

〈논 문〉 SAE NO. 97370113

## 자동차용 등속조인트의 Axial Force와 Vehicle Shudder(II)

### A Study on the Vehicle Shudder Associated with Axial Force of Tripod Joint For Automobile

오 승 탁\*  
S. T. Oh

#### ABSTRACT

This study examines the influence of some dimensional errors on the shudder-type disturbance of the tripod joint and vehicle, using an experimental evaluation and related simulation. With the introduction of the concept of influence factor, the sensitivities of shudder-type disturbance can be evaluated as the ratio of the difference between the ideal value without dimensional errors and actual value with them in the tripod joint and vehicle. Furthermore, influence factors calculated in this study can be utilized as a basic design data for the practical application of the tripod joint to an automobile design.

주요기술용어 : Shudder-type Disturbance(횡기진력), Influence Factor(영향계수), Tripod Joint(트리포드조인트)

#### 1. 서 론

플런지형 조인트인 TJ(Tripod Joint)는 구조 및 작동원리에 따라 임의의 조인트각 및 토오크 부하상태에서 회전당 3회의 축력(Axial Force)을 발생시킨다.<sup>1), 2), 3)</sup> 축력의 크기를 결정하는 인자는 토오크, 회전수, 조인트각 등의 외적인자와 접촉각, 마찰계수, PCR(Pitch Circle Radius) 등의 내적인자로 구분된다.

외적인자는 차량의 기본사양으로서, TJ의 채용여부를 결정하는 주요 검토항목이다. 특히 조

인트각이 큰 경우, TJ의 축력증가로 차량 횡요동(Vehicle Shudder)이 발생될 수 있기 때문에 부품의 위치를 조정하거나, 위치조정이 불가능한 경우, 횡요동 저감형 TJ(Shudderless TJ)의 사용이 추천된다. 내적인자는 TJ의 성능을 결정하는 설계사양으로서 축력파형에 영향을 미치며, 특히 마찰계수와 접촉각의 조정은 제조적인 한계로 거의 불가하다. 그러나 최근 고성능 그리이스 개발로 마찰계수에 대한 사양변경은 일부 가능하게 되었다.

한편, 내외적 인자가 잘 고려된 TJ 및 차량설계에도 불구하고 차량의 횡요동 문제가 발생할 수 있다. 이것은 차량 및 TJ의 품질 불안정에 기

\*정회원, 기아중공업(주) 기아기계기술연구소

인된 것으로서 차량부품의 위치변동과 엔진 마운팅에서 발생하는 추가 기진력, TJ의 축력증가 등이 원인으로 지적될 수 있다. 결국 차량에서 발생하는 횡요동은 TJ 및 차량 부품들의 품질수준과 연계되기 때문에, 관련 설계인자의 영향도 분석이 필요하다.

지금까지 발표된 TJ축력 및 횡요동에 관한 문헌을 보면, 그 내용들이 대부분 축력 및 횡요동의 발생현상과 측정결과 등에만 집중되어 있고, 이들에 대한 각 설계인자의 영향분석이 결여되어 있다.

본 연구는 TJ의 품질에 따른 축력특성을 실험적, 해석적 방법으로 고찰하고, 영향계수 개념을 도입하여 TJ의 축력과 횡요동에 대한 각 설계인자의 영향도를 분석함으로써, 향후 TJ설계 및 채용에 따른 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. 본 문

### 2.1 TJ의 축력특성

TJ가 채용된 등속 조인트 조립체를 임의의 조인트각 및 토오크 상태에서 일정한 회전수로 회전시키면, 구동축에 다음 식 (1)과 같은 축력이 회전당 3회를 주기로 발생한다.

$$Q_e = \sum_{i=1}^3 F_{li}(f_{ai}, \sin\theta, \tan\gamma_i) + F_{2i}(f_{ai}, R_i, \cos\theta, a, \delta, \nu_{si}) + F_{3i}(f_{ai}, \nu_i) + F_{4i}(f_{ai}, \sin\theta, \delta, \sin\alpha_i) \quad (1)$$

- 여기서  $Q_e$  : 구동축에 걸리는 전체축력 (Total Axial Force)
- $F_{li}$  : 1개의 트러니언(Trunion)에 작용하는 TJ의 기구학적 축분력
- $F_{2i}$  : 1개의 트러니언에 작용하는 구면 로울러의 스펀(Spin)저항
- $F_{3i}$  : 1개의 트러니언에 작용하는 구면 로울러의 구름저항

- $F_{4i}$  : 1개의 트러니언에 작용하는 구동력에 의한 축력
- $f_{ai}$  : TJ 그루우브(Groove)에 작용하는 접선하중(=T/3\*PCR<sub>i</sub>)
- T, PCR<sub>i</sub> : 구동 토오크, TJ 중심과 그루우브중심간 거리
- $\theta, \gamma, \alpha_i$  : 조인트각, 구면 로울러와 그루우브의 접촉각, TJ 그루우브의 분할각
- $\delta$  : TJ 중심의 회전반경(=2R<sub>i</sub>(1-cos $\theta$ )/cos $\theta$ )
- $\nu_{in}, \nu_{si}$  : 구면 로울러와 그루우브간의 구름 및 스펀 마찰계수
- a : 구면 로울러와 그루우브의 접촉에 의한 접촉타원의 장경
- i : 트러니언 위치(=1, 2, 3)

식 (1)의  $F_{1i}$ ,  $F_{2i}$ ,  $F_{3i}$ 는 이론적으로 각각의 트러니언상에서 동일한 값을 갖는다. 그리고  $\alpha_i$  (분할각)가  $3\pi/2$ 로 되면,  $F_{4i}$ 는 싸인함수(Sine Function)의 특성에 따라, 서로 상쇄되기 때문에 이론적으로 구동력에 의한 축력은 발생하지 않는다. 그러나 실제품은 규정된 공차 영역내에서 만들어지기 때문에 공차폭에 해당하는 만큼의 오차가 발생하게 되고, 곧 이러한 오차는 구동력에 의한 축력발생을 가져온다. 그림1은 이러한 품질산포에 의해 생성된 축력파형과 이론파형(시뮬레이션 결과)을 비교한 것이다. 한편 그림2의 시뮬레이션 결과에서 축력을 지배하는 가장 큰 인자는  $F_{1i}$ 으로 밝혀졌고,  $F_{2i}$  및  $F_{3i}$ 는 동일위상에서 서로 반대파형을 이루고 있기 때문에, 결국 실질적인  $F_{2i}+F_{3i}$ 의 값은 일부 상쇄되어 아주 작은 값을 갖게 된다. 그리고 구동력의 분력인  $F_{4i}$ 는 축력크기의 결정에 작은 영향을 미치지만, 축력파형 모양의 결정에 큰 영향을 준다.

축력측정에 있어서 동일한 TJ 및 시험조건에서도 각각 다른 파형의 측정결과가 얻어지는 경우가 있다. 이러한 현상은 정식측정에 앞서 실시되는 길들이기 시간과 조건 등의 차이에 기인하며, 신뢰성 있는 측정을 위하여 적절한 시험규격

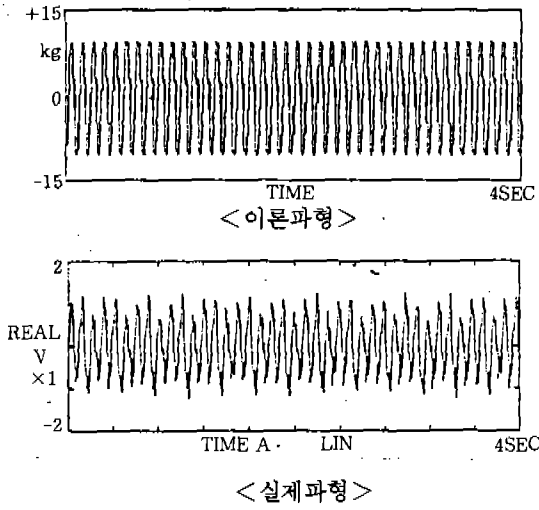


그림 1 축력파형

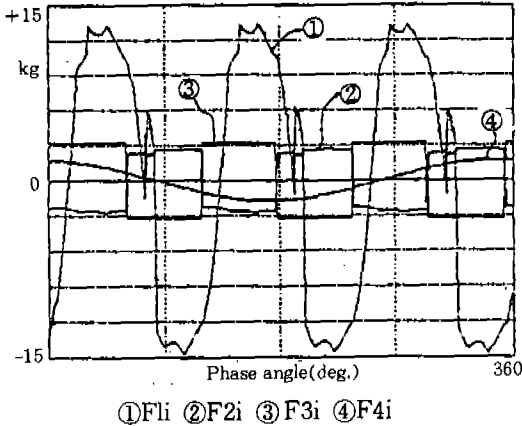


그림 2 축력 구성요소(이론치)

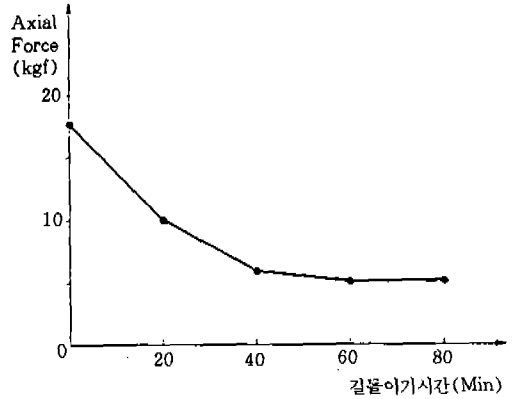


그림 3 길들이기 전, 후의 축력변화

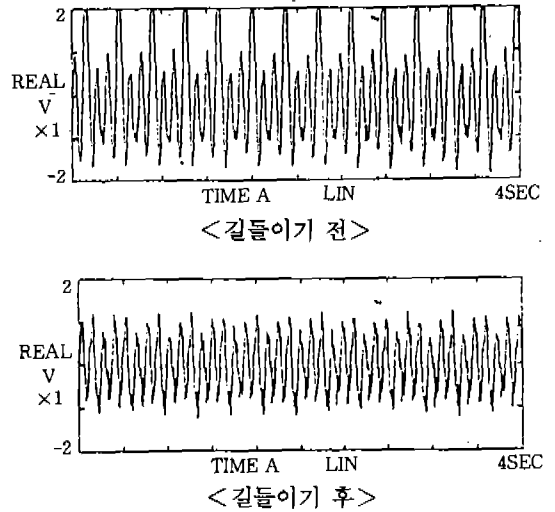


그림 4 축력 파형차이

의 정립이 필요하다. 그림3, 4는 길들이기 전후의 TJ축력값 및 파형의 차이를 나타낸 것이다.

실제 계측된 축력파형에 대한 설계인자들의 영향을 조사하는 것은 간단하지 않다. 참고문헌<sup>4)</sup>에서 소개된 해석용 소프트웨어의 이용으로, 실제 축력파형에 대한 시뮬레이션(그림6)을 수행한 결과, 축력을 구성하고 있는 요소들에 대한 영향도 분석이 가능하였고, 그 결과는 다음과 같다. 첫째, 구면 로울러와 그루우브의 치수변화(=접촉각의 변화)는  $\tan \gamma$ ( $\gamma$ : 접촉각)형태로 변환되어 축력의 계산에 반영되기 때문에, 축력크기에

대한 이들의 영향도는 적다. 결국 이러한 치수변화는  $\tan \gamma$  변환을 통하여 축력파형의 형상결정에만 영향이 있을뿐, 축력의 크기변화에 큰 영향을 주지 않는다. 둘째 PCRi, 마찰계수( $\nu_{ri}$ )의 변화는 축력과의 선형관계로 직접적인 영향이 있다, 세째로 분할각( $\alpha_i$ )의 변화는 PCRi과 마찰계수에 상당하는 영향을 준다(표1, 그림5, 6). 그림5는 시뮬레이션을 위하여 TJ의 단면형상을 분할각( $\alpha_i$ ), 마찰계수( $\nu_{ri}$ ), PCRi, 틈새( $s_i$ )로 표현한 것으로서  $\Delta \alpha_i$ ,  $\Delta \nu_{ri}$ ,  $\Delta R_i$ ,  $\Delta s_i$ 는 이들의 증감분을 의미한다. 그림6은 축력의 실제파형과

표 1 TJ 입력데이터

구분 인자	CASE I			CASE II		
	㉠	㉡	㉢	㉠	㉡	㉢
$\Delta Ri$ (mm)	0.3	0.0	-0.3	-0.2	0.2	0.2
$\Delta ai$ (rad)	-0.008	0.008	-0.008	0.0005	-0.0005	0.0
$\Delta Vri$	-0.002	-0.001	0.0	0.001	0.0	-0.002
$\Delta Si$ (mm)	0.0775	0.08	0.0815	0.0055	0.0055	0.0055

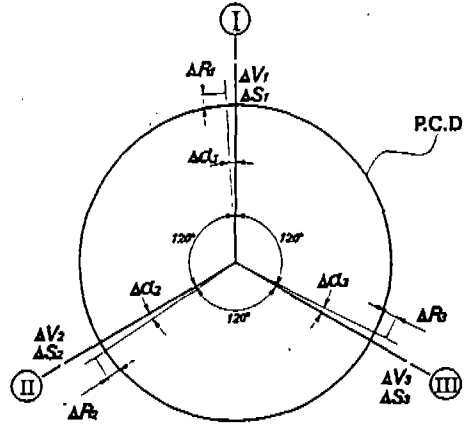
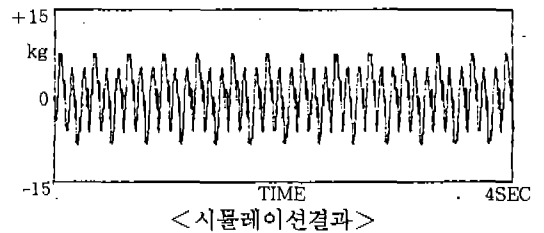
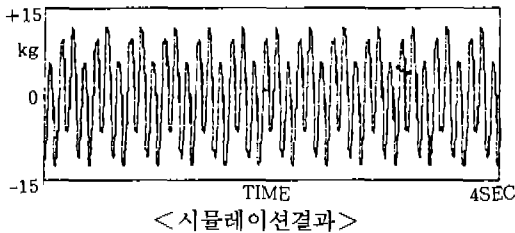
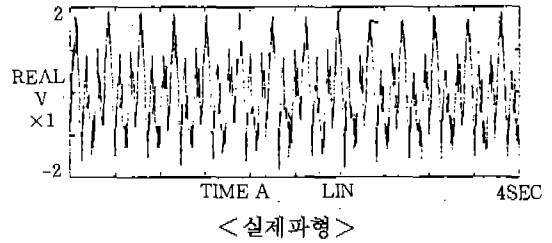
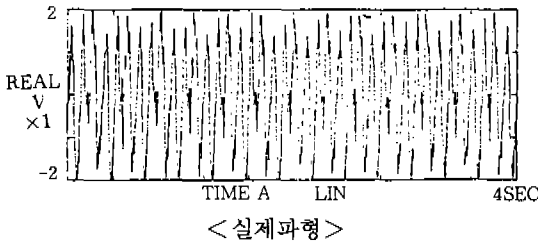


그림 5 TJ의 모델링



CASE I

CASE II

그림 6 축력 시뮬레이션과 시험결과의 비교

시뮬레이션 결과를 비교한 것이고, 표1은 시뮬레이션의 입력 데이터이며, 동시에 각인자의 영향도에 대한 분석결과의 의미도 갖는다.

2.2 차량의 횡요동 및 특성

TJ의 채용과 관련하여, 차량측면에서도 조립 품질 및 기본제원의 관리에 세심한 주의를 기울일 필요가 있다. 차량에 있어서 횡요동은 차량품질의 불안정에 기인하여 발생하는 경우와 차량차체에서 생성된 추가 기진력으로 인하여 발생하는

경우로 구분된다. 차량의 횡요동 문제가 발생되면, 대부분의 차량메이커는 TJ의 품질불량으로 그 책임을 전가하기 때문에, 등속조인트 제조업체로서는 차량구조에 관한 연구를 충분히 해두어야 한다.

따라서 본 장에서는, 참고문헌<sup>4)</sup>에서 소개된 횡요동해석용 소프트웨어를 이용하여 횡요동에 대한 차량 설계인자의 영향도를 살펴보고자 한다. 그림7은 차량 모델링 이고, 그림8은 설계인자의 변화에 대한 횡요동 해석결과와 시장출하 차량에

서 측정된 시험결과를 상호 비교 한 것이다. 차량 모델링(그림7)에 있어서,  $\Delta h$ 는 엔진중심의 조립높이 오차를,  $\Delta b$ 는 엔진중심의 전진방향 조립오차를,  $\Delta d$ 는 엔진중심의 횡방향 조립오차를,  $\Delta h_1$ 는 현가장치의 높이차를 나타내며,  $\Delta E$ 는 엔진 토크의 변동율,  $\Delta E_1$ 는 엔진의 횡방향 모멘트 생성율,  $\Delta F$ 는 TJ의 추가 기진력 발생을 나타낸 것이다.

그림8의 해석결과에서, 횡요동 발생에 대한 조립오차의 영향도 순위는  $\Delta d < \Delta h < \Delta b < \Delta h_1$

로 나타났고, 추가 기진력의 영향도 순위는  $\Delta E_1 = \Delta E < \Delta F$ 로 나타났다. 계산방법에 있어서  $\Delta d$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta h_1$ ,  $\Delta h$ 는 모두 10mm로 가정하였고, 이것을 다시 조인트각으로 계산하여 적용하였다. 그리고 추가 기진력, 즉  $\Delta E$ ,  $\Delta E_1$ 는 엔진토크의 1/10을 변동폭으로 하는 싸인함수로서 가정하였고,  $\Delta F$ 는 축력의 1/10을 변동폭으로 하는 싸인함수로 가정하였다. 한편 횡요동은 주로 수동변속기 장착차량의 1단 혹은 2단 가속출발시에 발생하기 때문에, 여기서는 다소 가혹

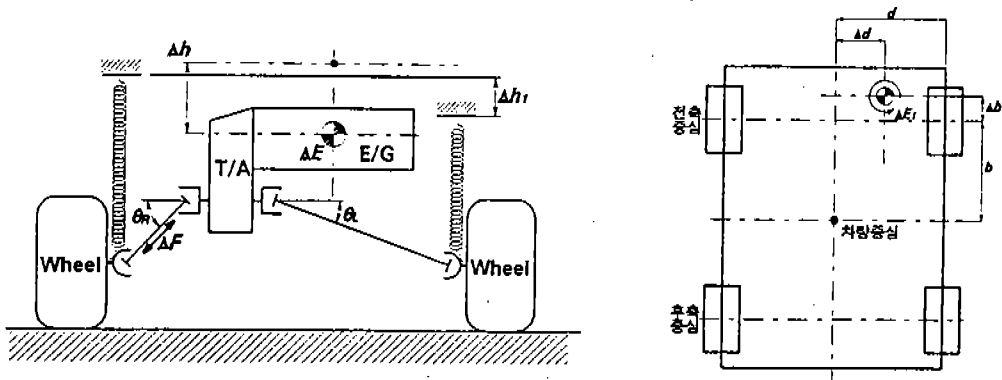


그림 7 차량품질관련 모델링

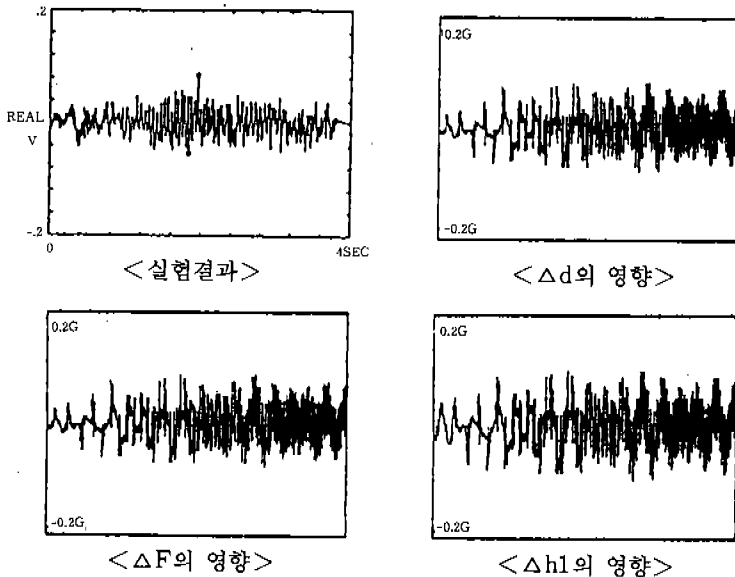


그림 8 차량품질과 횡요동

조건인 1단 급발진을 검토대상으로 삼았으며, 기타 상세한 주행조건 등은 참고문헌<sup>4)</sup>의 조건과 동일하기 때문에 생략하기로 한다.

### 2.3 영향계수 및 계산방법

축력 및 횡요동에 미치는 설계인자와 조립오차 등의 영향을 정량화하기 위해서 영향계수(Influence Factor : 이하 I.F)개념이 필요하다. 평가 파라미터, 즉 설계인자를  $X$ 로, 평가대상이 되는 축력과 횡요동을 각각  $Q_e$ ,  $Sh$ 로 표시할때,  $X$ 의 미소 변화량( $\Delta X$ )에 대한 축력과 횡요동의 변화는 각각  $Q_e(x + \Delta x)$ ,  $Sh(x + \Delta x)$ 로 표시된다. 그리고  $X$ 의 미소 변화분인  $dX$ 를 분모로, 축력과 횡요동의 변화량인  $Q_e$ ,  $Sh$ 를 분자로 하면, 각각 식 (2), (3)의 수치 편미분치가 얻어진다. 이때 식 (2)는 축력의 영향계수로서 I.F( $Q_e$ )로 표시되고, 식 (3)은 횡요동의 영향계수로서 I.F( $Sh$ )로 표시된다.

$$I.F(Q_e) = \{\delta Q_e(x + \Delta x) - \delta Q_e(x)\} / \Delta x = d\delta Q_e / dx \quad (2)$$

$$I.F(Sh) = \{\delta Sh(x + \Delta x) - \delta Sh(x)\} / \Delta x = d\delta Sh / dx \quad (3)$$

이러한 영향계수는 필요한 파라미터의 변화량과 해당 I.F와의 선형관계에 의거, 축력 및 횡요동의 변화를 예측 하는데 활용될 수 있다. 즉 설계단계에서 I.F를 알고 있을 경우, 임의의 파라미터 변화량에 대한 축력 및 횡요동의 변화량이 계산될 수 있다. 이것을 편미분식으로 표시하면 식 (4), (5)와 같다.

$$\delta Q_{ei} = \Delta x * I.F(Q_{ei}) \quad (4)$$

$$\delta Sh_i = \Delta x * I.F(Sh_i) \quad (5)$$

한편  $X$ 에 대해서도 기본적인 제원(PCR, 토오크 등)을 대상으로 하는 경우와 치수오차 등의 미세한 변화량을 대상으로 하는 경우의 2종류가 있으나, 본 연구는 해석범위를 후자에만 국한하기로 한다. 먼저 TJ의 파라미터는  $\Delta R_i$ (PCR 오차),  $\Delta a_i$ (분활각 오차),  $\Delta \nu_i$ (마찰계수 오차),

$\Delta s_i$ (원주방향틈새 오차)의 4가지 항목을 선정하였고, 차량조립의 파라미터는  $\Delta h$ (엔진중심의 조립높이 오차),  $\Delta b$ (엔진중심의 전진방향 조립오차),  $\Delta d$ (엔진중심의 횡방향 조립오차),  $\Delta h_1$ (헨가장치의 높이차)의 4가지 항목으로, 그리고 차량에서 추가 기진력의 파라미터는  $\Delta E$ (엔진 토오크 변동),  $\Delta E_1$ (엔진의 횡방향 모멘트 생성),  $\Delta F$ (TJ의 추가 기진력 발생)의 3가지 항목으로 선정되었다. 이러한 해석대상 I.F의 정의를 정리하면 다음과 같다

$$I.F(Q_{ei}) = d\delta Q_{ei} / dx_{1i} \quad (6)$$

$$I.F(Sh_i) = d\delta Sh_i / dx_{2i} \quad (7)$$

여기서

$$dx_{1i} = \Delta PCR_i, \Delta a_i, \Delta \nu_i * f_{ai}, \Delta s_i \quad (8)$$

$$dx_{2i} = \Delta PCR_i, \Delta a_i, \Delta \nu_i * f_{ai}, \Delta s_i, \Delta d, \Delta d, \Delta b, \Delta h_1, \Delta h, \Delta E, \Delta E_1, \Delta F \quad (9)$$

그리고 I.F( $Q_{ei}$ )와 I.F( $Sh_i$ )는 식 (6), (7)에서 계산된다. I.F( $Q_{ei}$ )의 경우, 먼저 TJ의 기본 제원을 고정하고, 식 (8)에서 대상 파라미터 변화분( $Dx_{1i}$ )을 선정하여, 위상에 따라 계산된  $Q_{ei}(x_1)$ 와  $Q_{ei}(x_1 + \Delta x_1)$ 값으로부터  $d\delta Q_{ei} / dx_{1i}$ 을 계산하면 I.F( $Q_{ei}$ )가 구해진다. I.F( $Sh_i$ )의 경우, 동일한 방법으로  $dx_{2i}$ 를 선정하여, 횡요동 발생영역인 1500~3500rpm에서 계산된  $Sh_i(x_2)$ 와  $Sh_i(x_2 + \Delta x_2)$ 값으로부터  $d\delta Sh_i / dx_{2i}$ 을 계산하면 I.F( $Sh_i$ )가 구해진다.

## 2.4 영향계수의 계산결과

### 2.4.1 TJ의 영향계수

TJ는 임의의 PCR상에 120도의 분할위상을 갖는 3개의 그루우브 형상으로 이루어져 있으나, 제조상의 한계(금형Punch, 열처리변형 등)로 치수(PCR, 조립틈새 등) 및 형상(분활각 등)에 미세한 오차가 발생한다. 이러한 오차발생에 따른 TJ축력 및 횡요동을 평가하기 위해서 PCR,

분할각, 마찰계수, 틈새의 4가지 항목이 파라미터로 선정되었다(그림5).

1) PCR 오차의 영향계수

PCR 오차의 I.F는 PCR의 다른 인자를 모두 고정하고,  $\Delta Ri$ 를 0.5mm로 가정한 조건에서, 4가지 경우에 대한 PCR 오차의 영향계수를 해석하면 그림9, 10과 같이 계산된다. PCR의 I.F(Qe)(그림9)는 ③, ④의 경우, 위상에 따라서 현저하게 변하고, ①, ②의 경우, 위상에 따라서 크게 변하지 않는다. 특히 ①, ②의 주기는 TJ 축력의 발생주기와 일치하지만, ③, ④의 주기는 위상지연으로 ①, ②의 약 1/3 수준이다. 이러한 현상은 PCR오차의 방향성에 기인되는 것으로 판단된다.

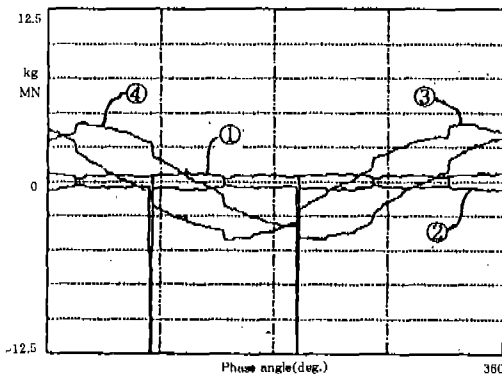
즉 오차의 동일방향(이하 동일방향,  $\Delta R1 = \Delta R2 = \Delta R3 = +0.5$  혹은  $-0.5$ )일 경우, 각 트러니언에서 축분력의 변동폭이 일정(각 PCR 오차는 축력의 함수로서 동일방향으로 변화할때, 각 트러니언상에서 축력이 동일하게 증가 혹은 감소한다)하기 때문에, 전체축력(Qe)의 파형과 주기에는 변동이 없고, 단지 축력값만 증가 혹은 감소하게 된다.

그러나 오차의 방향이 반대일 경우(이하, 반대방향  $\Delta R1 = \Delta R2 = +0.5, \Delta R3 = -0.5$  혹은  $\Delta R1 = \Delta R2 = -0.5, \Delta R3 = +0.5$  등), PCR의 변화폭이 최대로 동일방향(0.5mm)의 2배(1.

0mm)까지 증가할 수 있기 때문에 전체축력의 파형은 최대오차분 만큼 변화하게 되고, 크기 및 위상 역시 증가하게 된다. 그림9에서 ①의 경우, 200° 위상 부근에서 Peak치가 보이고, ②, ③의 경우, 80°, 200° 위상 부근에서 Peak치가 나타난다. 이것은 그림2의 축력파형에서 보면, 약 80°, 200° 위상에서 +에서 -로 바뀌는 변곡점의 위상차이로 발생하는 현상으로서 해석될 수 있기 때문에, 전체적으로 Peak치의 영향은 무시할 수 있다(예로서 TJ의 틈새를 변화 시키면, 그림2와 그림9에서 각각 변곡점과 Peak점이 없는 축력파형을 얻을 수 있다). 한편 그림10에서 PCR 오차의 I.F(Sh)는 ①=②<④<③의 경향을 나타내며, 이러한 경향은 I.F(Qe)(그림9)의 경우와 일치한다. 그리고 I.F(Sh)값이 rpm에 따라 일정한 것은 PCR의 미소한 변화량에 기인되는 것으로 해석된다. 왜냐하면, PCR의 미소 변화량으로는 차량의 횡방향 기진력인 축력의 크기만 변화시킬 뿐, 횡요동의 기진력인 축력의 가진 주파수 영역을 바꿀수 없기 때문으로 판단된다.

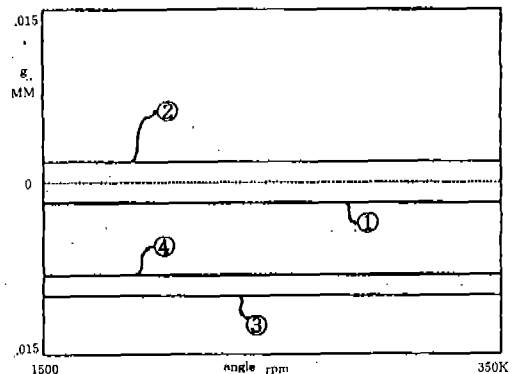
2) 분할각 오차의 영향계수

앞절에서 기술한 방법과 같이,  $\Delta ai$ 를 0.017453(1°)로 가정하면, 4가지 경우(여기서, 분할각은 위상을 의미하기 때문에 그루우브중 1개는  $\Delta ai = 0$ 로 하였다)에 대한 분할각 오차의 I.



- ①  $+\Delta R1 + \Delta R2 + \Delta R3$     ③  $+\Delta R1 - \Delta R2 + \Delta R3$
- ②  $-\Delta R1 - \Delta R2 - \Delta R3$     ④  $-\Delta R1 - \Delta R2 + \Delta R1$

그림 9 PCR 오차의 I.F(Qei)



- ①  $+\Delta R1 + \Delta R2 + \Delta R3$     ③  $+\Delta R1 - \Delta R2 + \Delta R3$
- ②  $-\Delta R1 - \Delta R2 - \Delta R1$     ④  $-\Delta R1 - \Delta R2 + \Delta R3$

그림 10 PCR 오차의 I.F(Shi)

F를 해석하면 그림11, 12의 결과가 얻어진다. 그림11에서 I.F(Qe)의 크기는 ①=②<③=④의 경향으로 나타나고, 이러한 결과는 PCR 오차 I.F(Qe)에서 분석된 내용과 같이, 분할각 오차의 방향성으로 설명될 수 있기 때문에, 중복설명은 피하기로 한다. 그런데 앞절 1)의 PCR은 식 (1)에서 정의된 fai(1개의 트러니언 혹은 그루우브상에 작용하는 구동력)의 함수로서, 모든 축분력(F1i~F4i)의 계산에 적용되지만, 분할각은 식 (1)에서 정의된 구동의 축분력식, F4i만의 함수이기 때문에, 오직 F4i의 계산에만 반영된다(특히 F4i는 SIN(αi)의 함수로서 αi=3πi/2일 때, 서로 상쇄되기 때문에 분할각의 오차가 있을 때만 F4i의 존재의미가 있다). 이러한 관점에서 분할각오차I.F(Qe)의 파형과 위상은 F4i의 축분력 파형 및 위상과 유사하다. 그리고 그림12에서 I.F(Sh)의 계산결과는 I.F(Qh)의 경향과 일치하며, rpm변화에 대하여 I.F(Sh)값이 위상에 따라 일정한 이유는 앞절의 설명과 동일하다.

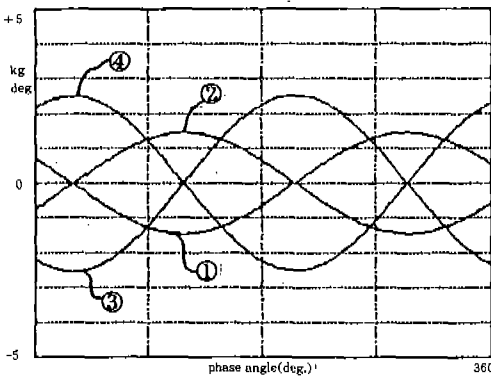
3) 마찰계수 오차의 영향계수

마찰계수 특성 및 마찰계수와 하중과의 관계를 고려하여, 마찰계수의 평가 파라미터는 Δvi\*fai로, 마찰계수의 오차량 Δvi는 0.004로 가정한다. 그리고 Δvi=0일때의 축력을 기준으로 4가지 경우에 대한 마찰계수 오차의 영향계수를 구하면 그림13, 14의 결과가 얻어진다. 그림13,

14에서 각 경우(①~④)에 대한 I.F(Qei)와 I.F(Shi)의 크기 및 주기는 거의 동일하고, 단지 위상의 차이만이 존재함을 알 수 있다. 즉 마찰계수는 F3i(구름저항)만의 함수관계에 있기 때문에, 마찰계수 오차의 I.F(Qe)에 대해서도 같은 관계가 성립된다. 이러한 면에서 마찰계수 오차에 따른 F3i의 증가 혹은 감소 효과는 있을 지라도, 4가지 경우(그림13)에 대한 I.F(Qe)의 크기와 주기는 거의 변화되지 않고, F3i의 파형과 주기를 그대로 유지한다(단, 방향성(동일방향 혹은 반대방향)에 따라 상호간에 위상은 달라진다). 한편 그림14의 I.F(Sh)는 I.F(Qe)의 경향과 일치하지만, 그 값이 아주 작다. 이러한 현상은 앞에서 설명한 바와 같이 Δν의 크기(0.004)와 F3i의 특성(마찰계수의 함수)에 기인한다고 볼 수 있다.

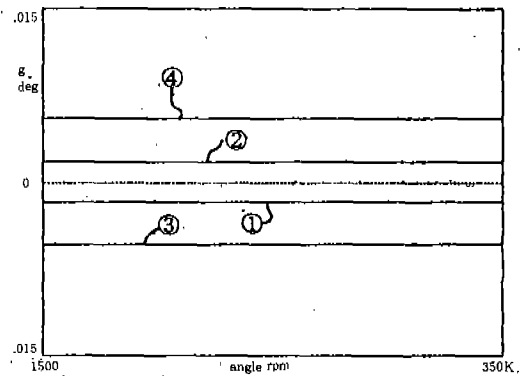
4) 원주방향 틈새오차 영향계수

앞절에서 수행한 방법과 같이 틈새 변화량 Δsi를 0.0625mm로 하여 영향계수를 구하면, 그림 15, 16의 결과가 얻어진다. 그림15, 16에서 I.F(Qei), I.F(Shi)는 공히 ②<①<③<④의 경향을 나타낸다. 여기서 다른 평가파라미터에 비하여 위상에 따라 틈새오차 I.F(Qe)의 변화가 심한 것은 F1i의 특성(그림2, 식 (1))에 기인하는 것으로 보인다. 왜냐하면 1장에서 언급한 바와 같이, 틈새오차(=접촉각변화)에 대한 F1i값은



① + Δa1 / + Δa2 / 0	③ + Δa1 / - Δa2 / 0
② - Δa1 / - Δa2 / 0	④ - Δa1 / + Δa2 / 0

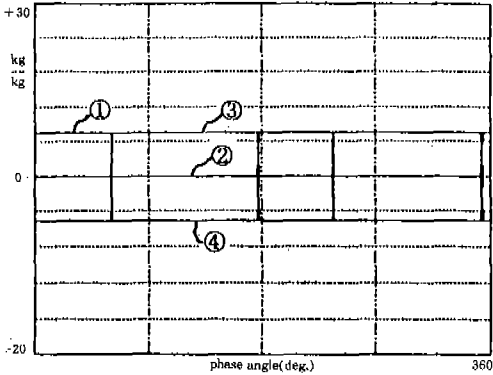
그림 11 분할각오차의 I.F(Qci)



① + Δa1 / + Δa2 / 0	③ + Δa2 / - Δa2 / 0
② - Δa1 / - Δa2 / 0	④ - Δa1 / + Δa2 / 0

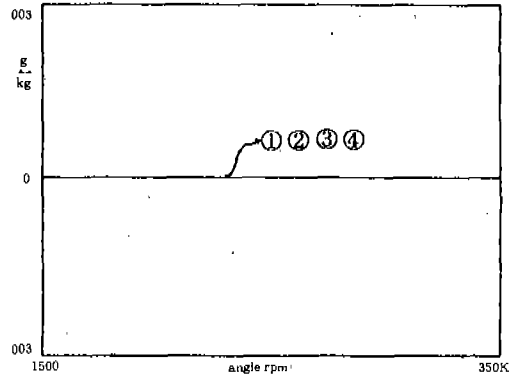
그림 12 분할각오차의 I.F(Shi)





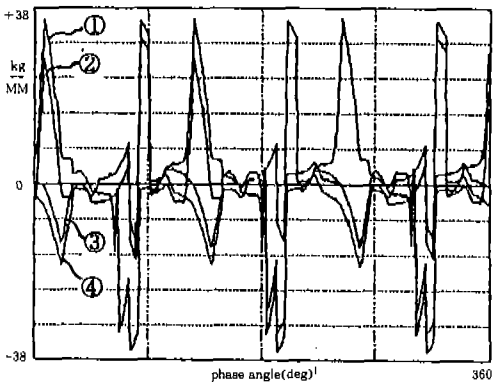
- ①  $+\Delta v1/+\Delta v2/0$                       ③  $+\Delta v1/-\Delta v2/0$
- ②  $-\Delta v1/-\Delta v2/0$                       ④  $-\Delta v1/+\Delta v2/0$

그림 13 마찰계수오차의 I.F.(Qei)



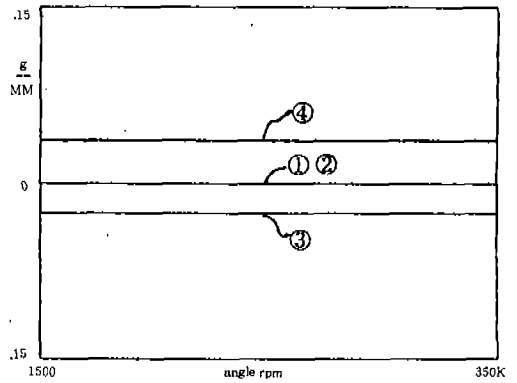
- ①  $+\Delta v1/+\Delta v2/0$                       ③  $+\Delta v1/-\Delta v2/0$
- ②  $-\Delta v1/-\Delta v2/0$                       ④  $-\Delta v1/+\Delta v2/0$

그림 14 마찰계수오차의 I.F.(Shi)



- ①  $+\Delta s1/+\Delta s2/-\Delta s3$                       ③  $+\Delta s1/+\Delta s2/-\Delta s3$
- ②  $-\Delta s1/+\Delta s2/+\Delta s3$                       ④  $+\Delta s1/+\Delta s2/+\Delta s3$

그림 15 틈새오차의 I.F.(Qei)



- ①  $-\Delta s1/-\Delta s2/-\Delta s3$                       ③  $+\Delta s1/+\Delta s2/-\Delta s3$
- ②  $-\Delta s1/+\Delta s2/+\Delta s3$                       ④  $+\Delta s1/+\Delta s2/+\Delta s3$

그림 16 틈새오차의 I.F.(Shi)

$\tan\gamma$  변환을 통하여 위상에 따라 민감하게 변하기 때문에 판단된다. 그리고 마찰계수의 오차에 있어서 축력 및 횡요동에 가장 큰 영향을 주는 경우는  $+\Delta s1/+\Delta s2/+\Delta s3$ 으로서, PCR 및 분할각 오차의 경향(예  $-\Delta a1/+\Delta a2/0, +\Delta R1/-\Delta R2/+\Delta R3$ )과 상반된다. 이러한 현상은 틈새증감에 따라 변하는  $\tan\gamma$  값의 차이에 기인하는 것으로 해석된다. 즉  $\tan(\gamma+\Delta\gamma) - \tan\gamma$  와  $\tan(\gamma-\Delta\gamma) - \tan\gamma$  을 각각 계산하면,  $\gamma < 45^\circ$  의 조건하에서 전자의 값이 후자보다 항상 크다, 이러한 원리에 의거,  $\tan\gamma$  의 함수인

틈새오차의 I.F는 틈새오차의 증가에 따라 커지게 된다.

2.4.2 차량의 영향계수

차량의 영향계수 계산에 있어서 2항에서 언급한 내용을 그대로 적용하기로 한다. 즉 위치오차 파라미터는  $\Delta h = \Delta b = \Delta d = \Delta h1 = 10\text{mm}$ 로 하고, 외부의 추가 기진력 파라미터는 각각  $\Delta E = \Delta E1 = \text{엔진토크} * \sin\omega t / 10$ ,  $\Delta F = fa * \sin\omega t / 10$ 로 한다. 차량의 제원등은 계산의 신뢰성을 높이기 위해서 현 생산 차량중에서 선정되었으며, 위치오차는 조인트각으로 계산하여 적용하였다.

1) 조립오차 영향계수

그림7에서  $\Delta h$ 는  $\Delta\theta L=1.48^\circ$ ,  $\Delta\theta R=0.84^\circ$ ,  $\Delta b$ 는  $\Delta\theta L=0.265$ ,  $\Delta\theta R=0.12^\circ$ ,  $\Delta h1$ 는  $\Delta\theta L=1.48^\circ$ ,  $\Delta\theta R=-0.472^\circ$ ,  $\Delta d=0$ 로 계산된다. 이것을 입력 데이터로 하여 조립오차의 I.F(Shi)를 구하면 그림17의 결과가 얻어진다. 그림 17에서 I.F(Shi)의 경향은 ③<①<②<④로 나타났고, 특히 현가장치의 높이차이에 의한 영향이 가장 큰것으로 나타났다. 현가장치의 높이 차이는 곧 좌우 조인트각의 차이(= $\theta L-\theta R$ )를 의미하고, 차량에 작용하는 실제축력(=좌측 TJ 축력-우측 TJ축력)은 조인트각 차이의 함수이기 때문에 좌우 조인트각의 차이가 커지면, 자동적으로 차량의 횡요동은 커지게 된다.

결론적으로 차량조립 오차에 따른 횡요동의 민감도는 좌우방향<전후방향<상하방향의 순으로 커지기 때문에, 향후 현가장치의 스프링 길이 및 엔진 마운팅의 조립관리에 세심한 주의가 필요한 것으로 판단된다.

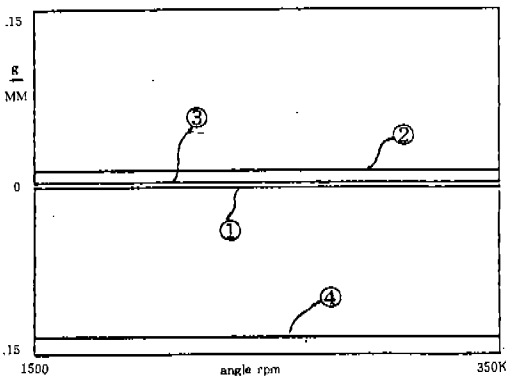
2) 추가 기진력생성의 영향계수

추가 기진력의 생성에 의한 I.F(Shi)는 앞서 설정한 입력 데이터를 이용하면, 그림18과 같은 결과가 얻어진다. 그림18에서 I.F(Sh)는 ③>①>②의 경향을 나타내며, 이것은 다음과 같이 설명될 수 있다. 즉 TJ의 추가 기진력은 엔진 토오크 \* 기어비 \* b(차량중심에서 전축까지의 거리)

/(TJ의 트러니언수)의 함수이고, 엔진 횡방향의 추가 기진력은 엔진 토오크만의 함수이기 때문에, 그림7의 모델링에서 전자(TJ의 추가 기진력)의 값이 후자보다 계산상 크다. 따라서 동일한 비율(예, 1/10)의 추가 기진력이 횡방향으로 TJ와 엔진에서 각각 발생 할 경우, TJ축이 엔진 축 보다 횡요동에 민감하게 반응한다고 할 수 있다. 한편 TJ 및 엔진에 발생하는 추가 기진력은 관련부품(TJ, 엔진)자체적인 품질문제와 주변장치(예, 마운팅)의 품질문제로 기인될 수도 있다. 특히 TJ의 품질 불안정에 있어서 2.4.1절에서 언급한 TJ 파라미터의 품질변동이 일부 추가 기진력의 발생원인으로 간주될 수 있지만, 실제적인 TJ의 추가 기진력은 대부분 차량 주변장치들에 기인한다. 예로서, 구동계 전체의 회전방향 틀새, 엔진계 및 구동계 강성, 엔진거동 등의 영향이 구동계의 마지막에 위치한 TJ로 집중되기 때문에, 차량 횡요동의 원인은 TJ에서 발생된 추가 기진력으로 볼수있다.

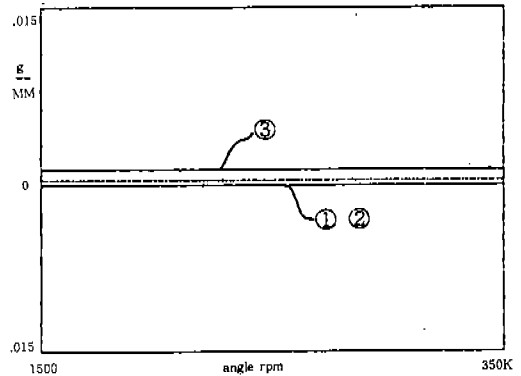
3. 결 론

본 연구는 TJ부품의 품질에 따른 축력의 특성과 차량품질에 의한 횡요동의 특성을 실험적, 해석적 방법으로 비교하였고, 영향계수의 도입을 통하여 TJ축력 및 차량 횡요동의 영향도를 분석



- ①  $\Delta h=10\text{mm}$
- ②  $\Delta b=10\text{mm}$
- ③  $\Delta d=10\text{mm}$
- ④  $\Delta h1=10\text{mm}$

그림 17 차량조립 오차의 I.F(Qe)



- ①  $\Delta E=E \cdot \sin\omega/10$
- ②  $\Delta E1=E \cdot \sin\omega/10$
- ③  $\Delta F=Qe \cdot \sin\omega/10$

그림 18 추가기진력 생성의 I.F(Sh)

함으로써, 향후 설계 기초자료 및 품질문제 해결에 활용될 수 있도록 하였다. 관련 연구결과는 다음과 같다

1) 참고문헌<sup>4)</sup>에서 개발된 해석용 소프트웨어의 이용으로, 실제 축력파형 및 횡요동에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과, 다음과 같이 TJ축력 및 횡요동을 발생시키는 주요인자의 파악과 이들에 대한 영향도 분석이 가능하였다.

첫째, TJ축력은 기구학적 축분력(F1i), 스펀저항(F2i), 구름저항(F3i), 구동력의 분력(F4i)으로 구성되어 있고, 그 중에서도 기구학적 축분력이 전체축력의 크기와 주기를 결정하는 것으로 나타났다. 그리고 나머지 요소들은 미세한 축분력을 유발하는 보조인자임을 확인하였다.

둘째, TJ축력의 실제파형은 TJ부품의 품질에 크게 좌우되며, 특히 PCR, 분할각, 마찰계수, 틈새 등의 오차에서 기인된 추가 분력발생이 축력파형 및 크기를 결정하는 주요인자임을 확인 하였다.

셋째, 차량의 횡요동에 있어서 TJ축력이 주요 기진원으로 인식되었지만, 차량자체의 품질문제 역시 횡요동 발생의 원인이 될 수 있음을 조립오차, 추가 기진력생성 등의 인자를 통하여 입증하였다.

2) TJ축력 및 차량 횡요동에 미치는 설계사양의 영향을 정량화 하기 위하여 영향계수 개념의 도입을 시도하였고, 각각의 영향계수 계산을 통하여 다음의 내용이 확인되었다.

- (i) 횡요동의 영향계수는 축력의 영향계수에 비례하여 증가 혹은 감소한다.
- (ii) TJ축력 및 횡요동에 있어서 PCR의 영향계수는  $\Delta R1 / -\Delta R2 / \Delta R3$ 일때 가장 크고, 분할각의 영향계수는  $\Delta \alpha 1 / -\Delta \alpha 2 / 0$  혹은  $-\Delta \alpha 1 / +\Delta \alpha 2 / 0$ 일때, 마찰계수의 영향계수는  $\Delta \nu 1 / -\Delta \nu 2 / 0$  혹

은  $-\Delta \nu 1 / \Delta \nu 2 / 0$ 일때, 틈새오차 영향계수는  $\Delta s1 / \Delta s2 / \Delta s3$ 일때 가장 크다. 반면에 PCR의 영향계수는  $\Delta R1 / \Delta R2 / \Delta R3$  일때, 분할각의 영향계수는  $\Delta \alpha 1 / \Delta \alpha 2 / 0$  혹은  $-\Delta \alpha 1 / -\Delta \alpha 2 / 0$ 일때, 마찰계수의 영향계수는  $\Delta \nu 1 / \Delta \nu 2 / 0$  혹은  $-\Delta \nu 1 / -\Delta \nu 2 / 0$ 일때, 틈새오차 영향계수는  $-\Delta s1 / -\Delta s2 / -\Delta s3$ 일때 가장 작다.

(iii) 차량에 있어서 부품조립 위치의 오차에 대한 횡요동의 민감도는 좌우방향 <전후방향<상하방향의 순서로 커지며, 특히 상하방향에서 좌우 현가스프링의 높이차이는 좌우 조인트각 및 축력의 차이를 초래하여, 차량 횡요동발생에 직접적인 영향을 줄수 있다.

(iv) 동일비율의 추가 기진력이 횡방향으로 TJ와 엔진에서 각각 발생 할 경우, TJ 축이 엔진축보다 차량의 횡요동발생에 민감하게 반응한다.

### 참 고 문 헌

1. 오승탁, "Tripod Joint의 축력해석 및 축력저감 방안에 관하여", 기아중공업기보 제3권1호, pp.37~51, 1989.
2. 佐, "等速 ショイントの 振動問題とクリースについて", NTN 技術報告書, No.54, pp.49~56, 1988.
3. F.Schmelz, E.Aucktor, Universal Joint and Driveshafts, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1992.
4. 오승탁, "자동차용 등속 조인트의 Axial Force와 Vehicle Shudder(I)", 자동차공학 회논문집, 제4권 제2호, pp.198~208, 1996.
5. Wells, D. A., Lagrangian Dynamics, McGraw Hill, 1967.