ 와  $B_1$ 으로 정의하면 링크의 길이가 일정하다는 조건에 의하여 다음과 같은 구속 방정식을 세울 수 있다.

$$\begin{aligned} (B_{1x} - B_{0x})^2 + (B_{1y} - B_{0y})^2 \\ + (B_{1z} - B_{0z})^2 = (B_{2x} - B_{0x})^2 \\ + (B_{2y} - B_{0y})^2 + (B_{2z} - B_{0z})^2 \end{aligned} \quad (5)$$

##### - RS 링크

RS 링크는 움직이는 물체에 구면조인트로 연결시키고 차체축에 회전 조인트로 연결시킨 링크이다.  $A_1$ 은 움직이는 물체위의 구면 조인트의 중심으로 그 점과 회전 조인트의 회전 축 U에 수직을 형성하는 교점을  $A_0$ 로 정의하면 RS 링크의 구속식은 다음과 같이 쓰여진다.

$$U_x(A_{2x} - A_{0x}) + U_y(A_{2y} - A_{0y}) + U_z(A_{2z} - A_{0z}) = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} (A_{1x} - A_{0x})^2 + (A_{1y} - A_{0y})^2 \\ + (A_{1z} - A_{0z})^2 = (A_{2x} - A_{0x})^2 \\ + (A_{2y} - A_{0y})^2 + (A_{2z} - A_{0z})^2 \end{aligned} \quad (7)$$

##### - SC 스트럿 링크

SC 링크의 지주(strut) 형태는 S 조인트의  $C_0$ 와 C 조인트의 회전축을 단위 벡터  $U_{CD_1}$ 으로 표현하면, SC 스트럿 링크의 구속방정식은 공간에서 직선의 방정식으로서 다음과 같다.

$$U_{CD_{2x}}(D_{2z} - C_{0z}) - U_{CD_{2z}}(D_{2x} - C_{0x}) = 0 \quad (8)$$

$$U_{CD_{2y}}(D_{2z} - C_{0z}) - U_{CD_{2z}}(D_{2y} - C_{0y}) = 0 \quad (9)$$

#### (2) 속도 구속 방정식

속도 구속식은 변위 구속식 (5)~(9)을 시간에 대해서 미분함으로써 구한다. SSP와 RS링크에 대한 속도식은 위치 2에서 식(5)~(7)을 미분하면 다음과 같다.

$$U_x(\dot{A}_{2x} - \dot{A}_{0x}) + U_y(\dot{A}_{2y} - \dot{A}_{0y}) + U_z(\dot{A}_{2z} - \dot{A}_{0z}) = 0 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} (\dot{A}_{2x} - \dot{A}_{0x})(A_{2x} - A_{0x}) \\ + (\dot{A}_{2y} - \dot{A}_{0y})(A_{2y} - A_{0y}) \\ + (\dot{A}_{2z} - \dot{A}_{0z})(A_{2z} - A_{0z}) = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} (\dot{B}_{2x} - \dot{B}_{0x})(B_{2x} - B_{0x}) \\ + (\dot{B}_{2y} - \dot{B}_{0y})(B_{2y} - B_{0y}) \\ + (\dot{B}_{2z} - \dot{B}_{0z})(B_{2z} - B_{0z}) = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

나머지 식도 같은 방법으로 미분함으로써 속도 구속 방정식을 얻을 수 있다.

### 라. 평형방정식

맥퍼슨 현가시스템에 대한 하중해석을 통하여 각 링크에 작용하는 힘과 모멘트를 계산함으

로써 하중의 전달과정을 이해할 수 있고 현가장치치를 구성하고 있는 각 요소에 대한 응력을 평가할 수 있다. 따라서 4개의 링크로 구성되어 있는 맥퍼슨 현가장치는 그림 3의 자유물체도로 표현할 수 있으며, 각 링크에 대한 평형방정식은 식 (13) ~ (16)과 같이 유도된다.

어퍼 스트럿(upper strut) :

$$\begin{cases} \mathbf{F}_{C_0} + \mathbf{F}_{F_2} + \mathbf{F}_{\text{spring}} = 0 \\ \mathbf{M}_{C_0} + \mathbf{M}_{SC} + \mathbf{C}_0 \times \mathbf{F}_{C_0} + \mathbf{E}_2 \times \mathbf{F}_{E_2} \\ + \mathbf{F}_2 \times \mathbf{F}_{F_2} + \mathbf{S}_{U_2} \times \mathbf{F}_{\text{spring}} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

타이 로드(tie rod) :

$$\begin{cases} \mathbf{F}_{B_0} + \mathbf{F}_{B_2} + \mathbf{F}_{W_B} = 0 \\ \mathbf{M}_{SS} + \mathbf{B}_0 \times \mathbf{F}_{B_0} + \mathbf{B}_2 \times \mathbf{F}_{B_2} \\ + \mathbf{P}_{B_2} \times \mathbf{F}_{W_B} = 0 \end{cases} \quad (14)$$

로어 암(lower arm) :

$$\begin{cases} \mathbf{F}_A + \mathbf{F}_G + \mathbf{F}_{A_2} + \mathbf{F}_{W_A} = 0 \\ \mathbf{A} \times \mathbf{F}_A + \mathbf{G} \times \mathbf{F}_G \\ + \mathbf{A}_2 \times \mathbf{F}_{A_2} + \mathbf{P}_{A_2} \times \mathbf{F}_{W_A} = 0 \end{cases} \quad (15)$$

휠 어셈블리(wheel assembly) :

$$\begin{cases} \mathbf{F}_{W_w} - \mathbf{F}_{A_2} - \mathbf{F}_{B_2} - \mathbf{F}_{E_2} \\ - \mathbf{F}_{F_2} - \mathbf{F}_{\text{spring}} + \mathbf{F}_{R_2} = 0 \\ \mathbf{P}_{W_2} \times \mathbf{F}_{W_w} - \mathbf{A}_2 \times \mathbf{F}_{A_2} - \mathbf{B}_2 \times \mathbf{F}_{B_2} \\ - \mathbf{E}_2 \times \mathbf{F}_{E_2} - \mathbf{F}_2 \times \mathbf{F}_{F_2} \\ - \mathbf{S}_{L_2} \times \mathbf{F}_{\text{spring}} + \mathbf{R}_2 \times \mathbf{F}_{R_2} = 0 \end{cases} \quad (16)$$

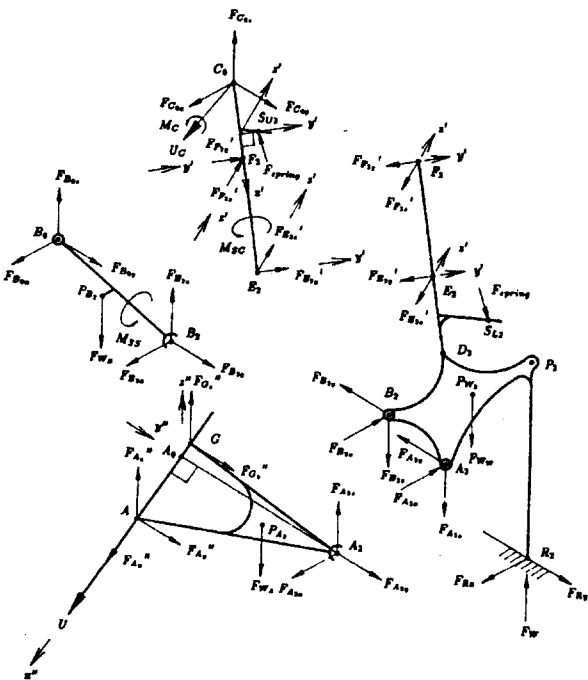


그림 3 맥퍼슨 현가장치의 자유물체도

#### IV. 탄성변형과 반력 해석

현가시스템은 범프시 노면으로부터 전달되는 극심한 하중이나 고속주행시 발생하는 하중조건에 의한 설계점의 변화에도 자율적으로 대응하여 여러 형태의 운전조건에서 조종안정성을 향상시키기 위해서는 탄성변형 특성을 고려한 설계가 이루어져야만 한다.

탄성조인트의 변형을 구하기 위해서 그림 4와 같이 차체와 연결된 로어암(lower arm)과 어퍼 스트럿(upper strut)에 대한 탄성조인트들을 원주방향과 축방향을 따라 3개의 스프링으로 모델링하여 앞에서 유도한 구속식과 평형방정식을 연립하여 범프/리바운드시 현가시스템의 특성을 해석하였다(표 1). 그리고, 그림 5, 6과 7은 휠 얼라인먼트 인자중 캠버, 토우, 캐스터각의 변화를 탄성을 고려한 조인트와 비교하여 나타내었으며, 그중 특히 그림 7의 캐스터각의 변화는 전혀 다른 경향을 보이고 있다.

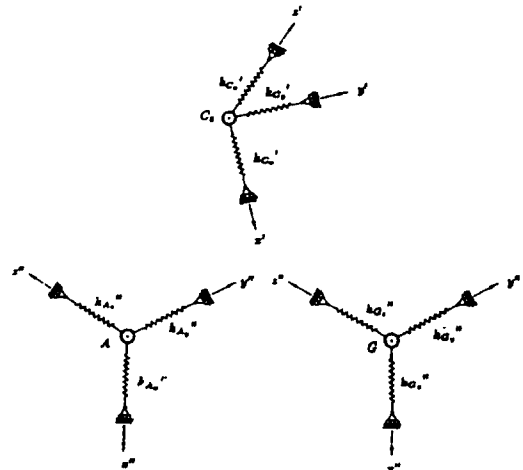


그림 4 어퍼 스트럿(upper strut)과 로어암(lower arm)에 대한 부상조인트 모델

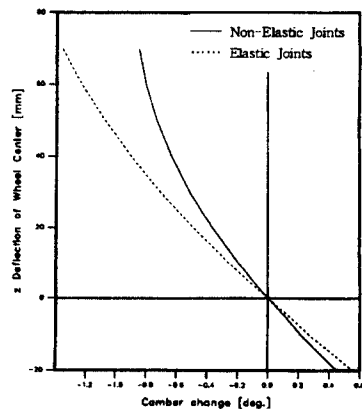


그림 5 휠의 이동에 의한 캠버각의 변화

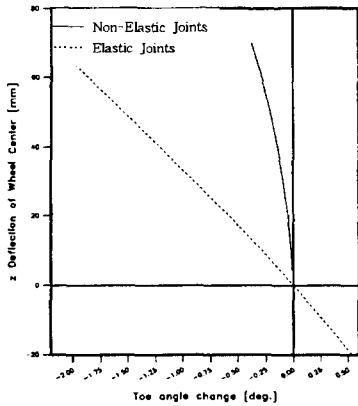


그림 6 휠의 이동에 의한 토우각의 변화

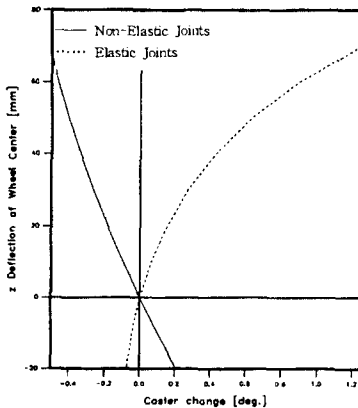


그림 7 휠의 이동에 의한 캐스터각의 변화

표 1 범프/리바운드시 맥퍼슨 현가장치의 탄성변형과 반력 해석결과

Stroke	P2 x	P2 y	P2 z	Alpha	Beta	Gamma
31.25	-53.2788	73.1781	-13.4741	-1.2022	0.7720	0.3853
19.23	-52.2438	72.1723	-13.4741	-1.2022	0.7720	0.3853
14.11	-51.2088	71.1665	-13.4741	-1.2022	0.7720	0.3853
9.30	-50.1738	70.1607	-13.4741	-1.2022	0.7720	0.3853
0.00	-49.1388	69.1549	-13.4741	-1.2022	0.7720	0.3853
-9.30	-48.1038	68.1491	-13.4741	-1.2022	0.7720	0.3853
-19.23	-47.0688	67.1433	-13.4741	-1.2022	0.7720	0.3853
-31.25	-46.0338	66.1375	-13.4741	-1.2022	0.7720	0.3853
Stroke	deC X	deC Y	deC Z	Mx	My	Mz
31.25	0.0000	-1.7070	2.0211	14.652	0.0000	31.2528
19.23	0.0000	-1.7070	2.0211	14.652	0.0000	31.2528
14.11	0.0000	-1.7070	2.0211	14.652	0.0000	31.2528
9.30	0.0000	-1.7070	2.0211	14.652	0.0000	31.2528
0.00	0.0000	-1.7070	2.0211	14.652	0.0000	31.2528
-9.30	0.0000	-1.7070	2.0211	14.652	0.0000	31.2528
-19.23	0.0000	-1.7070	2.0211	14.652	0.0000	31.2528
-31.25	0.0000	-1.7070	2.0211	14.652	0.0000	31.2528
Stroke	FF2 y	FF2 z	FF2 y	FF2 z	F spring	
31.25	-164.1301	-19.5773	-29.7474	-92.6113	61.2326	
19.23	-164.1301	-19.5773	-29.7474	-92.6113	61.2326	
14.11	-164.1301	-19.5773	-29.7474	-92.6113	61.2326	
9.30	-164.1301	-19.5773	-29.7474	-92.6113	61.2326	
0.00	-164.1301	-19.5773	-29.7474	-92.6113	61.2326	
-9.30	-164.1301	-19.5773	-29.7474	-92.6113	61.2326	
-19.23	-164.1301	-19.5773	-29.7474	-92.6113	61.2326	
-31.25	-164.1301	-19.5773	-29.7474	-92.6113	61.2326	
Stroke	FR2 X	FR2 Y	Fw	FA2 X	FA2 Y	
31.25	0.0000	0.0000	700.0000	-2.7321	19.6315	
19.23	0.0000	0.0000	700.0000	-2.7321	19.6315	
14.11	0.0000	0.0000	700.0000	-2.7321	19.6315	
9.30	0.0000	0.0000	700.0000	-2.7321	19.6315	
0.00	0.0000	0.0000	700.0000	-2.7321	19.6315	
-9.30	0.0000	0.0000	700.0000	-2.7321	19.6315	
-19.23	0.0000	0.0000	700.0000	-2.7321	19.6315	
-31.25	0.0000	0.0000	700.0000	-2.7321	19.6315	
Stroke	FA x	FA y	FA z	FG x	FG y	FG z
31.25	141.1111	101.2077	-7.7221	261.5703	-197.1814	-19.6240
19.23	141.1111	101.2077	-7.7221	261.5703	-197.1814	-19.6240
14.11	141.1111	101.2077	-7.7221	261.5703	-197.1814	-19.6240
9.30	141.1111	101.2077	-7.7221	261.5703	-197.1814	-19.6240
0.00	141.1111	101.2077	-7.7221	261.5703	-197.1814	-19.6240
-9.30	141.1111	101.2077	-7.7221	261.5703	-197.1814	-19.6240
-19.23	141.1111	101.2077	-7.7221	261.5703	-197.1814	-19.6240
-31.25	141.1111	101.2077	-7.7221	261.5703	-197.1814	-19.6240
Stroke	FB0 X	FB0 Y	FB0 Z	FB2 X	FB2 Y	FB2 Z
31.25	-7.4210	-17.1322	16.3300	7.4210	17.1322	-16.3300
19.23	-7.4210	-17.1322	16.3300	7.4210	17.1322	-16.3300
14.11	-7.4210	-17.1322	16.3300	7.4210	17.1322	-16.3300
9.30	-7.4210	-17.1322	16.3300	7.4210	17.1322	-16.3300
0.00	-7.4210	-17.1322	16.3300	7.4210	17.1322	-16.3300
-9.30	-7.4210	-17.1322	16.3300	7.4210	17.1322	-16.3300
-19.23	-7.4210	-17.1322	16.3300	7.4210	17.1322	-16.3300
-31.25	-7.4210	-17.1322	16.3300	7.4210	17.1322	-16.3300

## V. 민감도 해석

휠얼라인먼트 값들이 설계변수에 대하여 어느 정도의 영향을 갖는가를 알아보기 위하여 현가장치의 민감도 해석을 하였다. 현가장치의 인자들이 현가장치 설계변수의 함수이므로, 설계변수를 단위길이 만큼 변화시켜 현가장치 인자의 변화량을 구하는 수치적 방법으로 민감도를 구하였다. 휠얼라인먼트 W.A.의 설계변수  $x_i$ 에 대한 민감도는 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$\frac{W.A._2 - W.A._1}{\Delta x_i} \quad (17)$$

여기서,  $W.A._1 = f(x_i)$

$$W.A._2 = f(x_i + \Delta x_i)$$

그림 8~11은 맥퍼슨 현가기구의 휠얼라인먼트 값, 즉 캠버, 캐스터, 토인, 킹핀각등에 대한 민감도 해석결과를 각각 나타낸다.

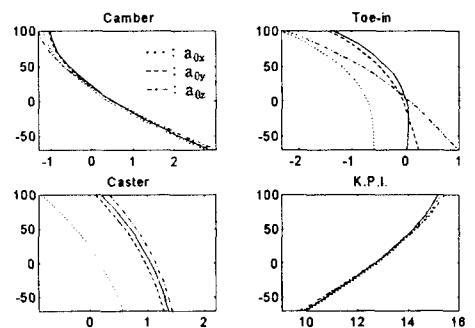


그림 8  $a_{0x}$ ,  $a_{0y}$ ,  $a_{0z}$ 의 변화에 대한 휠얼라인먼트의 변화

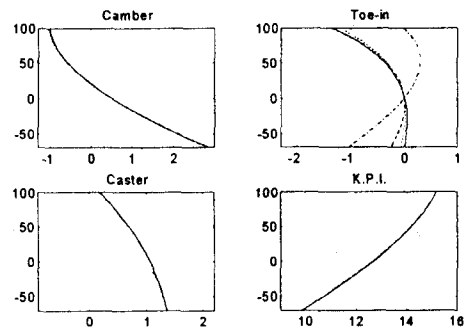


그림 9  $b_{0x}$ ,  $b_{0y}$ ,  $b_{0z}$ 의 변화에 대한 휠얼라인먼트의 변화

## 참 고 문 헌

1. Wilson, J. T. III, 1965, "Analytical kinematic synthesis by finite displacements," ASME J. of Engineering for Industry, Vol. 87, No. 2, pp. 161-169.
2. Suh, C. H., and Radcliffe, C. W., 1978, Kinematics and Mechanisms Design, John Wiley & Sons, New York.
3. Sandor, G.N., et al., 1985, "Synthesis of RSSR-SRR Spatial Motion Generator Mechanism with Prescribed Crank Rotations for Three and Four Finite Positions," Mechanism and Machine Theory, Vol. 20, No. 6, pp. 503-519.
4. Cronin, D. L., 1981, "MacPherson Strut Kinematics," Mechanism and Machine Theory, Vol. 16(6), pp. 631-644.
5. Trom, J.D., et al., 1987, "Modeling of a Mid-Size Passenger Car Using a Multibody Dynamics Program," ASME Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 109, pp. 518-523.
6. Tsukuda, Y., et al., 1988, "Development of a New Multi-link Rear Suspension," SAE paper 881774.
7. Murakami, T., et al., 1989, "Development of a New Multi-link Front Suspension," SAE paper 890179.
8. 조승백, 임준택, 1993, "자동차 현가장치 설계에 따른 동역학 해석 및 활용", 대한 기계학회지, 제33권, pp.871-883.
9. Lee, U.K. and Ahn, B.E., 1993, "A Method to Analyze 'The Imaginary Kingpin Axis' in Multi-Link Type Suspension Systems," SAE paper 930262.

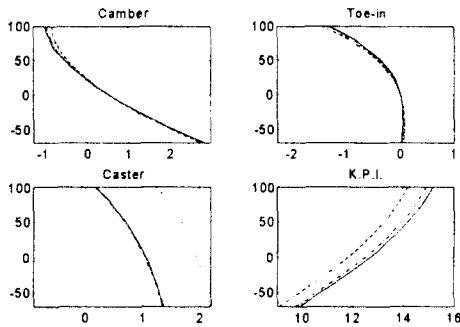


그림 10  $C_{0x}$ ,  $C_{0y}$ ,  $C_{0z}$ 의 변화에 대한 휠얼라인먼트의 변화

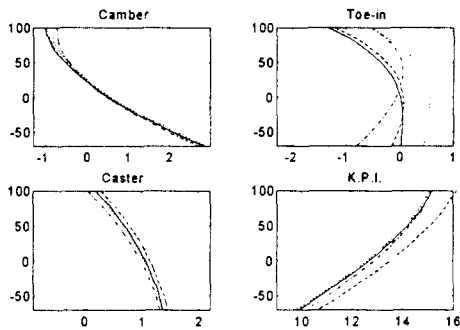


그림 11  $a_{1x}$ ,  $a_{1y}$ ,  $a_{1z}$ 의 변화에 대한 휠얼라인먼트의 변화

## VI. 결론

승용 전륜 현가기구의 탄성조인트는 방진효과와 충격을 완화시키기 위한 목적으로 널리 쓰이고 있다. 이러한 탄성변형은 차량의 승차감과 조종성을 결정하는 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 변위행렬방법을 이용한 맥퍼슨 현가기구의 기구학적 구속식과 탄성조인트를 고려한 평형방정식을 유도하여 현가기구의 특성을 해석하고 다시 기구학적 구속식을 이용하여 설계점(hard point)에 대한 맥퍼슨 현가기구의 휠얼라인먼트 값(캠버, 캐스터, 토인, 킹핀각)에 대한 수치적 민감도 해석을 수행하여 탄성조인트의 변화, 즉 설계점의 변화가 휠 얼라인먼트 값에 미치는 영향을 정량화하였다.

따라서 해석결과를 토대로 휠 얼라인먼트 값에 가장 민감한 영향을 보이는 방향으로 탄성조인트의 변형이 일어나도록 탄성 강성을 결정함으로써, 탄성변형에 의한 현가장치의 지지점의 변화가 차량의 승차감과 조종성을 향상시킬 수 있다.