

유압식 차동제한장치에 관한 연구

허용*(성균관대 대학원 기계공학과), 김형익(성균관대 대학원 기계설계학과),
배봉국(성균관대 기계공학부), 석창성(성균관대 기계공학부)

A study on the hydraulic limited slip differential system

Y. Huh(Mech. Eng. Dept., SKKU), H. I. Kim(Mech. Design. Dept., SKKU)
B. K. Bae(Mech. Eng. Dept., SKKU), C. S. Seok(Mech. Eng. Dept., SKKU)

ABSTRACT

The limited slip differential(LSD) is a device which enables the driving force to be transmitted from one slipping wheel to another wheel in such case that the car is stuck in clay or snow. When the unwanted slipping occurs on one wheel, the LSD temporarily restrains the differential motion to transmit the driving force in the other wheel. So far, many types of LSD were developed such as mechanical lock type, disk clutch type, viscous coupling type, torsion type and multiple clutch type. However these types of LSD is too complicated and expensive, so it is used only for 4WD outdoor vehicles, military vehicles, and a portion of deluxe car. So, many studies has been devoted to improve new types of LSD to cover those demerits of existing LSDs that the hydraulic LSD is developed as arepresentative result of that. The hydraulic LSD which uses the principle of gear pump is packed with viscous oil in tight container. When a slip occurs on one wheel, the hydraulic LSD generates torque caused by high oil pressure in the container. This study has been devoted to suggest an improved hydraulic LSD. In order to achieve it, we designed a new type of hydraulic LSD, produced it and did a rig test with it on real vehicle. From the rig test, it has been confirmed that the new type of hydraulic LSD can be directly applied to exiting vehicles without changing the design criteria

Key Words : Differential gearing device(차동장치), Side pinion gear(사이드 피니언 기어), Differential pinion gear(차동 피니언 기어), driving force(구동력), limited slip differential(차동제한장치), Hydraulic limited slip differentials(유압식 차동제한장치)

1. 서론

차동장치(differential gearing device)는 자동차의 필수 부품으로서, 동력전달 축으로 들어오는 동력을 양쪽 바퀴 축에 분배해 주며, 두 축 사이의 속도 차이가 있어야 할 때는 자동적으로 회전차이를 보정해주는 장치이다.¹⁻²

자동차의 변속기와 구동바퀴 사이에 설치되어 있는 이러한 차동장치는 양쪽 구동바퀴에 항상 균일한 토크(torque)를 전달해야 하는데, 만약 양쪽 바퀴에 구동력 차이가 있을 때는 작은 쪽의 구동력을 기준

으로 토크 전달이 일어나도록 되어 있다. 따라서 한 쪽 바퀴가 진흙이나 눈길에 빠져 슬립(slip)이 일어나면 다른 쪽 바퀴도 진흙에 빠진 바퀴와 토크가 같아져서, 결과적으로 양쪽 바퀴 모두 구동력이 없기 때문에 차가 움직이지 못하게 된다. 이와 같은 차동장치의 단점을 보완한 것이 차동제한장치(limited slip differential, LSD)인데, 이것은 한쪽 바퀴에서 진흙에 빠진 것처럼 슬립이 발생하면 차동 기능을 일시적으로 제한해서 다른 쪽 바퀴에 구동력이 전달될 수 있게 한 것이다. 따라서 차동제한장치가 설치된 자동차는 한쪽 바퀴가 진흙이나 모래밭 등과 같이 마찰

이 적은 곳에 빠졌을 때도 쉽게 빠져나올 수 있게 된다.³⁻⁵

현재 이러한 차동제한장치는 대부분 구조가 복잡하고 고가이기 때문에 4륜구동 방식의 차량, 군용차, 상용차 및 일부 고급차량에만 적용되고 있으며, 특히 국내에서는 아직까지 이에 대한 기술 자립도가 거의 없는 실정이다.⁶ 지금까지 개발되어 있는 차동제한장치는 기계식 록 방식, 마찰클러치 방식, 비스커스 커플링 방식, 토오센 방식, 다판클러치 방식 등이 있는데, 한쪽 바퀴에서 슬립으로 인한 기어의 공회전이 발생하면 기계식, 유체식, 전자식 등의 방법으로 다른 쪽 바퀴의 구동축에 토크를 발생시키는 방식으로서 대부분 일본, 미국의 자동차 메이커 및 전문 부품업체에서 특허를 보유하고 있다.⁷ 이에 따라 본 저자 등은⁸ 기존의 차동제한장치와 원리가 다른 유압식 차동제한장치의 개발을 시도하고 있다. 유압식 차동제한장치는 기어펌프의 원리를 차동장치에 응용한 것으로 차동기어를 점성 오일과 함께 밀폐하여 한쪽 바퀴의 슬립 시 밀폐부 내에서 높은 오일 압력이 발생하여 차동을 제한함으로써 다른 쪽 바퀴의 구동축에 토크를 발생시키는 원리이다.

본 논문에서는 유압식 차동제한장치를 설계하여 제작하고 토크 테스트를 통한 성능을 평가하여 실제 차량에의 적용 가능성에 대해 알아보았다.

2. 유압식 차동제한장치의 작동원리

일반적인 차동장치에는 2개의 사이드 피니언 기어와 2개의 차동 피니언 기어가 서로 맞물려 회전하도록 되어있다. 본 연구에서 제안하는 유압식 차동제한장치는 여기에 기어가 회전하는데 필요한 공간을 제외한 모든 부분을 밀폐할 수 있는 밀폐부를 추가하고 케이스 또한 오일의 누유를 방지하기 위해 밀폐시킨 것이다. 피니언 기어들이 회전을 할 수 있는 공간을 제외한 모든 부분은 밀폐되어 있으며, 기어의 이(齒) 사이의 공간에는 점도 높은 오일이 충전된다.

사이드 피니언 기어와 결합되어 있는 양쪽 바퀴의 구동축 중 어느 하나의 구동축 바퀴에 마찰력의 차이가 발생될 경우에 차동제한장치 내부의 사이드 피니언 기어가 회전하게 된다. 이 때 사이드 피니언 기어와 차동 피니언 기어의 이(齒)가 맞물려 들어가는 부분에서는 압력이 크게 발생되고, 맞물려 나오는 부분에서는 낮은 압력이 발생되어 압력이 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 틈새의 공간을 따라 오일이 흐르게 된다. 차동 피니언 기어의 회전속도가 느릴 경우에는 오일의 압력이 크게 발생되지 않지만, 차동이 크게 발생되어 차동 피니언 기어의 회전속도가

빨라질수록 압력이 커지게 된다.

따라서, 이때에 발생하는 오일의 압력에 의해 사이드 피니언 기어의 회전이 제한을 받게 되며, 사이드 피니언 기어의 제한된 회전수 만큼의 동력은 결국 회전 저항이 큰 다른쪽 바퀴의 구동축에 전달된다. 따라서 자동차가 모래밭, 진흙탕 등에 한쪽 구동축이 빠져 슬립이 일어날 때 이렇게 전달된 동력에 의하여 쉽게 빠져 나올 수 있게 된다. Fig. 1은 유압식 차동제한장치의 전체적 구성을 나타낸 것이다.

3. 유압식 차동제한장치의 제작

기존의 차동기어를 이용하여 유압으로 차동기능을 제한할 수 있는 장치를 개발하기 위하여 D사의 P 모델 차량의 차동장치를 대상으로 케이스 및 기어의 규격과 치수, 형상을 조사하여 이를 개조한 차동제한장치의 케이스와 기어고정부를 설계하였다. 외부 케이스는 기존 차동장치의 규격과 치수, 형상을 고려하여 기존의 차량에 설계변경 없이 적용할 수 있도록 하였다. 외부 케이스를 밀폐형이 되도록 Fig. 2와 같이 하부 케이스와 상부 케이스를 8개의 볼트로 체결하여 누유를 방지할 수 있도록 설계하였다.

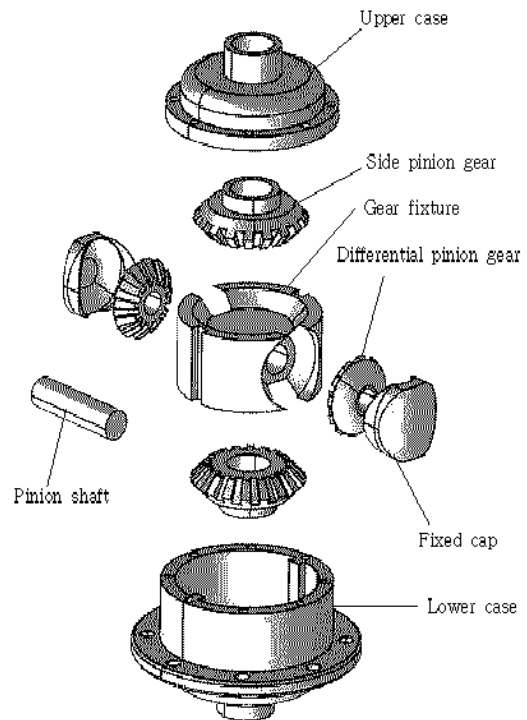


Fig. 1 The configuration of LSD

케이스 내측에 위치한 기어고정부는 기존 차동장치의 사이드 피니언 기어와 차동 피니언 기어가 밀폐형 케이스 내에서 기어펌프 형식으로 작동하도록 기어의 간극을 유지할 수 있게 하고, 또한 기어의 회전력에 의해 이탈하지 못하도록 고정캡을 적용하여 설계하였다.

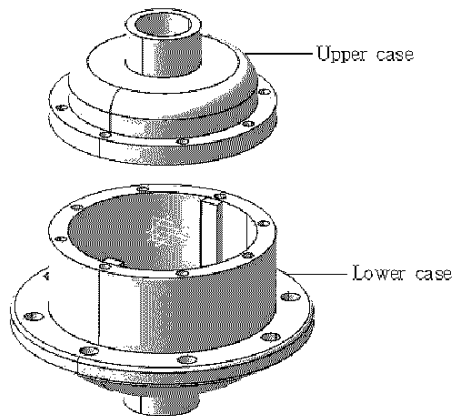


Fig. 2 Case of LSD

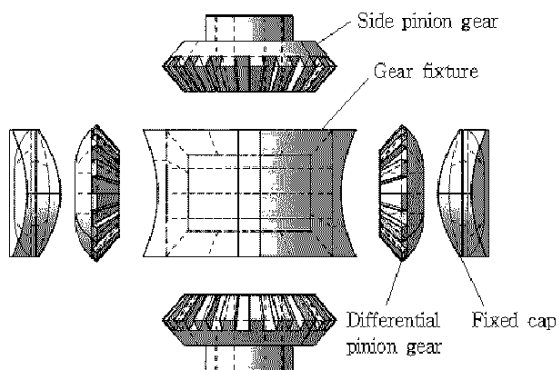


Fig. 3 LSD unit with gear fixture

기어고정부에 차동기어가 조립되는 측면도를 Fig. 3에 나타내었고, 기어고정부에 차동기어와 고정캡이 조립되는 형상을 Fig. 4에 나타내었다.

밀폐형 케이스와 내측의 기어고정부를 제작하였고, 기어 고정부에서 차동 피니언 기어를 지지하는 차동 피니언 축은 기존 차동장치의 차동 피니언 축의 길이를 축소하여 사용하였다. 또한, 기어고정부와 외부 밀폐 케이스 사이에 편을 삽입하여 기어고정부가 밀폐형 케이스 내에서 자전하는 것을 방지하였다.

Fig. 5에는 제작한 기어고정부를 나타내었으며, Fig. 6에는 본 연구에서 제작한 유압식 차동제한장치의 전체 부품을 나타내었다.

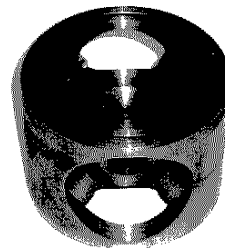


Fig. 5 Gear fixture

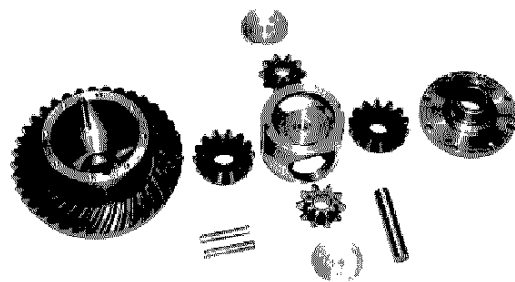


Fig. 6 The whole parts of LSD

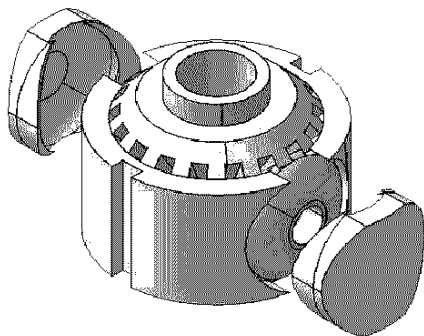


Fig. 4 Assembly of gear fixture

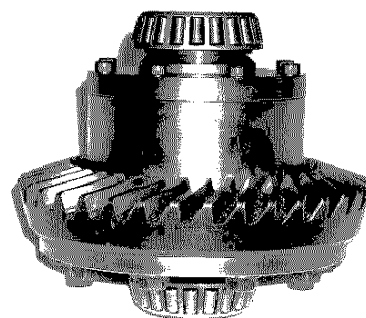


Fig. 7 Hydraulic LSD

Fig. 7에는 점성오일을 충전하여 조립한 유압식 차동제한장치를 나타내었다.

기어고정부에 차동기어와 고정캡을 조립하고 밀폐형 케이스에 기어고정부를 고정시킨 후 기어고정부와 밀폐형 케이스 사이에 편을 삽입하고 고점성의 오일을 충전하였다.

사용된 압력 발생용 점성오일은 시중에 판매되는 오일 중 가장 점도가 높은 실리콘 오일인 일본 Shin Etsu사의 KF96으로 오일의 동점도(coefficient of kinematic viscosity)는 1,000,000 CS(centi stoke)이다.

4. 토크 측정시험

차동제한장치의 성능에 대한 시험을 수행하기 위하여 실제 후륜구동 차량과 동일한 조건의 동력전달 계통인 엔진, 변속기, 드라이버 샤프트, 종감속기어, 차동장치, 구동축으로 이루어진 시험장치를 구성하였다. Fig. 8에는 시험장치의 전체적인 구성을 나타내었다.

양쪽의 구동축에는 다양한 노면 마찰조건을 줄 수 있도록 브레이크를 설치하고 볼트를 이용하여 볼트의 체결력으로서 디스크의 회전을 제어하여 마찰조건을 조정할 수 있도록 하고, 타코메타를 설치하여 구동 시 구동축의 회전수의 비율로서 마찰조건을 정하였다. 한편에는 로드셀을 장착하여 차동 발생 시 차동제한장치에 의한 차동제한력을 측정할 수 있도록 하였다. Fig. 9와 Fig. 10에는 제작한 시험장치를 나타내었다.

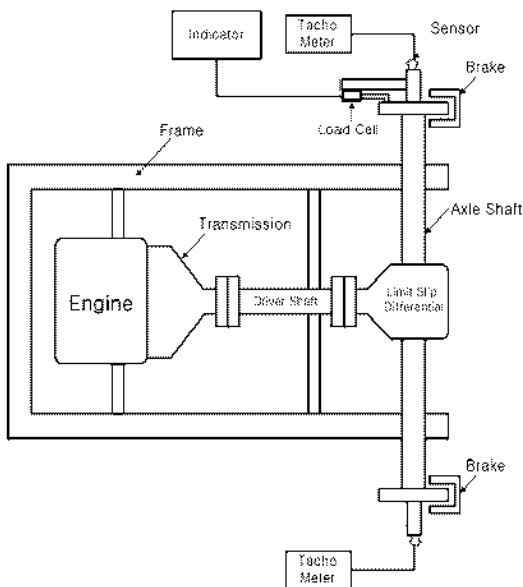


Fig. 8 Schematic diagram of LSD test bed



Fig. 9 LSD test bed

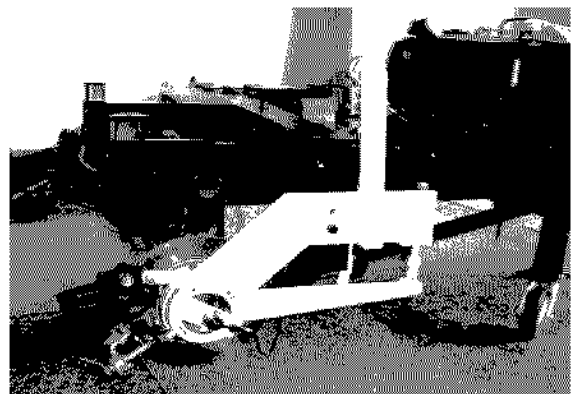


Fig. 10 Part of torque measurement

5. 시험결과 및 고찰

유압식 차동제한장치에서 슬립으로 인해 차동이 일어날 때, 차동기어의 회전속도가 증가함에 따라 유압으로 인한 비슬립부의 구동력이 증가하므로 시험장치에서 슬립조건을 정하고 엔진 회전수에 따른 구동력을 측정하였다. 변속기 상태는 1단으로 하였고, 측정범위 0~5000N인 로드셀을 바퀴 축으로부터 230mm 떨어진 지점에 부착하여 슬립조건과 엔진 회전수의 변화에 따른 구동력을 측정하였다.

측정한 구동력을 토크로 환산하여 Table 1에 나타내었다. 표에서 100% 슬립이 발생할 때 137에서 234N-m의 차동제한 토크가 발생하였고, 50% 슬립이 발생할 때 182에서 319N-m의 차동제한 토크가 발생하였다. 이를 그래프로 나타내면 Fig. 11과 같으며, 여기에서 엔진 회전수가 증가할수록 구동력이 증가되는 것을 볼 수 있다. Fig 12에는 증가되는 구동력에 대한 차동제한 토크를 나타내었다. 50% 슬립조건일 때의 구동력이 차동제한 토크가 100% 슬립조건일 때보다 크게 나오는 것을 알 수 있고, 100% 슬립조건일 때에는 토크가 선형적으로 증가

Table 1 Experimental result of driving force and torque under different friction conditions

Friction condition [%]	rpm	Load [N]	Torque [N-m]
100	Idle (780)	596	137
	1000	670	154
	1500	721	166
	2000	794	183
	2500	966	222
	3000	1017	234
50	Idle (780)	793	182
	1000	968	223
	1500	1197	275
	2000	1277	294
	2500	1360	313
	3000	1387	319

하나, 50% 슬립조건에서는 비선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.

50%의 슬립조건에서의 구동력이 100% 슬립조건보다 높고, 비선형적으로 증가하는 것은 50% 슬립조건일 때 전달되는 구동력과 차동제한장치에서 발생하는 구동력이 합쳐져서 100% 슬립조건보다 높은 구동력이 발생한 것이다. 또한 일반 엔진의 특징인 rpm 증가에 따른 토크의 비선형적 증가 특징과 차동제한에 의한 선형적인 증가 특징이 혼합되어 나타났기 때문이라고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 유압식 차동제한장치를 제안하였으며, 이를 제작하고 성능실험을 통하여 그 가능성을 검토하였다.

시제품에 대한 실차시험 결과 다양한 슬립조건에서 충분한 구동력이 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 이로써 유압식의 적용 가능성을 확인하였다.

후기

본 연구는 BK21 사업의 지원으로 수행되었습니다.

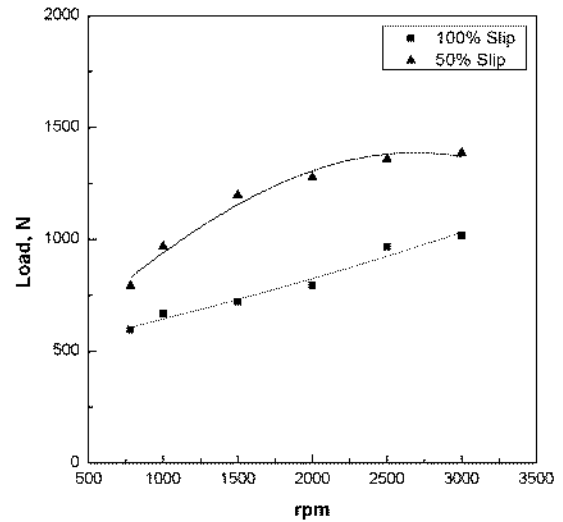


Fig. 11 Comparison of driving force and rpm as friction condition

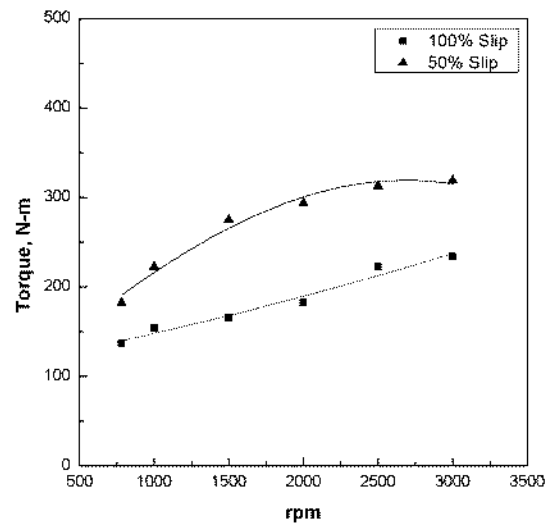


Fig. 12 Comparison of torque and rpm as friction condition

참고문헌

1. M. Kenji, "Differential gear", United States Patent, No.5, 1999.
2. C. G. Lee, S. J. Lee, K. S. Lee, "Differential Gear Model and its Influence on Vehicle Dynamics", Fall Conference Proceeding of Korea Society of Automotive Engineer, Vol. 6, No. 2, pp 21~31, 1994.

3. H. Ina, H. Izumi., T Itoh, Yan, "Developed of a New Limited Slip Differential". T, JSAE review, Vol. 15, No. 4, pp 209, 1994.
4. B. H. Lee, "Limited Slip Differential and Effect of Transfer Torque on Vehicle Dynamics", KIA Technical Report, No.13, pp. 135~142, 1990.
5. R. P. Jarvis, A. J. Young, "A New Form of Limited Slip Differential", SAE transactions No. 6, pp 1069, 1993
6. J. S. Lee, K. H. Kim, H. J. Kim, H. S. Kim, "Analysis of 4WD Viscous Coupling Characteristics at Steady State", Transactions of Korea Society of Automotive Engineer, Vol. 6, No. 2, pp 21~31, 1994.
7. Korea Society of Automotive Engineer, "Handbook of Automotive technology", pp. 240-250, 1996.
8. C. S. Seok, "Differential Gearing Device With Capacity of Limiting Differential", International Patent, No. PCT/KR01/67111, 2001.