

# 유압 윈치용 다단 유성기어 감속기에 대한 성능시험

박규태\*, 유영락\*, 임종학\*\*, 김성훈\*\*, 이호성\*\*\*, 송철기\*\*,#

\*유한이엔스, \*\*경상대학교 기계공학부, 공학연구원,

\*\*\*경상대학교 기계융합공학과

## Performance Test for a Multi-stage Planetary Gear Module in a Hydraulic Winch

Kyu Tae Park\*, Young Rak Yoo\*, Jong-Hak Lim\*\*, Sung-Hoon Kim\*\*, Ho Seong Lee\*\*\*, Chul Ki Song\*\*,#

\*YoohanENS, \*\*School of Mechanical Engineering, ERI, Gyeongsang National University

\*\*\* Dept. of Mechanical Convergence Engineering, Gyeongsang National University

(Received 11 June 2020; received in revised form 21 July 2020; accepted 23 July 2020)

### ABSTRACT

Hydraulic winches for transportation and logistics in the shipbuilding and marine plant fields require multi-stage planetary gear modules with high gear ratios. Due to environmental conditions in the ship, durability is crucial. Further, we are currently relying on foreign products. The development of domestic technology will reduce cost, save time, and improve the export market. Thus, we developed a multi-stage planetary gear module for a hydraulic winch and evaluated its performance through several tests of the hydraulic brake torque, maximum torque, and load endurance.

**Key Words :** Hydraulic Winch(유압 윈치), Multi-stage Planetary Gear Module(다단 유성기어 모듈), Performance Test(성능시험), Reliability(신뢰성)

### 1. 서 론

선박이나 해양 플랜트 분야에 적용되는 유압 윈치(hydraulic winch)는 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 모터의 회전동력을 윈치 드럼(winch drum)의 와이어 로프에 전달함으로써 대상을 올리고 내리기 위한 동력전달장치(power transmission)이다. 유압 감속기는 윈치 드럼 안에 위치하며, 높은 기어비의

일체형 유성기어 모듈(planetary gear module)을 포함하고 있어 콤팩트(compact) 구조를 이루고 있다.

또한, 유압 윈치는 선박의 특성상 해수 환경이나 여러 기상상태에서도 각 부품이 정상적인 기능을 발휘하여 작업이 중단되는 상황이 발생되지 않아야 하며, 부품의 내구성이 확보되어야 할 것이다.

특히, 항해시에는 즉각적인 수리 등의 조치를 할 수 없는 상황이므로, 유압 윈치의 신뢰성 확보가 매우 중요하다. 이러한 요구조건을 만족하는 유압 윈치를 개발하기 위하여, 3단 유성기어 모듈(3-stage planetary gear module)을 적용하였으며, 시

# Corresponding Author : cksong@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1633, Fax: +82-55-772-1578

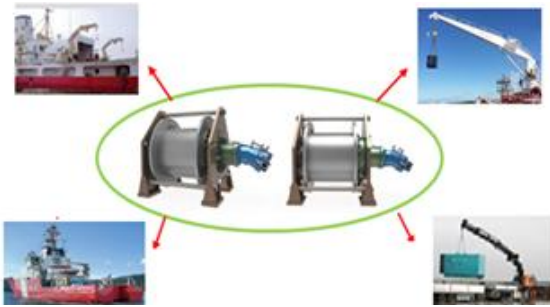


Fig. 1 Hydraulic winch

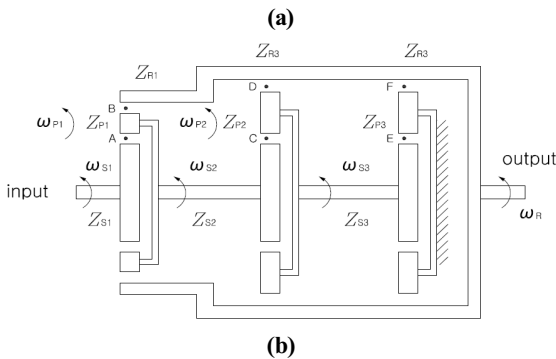
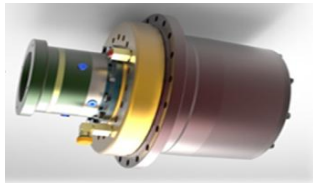


Fig. 2 Multi-stage planetary gear module

Table 1 Specification of a multi-stage planetary gear module

No.	Item	Specification
1	Gear ratio	79.7:1
2	Stage	3-stage module
3	Torque	18,500 Nm
4	Output speed	20 rpm
5	Brake torque	500~700 Nm
6	Hydraulic brake releasing pressure	30 bar
7	Brake maximum pressure	300 bar

제작품에 대한 브레이크 토크 시험과 감속기 내구 시험 등을 통하여 성능을 검증하고자 하였다.

## 2. 유성기어 모듈 설계

유압 윈치용 유성기어 모듈(감속기)는 Fig. 2에서 보는 바와 같이, 높은 기어비를 이룰 수 있도록 3단 유성기어로 구성되었다. 1단 캐리어가 2단 선기어와 같은 각속도로 회전하고, 2단 캐리어가 3단 선기어와 같은 각속도로 회전하고, 3단 캐리어는 고정된다. 모듈의 하우징과 내치차 링기어는 일체형이다. 그 설계 사양은 Table 1에 나타난 바와 같다.

Table 2는 3단 유성기어 모듈의 선기어, 유성기어, 링기어의 기어 잇수를 나타낸 것이다. 3단의 유성기어 모듈은 각각 3개, 3개, 4개의 캐리어로 설계하였고, Fig. 2(b)에서 위치 A ~ F에서의 각각의 회전속도가 동일함을 이용한다.

$$z_{s1}\omega_i + z_{r1}\omega_o = (z_{s1} + z_{r1})\omega_{s2} \quad (1)$$

$$z_{s2}\omega_{s2} + z_{r2}\omega_o = (z_{s2} + z_{r2})\omega_{s3} \quad (2)$$

$$z_{s3}\omega_{s3} + z_{r3}\omega_o = 0 \quad (3)$$

여기에서  $\omega_i, \omega_o$ 는 각각 입력축과 출력축의 각속도,  $\omega_{s2}, \omega_{s3}$ 는 각각 두 번째 선기어 각속도와 세 번째의 선기어 각속도,  $z_{s1}, z_{s2}, z_{s3}$ 는 각각 1단, 2단, 3단의 선기어 잇수,  $z_{r1}, z_{r2}, z_{r3}$ 는 각각 1단, 2단, 3단의 링기어 잇수이다.

따라서 다단 유성기어 모듈의 감속비는 식 (4)과 같이 정리된다.

$$U = -\frac{z_{r1}}{z_{s1}} \frac{z_{r2}}{z_{s2}} \frac{z_{r1}z_{r2}}{z_{s1}z_{s2}} - \frac{z_{r3}(z_{s1} + z_{r1})(z_{s2} + z_{r2})}{z_{s1}z_{s2}z_{s3}} \quad (4)$$

유압 윈치용 3단 유성기어 모듈의 사용 조건을 Table 3과 같이 정리하여 나타내었다. 출력 회전수는 20 rpm, 전체 기어비는 -79.7:1(음의 부호는 입력축과 출력축의 방향이 반대임을 의미함)이며, 사용시간은 6,300 hr를 적용하였고 이를 바탕으로 Table 3과 같이 부하 조건과 사용시간에 대한 토크와 회전수를 나타내고 있다.

**Table 2 Gear date of the 3-stage planetary gear module**

No. of teeth	Sun gear	Planetary gear	Ring gear
the 1 <sup>st</sup> stage	16	20	56
the 2 <sup>nd</sup> stage	17	19	55
the 3 <sup>rd</sup> stage	17	19	55



**Fig. 3 Performance test**

**Table 3 Time spectrum for the performance test**

Time spectrum (%)	Input		Output	
	Torque Ti (Nm)	Speed Ni (rpm)	Torque To (Nm)	Speed No (rpm)
8	232.0	1,594.4	18,500	20
27	139.2	1,594.4	11,100	20
33	116.0	1,594.4	9,250	20
32	92.8	1,594.4	7,400	20
100	-	-	-	-

**Table 4 Test items for a planetary gear module**

No.	Test Items	Unit	Requirements
1	Hydraulic brake releasing pressure	bar	30±5
2	Maximum brake pressure	bar	more than 300
3	Hydraulic brake torque	Nm	more than 540
4	Module torque	Nm	more than 36,000
5	Load endurance	Cycle	1,890,000



**Fig. 4 Hydraulic brake opening pressure**

선기어와 유성 기어는 SCM420 소재에 침탄 열처리 소재를 적용하였으며, 하우징 내접기어인 링 기어는 주강인 SCMn3B 소재를 사용하여 설계하였다. 하우징의 재질은 주강 소재인 SCMn3B를 적용하였고 퀴칭과 템퍼링(quenching and tempering) 열처리후 경도가 HB 180~220이 되도록 설계하였다. 내치차 기어 부분은 손상을 고려하여 중주파 열처리하여 경도가 HB 360~430이 되도록 설계하였다.

### 3. 다단 유성기어 모듈의 성능 시험

다단 유성 기어 모듈을 제작한 후 완성도를 높이기 위하여, Table 3에 나타난 바와 같이 18,500 Nm로 8%의 지속시간, 11,100 Nm로 27%의 지속시간, 9,250 Nm로 33%의 지속시간, 7,400 Nm로 32%의 지속시간을 기준으로 한 여러 성능 시험을 수행하여 품질을 검증하고자 한다.

Table 4는 본 연구에서 성능평가를 위하여 일반적으로 조선 및 해양 플랜트 분야에 적용되는 유성 기어 모듈의 성능을 판단할 수 있는 유압 브레이크 개방 압력, 유압 브레이크 최대 압력, 유압 브레이크 토크, 모듈 정격 토크, 부하 내구시험의 시험 사양을 나타내고 있다. 본 시험에서의 3개의 시편을 사용하여 각각에 대한 시험을 수행하였다.

#### 3.1 유압 브레이크 개방 압력 시험

유성 기어 모듈의 유압 브레이크 개방 압력 시험을 실시한 결과, 3개의 시편 모두 목표 30±5 bar 범위 내에서 개방됨을 확인하였다. Fig. 4는 측정 결과를 보여주는 한 예이다.

#### 3.2 유압 브레이크 최대 압력에서의 누유 시험

유압 원치용 유성 기어 드라이브 감속기 모듈의 유압 브레이크 최대 압력 시험을 진행하였다.

시험 결과는 Table 5와 같이 요구사양인 300 bar 이상에서 3개 시편 모두 누유가 발생되지 않음을 확인할 수 있었다. Fig. 5는 측정 결과를 보여주는 한 예이다.

**Table 5 Maximum brake pressure**

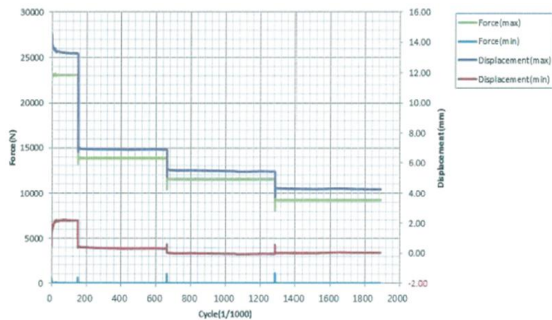
Sample	Max. brake pressure
#1	305 bar
#2	300 bar
#3	303 bar



**Fig. 5 Maximum brake pressure**

**Table 6 Hydraulic brake torque**

Sample	Hydraulic brake torque
#1	583.3 Nm
#2	688.6 Nm
#3	689.6 Nm



**Fig. 6 Load durability test**

### 3.3 유압 브레이크 토크 시험

유압 브레이크 토크 시험을 진행하였다. 시험 결과는 Table 6과 같이 3개의 시편 모두 요구사항인 540 Nm 이상의 시험 조건에서 시험 완료 후 크랙 및 이상 현상이 발생되지 않았음을 확인할 수 있었다.

출력축에서의 힘 측정치로부터 다음의 식으로 환산하여 유압 브레이크 토크를 계산하였다.

$$Torque = \frac{Force \cdot r}{U} \quad (2)$$

여기서  $r$ 은 실험장치 작용팔의 길이이고,  $U$ 은 식 (1)로부터 구한 유성기어 모듈의 변속비이다.

### 3.4 유성기어 모듈의 정격 토크 시험

유성기어 모듈의 정격 토크 시험을 진행하였다. Fig. 7은 정격 토크 시험을 보여주는 그래프로, 정격 힘 측정치 4599 kgf (45,116 N)에 실험장치 작용팔의 길이(0.8 m)를 곱하여 36,077 Nm로 유지하도록 하였다. 3개의 시편 모두 36,000 Nm 이상에서 시험 완료 후 크랙 및 이상 현상이 발생되지 않았다.

### 3.5 감속기의 부하 내구 시험

유성기어 모듈의 부하 내구 시험을 진행하였다. 부하 내구 시험 조건은 Fig. 6에서 보는 바와 같이, 총 1,890,000 사이클 중 각 부하 조건의 작동 횟수를 Table 3에 의거하여 각각 151,200 사이클, 510,300 사이클, 623,100 사이클, 604,800 사이클로 반복 시험을 진행하였다. 이러한 내구 시험을 완료한 후 시편 모두 크랙 및 이상 현상이 없는 결과를 보였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 국내의 조선 선박이나 시추선 등의 건조에 필요한 물류운반 작업이나 각종 선박이 항해에 필요한 수화물 등을 배 위로 들어 올리거나 내리는 운반 작업시 사용되어지는 유압 원치용 다단 유성기어 모듈에 관한 성능 시험 평가를 통하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 다단 유성기어 모듈에 관한 유압 브레이크 개방 압력은  $30 \pm 5$  bar로 원활히 작동하였다.
2. 다단 유성기어 모듈의 브레이크 최대 압력은 300 bar 이상에 외관상 누유가 발생하지 않았고 시험 후 부품 손상이나 브레이크 작동에 문제가 없음을 확인하였다.

3. 유압 브레이크 토크는 500 Nm 이상에서의 시험, 다단 유성 기어 모듈의 정격 토크 36,000 Nm에서의 시험과 부하 내구시험을 실시한 후, 제품에서 크랙 및 이상현상이 없는 결과를 보였다.

현재 조선 및 해양 플랜트 분야에서 전량 수입에 의존하고 있는 유압 원치용 다단 유성기어 모듈의 국산화 개발을 함으로써, 해외 브랜드 업체와 동등한 기술을 보유하게 된다면 국내 조선기자재 제조사의 시장 경쟁력을 한층 높일 수 있을 것이다.

## 후 기

“본 연구는 2019년 한국산업단지공단의 생산기술 사업화 지원사업의 지원을 받아 연구되었음.”

## REFERENCES

1. Park, S. H., Shin, J. H., Yoon, H. E and Kim, D. W., "A Study on Kinematic Characteristics of Planetary Gear Train," Transactions of the Korean Society for Precision Engineering, pp .643, 1997.
2. Shin, J. H., Kwon, S. M., Hwang, J. G., Kwak, H. S. and Ko, W. S., "A Study on a Mechanism Type Design of General Planetary Gear Reducers," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, pp.1728, 2005.
3. Robert, L. Norton, Kinematics and Dynamics of Machinery, First Edition in SI Units, McGraw-Hill, 2002.
4. Arthur, G. Erdman, George N. Sandor, and Sridhar Kota, Mechanism Design: Analysis and Synthesis, Fourth Edition, Prentice Hall, 2001.
5. Zhang, Q., Zhang, J., Zhu, Z. G., Wang, Z. R., Xu, Z. Z., "Study on the Transmission Error Prediction for a Spur Gear Pair," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 109~114, 2016.
6. Qin, Z., Wu, Y. T., Lyu, S. K., "A Review of Recent Advances in Design Optimization of Gearbox," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 19, No. 11, pp. 1753~1762, 2018.
7. Zhang, Q., Wang, G. H., Lyu, S. K., "Study on Empirical Gear Profile Micro-modifications for Gear Transmission," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 3, pp. 54~62, 2017.
8. Jeon, M. H., Kim, L. S., Noh, S. Y., Zhen, Q., Choi, C., Lyu, S. K., "Study on Tooth Micro-geometry Optimization of Rear Gear Set in 2 Speed Planetary Gear Reducer," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 1~6, 2018.
9. Zhang, Q., Zhang, J., Liu, Z. H., Lv, J. H., Qin, Z., Lyu, S. K., "Simulation and Experimental Analysis for Noise Reduction of a Scooter Gearbox," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 35, No. 8, pp. 777 ~782, 2018.