KIGAS Vol. 26, No. 2, pp 21~26, 2022
(Journal of the Korean Institute of Gas)
https://doi.org/10.7842/kigas.2022.26.2.21

Transfer case의 구동변환을 위한 유성기어장치 구동부 설계

†염광욱
한양사이버대학교 기계자동차공학부 교수
(2022년 3월 28일 접수, 2022년 4월 11일 수정, 2022년 4월 12일 채택)

Design of Planetary Gear Drive Unit for Drive Conversion of Transfer case

†**Kwang-Wook Youm**
Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Hanyang Cyber University, Seoul 04763, Korea
(Received March 28, 2022; Revised April 11, 2022; Accepted April 12, 2022)

요 약

사륜구동은 구동력을 4바퀴에 모두 전달하기 때문에 노면과의 접지력이 상승하여 구동력이 상승한다. 하지만 그로 인해 연비가 저하되는 단점을 가지고 있다. 따라서 평소에 이륜구동으로 주행하다가 필요에 의해 선택적 사륜구동으로 변환하는 방법으로 사륜구동을 많이 사용한다. 이러한 선택적 사륜구동은 운전자가 보내는 전기적 신호를 Transfer case에서 기계적으로 바꿔서 구동력을 변환시킨다. 본 연구에서는 전기적 신호를 기계적으로 바꿔주기 위해 모터에 감속기를 적용하여 토크를 증대시켜 기능을 수행하였다. 따라서, 본 연구에서는 구동을 변환시켜주기 위해 적용되는 Transfer case내부에 있는 모터에 적용할 수 있는 감속메커니즘을 도출하고 그에 따른 유성기어형태를 적용한 감속비를 최적화하였다. 그리고 도출된 감속비를 토대로 링기어를 공통으로 사용하는 유성기어 2세트를 적용하여 입력축과 출력축이 동일상에서 감속이 진행되는 유성기어 기어치형의 개발 및 Transfer csae 내에 있는 구동변환장치 구동부의 최적화 설계를 진행하였다.

Abstract - Since the four-wheel drive transmits the driving force to all four wheels, the traction with the road surface increases, thereby increasing the driving force. However, it has the disadvantage of lowering fuel efficiency. Therefore, four-wheel drive is commonly used as a method of converting to optional four-wheel drive when necessary while driving in two-wheel drive. This selective four-wheel drive converts the driving force by mechanically changing the electric signal sent by the driver in the transfer case. In this study, in order to mechanically change the electrical signal, a reducer is applied to the motor to increase the torque to perform the function. Therefore, in this study, a reduction mechanism applicable to the motor inside the transfer case applied to convert the drive is derived, and the reduction ratio applying the planetary gear type is optimized accordingly. And based on the derived reduction ratio, two sets of planetary gears using a ring gear in common were applied to develop a planetary gear tooth type in which the input shaft and output shaft are decelerated in the same phase. Optimization design was carried out.

Key words : transfer case, reducer mechanism, planetary gear, ratio

†Corresponding author:youmkw@hycu.ac.kr
Copyright ⓒ 2022 by The Korean Institute of Gas

I. 서 론

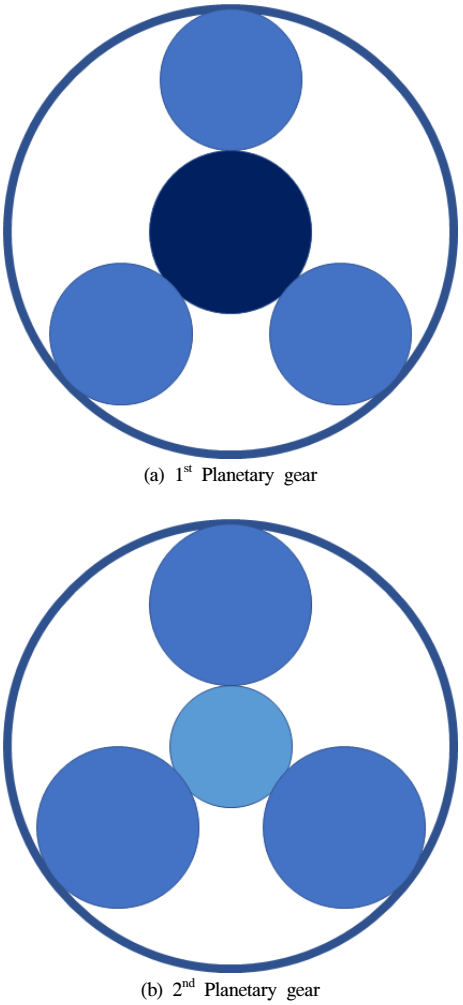
엔진 또는 모터에서 발생된 구동력은 동력전달장치를 거쳐 바퀴까지 전달되어 자동차를 구동시킨다. 이때, 자동차의 구동력이 전달되는 위치에 따라 전륜구동, 후륜구동, 사륜구동으로 구분된다[1-3]. 사용되는 목적이나 지리적 또는 환경적 특성에 따라 각각의 구동방식을 적용하여 자동차를 적용하게 된다. 4개의 바퀴에 모두 구동력을 전달하는 사륜구동의 경우 모든 바퀴에 구동력이 전달되기 때문에 구동력 전달로 인한 연비저하나 속도저하가 발생한다. 하지만 전륜구동, 후륜구동과 같은 이륜구동방식에 비하

여 높은 구동토크를 나타낼 수 있고, 험로와 같은 오프로드(Off-road)에서 주행에서 유리한 특징이 있다[4-6]. 따라서 단점을 보완하고 장점을 활용하기 위해 평상시에는 이륜구동으로 주행을 하다가 원하는 시점에 사륜구동으로 변환시켜주는 선택적 사륜구동방식을 적용하고 있다. 이러한 선택적 사륜구동형태로 주행하기 위해서는 동력을 전륜과 후륜으로 배분해주고 전달해주는 작업과 동력을 차단해주는 작업이 필요하다. 이러한 장치를 부변속기 또는 Transfer case라고 하는데 여기에는 기본적으로 전륜 혹은 후륜으로 동력을 상시전달해주다가 외부적 신호에 의해 4바퀴 모두 동력을 전달해주도록 동력의 흐름을 변환해주는 요소가 구성된다. Transfer case에는 외부에서 전달된 전기적 신호를 기계적인 일로 바꿔주기 위한 모터가 설치되고 모터의 구동에 의해 기계적인 장치들이 작동되어 구동력을 변환시킨다[7-10]. 이때 모터가 너무 빠르게 회전하면 동력전달에 필요한 토크가 발생되지 않아 동력변환이 어렵게 되고, 너무 느리게 회전하면 기어 치에 걸리는 압력이 상승하여 기어의 소손이 발생할 수 있다. 따라서 모터에 인가된 힘을 적합한 속도로 감속하여 토크를 향상시키고 기계적인 요소의 작동을 이루기 위한 작업이 필수적으로 수반되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 모터 출력축을 선기어로 하고 하우징의 내부를 링기어로 하는 2단의 유성기어를 갖는 유성기어장치 구동부에 대한 연구를 진행하였다. 그에 따라 작은 구동력으로 원활한 동력변환이 이루어지도록 토크를 증대시키기 위한 기어비를 선정하고 변속 메커니즘을 설계하였다. 또한 설계된 변속 메커니즘에 적합한 기어의 치형을 설계하여 Transfer case내에서 동력변환을 시켜주기 위한 구동부에 대한 최적화 연구를 진행하였다.

II. 구동변환 메커니즘 설계

2.1. 구동변환 메커니즘

이륜에서 사륜으로 구동을 변환시켜주기 위한 동력변환 구동부의 감속을 위한 감속기의 구조는 구동부의 입력축과 출력축의 구조적 특성을 고려하여 2단을 갖는 유성기어 형태를 기본으로 변속메커니즘을 Fig. 1과 같이 설정하였다. 기어 배열은 모터의 출력축을 선기어로 하고 유성기어 3개를 배열한 형태로 1단을 설정하고, 1단의 유성기어 상단에 유성기어 3개를 추가로 두는 2단 형태의 유성기어로 설정하였다[11-13]. 이때, 1단의 선기어와 동일 축 상에 2단의 유



(a) 1st Planetary gear

(b) 2nd Planetary gear

Fig. 1. Concept of reducer mechanism.

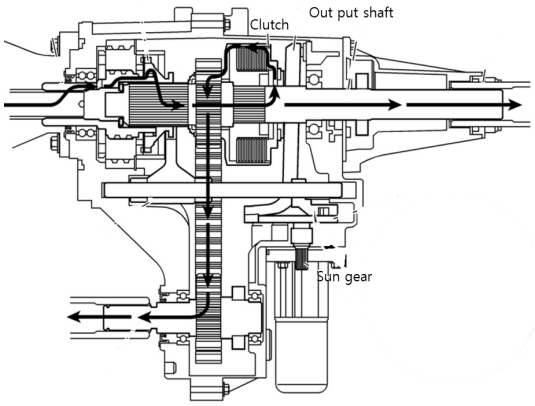


Fig. 2. Mechanism of drive conversion.

성기어와 치합하는 선기어를 두어 최종 감속된 출력이 토출되도록 감속 메커니즘을 설정하였다. 그리고 기어 하우징의 내부를 기어 가공하여 공통의 링기어로 설정하였다.

구동모터가 회전함에 따라 출력축에 위치한 선기어가 회전하면서 유성기어가 링기어와 치합하여 감속하고 2단에 위치한 선기어로 감속된 회전력이 출력되어 출력축에 위치한 선기어에 연결된 기계적인 장치에 의해 Fig. 2와 같이 기계적으로 클러치를 작동시키게 된다. 이때, 클러치가 결합되면서 한축에서만 담당하던 구동력은 동력전달 유닛을 거쳐 다른 축에 전달되면서 구동력을 변환하게 된다. 이처럼 운전자가 보내는 전기적 신호를 기준으로 구동부에서 기계적인 작동을 거치게 되고 이를 토대로 이륜구동과 사륜구동을 변환시키게 된다[14-15].

2.2. 감속비 설계

감속 메커니즘에서 선정한 유성기어 형태의 감속기를 기본구조로 구동력의 최적화를 진행하기 위하여 감속비를 계산하였다. 유성기어에서 선기어의 잇수나 지름이 증대되면 원하는 감속비를 얻기 위해서는 다른 기어의 잇수나 지름이 증대되어 부피나 중량이 증가하게 된다. 따라서 본 연구에서는 모터출력축에 있는 선기어의 잇수를 17개로 고정한 상태에서 모터와 결합되어 기어를 감싸는 기어 하우징으로 링기어가 가공되는 부분의 직경을 고려하여 감속비를 계산하였다. 감속비는 모터의 회전속도와 구동시 필요한 전달토크를 고려하여 최종적으로 약 100:1 이상의 감속비가 나타나도록 설정하고 기어의 물림과 치형을 고려하여 계산하였다. 유성기어의 감속비는 계산식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$ratio = \left(\frac{R^{1st}}{S^{1st}}+1\right)\times\left(\frac{R^{2nd}}{S^{2nd}}+1\right)^2 \quad (1)$$

여기서, R^{1st} 는 1단 링기엉의 잇수, R^{2nd}는 2단 링기어의 잇수, S^{1st}는 1단 선기어의 잇수, S^{2nd}는 2단 선깅어의 잇수를 나타낸다. 식(1)을 기준으로 기어 잇수를 고려하여 다양한 기어의 조합을 계산할 결과 최종적으로 식 (2)와 같은 값을 나타내었다.

$$ratio = \left(\frac{49}{17}+1\right)\times\left(\frac{49}{11}+1\right)^2 = 100.32 \quad (2)$$

따라서, 최종적으로 구동변환을 위해 출력축을 작동시켜주기 위한 2단에 위치한 출력 선기어의 감속비를 계산하였다. 그에 따라 모터출력축에 위치한 1단 입력축 선기어의 기어 잇수 17개, 1단 유성기어 잇수 16개, 2단 유성기어 잇수 19개, 2단 출력축 잇수 12개, 공통 링기어 49개로 설정하였고 감속비는 100.32:1로 설정하였다.

Ⅲ. 구동부 설계

3.1. 유성기어 치형 설계

구동변환을 위한 구동부에 적용하기 위한 유성기어의 기어 잇수를 계산을 통해 설정하고 최종적으로 선정한 감속비를 토대로 기어설계 프로그램인 Kiss-ssoft를 이용하여 1단에 적용되는 유성기어의 기어 치형을 Table 1과 같이 설계하였다. 감속비의 계산에 의해 모터 출력축과 결합된 입력축 선기어의 잇수 17개, 유성기어 잇수, 15개, 링기어 잇수, 49로 설정한 상태에서 구동부의 크기를 고려하여 모듈을 0.8로 설정하고, 유효치폭은 10mm, 압력각을 20°로 설계하였다. 그리고 선기어와 유성기의 전위계수는 0.3, 링기어의 전위계수는 0.2로 설정하였다. 선기어와 유성기어, 유성기어와 링기어 간의 중심거리는 10mm로 설계하였다. 이때, 접선 원주력은 62.745kgf, 치면 직각하중은 69.554kgf, 축 직각하중은 30.014kgf로 나타났다.

2단에 적용되는 유성기어의 기어 치형을 Table 2와 같이 설계하였다. 감속비의 계산에 의해 모터 출력축과 결합된 입력축 선기어의 잇수 11개, 유성기어 잇수, 19개, 링기어 잇수, 49로 설정한 상태에서 구동부의 크기를 고려하여 1단 유성기어와 동일하게 모듈을 0.8로 설정하고, 유효치폭은 10mm, 압력각을 20°로 설계하였다. 그리고 선기어의 전위계수는 014, 유성기어의 전위계수는 -0.12, 링기어의 전위계수는 0.2로 설정하였다. 선기어와 유성기어, 유성기어와 링기어 간의 중심거리는 모두 9.1mm로 설계하였다. 이때, 접선

Table 1. Design of 1st planetary gear

Unit	Sun gear	Planet gear	Ring gear
Module	0.8		
Pressure angle	20		
Number of teeth	17	16	49
coefficient of potential	0.3	0.3	0.2
Backlash	0.065		0.085
Minimum Backlash	0.050		0.059
Maximum Backlash	0.201		0.238
Center distance	10		10
Pitch diameter [do]	10.2	9	29.4
Basic diameter [dg]	9.585	8.457	27.627
Addendum circle diameter [dk]	11.686	10.486	28.44
Dedendum circle diameter [dr]	9.06	7.86	31.14
Torque [N · m]	1		3.882
RPM [rpm]	2000		515.152
Peripheral velocity [m/s]	1.113		
Face width [mm]	10		
circumference force [kgf]	62.745		
Teeth stress[kgf]	69.554		
Axial stress [kgf]	30.014		

Table 2. Design of 2nd planetary gear

Unit	Sun gear	Planet gear	Ring gear
Module	0.8		
Pressure angle	20		
Number of teeth	12	19	49
coefficient of potential	0.14	-0.12	0.2
Backlash	0.059		0.06
Minimum Backlash	0.049		0.061
Maximum Backlash	0.196		0.245
Center distance	9.1		9.1
Pitch diameter [do]	6.4	11.4	29.4
Basic diameter [dg]	6.164	10.712	27.627
Addendum circle diameter [dk]	7.76	12.456	28.44
Dedendum circle diameter [dr]	5.12	9.756	31.14
Torque [N · m]	1		5.455
RPM [rpm]	2000		366.667
Peripheral velocity [m/s]	0.699		
Face width [mm]	10		
circumference force [kgf]	99.9		
Teeth stress[kgf]	107.493		
Axial stress [kgf]	39.682		

원주력은 99.9kgf, 치면 직각하중은 107.493kgf, 축 직각하중은 39.682kgf로 나타났다.

3.2. 유성기어 구조 설계

설계된 기어 치형을 토대로 AutoCAD프로그램을 활용하여 유성기어의 구조를 Fig. 3과 같이 설계하였다. 1단 선기어의 잇수 17개로 피치원 지름 10.2mm, 기초원지름 9.585mm, 치선원지름 11.686mm, 치저원지름 9.06mm로 설계하였고, 1단 유성기어의 잇수 15개로 피치원 지름 9mm, 기초원지름 8.457mm, 치선원지름 10.486mm, 치저원지름 7.86mm로 설계하였다. 그리고 2단 선기어의 잇수 12개로 피치원 지름 6.4mm, 기초원지름 6.164mm, 치선원지름 7.76mm, 치저원지름 5.12mm로 설계하였고, 2단 유성기어의 잇수 19개로 피치원 지름 11.4mm, 기초원지름 10.712mm, 치선원지름 12.456mm, 치저원지름 9.756mm로 설계하였다.

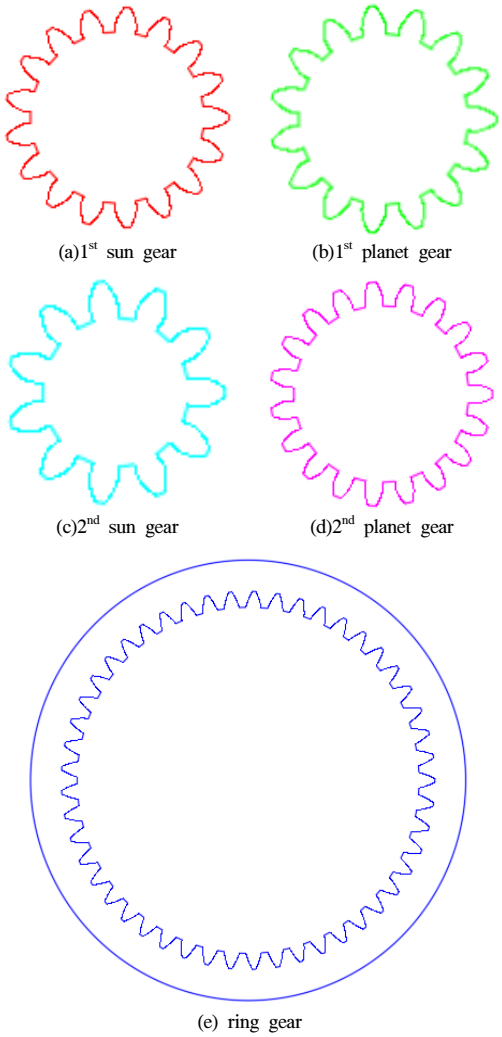


Fig. 3. Design of planetary gear.

그리고 공통의 링기어는 잇수 49개로 피치원 지름 29.4mm, 기초원지름 27.627mm, 치선원지름 28.44mm, 치저원지름 31.14mm로 설계하였다.

설계된 제원을 토대로 이륜구동에서 사륜구동으로 구동변환이 가능한 Transfer case 구동변환장치의 구동부를 Fig. 4와 같이 제작하였다. 기어는 모두 S45C 기어의 강도를 고려하여 고주파 열처리방법으로 가공하였고, 링기어가 가공된 기어 하우징부분은 기어의 물림으로 이탈되지 않도록 고정되게 제작하였다.

Fig. 4. Manufacture of driving system.

V. 결 론

본 연구에서는 자동차에서 이륜구동과 사륜구동으로 구동변환이 가능하도록 Transfer case 내부에서 구동변환을 실시하는 구동변환장치에 대한 연구를 진행하였다. 운전자가 보내는 전기적 신호를 받아 모터가 구동되면서 기계적인 일을 수행할 때 기계적인 장치를 구동시켜주기 위한 최적의 감속비를 도출하고 그에 따른 최적의 유성기어 감속 메커니즘을 구현하였다. 그리고 감속 메커니즘을 토대로 유성기어의 잇수와 감속비를 설정하였다. JIS4급의 규격에 따라 그에 따른 유성기어 치형에 대한 세부적인 사양과 형상에 대한 설계를 진행하였다. 그리고 설계된 내용을 토대로 제작을 진행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 구동변환을 위해 링기어를 공통으로 사용하고 각각의 선기어와 유성기어를 갖는 2단 구조의 유기기어세트를 통해 감속을 실시하여 감속비 약100.32:1을 갖는 Transfer case 구동변환 구동부를 개발하였다.

2) Kisssoft를 활용하여 공통으로 모듈 0.8, 압력각 20°인 모터 출력축과 연결된 1단 선기어 잇수 17개, 1단 유성기어 잇수 16개, 최종 출력으로 토출되는 2단 선기어 12개, 2단 유성기어 19개, 1단, 2단 유성기어와 공통으로 치합하는 49개 잇수를 갖는 하우징 형태의 링기어를 설계하였다.

3) 치폭10mm를 공통으로 갖고 1단 유성기어세트에서 접선원주력 62.745kgf, 치면 직각하중 69.557kgf, 축 직각하중 30.014kgf, 2단 유성기어세트에서 접선원주력 99.9kgf, 치면 직각하중 107.493kgf, 축 직각하중 39.682kgf를 갖는 구동부를 설계하였다.

REFERENCES

[1] Kim, M. H., Qin, Z., Lee, K. H., Zhang, Q., and

Lyu, S. K., ″A Study on the Design of Rear Wheel Drive Reducer for Electric Vehicle″, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 35(6), 571-577, (2018)

[2] Kwon, H. S., “Assemblability Analysis of Kinematic Configurations of Front-Wheel Drive Automatic Transmissions” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 18(11), 24-34, (2019)

[3] Jeong, J. R., Kim, H. K., Kim, K. Y., Lim, W. S., and Cha, S. W., ″Evaluation of Fuel Economy and Performance for 2WD and 4WD Hybrid Electric Vehicle Based on Backward Simulation″, Transactions of KSAE, 22(1) 174-182, (2014)

[4] Kim, Y. D., ″Driveline Vibration Reduction of FR (front engine rear wheel drive) Vehicle at Rapid Acceleration″, Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng, 24(8) 592-599, (2014)

[5] Kim, H. D., and Choi, G. J., ″Integrated Chassis Control System of a Rear In-wheel Motor Vehicle″, Transactions of KSAE, 24(4) 439-446, (2016)

[6] Han, K. S., and Park, G. S., ″Lateral Motion Control of Electronic-Four-Wheel Drive Vehicles for Enhancement of Cornering Performance″, Transactions of KSAE, 28(9), (2020)

[7] Kwon, J. H., and Oh T. L., ″An Experimental Study on a Full Time Four Wheel Drive Vehicle″, Transactions of KSAE, 7(2), 242-252, (1999)

[8] Jang, J. H., Kim, C. J., Kim, S. H., Kang, M. S., Back, S. H., Kim, Y. S., and Han, C. S., ″Improvement of the Yaw Motion for Electric Vehicle Using Independent Front Wheel Steering and Four Wheel Driving″, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 19(1) 45-55, (2013)

[9] Cho, H. D., ″Development of Loader with Four Wheel Driving and Four-Type Wheel Steering System″, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 3(3), 71-7849, (2004)

[10] Kim, J. A., and Jun, J. U., ″A Study on the Development of Limited Slip Differential on All Terrain Vehicle″, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 10(1), 8-15, (2011)

[11] Kim, J. G., Park, Y. J., Lee, G. H., Oh, J. Y., and Kim, Y. J., ″A Study on the Load Sharing among Planet Gears according to the Phase of Carrier Pinhole Position Error in the Planetary Gearbox″, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 34(6), 377-382, (2017)

[12] Bae, M. H., Bae, T. Y., Cho, Y. S., Son, H. Y., and Kim, D. J., ″The Stress Analysis of Planetary Gear System of Mixer Reducer for Concrete Mixer Truck″, Journal of Drive and Control, 12(4), 77-81, (2015)

[13] Youm, K. W., ″Study on the Shift Characteristics of a 2speed Manual Transmission apply to V-Blet″, KIGAS, 24(6), 55-60, (2020)

[14] Sim, K. J., Moon, H. J., Choi, G. J., Koh, S. K., and Jeon, N. J., ″Bending Stress Analysis of the Transfer Case Helical Gear for the 3.5 Ton Commercial Vehicle″, Transactions of KSAE, 25(4), 474-480, (2017)

[15] Lee, W. K., and Park, S. M., ″A Study on the Embodiment of a Transfer Case with High-Speed Reduction of the Planetary Gear Type Applied to Big Industrial Vehicles″, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, 14(6), 14-20, (2015)