

## 사이클로이드 감속기의 성능평가에 관한 연구

박진석\*, 김기훈\*, 김래성\*\*, 진진\*\*\*, 류성기\*\*\*,#

\*경상대학교 기계시스템공학과, 경상대학교, SG Servo(주), \*\*경상대학교 항공IT기계융합사업단,  
\*\*\*경상대학교 기계항공공학부, 항공연

### A Study on the Performance Evaluation of Cycloid Reducer

Jin-Seok Park\*, Ki-Hun Kim\*, Lae-Sung Kim\*\*, Zhen Qin\*\*\*, and Sung-Ki Lyu\*\*\*,#

\*Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University, SG Servo LDT,

\*\*Creative Aero-IT-Mech Convergence Eng. Education Program, Gyeongsang National University

\*\*\*School of Mechanical & Aerospace Engineering, ReCAPT, Gyeongsang National University

(Received 22 March 2017; received in revised form 11 April 2017; accepted 26 April 2017)

#### ABSTRACT

In this paper, a study on the performance evaluation of a cycloid reducer for remote weapons systems is presented. Reduction gears applied to remote weapons vehicles need to be compact and capable of large torque transmissions as well as require structural optimization, high load capacity, and high precision position control. To meet these requirements, a cycloid reducer with low backlash, high precision, high overload capability, high rigidity, and high efficiency is required. Thus, a cycloid reducer with a reduction ratio of 127:1, backlash of 1 arcmin (1/60 deg) or less, and reduction gear efficiency of 70% or more, which are the design requirements for a remote weapons system, was designed utilizing a design and analysis program (HEXAGON) for gear engineering. To confirm the performance of the cycloid reducer, the hardness of the main components of the manufactured cycloid reducer, reduction ratio, and efficiency were measured.

**Key Words** : Cycloid Reducer(사이클로이드 감속기), Cycloid Gear(사이클로이드 기어), Remote Weapons Systems(원격무장 시스템), Efficiency Testing(효율 시험)

#### 1. 서 론

전 세계적으로 서보모터의 수요가 급격히 증가하면서 모터의 성능도 나날이 발전해 가고 있다. 실제로 서보모터의 성능을 뒷받침해 줄 수 있는 감속기는 많지 않다. 제어시스템을 통한 모터제어와 같은 소프트웨어로 정밀도를 보증하기

에는 많은 한계를 가지고 있으며 기구적인 측면에서 정밀도를 보완하여야 하고 이와 같은 시장의 변화 속에서 사이클로이드 감속기의 역할이 커지고 있으므로 관련 연구들을 수행하고 있다.<sup>[1-4]</sup>

현재 사이클로이드 감속기의 핵심기술은 선진국에 비해 상당히 뒤떨어져 있고, 정밀가공 기술수준의 미흡과 급변하는 세계시장 동향에 대한 정보력이 취약한 실정이다. 그리고 사이클로이드 감속기 산업을 이끌어가고 있는 업체가 매우 한정적이다. 또한 관련 부품업체의 대부분이

# Corresponding Author : sklyu@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1632, Fax: +82-55-772-1578

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

중소기업으로 구성되어 있어 이로 인한 기술개발 능력, 고품질 및 고부가가치 제품에 대한 생산능력 취약, 신기술 흐름에 대한 대응력 부족 등을 극복하기 위하여 감속기 설계 시 고려되어야 할 사항들을 면밀히 검토하여 적용함으로써 무인 정찰용 전차에 사용되는 원격무장 고저시스템용 사이클로이드 감속기의 요구조건인 감속비 127:1, 백래시 1 arcmin(1/60 deg) 이하, 감속기 효율 70% 이상에 준하는 사이클로이드 감속기를 설계하였다. 또한 요구조건을 증명하기 위해서 주요 부품의 경도 측정, 비틀림 탄성계수 및 효율시험을 통하여 검증하였다.

## 2. 사이클로이드 감속기 설계 및 제작

### 2.1 사이클로이드 감속기 설계

기어 전문 설계 해석 프로그램인 HEXAGON을 활용하여 사이클로이드 치형 설계, 유성기어 치형 설계 및 기어 강도 설계를 수행하였으며, 사이클로이드 감속기의 유성기어가 열에 대한 강도조건을 만족함을 확인하였다.<sup>[5-7]</sup>

Fig. 1에 사이클로이드 감속기의 3D 모델링의 일부를 나타냈다. 사이클로이드 감속기는 선기어, 유성기어, 사이클로이드 기어 및 캐리어로 구성되며, 입력축의 요소와 사이클로이드 기어의 요소에 따라 회전속도 및 감속비가 결정된다.

### 2.2 사이클로이드 감속기 주요 구성품 제작

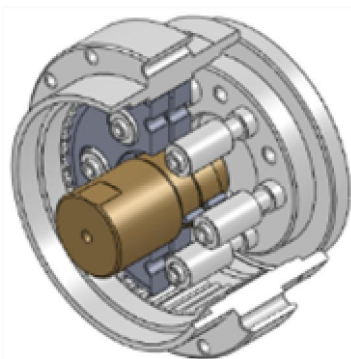


Fig. 1 3D modeling for a cycloid reducer



Fig. 2 Shape of input carrier



Fig. 3 Shape of case housing

Fig. 2에 입력축 캐리어의 시제품 및 모델링 형상을 나타냈다. 캐리어는 1차 유성기어 감속부의 유성기어를 지지하고 사이클로이드 감속기에서 선기어와 유성기어를 유기적인 작동을 하고 있다.

케이스 하우징은 2차 사이클로이드 기어의 케이스 역할 및 내경 측에 인터널 기어 역할을 하고 1단 2단 감속부를 내부에 수용하고 있으며, 케이스 하우징 제품 및 형상을 Fig. 3에 나타냈다. 편과 조립된 상태에서 내접 기어역할을 한다.

출력축 캐리어 시제품의 형상을 Fig. 4에 나타냈다. 사이클로이드 기어와 출력축을 연결하며 크랭크샤프트를 지지하는 역할을 한다.

출력축 케이스 형상을 Fig. 5에 나타냈다. 유성기어열의 케이스 역할을 하며, 출력 상대품 및 대상물과 체결되어 사이클로이드 기어에서 전달된 동력을 최종적으로 출력하게 되는 기구이다.

크랭크 샤프트는 유성기어의 회전을 사이클로이드 기어로 전달하는 역할을 한다. 크랭크샤프트의 시제품 및 3D 형상을 Fig. 6에 나타냈다. 2차 사이클로이드 감속부로 동력을 전달하는 역할하고 있다.



Fig. 4 Shape of output carrier



Fig. 5 Shape of an output case

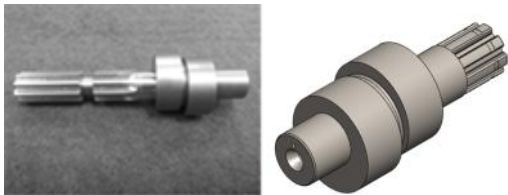


Fig. 6 Shape of crank shaft

### 3. 시험 결과 및 고찰

#### 3.1 주요 구성품 경도측정 결과

주요 구성품을 제작하여 각 시제품의 경도를 측정하여 시제품에 대한 경도 결과를 고찰하였다. 경도 측정은 경도시험기(모델명: DTR-200N, 제조사: IDTNT)을 사용하였고 Fig. 7에 경도측정시험기를 나타냈다. 경도 측정은 수평이 반듯하고 먼지나 습기, 진동이 없는 측정실에서 실시하였다.

##### 3.1.1 케이스 하우징 경도 결과

케이스 하우징은 Fig. 8에 나타난 바와 같이 측정 위치는 케이스 외 측면과 기어열린 내측

부분인 A, B를 선정하여 두 위치를 각각 경도시험기를 이용하여 결과를 측정하였다. 케이스 하우징의 경도 측정값을 Table 1에 나타냈다. 평균경도값은 HRC 13.4로 나타났다.



Fig. 7 Shape of hardness measurement equipment

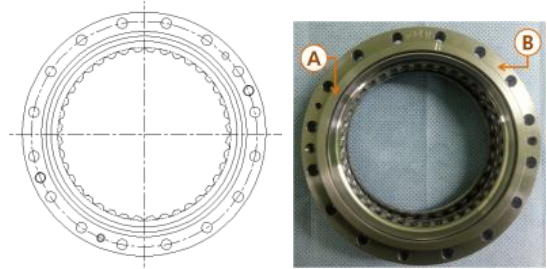


Fig. 8 Measuring point of the case housing

Table 1 Hardness results of the case housing

Division	A	B
HRC	13.1	13.6

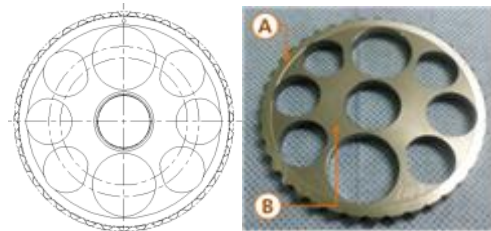


Fig. 9 Measuring point of the cycloid gear

Table 2 Hardness results of the cycloid gear

Division	A	B
HRC	63.7	64.9

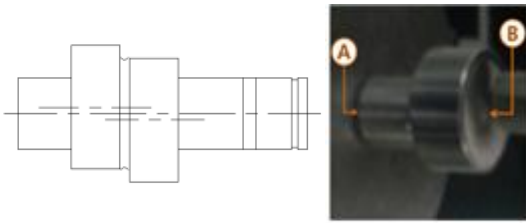


Fig. 10 Measuring point of the crank shaft

Table 3 Hardness results of the crank shaft

Division	A	B
HRC	62.0	44.3

### 3.1.2 사이클로이드 경도 결과

사이클로이드 기어는 Fig. 9에 나타낸바와 같이 내측 부분 A와 기어륜 B를 경도 측정 위치로 선정하여 두 위치를 각각 경도기 장비를 이용하여 경도를 측정하였다. 사이클로이드 기어의 경도 결과값을 Table 2에 나타냈다. 평균경도값은 HRC 64.3로 나타났다.

### 3.1.3 크랭크샤프트 경도측정 결과

크랭크샤프트는 Fig. 10에 나타낸바와 같이 축 끝단부분 A와 크랭크 최대 외측에 가까운 측면 B의 위치를 측정점으로 선정하였다. Fig. 10에 나타낸 경도측정 위치에서 경도시험기를 이용하여 크랭크샤프트의 경도를 측정하였다.

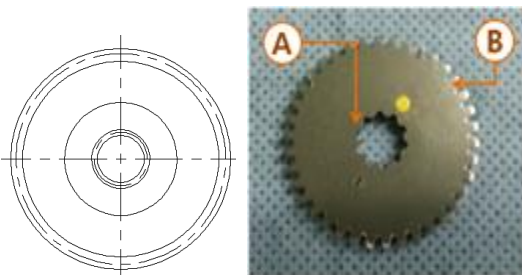


Fig. 11 Measuring point of the planetary gear

Table 4 Hardness results of planetary gear

Division	A	B
HRC	61.2	61.2

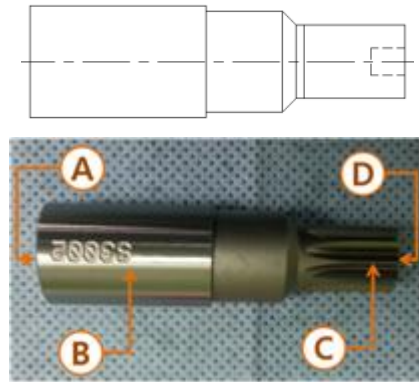


Fig. 12 Measuring point of the sun gear

Table 5 Hardness results of the sun gear

Division	A	B	C	D
HRC	61.2	59.8	56.7	58.7

크랭크샤프트의 경도측정 결과값을 Table 3에 나타냈다. 평균경도값은 HRC 53.2로 나타났다.

### 3.1.4 유성기어 경도측정 결과

유성기어의 경도 시험은 외기어와 내기어에 각각 경도를 측정하였으며, 외기어쪽 부분의 위치 A와 내기어 부분의 위치 B를 각각 측정위치로 선정하였고, Fig. 11에 나타냈다.

경도 측정 위치를 선정하여 두 위치를 각각 경도기 장비를 이용하여 결과를 측정하였다. 유성기어의 경도 결과값을 Table 4에 나타냈다. 평균경도값은 HRC 61.2로 나타났다.



Fig. 13 Performance testing equipment

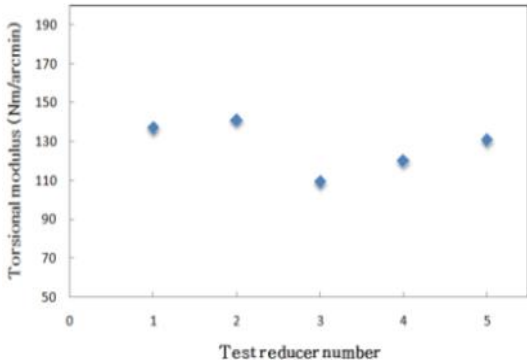


Fig. 14 Reducer torsional modulus

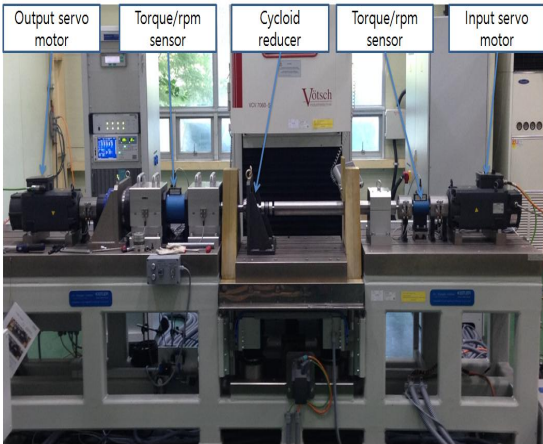


Fig. 15 Shape of reducer efficiency testing equipment

### 3.1.5 선기어 경도측정 결과

선기어는 서보모터의 구동력을 입력 받는 역할을 하며, 기어의 동력 전달하는 역할로서, 좀 더 경도 측정 부위를 세분화시켜 경도측정을 실시하였다.

경도 측정은 총 4곳의 위치를 선정하여 실시하였으며, Fig. 12에 각각의 경도 측정 위치를 나타냈다.

경도 측정위치에서 각각 경도기 장비를 이용하여 결과를 측정하였다. 선기어의 경도 결과값을 Table 5에 나타냈다. 평균경도값은 HRC 59.1로 나타났다.

### 3.2 비틀림 탄성계수 측정 결과 및 고찰

비틀림 탄성계수 시험이란 감속기의 양쪽지지 기구의 비틀림에 대한 강성으로 비틀림 시험을

통하여 이론적으로 계산한 비틀림 탄성계수 값이 도출되는 지 확인하는 시험이다.

비틀림 탄성계수 측정은 Fig. 13의 감속기 성능시험기를 사용하여 측정하였으며 비틀림 탄성계수의 시험 결과값은 Fig. 14에 나타내었다. 비틀림 탄성계수 측정을 각 5회씩 실시하였으며, 평균값은 127.68 Nm/arcmin으로 나타났다.

### 3.3 효율 시험 결과 및 고찰

효율 시험은 감속기 운용 토크 범위 내에서 입력 토크에 대해 목표한 효율이 도출되는지를 감속비가 반영된 출력 토크 이론값과 실제 출력토크 측정값 비교를 통해 확인하는 시험으로서, 본 연구에서 전기 모터에 인가되는 동일한 전류값 영역에서의 모터 출력토크와 모터, 감속기가 결합된 조립체 상태에서 출력토크를 비교하여 효율을 도출 하는 방법을 적용하였으며<sup>[8-9]</sup>, Fig. 15는 효율을 확인하기 위한 시험 장비를 나타내었다.

정격출력토크 시험과 동일한 시험용 장비를 이용하여 효율 시험을 실시하였고, 보다 정확한 결과 값을 확인하기 위하여 감속기 성능시험 기관인 경남 테크노파크의 공인 인증 시험을 통하여 시험을 실시하였으며, 효율의 평균값은 75%로 나타났다.

## 5. 결론

본 연구에서는 원격무장 고저시스템용 정밀 소형 감속기의 사이클로이드 치형 제작 등 감속기 설계 및 제작기술을 확보하였으며, 주요 부품의 경도 측정, 비틀림 탄성계수 및 효율시험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 사이클로이드 감속기의 주요 구성품을 제작하여 각 시제품에 대한 경도를 측정한 결과 케이스 하우징은 HRC 13.4, 사이클로이드는 HRC 64.3, 크랭크샤프트는 HRC 53.2, 유성기어는 HRC 61.2, 선기어는 HRC 59.1로 나타났으며 안정성이 확보될 만큼의 주요 구성품의 경도로 나타났다.
2. 비틀림 탄성계수 시험을 통하여 비틀림 탄성계

수는 127.68 Nm/arcmin으로 나타났다.

3. 효율시험을 통해 사이클로이드 감속기 효율은 75%로 나타났다.

## 후기

본 연구는 한국산업단지공단 산업집적지경쟁력 강화사업(과제번호 2016-0661)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

1. Kim, J. G., Park, Y. J., Lee, G. H., Kim, J. H., Effect Analysis of Carrier Pinhole Position Error on the Load Sharing of Planetary Gear, J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 15, No. 4, pp. 67-72, 2016.
2. Lee, K. J., Kim, J. M., Power Flow Analysis for Manufacturing of Planetary Gears in an 8-speed Automatic Transmission (I): 1-3 Speeds, J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 15, No. 5, pp. 48-56, 2016.
3. Lee, K. J., Kim, J. M., Power Flow Analysis for Manufacturing of Planetary Gears in an 8-speed Automatic Transmission (II): 4-8 Speeds J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 15, No. 5, pp. 57-65, 2016.
4. Kim, J. G., Park, Y. J., Lee, Kim, Y. J., Oh, J. Y., Kim, J. H., Effect Analysis of Carrier Pinhole Position Error on the Load Sharing and Load Distribution of a Planet Gear, J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 15, No. 5, pp. 66-72, 2016.
5. Kim, B. J., "A Study on the Epitrochoidal Tooth Profile in a Cycloid Reducer", M. Sc. Thesis, Changwon National University, pp. 5, 2006.
6. Kim, D. J., "Static and Dynamic Analysis of a 2-stage Cycloid Reducer", M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, pp. 9, 2014.
7. Kwak, D. Y., Choi, K. S., "A Study on the Composition of Miscellaneous Cycloid Curve", Proceedings of the 2013 International Conf. on Math. Edu., The Korean Soc. Math. Ed., pp. 339~348, 2013.
8. Lee, C. W., Oh, S. H., Kim, J. W., Jeon, H. S., "Performance Evaluation of a Harmonic Drive with Cycloide Tooth Profile", Journal of the Research Institute of Production Engineering, Vol. 8, No. 1, pp. 119, 1999.
9. Kim, K. H., "A Study on the Design of Planetary Reducer for Active Suspension System", M. Sc. Thesis, Gyeongsang National University, pp. 51, 2016.