

# 다판 클러치방식 차동제한장치 개발을 위한 설계인자 분석에 관한 연구

신용호<sup>†</sup> · 이동원<sup>\*</sup> · 신천세<sup>\*</sup>

국제대학 자동차계열 · \*자동차부품연구원

(2010. 1. 8. 접수 / 2010. 6. 18. 채택)

## A Study on the Analysis of Design Parameters for Development of LSD

Young Ho Shin<sup>†</sup> · Dong Won Lee<sup>\*</sup> · Chun Se Shin<sup>\*</sup>

Department of Automobile Engineering, Kookje College

<sup>\*</sup>Korea Automotive Technology Institute

(Received January 8, 2010 / Accepted June 18, 2010)

**Abstract** : A differential case equipped with LSD(limited slip differential) has several advantages over a normal type for rear wheel drive vehicles. Specially, the torque distribution can be done between left and right drive wheel in the state of limited slip differential. Also although LSD types are very various according to operating type, medium and torque distribution, a multi-clutch type is generally applied to rear wheel drive vehicles. So, this study presents the analysis of design parameters for development of a friction plate for multi-clutch type LSD using vehicle road test, the simulation of analytical model and the development of vehicle dynamics model by a benchmark product. According to this investigation, the design parameters which are pre-load of coil spring, friction plate and contact area quantity, friction coefficient and TBR(torque bias ratio) for a friction plate are derived from experiment and simulation and consequently, vehicle dynamics model has been constructed for the development of friction plate for multi-clutch type LSD.

**Key Words** : LSD(limited slip differential), TBR(torque bias ratio), friction plate, friction coefficient, dynamic analysis, clamping load, ECU(electronic control unit)

### 1. 서론

일반적으로 자동차의 구동방식은 크게 전륜, 후륜 및 4륜구동 방식으로 나누어지며, 국내에서 개발 및 양산되는 대다수의 차량은 전륜구동 방식을 택하고 있다. 전륜 구동방식 차량의 경우 후륜구동 방식 대비 적은 부품수의 중량 감소에 의한 상대적인 연비저감 효과와 눈길 및 빙판길에서의 구동성능이 후륜구동 대비 상대적으로 우수한 특징을 나타낸다. 하지만 후륜축의 요(yaw) 운동에 의하여 뒷좌석의 승차감 저감과 코너링 안정성 및 큰 선회반경 등에 있어서는 후륜구동 차량 대비 상대적으로 안정성이 떨어지는 경향을 나타낸다. 이에 따라, 고급 승용차나 SUV 차량 등의 경우에는 승차감 개선, 가속력 및 제동력 향상과 안정된 코너링 성능을 확보하기 위하여 전륜구동 방식 보다는 후륜구

동 방식을 적용하는 추세이다.

후륜구동 방식의 자동차는 앞서 기술한 바와 같이, 많은 장점에도 불구하고 눈길 혹은 빙판길과 같은 미끄러운 노면에서는 전륜구동 방식 대비 구동력이 떨어지게 되며, 이에 따라 많은 인적/물적 피해를 발생시키게 된다. 특히, 국내와 같이 겨울철이 존재하거나, 눈과 비가 많은 지역에서 후륜구동 자동차는 마찰계수가 낮은 노면에 놓인 구동휠 부위로 구동력이 모두 전이되어, 반대편의 구동휠은 구동력을 상실하게 된다. 이에 따라, 마찰계수가 낮은 노면에 놓인 구동휠은 슬립현상이 발생하게 되고, 이로 인하여 차량은 조향력 및 구동력을 상실하게 되어 차량의 주행안정성이 현저히 떨어지는 현상이 발생하게 된다. 이러한 후륜구동 차량의 단점을 극복하기 위하여 개발되어진 가장 일반화된 대응 기술이 구동축의 디퍼렌셜 케이스 내에 차동제한장치(limited slip differential)<sup>1)</sup>를 장착하는 것이다. 차동제한장치는 작동방식 및 제어방식에

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
sljy@kookje.ac.kr

따라 다양한 분류로 나누어지게 되며<sup>2,3)</sup>, 일반적으로 적용되는 차동제한장치는 다판 클러치방식이다.

국내 자동차시장의 경우, 대다수의 차량이 전륜 구동방식을 택하고 있지만, 차량의 고급화 및 대형 SUV 차량의 증가에 따라 구동특성 향상을 위하여 점진적으로 후륜구동 방식의 차량이 늘어나고 있는 추세이다. 이에 따라 겨울철 혹은 기후적으로 우기발생 시에는 차량의 주행안정성에 대한 기술적 대안 확보가 이루어져야만 한다. 하지만 현재까지 국내에서는 차동제한장치에 대한 개발이 이루어지지 않은 상황이며, 다양한 작동방식에 대한 개념설계만이<sup>6,7)</sup> 이루어지고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 국내에서 양산중인 SUV 차량에 적용된 다판 클러치방식의 차동제한장치에 대한 벤치마킹을 통하여 주요 설계인자를 도출하고, 도출되어진 주요 설계인자의 분석을 위해 실차 주행평가와 클러치 팩의 수학적 모델을 통한 시뮬레이션을 통하여 적정 설계변수를 한정 시킨 이후, 이를 적용한 동역학적 해석모델 개발을 통하여 다판 클러치방식 차동제한장치의 핵심 부품인 마찰 플레이트 개발에 본 연구결과를 활용해 보고자 한다.

## 2. 대상부품 선정 및 설계사양 도출

### 2.1. 벤치마킹 대상제품 선정

해외시장에서 차동제한장치는 양산형 차량 및 튜닝용 차량에 대하여 차량 구동축으로의 토크 분배 방식과 구동 형태에 따라 다양한 제품이 개발되어져 있다. 이중 다판 클러치방식은 초기에 개발되어진 제품이지만, 안정적인 성능과 다양한 차량 적용성에 기인하여 가장 일반화 되어진 차동제한장치 작동 방식이다. 이에 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 국내 K社 대형 SUV에 장착되어진 다판 클러치방식의 차동제한장치를 벤치마킹 제품으로 선정하였다. 벤치마킹 대상제품은 미국 Eaton社에서 양산하

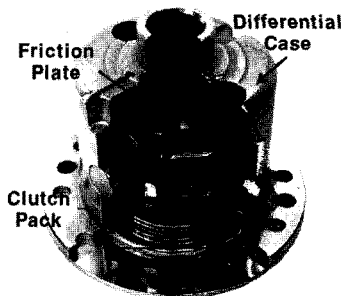


Fig. 1. Multi-clutch type LSD.

는 제품으로 디퍼렌셜 케이스의 사이드 기어부에 클러치 팩을 장착하여 차동제한 효과를 발생시키는 구조를 가지고 있다.

### 2.2. 차동제한장치 주요 설계인자

본 연구에 적용되어진 다판 클러치방식 차동제한장치의 구성은 Fig. 1에도시한 바와 같이, 차량의 차동장치 내부의 사이드 기어부에 클러치 팩을 장착한 형태이다. 클러치 팩의 구성은 마찰 플레이트 세 장과 상호 접촉이 이루어지는 스틸 플레이트로 구성되어진다. 또한 사이드 기어 중앙부에는 클러치 팩에 초기 예압 작용을 위한 코일 스프링이 피니언 기어 축을 중심으로 장착되어진다.

다판 클러치방식 차동제한장치가 장착된 차량은 직진 주행 시에는 일반 차동장치와 동일한 형태로 작동이 이루어지지만, 차동이 제한되는 상태에서는 예압 스프링의 인장력에 따라 클러치 팩에 가해지는 예압력 및 피니언 기어와 사이드 기어의 합력이 다판 클러치의 클램핑력(clamping load)을 변화시키게 된다. 이러한 클램핑력의 변화에 따른 다판 클러치의 마찰력 변화가 양 차륜의 구동력을 분배하게 되어 차동제한이 발생하게 된다<sup>1)</sup>. 따라서 차동제한장치의 경우 목표하는 성능을 달성하기 위해서는 차동 제한력을 변화시키는 것이 가장 중요한 설계요소로 작용하며, 이러한 차동 제한력의 결정 요소는 아래와 같이 마찰 플레이트에 대한 설계인자로 한정지을 수 있게 된다. 특히, TBR(torque bias ratio)의 경우 네 가지 주요 설계인자에 따라 차동제한장치의 종합적인 성능을 판단할 수 있는 핵심 설계 및 평가인자이다.

- 코일 스프링 예압력 크기
- 다판 클러치 플레이트 수량
- 다판 클러치 플레이트 접촉 면적
- 다판 클러치 플레이트 마찰계수
- TBR(torque bias ratio)

## 3. 실차주행 평가

### 3.1. 계측시스템 구성 및 시험모드

차동제한장치가 장착된 차량의 경우 직진 주행 시에는 일반적인 차동장치와 동일한 작동상태를 유지하지만, 차동제한이 발생되는 상황에서는 양 구동축에 서로 다른 토크 분배비가 형성되어진다. 이러한 차동제한장치의 주행특성을 모사하기 위하여

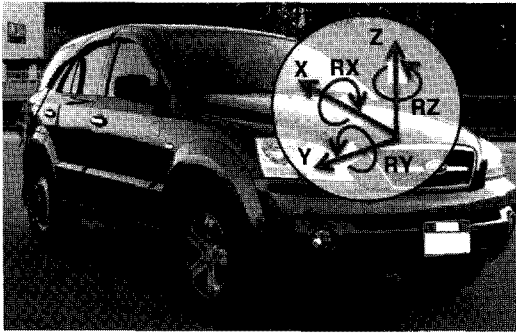


Fig. 2. Set up of wheel force transducer(rear wheel) and measurement coordinate.

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 K社 대형 SUV 차량의 구동축에 구동토크 측정이 가능한 MTS社 휠 6분력계를 장착하여 실차 주행평가를 수행하였다. 휠 6분력계의 경우 각 구동축에서 3축으로의 하중과 토크측정이 가능하지만, 본 연구에서는 Fig. 2의 Y축 방향으로의 하중과 토크에 주요한 관심을 두고 평가를 수행하였다. 또한 차량 구동 RPM은 차량 ECU(electric control unit) 신호를 이용하여 측정하였으며, 각 측정신호들은 6,400Hz로 샘플링하여 충분한 주파수 밴드영역을 확보하였다. 이외에 각 신호들은 LMS社 테스트 랩(test.lab)을 이용하여 상호 동기화된 신호를 입력받아 분석을 수행하였다.

실차 주행평가에 대한 시험모드는 실제 주행 시, 차동제한이 발생하는 극한 운전조건을 모사하기 위하여 Table 1과 같이 시험모드를 구성하였다.

첫 번째 시험모드는 20m 반경의 선회주행 시험 모드이며, 두 번째 시험모드는 스피리트 뮤(split  $\mu$ ) 주행시험모드<sup>8)</sup>로서 차량의 좌측 전/후 차륜은 젖은 상태의 매끄러운 노면을 주행하고 반대쪽 전/후 차륜은 일반 아스팔트 노면을 주행하는 시험모드이다. 선회주행 시에는 양 차륜의 차동비가 발생되기 때문에 인위적인 차동제한이 발생하는 경우이며, 스피리트 뮤 주행 시에는 차량이 빙판길 등에 접한 경우를 모사한 경우로서, 낮은 마찰계수를 갖는 노면의 구동축으로 구동력이 전이되어 타이어 슬립 현상이 발생하는 주행상태를 모사한 경우이다. 본

Table 1. Test methods for vehicle road test

| No. | Items               | Test method   |
|-----|---------------------|---|
| 1   | Circular driving    | - 30 and 40KPH constant speed driving at R20<br>- Gear : 2, 3 and 4 speed   |
| 2   | Split $\mu$ driving | - 40KPH constant speed driving $\rightarrow$ sudden stop $\rightarrow$ WOT(wide open throttle) driving<br>- Gear : D mode |

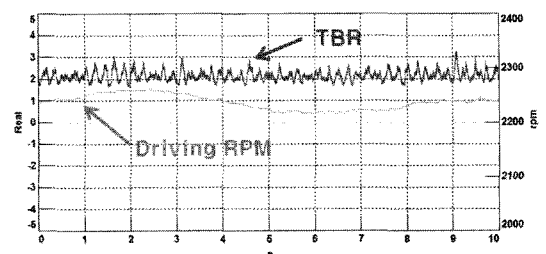
연구에서 차량의 좌측 차륜은 ABS(anti-lock brake system) 노면에 물을 살수시켜 낮은 마찰계수를 갖는 노면을 주행하고, 반대쪽 차륜은 일반 아스팔트 노면을 주행하여 서로 다른 마찰계수의 노면을 주행하도록 시험모드를 구성하였다.

### 3.2. 실차주행 평가결과

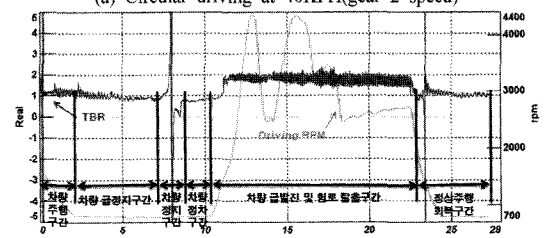
Fig. 3은 Table 1의 시험모드 중, 대표적인 주행 모드에 대한 시험결과를 도시한 것이다. 도시된 시험결과는 식 (1)을 이용한 데이터 후처리를 통하여 계산되어진 TBR 값을 나타낸 것이다.

$$TBR = \text{MAX} \left( \frac{\text{Axle Torque Left}}{\text{Axle Torque Right}}, \frac{\text{Axle Torque Right}}{\text{Axle Torque Left}} \right) \quad (1)$$

선회주행 시험결과에서 TBR은 약 2:1의 토크 분배가 발생되고 있음을 알 수 있다. 이는 차량이 선회주행 시, 좌/우 구동축에 차동이 발생되고 이에 따라 차동제한장치에 의해 좌/우 구동축으로 토크를 재분배하여 차량의 주행안정성을 높이고 있음을 의미한다. 일반적인 차동장치에서는 선회주행 시, 구동토크가 좌/우축이 동일하게 발생하는 현상과 가장 큰 차이를 나타내는 부분이다. 또한 스피리트 뮤 주행 결과에서는 차량이 직진 주행 시에는 1:1의 TBR 분포를 발생시키고 있지만, 차량 정지이후 급발진 시, 약 1.75:1의 토크 분배비를 통하여 험로를 탈출하고, 이후 일반 노면 진입 시에는 다시 1:1의 TBR 분포가 발생되고 있음을 확인할 수 있다.



(a) Circular driving at 40KPH(gear 2 speed)



(b) Split  $\mu$  driving at gear D mode

Fig. 3. Result of road vehicle test.

특히, 차량 구동 회전수가 4,000RPM 이상에서 발생되어지고 있기 때문에, 차동제한장치가 없는 차량의 경우, 주행 안정성에 큰 문제를 발생시킬 수 있음을 예측할 수 있다. 이러한 극한 운전조건에서의 실차주행 평가를 통하여 차동제한장치는 1:1~2:1 이상의 토크분배비가 발생되어야 차량의 주행 안정성을 향상 시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 마찰 플레이트 주요 설계인자 분석

##### 4.1. 마찰 플레이트 최대 전달 토크량 분석

본 연구에 적용되어진 벤치마킹 제품의 마찰 플레이트는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 스틸재질 표면에 카본 복합소재를 부착한 형태로, 실제 접촉면은 카본 복합소재의 면적부분으로 구성된다. 이러한 접촉면에 의한 단면 최대 전달토크는 마찰 플레이트의 미소면적에 작용하는 마찰력에 대하여 원주방향으로 면적분을 통하여 계산할 수 있으며, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다<sup>9)</sup>. 여기서  $\mu$ 는 동마찰계수를 의미하며,  $P_a$ 는 예압력,  $D$ 는 접촉면 외경 및  $d$ 는 접촉면 내경을 의미한다.

$$T_s = \mu P_a \int_0^{2\pi} \int_{\frac{d}{2}}^{\frac{D}{2}} r^2 dr d\theta \quad (2)$$

$$= \frac{\pi \times \mu \times P_a}{12} (D^3 - d^3)$$

또한 각각의 입력변수의 제원은 마찰 플레이트에 대한 실측과 예압 스프링에 대한 하중변위 실측곡선을 통하여 얻어졌으며,  $\mu=0.3$ ,  $D=0.09m$ ,  $d=0.07m$  및  $P_a=555,296N/m^2$ 를 적용하였다. 벤치마킹 제품에 대한 각각의 제원을 입력할 경우, 마찰 플레이트 단면 최대 토크 전달량은  $16.8N \cdot m$ 임을 알 수 있다. Fig. 5는 벤치마킹 제품의 단면 최대 토크 전달량을 기준으로 내경 및 예압력의 변화에 따른 마찰 플레이트 전달 토크량의 변화를 예측한 결과이다. 일반적으로 습식상태에서 기계적 동마찰계수 변화는 한계를 갖기 때문에 다판 클러치방식의 차동제한장치에서 마찰 플레이트의 토크 전달량을 증가시키기 위해서는 Fig. 5에 도시한 결과와 같이 내경의 감소와 예압 스프링의 강성을 높이는 방법을 통하여 토크 전달량을 증가시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 본 연구에 적용된 벤치마킹 제품의 경우도 마찰 플레이트의 형상규격에 대한 설계사양 변경 없이, 기준 토크 전달량 대비 약 50%

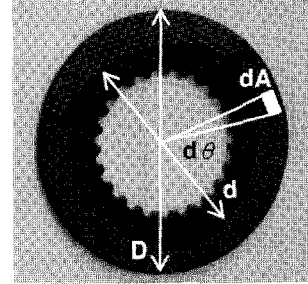
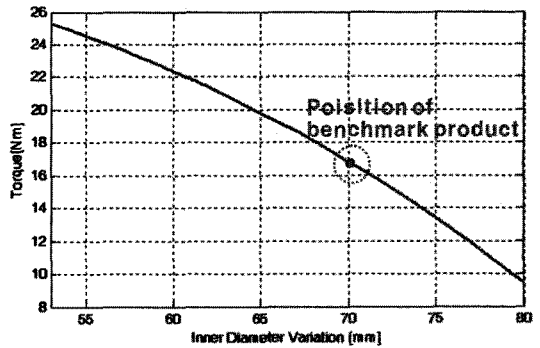
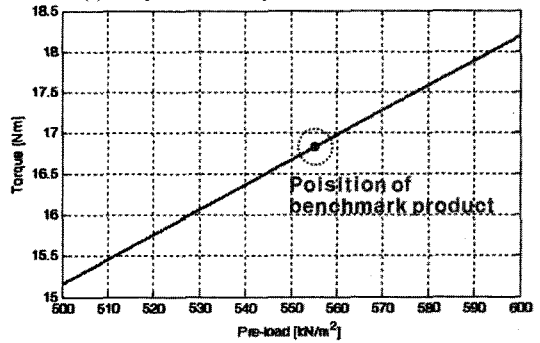


Fig. 4. Friction plate of benchmark product.



(a) Torque variation by inner diameter control



(b) Torque variation by pre-load control

Fig. 5. Analytical result by design parameters.

이상 증가 또는 감소시킬 수 있을 것으로 예측되어진다.

##### 4.2. 차동제한장치 TBR 분석

Fig. 6은 차동제한장치가 작동할 경우에 발생하는 토크의 변동량을 도식적으로 나타낸 것으로서, 디퍼렌셜 케이스의 전토크  $T$ 가 좌/우륜의 구동토크로 차등 분배되는 상태를 나타낸 것이다. 여기서 우측 구동토크  $T_r$ 의 비례상수로 작용하는  $B$ 가 TBR을 나타내며, 식 (3)과 같이 간략하게 나타낼 수 있게 된다<sup>10)</sup>. 여기서,  $K_c$ 는 단편축 클러치 팩 토크 전달량 계산을 위한 상수값을 나타내며,  $K_s$ 는 사이드

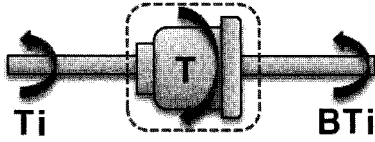


Fig. 6. Schematic diagram for TBR.

기어 축방향 하중계산을 위한 상수값이다. 이외에  $F_s$ 는 클러치 팩에 작용하는 코일 스프링의 예압력을 나타내고,  $T$ 는 차량의 디퍼렌셜 케이스에 작용하는 입력 토크값을 의미하게 된다.

$$R_{(TBR)} = \frac{2}{1 - K_c \times K_g - \frac{2 \times K_c \times F_s}{T}} - 1 \quad (3)$$

여기서  $K_c$  및  $K_g$ 는 아래의 식 (4) 및 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$K_c = \frac{1}{3} \times \mu \times N \times \left( \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right) \quad (4)$$

$$K_g = \frac{2 \times \tan \theta \times \sin \alpha}{D_g} \quad (5)$$

Fig. 7은 식 (3)을 이용하여 벤치마킹 제품의 파라미터를 적용한 TBR 시뮬레이션 결과이다. 본 연구에 적용되어진 마찰 플레이트 클러치 팩은 입력 토크에 따라 발생 가능한 TBR이 약 2:1 수준을 나타내고 있음을 알 수 있다. 일반적인 차동장치의 경우는 Fig. 7에 임의적으로 표시한 바와 같이 주행특성에 상관없이 항상 1:1의 TBR을 갖게 된다. 벤치마킹 제품에 대하여 본 시뮬레이션을 통하여 도출된 TBR 값은 Fig. 3에 나타난 실차 선회주행 평가 시 발생된 TBR과 동일한 결과를 나타내고 있

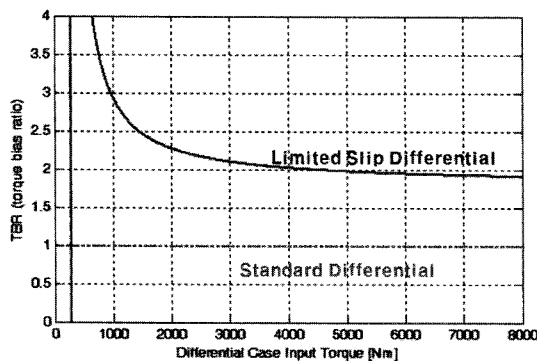


Fig. 7. Result of TBR simulation for benchmark product.

Table 2. Result of contact & shear stress calculation

| No. | Items                 | Calculation Result |
|-----|-----------------------|--------------------|
| 1   | Operating load, $P$   | 837N               |
| 2   | Contact stress, $P_m$ | 9.07MPa            |
| 3   | Shear stress, $\tau$  | 12.6MPa            |

음을 확인할 수 있다. 본 결과를 통하여 향후 클러치 팩 개발 시, 마찰플레이트 설계사양에 따른 토크분배 성능을 사전에 검토해볼 수 있을 것으로 사료된다.

### 4.3. 마찰 플레이트 스플라인 설계인자 분석

차동제한장치에 적용되는 마찰 플레이트는 사이드기어와 스플라인 형태로 결합이 이루어지게 된다. 이에 따라, 마찰 플레이트 스플라인부의 허용면압력 및 전단응력은 클러치 팩 설계 시, 중요한 기계요소설계인자로 작용할 수 있다. 따라서 이에 대한 충분한 사전검토를 통하여 설계사양을 결정해야만 한다. 식 (6)과 (7)은 본 연구에 적용되어진 벤치마킹 제품의 스플라인에 대한 허용면압력과 전단응력 계산을 위한 기계요소설계식<sup>11)</sup>을 나타낸 것이며, Table 2는 이에 대한 계산 결과를 나타낸 것이다. 여기서  $Z_n$ 는 스플라인 이수,  $h$ 는 스플라인 이높이,  $C$ 는 잇면 모따기 계수 그리고  $l$ 은 보스 축방향 길이를 나타낸다. 또한 축하중  $P$ 는 식 (8)과 같이 마찰 플레이트에 작용하는 최대 마찰력을 계산하여 적용하였다.

$$P_m = \frac{P}{Z_n(h-2C) \times l} \quad (6)$$

$$\tau = \frac{P}{23 \times b \times l} \quad (7)$$

$$P = \frac{\mu \times \pi \times P_a}{4} (D^2 - d^2) \times 2 \quad (8)$$

계산결과를 통하여 허용면압 또는 전단응력은 마찰 플레이트에 작용하는 최대 마찰력과 비례관계를 갖기 때문에 마찰 플레이트의 적용 재질에 따라 마찰 면적 혹은 예압력 변화를 통하여 설계 안정성에 있어서 최적점 선정이 이루어져야함을 알 수 있다.

## 5. 차동제한장치 동역학 해석

### 5.1. 차동제한장치 동역학 해석모델 구성

Table 3. Model construction of dynamics model

| No. | Items                | Quantity |
|-----|----------------------|----------|
| 1   | Gruebler Count (DOF) | 18       |
| 2   | Moving Parts         | 24       |
| 3   | Revolute Joints      | 5        |
| 4   | Translational Joints | 14       |
| 5   | Fixed Joints         | 5        |

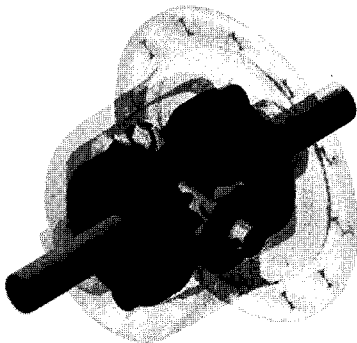


Fig. 8. Dynamics model for LSD.

본 연구에서는 차동제한장치 모듈에 대한 동역학적 해석을 위하여 MSC社의 아담스(ADAMS) 상용 프로그램을 통하여 동역학적 해석모델을 구성하였다. 동역학 해석의 대상은 차동제한장치 단품 모듈로 국한시켰으며, 해석모델의 구성은 벤치마킹 제품에 대한 스캐닝작업을 통하여 3D 형상모델을 우선적으로 구성한 후, 강제 단품 모델은 재료물성치를 부가하고, 유연체 단품 모델은 유한요소 모델 및 정규모드 해석결과를 이용하여 구성하였다. 또한 각 단품모델에 대하여 강제 단품 모델과 유연체 모델 사이의 구속조건, 접촉요소 및 연결 힘 등을 정의하여 최종적인 동역학적 해석모델을 구성하여 해석을 수행하였다. Table 3은 벤치마킹 제품에 적용된 구속조건을 나타낸 것이며, Fig. 8은 구성된 해석모델을 나타낸 것이다.

### 5.2. 차동제한장치 동역학 해석결과

본 연구를 위해 구성되었던 동역학 해석모델은 전 차량모델이 아닌 차동제한장치 단품모델이기 때문에 동역학 해석은 디퍼렌셜 케이스에 속도입력을 통하여 해석이 이루어졌다. 속도입력에 대한 조건은 기어 1단에서 종감속비를 거쳐 디퍼렌셜 케이스에 입력토크가 가장 크게 발생되는 값을 선정하여, 속도입력은 16.4rad/s, 토크입력은 5,125N·m를 입력 하였다. 또한 좌/우측 구동샤프트에 차동현상을 발생시키기 위하여 강제 반력토크를 좌편에

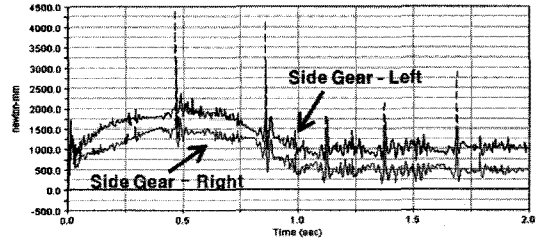


Fig. 9. Result of dynamic analysis for TBR.

1,000N·mm, 우편에 500N·mm를 입력한 후, 사이드 기어부에 작용하는 토크를 계산하여 전체적인 차동제한장치의 TBR을 분석하였다. Fig. 9는 동역학해석을 통하여 계산되어진 사이드 기어부에 작용하는 토크선도를 도시한 결과이다. Fig. 9에서 좌측 및 우측 구동축으로 발생하는 토크는 디퍼렌셜 케이스가 입력조건에 의하여 회전하는 과도응답 및 정상상태 응답구간에서 모두 약 2:1의 비율을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이는 Fig. 3에 나타난 실차 선회주행에서 발생된 TBR 및 Fig. 7의 입력토크 5,000N·m 부근에서 발생하는 TBR 시뮬레이션 결과와 동일한 값을 나타내고 있다. 이는 현재 구성되어진 동역학적 해석모델의 신뢰성이 충분히 확보되었음을 의미한다. 향후 본 연구를 통하여 구성되어진 동역학적 해석모델 구성 및 해석방안을 기반으로 다관 클러치방식의 차동제한장치 개발에 다양하게 활용이 가능할 것으로 사료되어진다.

### 6. 결론

본 연구에서는 다관 클러치방식의 차동제한장치 벤치마킹 제품을 대상으로 실차주행평가, 동역학 해석 등을 이용하여 차동제한장치의 핵심 부품인 마찰 플레이트에 대한 주요 설계인자 검토가 이루어졌으며, 다음과 같이 연구결과를 요약할 수 있다.

- 1) 차동제한장치 장착 차량에 대한 실차주행 평가 모드 정립 및 대상 차량 TBR 성능변수 검증
- 2) 마찰 플레이트 단면 전달토크 관련 내/외경 상 관성 시뮬레이션 기법 정립
- 3) 차동제한장치의 수학적 모델링을 통한 TBR 시뮬레이션 기법 정립
- 4) 차동제한장치 동역학적 해석모델 구성 및 TBR 시뮬레이션 기법 정립

상기의 연구결과를 토대로 향후 다관 클러치방

식의 차동제한장치 개발 시, 본 연구결과를 통하여 보다 체계적인 개발이 가능할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- 1) 권영일, 구영덕, 배상진, “차동제한장치”, 한국과학기술정보연구원 심층정보분석보고서, pp. 4~20, 2002.
- 2) Damrogrit Piyabongkarn, Jae Lew, John Grogg and Robert Kyle, “Stability-Enhanced Traction and Yaw Control using Electronic Limited Slip Differential”, SAE 2006-01-1016, 2006.
- 3) Par Marklund, Rikard Maki, Roland Larsson, Erik Hoglund, M. M. Khonsari and Joonyoung Jang, “Thermal Influence on Torque Transfer of Wet Clutches in Limited Slip Differential Application”, Tribology International Vol. 40, pp. 876~884, 2007.
- 4) John Park and William J. Kroppe, “Dana Torque Vectoring Differential Dynamic Trak™”, SAE 2004-01-2053, 2004.
- 5) Z. Jaskiewicz and K. Popielnicki, “Comparison Analysis of Cone Spin-Resistant Differentials in Automotive Vehicles”, SAE 841194, 1984.
- 6) 최창환, 허용, 김형익, 석창성, “압력발생장치를 이용한 유압식 차동제한장치에 관한 연구”, 한국정밀공학회 2006년 춘계학술대회논문집, 2006.
- 7) 편영식, 박정현, 김호태, 이영춘, 김훈, 박병수, 이상훈, “CAE를 응용한 LSD 설계”, 한국자동차공학회 2005년 심포지움(자동차 구조 안전 및 CAE), pp. 168~174, 2005.
- 8) ISO 14512 Standard, “Passenger cars - straight - ahead braking on surfaces with split coefficient of friction-open loop test method”.
- 9) Richard Stone and Jeffrey K. Ball, “Automotive Engineering Fundamentals”, SAE International, pp. 235~242, 2004.
- 10) Ronald H. Haas and Richard C. Manwaring, “Development of a Limited Slip Differential”, SAE 710610, 1971.
- 11) 홍장표, “기계설계-이론과 실제”, 북스힐, pp. 468~472, 2001.