

사륜구동 오토바이(ATV)용 차동제한장치(LSD) 개발에 관한 연구

김준안*, 전재억#

A Study on the Development of Limited Slip Differential on All Terrain Vehicle

Jun-An Kim*, Jae-Uhk Jun#

(Received 3 November 2010; received in revised form 16 February 2011; accepted 21 February 2011)

ABSTRACT

ATV(All Terrain Vehicle) has been developed to be used for agricultural fields on unpaved roads but now it is mostly used to transport a short distance and play leisure sports at mountains. Recently, main concerns on the automobile industry is developing not only a car safe, high fuel efficient and friendly related with environment but also two-wheeled vehicles. In order to maintain high fuel efficiency and safety of two-wheeled vehicle, it is essential that ATV should be set up differential gear. But we worried for ATV which had been set up differential gear not to run on unpaved roads. Therefore, it is necessary to develop LSD(Limited Slip Differential) that maintains existing advantages of ATV and ensures ATV to travel safely on roads. Now LSD equipped cars have a complicated structure, so setting up on ATV is unsuitable. Therefore, in this study, we have developed simple, small and well operating LSD.

Key Words : ATV(사륜구동오토바이), Differential gear(차동기어), LSD(차동제한장치), Holder(지지장치), Slip(미끄럼), NSD(차동구속장치)

1. 서 론

ATV(All Terrain Vehicle)는 4륜 오토바이 또는 산악 오토바이라고도 불리며 어떤 험한 길이라도 달릴 수 있다는 의미이고 그 수요가 급속도로 증대되고 있는 추세이다.

현재 대부분의 ATV는 체인을 이용한 동력구동의 형태로써, 후륜의 바퀴를 동시에 구동하여 작동한다. 이러한 방식의 동력배분 시스템은 험로 탈출 등을

위한 비포장도로나 산악용에서는 그 탁월한 성능을 발휘할 수 있다^[1-4]. 그러나 우리나라의 특성상 포장로와 비포장로가 엇갈리게 설치되어 있고 좁은 포장로가 많은 실정에서 회전시의 떨림 발생과 운전 중 갑작스런 위기상황이 발생할 가능성이 높은데, 여기에 대처하기 위한 사용자의 기술 습득이 필요하며, 이에 관련한 연구가 국내에서도 이루어지고 있다.^[5-7] 이에 본 연구에서는 ATV의 가장 큰 장점이자 특징인 험로 탈출능력은 그대로 유지시키면서 모든 운전자들이 특별한 기술 습득 없이도 운행할 수 있는 환경을 만들기 위하여, 자동차와 같이 차동장치를 장착하여 포장도로의 주행 시 회전에 의한 힘의 균

* 경남정보대 기계설계과

교신저자 : 주)리더스

E-mail : jinju66@hanmail.net

형을 자동으로 보정하여 기동성과 안전성을 기존의 자동차수준으로 올리고, 험로 주행에서는 차동장치 사용을 제한하여서 원래대로 힘을 반씩 균등 분할시켜 험로탈출 능력을 그대로 유지시키도록 하는 시스템을 개발하고자 하였다.

이를 토대로 현재 자동차에 적용되고 있는 크고 복잡하고 무거운 형태의 차동제한장치가 아닌 작고 단순하면서도 가벼운 무게로 설계하여 실제 운행 시에도 그 성능을 충분히 발휘할 수 있는 차동제한장치(Limited Slip Differential : LSD)를 설계 개발하였다.

2. 차동제한장치(LSD)

2.1 차동 기어장치

차동 기어장치는 자동차의 좌우 바퀴 회전수 변화를 가능케 하여 요철이 심한 도로 및 선회할 때 무리 없이 원활히 회전하게 하는 장치로서 차동 기어 케이스, 차동 피니언, 차동 피니언 축 및 사이드 기어로 구성되어 있다. 자동차가 평탄한 도로를 직진할 때는 좌우 구동 바퀴의 회전 저항이 동일하기 때문에 차동 기어 전체가 한 덩어리가 되어 회전하게 된다. 선회할 때 안쪽 바퀴는 저항을 느껴 바깥쪽 바퀴보다 회전수가 감소되고, 안쪽 바퀴의 회전수가 감소한 만큼 차동 피니언이 회전하여 바깥쪽 바퀴를 증속시키는 원리로써 Fig. 1에 나타내었다.

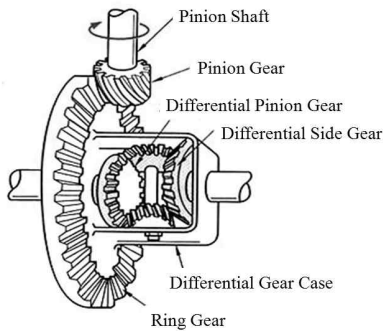


Fig. 1 Structure of differential gear

2.2 ATV에서 차동제한장치(LSD)의 필요성

4륜구동 차에서 3개의 차동장치를 사용한다고

해서 불규칙한 노면에서 그립(grip)력이 확보되는 것은 아니다. 실제 도로에서 차를 코너의 한계까지 운행한다면 미끄러운 노면에서 운행하는 경우에 타이어 미끄러짐은 피할 수 없다.

만일 한쪽의 차륜이 견인력을 잃어버리는 경우 일반적인 차동장치는 거의 대부분의 구동력을 미끄러지는 바퀴로 공급하게 되어 한번 미끄러지기 시작한 바퀴는 더 빠른 속도로 회전하게 되고 구동력을 갖는 바퀴에는 구동 토크가 공급되지 못하게 되어 차륜이 공회전하는 상황에서 벗어나기 어려워진다.

이러한 문제는 4륜구동이든 2륜구동이든 상관없이 발생하게 되는데, 험로 주행이나 급격한 코너링의 필요에 의해 설계되어지는 4륜구동 차량에서 2륜구동의 경우보다 더 중요하게 고려된다. 따라서 4륜구동 차의 경우는 차동제한장치가 필요하게 된다. LSD는 타이어 슬립이 발생하는 경우, 차동장치의 2개 구동축을 고정해 차의 구동력이 한 쪽 바퀴로 집중되는 것을 방지한다.

2.3 차동제한장치(LSD)의 방식

1) 1 WAY type

단방향 LSD는 주로 전륜구동 차량에 사용되는 방식으로 가속 혹은 감속의 상황에서 한쪽 방향으로만 차동제한이 작동한다. 보통 가속 시에만 사용되며, 거꾸로 끼우게 되면 감속 시에 동작하게 된다. 이는 일본차와 국내차의 미션의 위치가 반대인 것을 생각한다면 쉽게 알 수 있다.

단방향 LSD는 주로 드래그 레이스 차량에 적용한다. 가속 시에 한쪽바퀴만 그립력을 잃고 가속력이 떨어지는 것을 방지하기 위함이다. 그리고 감속할 때는 LSD가 전혀 동작하지 않는다.

2) 1.5 WAY type

전륜구동 차량을 기준으로 볼 때 단방향과 비슷하나 가속 시에는 강하게 동작하고, 감속 시에도 약하게 동작한다. 이는 양방향 LSD와 비슷하나 감속 시에는 힘 있게 작용하지 않는다. 보통 서킷에서 많이 쓰인다. 그리고 적당한 감속 시에 차동장치 제어가 필요하다. 서킷에서 감속을 하는 이유는 코너를 돌기 위한 것이다. 코너를 돌면서 브레이킹 시에는 코너 바깥쪽 바퀴에 무게가 많이 실리기

때문에 코너 안쪽은 쉽게 락이 걸려버리곤 한다. 이럴 때 LSD가 한쪽바퀴에 락이 걸리는 것을 어느 정도 방지해 주기 때문에 1.5 way를 선택하는 것이다. 2 way처럼 완전한 양방향 LSD를 쓰게 되면 브레이킹 하면서 코너를 진입할 때 언더스티어가 심하게 발생하기 때문에 2 way는 잘 쓰지 않는다.

3) 2 WAY type

양방향 LSD는 서킷 외의 특별한 목적으로 많이 쓰인다. 일본의 드리프트 데몬스트레이션들이 가장 많이 쓰는 것이 바로 2 way 양방향 제품이다. 후륜 구동의 자동차들은 뒤에 트랙션이 있기 때문에 가속 시에 양쪽바퀴가 같이 움직여 쥐야만 뒷바퀴의 컨트롤이 용이하다.

LSD는 공공도로에서 일반적으로 운행하는 차에 있어서는 크게 필요로 하는 부품은 아니다. 하지만 서킷이나 드리프트, 흙/눈길 운행이 잦은 차 등의 특수한 목적을 갖는 차들에게는 필요한 제품이다. 하지만 LSD는 그 특성상 있을 때와 없을 때 매우 틀리기 때문에 운전자가 꼭 인지하고 있어야 한다.

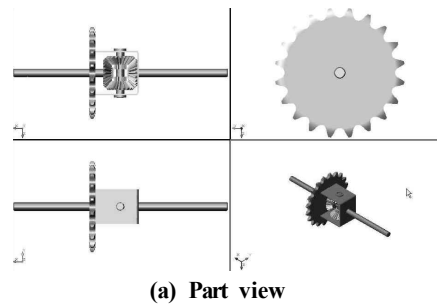
3. 차동제한장치(LSD)의 설계

3.1 LSD의 구상 및 기초설계

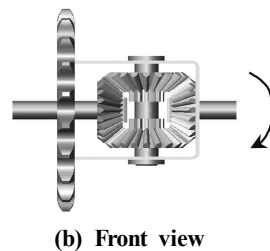
위에 열거한 이론적 배경을 바탕으로 실제 ATV에 적용하기 위하여 ATV의 무게와 체적은 최대한 줄이면서 제 성능을 발휘할 수 있는 형태로 LSD를 설계하였다. 이를 위하여 LSD는 기존의 자동차에 상용으로 이용되고 있는 차동기어의 형태와 기능 및 크기를 최대한 유지하면서, 차동기어의 성능과 차동제한장치의 효과를 최대한 살릴 수 있는 구조로 설계하였다. 그리고 ATV의 특성상 차체의 크기가 작고 기동성을 요구하며 험로 주행을 많이 하는 등의 이유로 인하여 외부에 많은 외란이 발생하므로 여기에 취약한 전기 전자식을 배제하였고, 부피를 최소한 줄이기 위하여 유압식도 배제하여 최대한 기계식의 장점을 살리도록 설계하였다.

Fig. 2의 (a)는 구상된 LSD의 기초설계에서 내부 기어가 조립된 상태의 투상별 형상을 나타내었고, (b)는 조립된 상태의 정면도로 기어의 배치 및 스프로킷과의 관계를 나타내었다. Fig. 2의 (b)는 스프로킷에

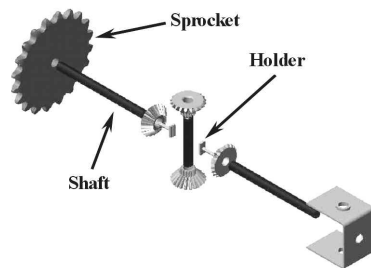
ATV의 엔진과 체인으로 연결되어 있고, 스프로킷에 연결된 기어박스가 같이 회전운동을 한다. 또한 스프로킷에 엔진의 동력이 전달되면 기어박스에 위치한 베벨기어가 차동기어의 원리에 의해서 작동을 하게 되어 두 축에 동력이 전달된다. Fig. 2의 (c)에서 홀더는 동력전달에 의해서 차동기어가 두 축을 회전운동시킬 때 서로 같은 속도로 회전운동이 발생하는 것을 가능하게 할 수 있도록 하는 장치이다. 홀더에 의해서 차동기어의 작동을 제어하게 되면 두 축은 하나의 축과 같은 회전을 하게 되고, 차동기어에서 발생할 수 있는 문제점을 극복할 수 있다. 즉 불규칙한 노면에서의 그립력이 확보되지 못하는 문제나 미끄러짐 등을 만회할 수 있고, 동력이 필요한 험한 지형에서 이를 이용할 수 있게 된다.



(a) Part view



(b) Front view



(c) Principle of LSD

Fig. 2 Initial modeling of LSD

3.2 핀 결합형 LSD의 설계

Fig. 3은 ATV용 LSD의 단면으로 차동기어의 단속과 비단속 상태에 의한 LSD 작동 원리를 나타내었다. Fig. 3(a)는 홀더를 제어하는 축이 내부로 밀려들어와 홀더에 의해서 차동기어가 단속되어 있다. 이 상태에서는 차동기어 역할을 하는 베벨기어는 작동이 되지 않고 좌우 양 축은 하나의 축으로 고정되어져서 일반적인 ATV의 차축과 같은 역할을 한다. 이러한 시스템은 ATV가 차동기어에 의하여 불필요한 회전을 방지하고 강한 힘을 발휘하고자 할 때 사용되어진다.

Fig. 3(b)는 홀더를 제어하는 축이 외부로 밀려나가 있어 홀더에 의한 단속이 이루어지지 않는다. 이 상태에서 베벨기어는 자유로운 작동이 가능하고 코너주행 및 회전시 차체를 안전하게 유지한 상태로 회전이 가능하게 한다.

Fig. 4는 구상 및 기초설계를 바탕으로 하여 실제 ATV에 장착될 수 있도록 설계된 LSD의 모델이다. Fig. 4의 (a)는 LSD 기어박스 내부에 차동기어가 위치한 형상을 나타내고 홀더에 의해서 차동기어가 구속되어 있지 않은 상태의 모델이다. 축의 양쪽에 차동기어를 제어하는 핀은 좌우로 움직이며 동작하도록 설계되어 있다.

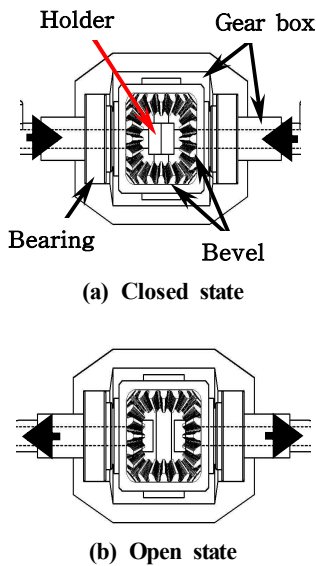
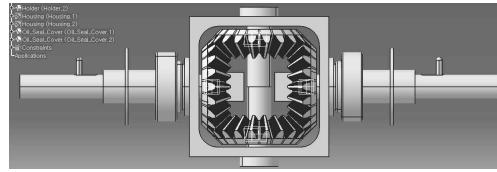
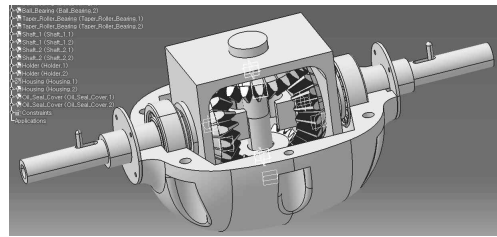


Fig. 3 LSD principle for ATV



(a) Arrangement of inner part



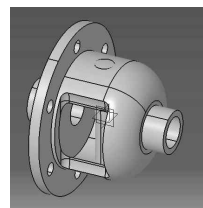
(b) Assembly

Fig. 4 LSD modeling

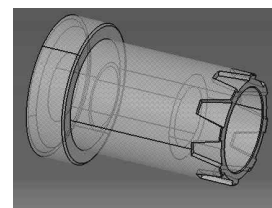
3.3 스플라인 결합형 LSD의 설계

Fig. 5는 LSD의 기초설계를 바탕으로 하여 실제 ATV에 장착될 수 있도록 설계된 LSD의 모델로서 좌우측은 외부에 스플라인 형상을 가지도록 되어 있으며, 스플라인 중심축은 제어 스플라인 홀더에 의해서 고정되어지며, 기어박스 외부측에는 스플라인 가공된 부분이 결합하여 고정 및 풀림을 할 수 있도록 되어있다.

‘Gear housing part’는 NSD(Non Slip Differential gear)의 기어박스 내부에 차동기어가 위치할 수 있는 공간을 형성하고 동시에 사이드 플랜지 부분에 체인 스프라킷이 장착되어 동력전달 역할을 수행한다.



(a) Gear housing part



(b) Outer shaft part

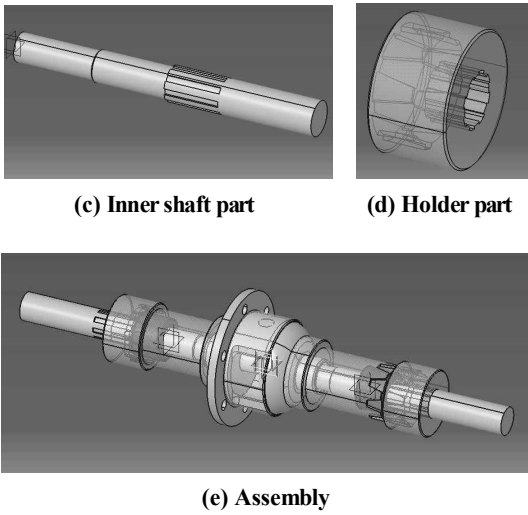


Fig. 5 Trapezoidal spline type LSD modeling

Fig. 5의 (e)는 ATV용 NSD의 단면으로 차동기어의 단속과 비단속 상태에 의한 NSD 작동 원리를 나타내었다. 스플라인 홀더가 좌측은 단속된 상태, 우측은 단속되지 않은 상태로 홀더에 의해서 차동기어가 단속되는 것을 나타내고 있다. 홀더에 의한 단속 상태에서는 차동기어 역할을 하는 베벨기어는 작동이 되지 않고 좌우 양 측은 하나의 축으로 고정되어져서 일반적인 ATV의 차축과 같은 역할을 한다. 이러한 시스템은 강한 힘을 발휘하고자 할 때 사용되어진다.

이에 반해 우측과 같이 스플라인 홀더가 제어하는 축의 외부로 밀려나가 있으면 홀더에 의한 단속이 이루어지지 않는다. 이 상태에서 베벨기어는 자유로이 정상작동 되고 코너주행 및 회전시에 차체를 안전하게 유지한 상태로 회전이 가능하게 하는 차동기어가 된다. 여기서 스플라인 홀더는 설계에 있어 축지름 및 상호작용을 원활히 하는 베어링 등의 부품을 적용 시 최소의 치수로 하였고, 차동기어의 이보다 높은 강도를 유지할 수 있도록 하였다.

3.4 LSD의 해석

본 연구에서 개발하고자하는 LSD는 동력을 전달하는 장치이므로 정상적인 작동을 위하여 기본적인 강도를 가지고 있어야하며 이를 설계에 반영하기 위하여 상용소프트웨어인 DEFORM-3D를 이용하여 기어부분을 해석하였다. 또한, ATV용 LSD의

작동에서 가장 중요한 부분인 차동기어부와 이를 제어하는 스플라인 홀더부의 강도 및 축과의 관계도 확인하였다. 정지된 상태에서 회전력에 따른 응력 및 변형량을 측정하였다. 피치원 직경 70mm, 기어 잇수 20의 모듈 3.5인 네 개의 베벨기어가 맞물려 운동을 하므로 하나의 기어의 해석을 통하여 Fig. 6에서와 같이 확인할 수 있었다.

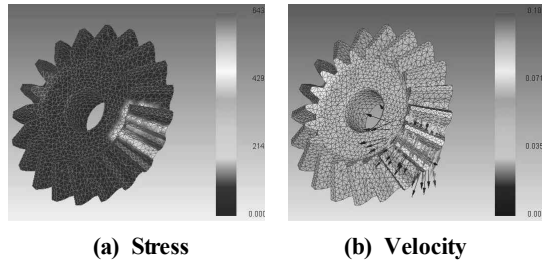


Fig. 6 Gear part simulation of LSD

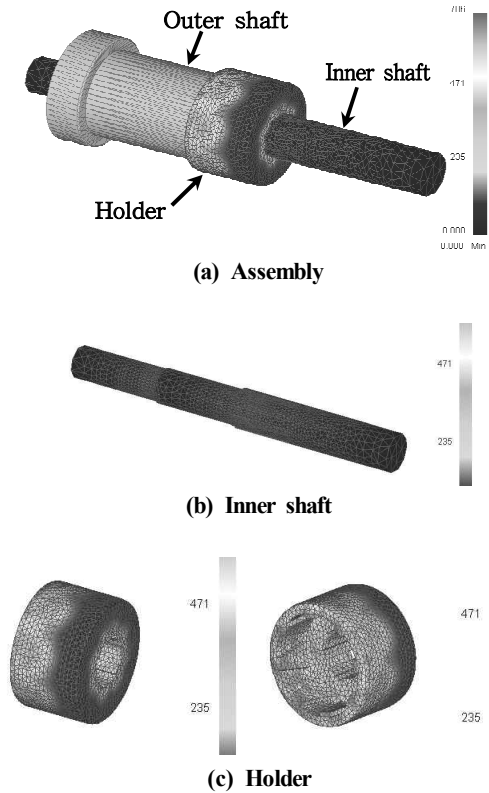


Fig. 7 Spline part simulation of NSD

기어부의 최대 Stress는 약 600MPa 정도에서 변형은 작은 힘에도 발생함으로 해석결과인 Fig. 6의 (a)에서 확인할 수 있었고, 이에 따른 변위량과 응력이 집중되는 부분도 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 차동기어를 제어하는 두 축과 홀더에 작용되는 응력을 시뮬레이션 한 결과이다. 스플라인의 형상은 사다리꼴의 형상으로 단속과 비단속의 접동부 이동시 결합이 잘 될 수 있는 구조로 되어 있고, 외축과 내축의 동력을 제어하는 부분으로서 기어의 강도보다 약 100MPa 이상 값이 높게 나타났다. 이 결과로 사다리꼴형 스플라인을 이용한 두 축의 제어 및 동력전달이 가능함을 해석을 통하여 알 수 있다. 즉, 스플라인부의 응력이 기어부와 축에서의 응력보다 100MPa 이상 높은 해석결과를 확인함으로써 설계된 스플라인 홀더가 차동기어의 및 축의 제어가 가능함을 확인할 수 있었다.

4. 차동제한장치(LSD)의 제작

4.1 ATV용 LSD의 시작품 제작

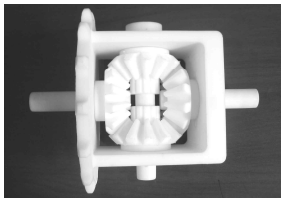


Fig. 8 A trial product by FDM

ATV용 차동장치의 개발을 위해서 먼저 시작품을 제작하였다. 시작품의 제작을 위해서 FDM 쾌속조형기법을 적용하여 Fig. 8과 같이 시작품을 제작하였다. 쾌속조형법을 이용하여 형상을 만들고, 신속한 시작품 제작으로 성능을 확인할 수 있었다.

4.2 ATV용 LSD의 시제품 제작

쾌속조형기법을 이용하여 만든 시작품을 근거로 하여 실제 운용 가능한 ATV용 LSD를 제작하였다. 시제품을 통하여 실제 부품의 조립 및 성능을 검증하였으며, 제품이 원활히 작동하는 것을 확인하였다.

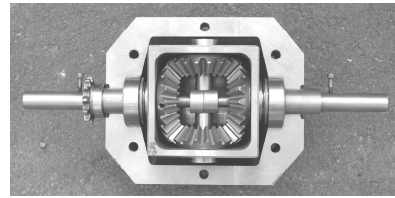


Fig. 9 A prototype of LSD

4.3 ATV용 LSD의 제작

설계된 LSD 모델을 바탕으로 쾌속조형기법으로 시작품을 제작하고 시제품을 가공하여 ATV에 장착할 수 있는 기계식의 실제 제품을 개발하였다.

Fig. 10은 차동장치를 자유롭게 구속할 수 있도록 개발된 시스템이다.

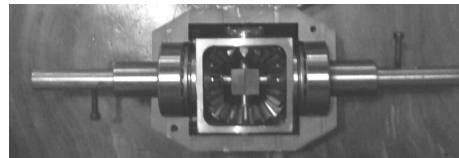
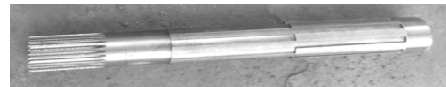


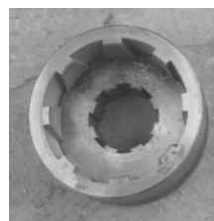
Fig. 10 LSD Product type 1



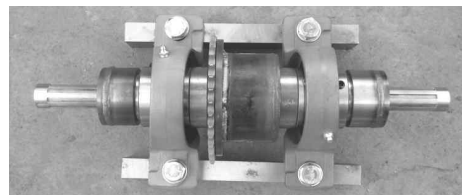
(a) Inner shaft part



(b) Outer shaft



(c) Holder



(d) Assembly

Fig. 11 Trapezoidal spline type LSD

5. 고찰

설계된 형태에서 알 수 있듯이 설계방식은 2 way type 방식으로 하였다. 2 way type은 전진 후진의 상황 모두에 재빠르게 대처할 수 있고, ATV를 비롯한 여러 분야에서 동력전달과 구속에 응용효과가 클 것으로 기대된다.

또한 Fig. 10에서 보는 바와 같이 차동제한 기어를 기계식으로 설계하면서 LSD의 크기를 줄이기 위하여 차동사이드 기어 속에 차동제한 기어를 넣어 필요에 따라서 축간 이동을 통하여 차동피니언 기어를 제한하는 타입으로 설계하였다. 이에 따라 전체적인 LSD의 크기를 기존의 자동차용 LSD의 크기에 비해 30% 이상 체적 감소효과를 얻을 수 있으며 또한, 무게 감소효과도 올릴 수 있었다.

Fig. 11의 스플라인형 LSD의 개발을 통하여 바깥축 및 내부축에 대하여 스플라인 홀더가 작동됨을 확인하였으며, 스플라인의 형상을 원주 방향으로 경사지게 함으로써 기어의 물림이 쉽게 되어 원활한 작동이 가능함을 확인할 수 있었다. 특히 내부축의 가공 및 홀더의 특수 가공을 통하여 기어와 주변장치가 정상작동 됨을 확인하였다.

또한 기계식으로 제작되어 기타 다른 전자식 및 반자동 등의 방식에 비하여 단순하고 가벼우며, 고장률 및 오작동률을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

6. 결론

본 연구에서는 ATV에서 가장 큰 문제점중의 하나인 회전 시 차체의 떨림 현상을 방지하고 회전반경을 작게 할 수 있는 편이나 스플라인에 의한 구속형 LSD의 형태를 제안하고 설계 개발하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 작동방식을 2 way type 방식을 채택하여 전진과 후진 등 양방향에서 일정한 힘과 회전력을 발휘하게 하여 ATV의 구동성능이 안정화 되게 설계 제안하였다.

2. 기존의 자동차에 장착된 LSD의 단점중 하나인 무게와 부피를 크게 감소시키는 형태로 설계

제안하였다.

3. 편결합이나 스플라인 홀더를 이용함으로 NSD의 차동과 비차동 기능의 전환을 쉽게 할 수 있다.

4. 편 결합이나 스플라인 타입의 홀더를 이용함으로 동력전달 부분의 정상동작이 가능함을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다.

5. 스플라인 홀더를 이용함으로 저속에서도 차동 장치의 제한을 가능하게 하였다.

6. ATV용 LSD를 기계식으로 구성하여 외부의 환경에 큰 영향을 받지 않고 작동할 수 있게 개발하였다.

상기와 같은 해석과 모델링을 통하여 ATV의 LSD를 제어할 수 있는 스플라인 홀더타입을 확인할 수 있었다. 또한 동력전달 축을 스플라인 가공하여 차동 및 비차동을 이루어 냄으로써 ATV를 도로 및 험로에서 모두 만족하는 주행을 이끌어 낼 수 있도록 하였다.

후 기

“본 논문은 2010년도 Brain Busan 21 사업에 의하여 지원되었음”

참고문헌

1. Akinori Akai, Kensuke Otake, Hiroyuki Kojima, Taro Matsui, J., Smith, S., and Zamudia, C., "Control Unit for Transmission System of ATV" SOURCE NEC Technical Journal, Vol. 52, No. 2, pp. 60-63, 1999.
2. B. G. Moebius, K. -H. Kolk., "RendezVous sensor for automatic guidance of transfer vehicles to ISS concept of the operational modes depending on actual optical and geometrical-dynamical conditions," Proceedings of SPIE Photonics for Space Environments VII, pp. 298-309, 2000.
3. Tesar, Joseph S.; Cohen, Charles J.; Obermark, Jay, "Articulated joint for a high-mobility modular vehicle," Proceedings of SPIE Unmanned Ground Vehicle Technology III, pp. 97-104, 2001.

4. John R. Spofford, Jennifer B. Herron, David J. Anhalt, Matthew K. Morgenthaler, Clinton DeHerrera., Obermark, Jay, "Off-road perception testbed vehicle design and evaluation," Proceedings of PUBLISHER(Country) SPIE, pp. 347-357, 2003.
5. J. U. Jun, M. H. Ha, K. K. Lee, "The development of the LSD on ATV," Proceeding of the KSMPE Autumn Conference, pp. 262-267, 2008.
6. J. U. Jun, K. K. Lee, S. K. Kim, "Design of Arrested NSD by Spline type," Proceeding of the KSMPE Autumn Conference, pp. 123-124, 2009.
7. J. U. Jun, M. H. Ha, K. K. Lee, "Development of Buffer frame for ATV," Proceeding of the KSMPE Autumn Conference, pp. 127-128, 2009.