

## 고소작업차용 워기어 감속기의 최적설계 및 해석에 관한 연구

김태현\*, 장정환\*\*, 이동규\*, 김래성\*\*\*, 류성기\*,#

\*경상대학교 기계항공공학부(항공연), \*\*진주교육대학교, \*\*\*경상대학교 창의적항공IT기계융합사업단

### Study on Optimal Design and Analysis of Worm Gear Reducer for High Place Operation Car

Tae Hyun Kim\*, Jeong Hwan Jang\*\*, Dong Gyu Lee\*, Lae Sung Kim\*\*\*, Sung-Ki Lyu\*,#

\*School of Mechanical & Aerospace Engineering(ReCAPT), Gyeongsang Nati. Univ., \*\*Chinju Nati. Univ. of Education, \*\*\*Creative Aero-IT-Mech Convergence Eng. Program, Gyeongsang Nati. Univ.

(Received 18 October 2015; received in revised form 11 November 2015; accepted 29 November 2015)

#### ABSTRACT

Swing reducers are widely used in special vehicles that have swing motions. Generally, compact swing reducers were constituted by a worm gear pair. Worm gears are one of the most important technical devices for transmitting torque between spatially crossed axes. Due to their high transmission ratio and compact structure, they are widely used in power transmission applications where high reduction is required. This paper presented approaches to improve the transmission efficiency and assembling performance of 3.5 ton class worm gear swing reducers. Worm wheel and the case of swing reducers were optimized and certified by a finite element method. Finally, an actual swing reducer was processed and assembled to test the performance.

**Key Words** : Swing Reducer(스윙감속기), Worm Gear(웜기어), Transmission Efficiency(전달효율), Assembling Performance(조립성)

#### 1. 서 론

스윙감속기는 렉커, 사다리차, 고소작업차, 크레인 등 스윙운동을 필요로 하는 장비에 많이 적용되고 있는 중요한 동력전달 장치이다. 스윙감속기는 일반적으로 5톤 이하에서는 워기어 감속기를

적용하고 5톤 이상에서는 유성기어감속기를 사용한다. 워기어감속기는 축이 서로 교차하여 직각으로 배치됨으로 직각 동력전달이 가능하기 때문에 자동차, 선박, 건설 등의 산업에서 널리 사용되고 있다. 워감속기는 한쌍의 기어로 큰 감속비를 얻을 수 있고 다른 기어에 비하여 미끄럼 운동을 하므로 운전시 소음진동이 적으며 워휠이 워를 구동시킬 수 없기 때문에 역전방지가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 이러한 장점을 가짐과 동시에 감

# Corresponding Author : [sklyu@gnu.ac.kr](mailto:sklyu@gnu.ac.kr)

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

속기 발열이 심하므로 기어 및 워름 치면에 심한 마모 또는 손상이 나타나며 고주파 열처리된 피니언의 끝부분 파손현상이 나타나는 등 문제가 발생한다. 이러한 결함 때문에 스윙 감속기 제조업체에서는 워름기어의 문제점 해결방법에 대한 연구를 요구하고 있다. 워름 기어는 Screw action으로 인해 다른 기어에 비하여 상대적으로 진동과 소음이 적어 정속한 운전이 가능하다. 또한 다른 기어에 비하여 동일한 중심거리에서 큰 변속비를 얻을 수 있다.<sup>[1-5]</sup> 기어관련 연구는 많이 수행하고 있지만<sup>[6-10]</sup> 워름기어 관련 연구는 많지 않으므로 워름기어관련 연구를 요구하고 있다.

따라서 본 논문에서는 고정밀 3.5톤급 워름기어 스윙감속기 최적설계를 하기 위하여 기존의 워름기어 스윙감속기에서 발생하는 조립성 문제와 경량화와 발열저감을 고려한 워름기어와 최적의 케이스 설계 및 해석을 수행하였다.

## 2. 워름의 최적설계

### 2.1 워름의 모델링

기존의 워름기어 감속기의 워름기어는 전부 AIBC2 소재로 구성되어 있으며, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 워름 감속기에서는 워름기어와 워름의 마모와 발열 등의 문제점이 많이 발생하고 있다.

따라서 본 논문에서는 무게감소와 원가절감을 위해 Fig. 2와 같이 AIBC2소재인 워름(worm wheel)과 FC20소재인 워름보스(worm boss)를 결합하여 워름기어를 구성하였다.

그리고 워름 기어 및 피니언의 특성 분석결과를 바탕으로 CAD/CAM에서 기어를 설계하였다.

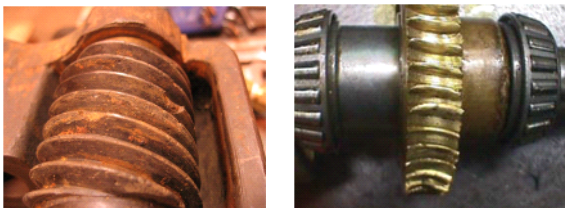


Fig. 1 Problem of swing reducer parts

모듈, 압력각, 잇수 등 기본적인 사양으로 CAD에서 워름 기어 및 피니언을 설계한 다음 치형을 설계하였다. 또한 치형을 설계하기 위해서는 P.C.D 상에서 인볼루트 치형을 설계하고, 원뿔형으로 등분을 설정한 후 각 등분마다 인볼루트 치형을 설계하였다. Fig. 3에 CATIA V5를 이용하여 모델링한 워름기어, 워름, 워름기어 시스템 등의 3차원 모델을 나타냈다.

여기서 워름은 AIBC2소재인 Worm wheel과 FC20소재인 Worm boss를 결합하여 구성하였다.

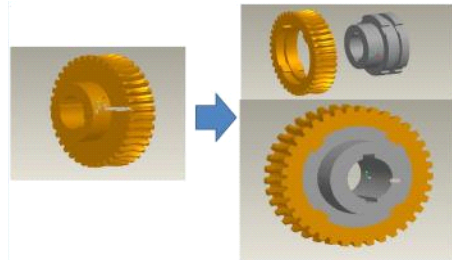


Fig. 2 Worm gear optimization method

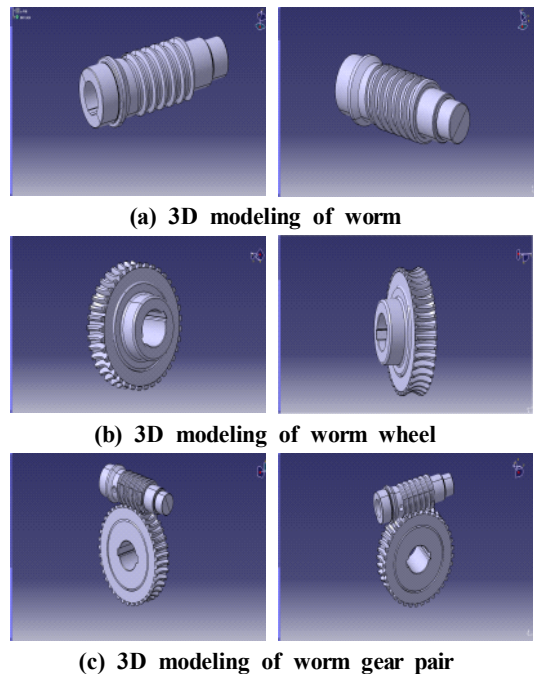


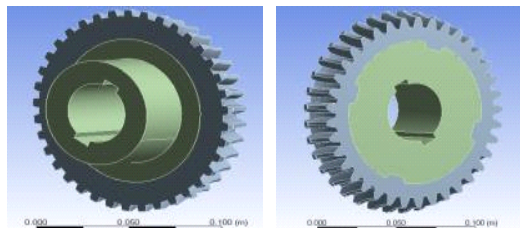
Fig. 3 3D modeling of worm and worm wheel

## 2.2 워휠의 해석

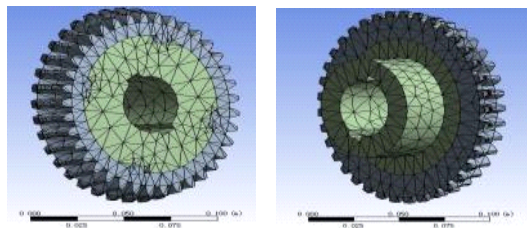
본 논문에서는 AIBC2소재인 워휠과 FC20소재인 워 보스를 결합한 워기어를 ANSYS를 활용하여 구조해석을 수행하는데, 우선 앞절에서 모델링한 분리형 워휠에 대한 해석을 수행하였다. 여기서 AIBC2소재인 워 휠과 FC20소재인 워 보스를 결합하여 만든 워기어의 모델링 및 메쉬는 Fig. 4와 같으며, 또한 해석결과를 Fig. 5에 나타냈다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이 변형, 변형률, 응력분포 모두 큰 변화가 없으며 분리형의 결합부분에 응력집중 분포현상이 나타나지 않았다. Fig. 5는 최적화한 워휠의 변형, 변형률, 응력분포 등의 해석결과이며, 변형의 경우 최대  $1.3351e-6$  m로 나타났고 변형률의 경우 최대  $2.3423e-4$  m/m로 나타났으며 응력의 경우 최대 24.6 MPa로 나타났다. 일체형 워휠과 분리형 워휠의 해석결과를 Table 1에 나타냈다. 최대변형은 Worm boss에서 나타났고 최대 변형률 및 응력은 Worm boss와 Worm wheel의 연결부분에서 나타났다. 일체형의 경우와 비교할 때 어느 정도의 변형률 및 응력의 상승이 생겼지만 안전한 설계범위내로 나타났다.

그리고 워휠과 워기어 쌍의 해석결과를 Fig. 6과 Table 1에 나타냈다.



(a) Model



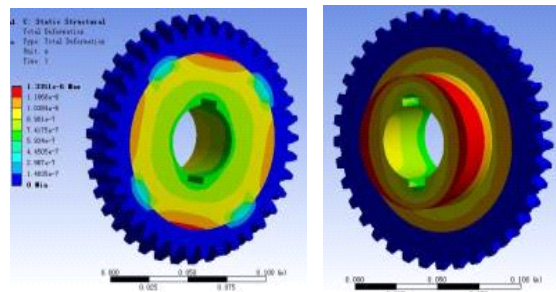
(b) Mesh

Fig. 4 Analysis preparation of optimal worm wheel

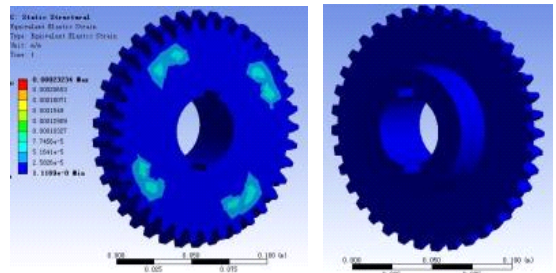
## 3. 워기어 감속기 케이스 최적설계

### 3.1 워기어 감속기 케이스 모델링

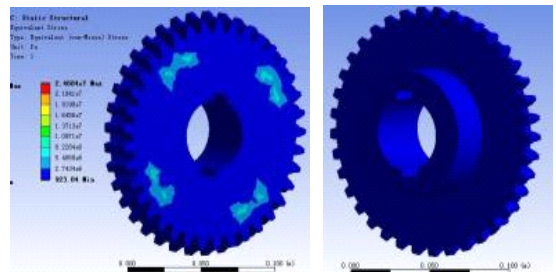
본 논문에서는 경량화, 발열 제어, 조립성을 고려한 감속기 최적화 케이스 기술의 개발을 수행하였다. Fig. 7에 나타낸바와 같이 기존의 3.5톤급 스윙감속기는 2 piece 케이스를 사용하고 있는데 본 논문에서는 조립성을 고려하고, 발열제어가 가능한 3 piece 케이스 방법을 사용하였다. Fig. 8은 3 piece 케이스 설계이며 이에 대하여 최적화 한



(a) Total deformation

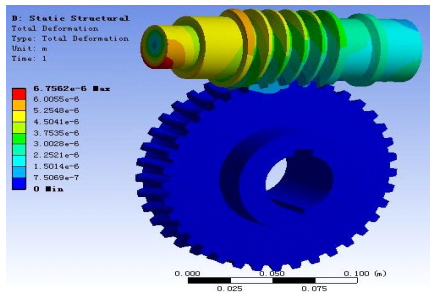


(b) Strain distribution

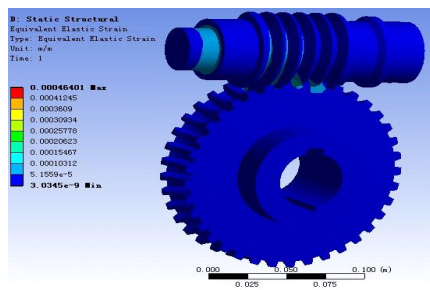


(c) Stress distribution

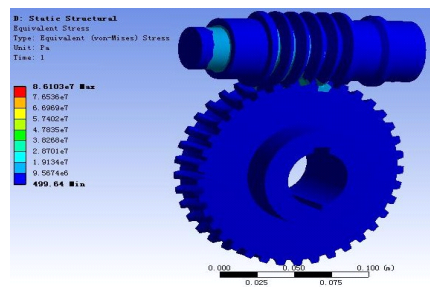
Fig. 5 Analysis results of optimized worm wheel



(a) Total deformation



(b) Strain distribution



(c) Stress distribution

Fig. 6 Analysis results of optimized worm gear pair

Table 1 Analysis results of worm wheel/worm gear pair

	Max Deformation (m)	Max Strain (m/m)	Max Stress (Pa)
Old Type	$3.0226 \times 10^{-7}$	$1.0305 \times 10^{-5}$	$1.8874 \times 10^5$
Optimized Type	$1.3351 \times 10^{-6}$	$2.34234 \times 10^{-4}$	$2.4604 \times 10^7$
Worm Gear Pair	$6.7562 \times 10^{-6}$	$4.6401 \times 10^{-4}$	$8.6103 \times 10^7$

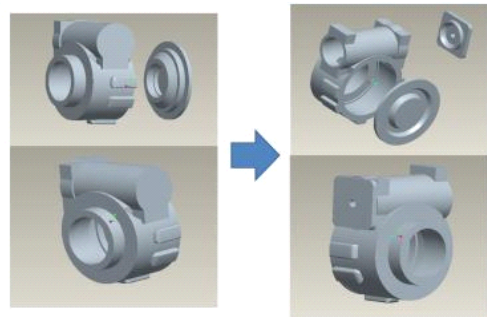


Fig. 7 Worm gear case optimization method

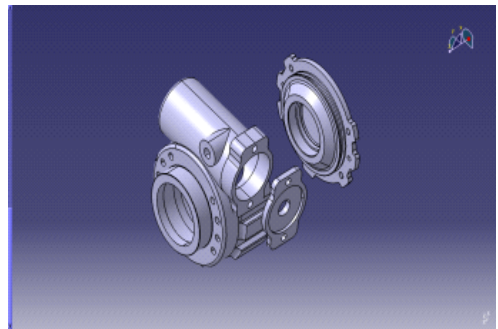


Fig. 8 Previous design of worm gear case

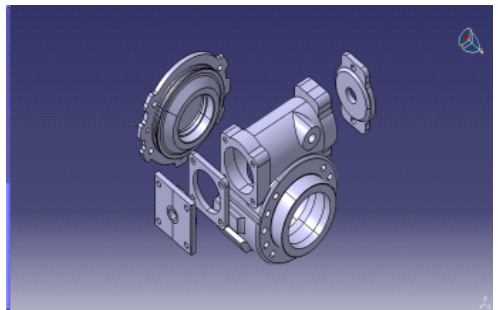


Fig. 9 Optimized design of worm gear case

설계안을 Fig. 9에 나타냈다.

### 3.2 웜기어 감속기 케이스 해석

본 논문에서는 조립성, 경량화, 발열 제어 등을 고려한 감속기 최적화 케이스를 설계하였다. 본 절에서는 ANSYS를 활용하여 앞에서 모델링한 분리형 웜휠에 대한 해석을 수행하였다. 여기서 최적화된 케이스의 3D 모델링, 매쉬 및 경계조건을



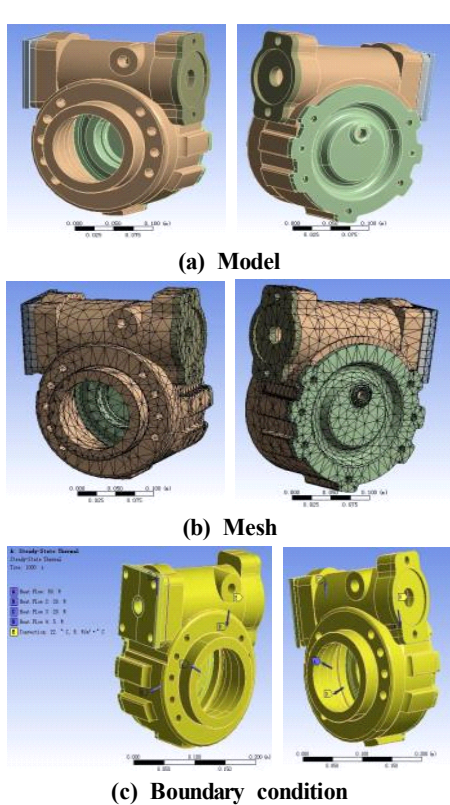


Fig. 10 Analysis preparation of optimized case

Fig. 10에 나타냈다.

또한 경량화, 발열 제어, 조립성을 고려한 감속기 최적화 3 piece 케이스의 해석을 수행하였다. 해석 결과 해석 2000 sec 시각에서의 온도분포, 총 열류, 열 에러 및 x축 열류의 결과는 Fig. 11에 나타낸 바와 같다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 고정밀 고소작업차용 워기어 스윙 감속기 최적설계를 하기 위하여 기존의 워기어 스윙 감속기에서 발생하는 조립성 문제와 경량화와 발열저감을 고려한 최적의 워휠, 워기어, 케이스를 설계하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 기존의 일체형 워휠의 해석결과 변형의 경우 최대  $3.0226e-7$  m로 나타났고 변형률의 경우 최대

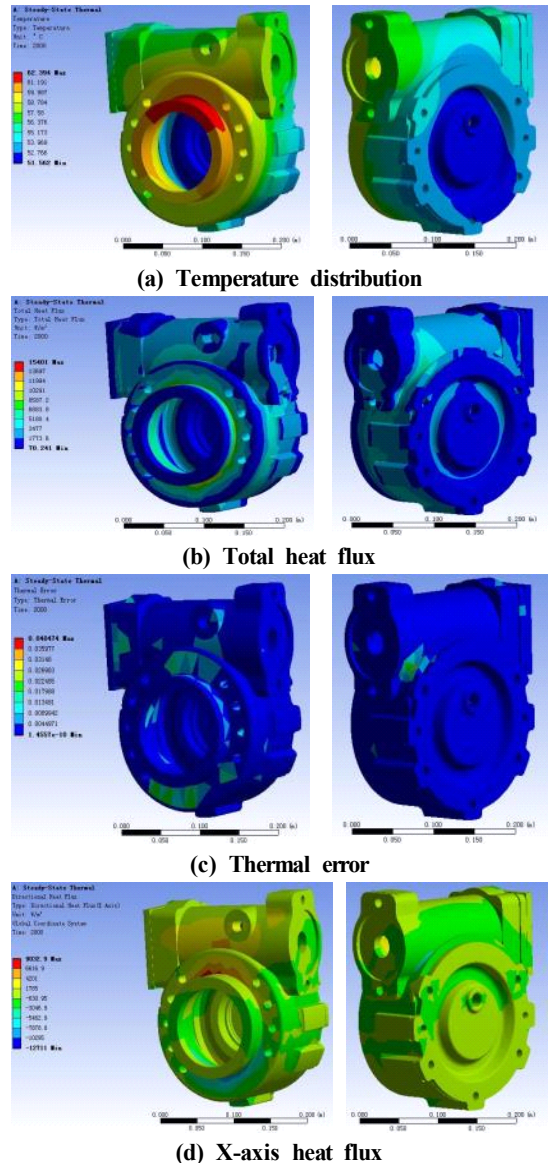


Fig. 11 Analysis results of optimized worm wheel

1.  $1.0305e-5$  m/m로 나타났으며 응력의 경우 최대 188.7 MPa로 나타났다.

2. 분리형 워휠의 최적화 해석결과 변형의 경우 최대  $1.3351e-6$  m로 나타났고 변형률의 경우 최대  $2.3423e-4$  m/m로 나타났으며 응력의 경우 최대 24.6 MPa로 나타났다.

3. 최대변형은 Worm boss에서 나타났고 최대 변형률과 응력은 Worm boss와 Worm wheel의 연결 부분에서 나타났다. 일체형의 경우와 비교할 때 어느 정도의 변형률 및 응력 상승이 나타났지만 안전한 범위내로 나타났다.
4. 최적화한 원 기어쌍의 해석결과 변형의 경우 최대  $6.7562e-6$  m로 나타났고 변형률의 경우 최대  $4.6401e-4$  m/m로 나타났으며 응력의 경우 최대 86.1 MPa로 나타났다.
5. 최적화 케이스의 해석결과 해석 2000 sec 시각에서의 온도분포, 총 열류, 열 에로 및 x축 열류의 결과는 설계한 케이스의 열평형을 이루고 있는 것으로 나타났다.

## 후 기

“이 논문은 경상대학교 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 산학공동기술개발과제(2015-0397)지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

1. Yeh, T. J. and Wu, F. K., “Modeling and Robust Control of Worm-gear driven Systems,” Simul. Model. Pract. Theory, Vol. 17, No. 5, pp. 767-777, 2009.
2. Simon, V. V., “Influence of Tooth Errors and Shaft Misalignments on Loaded Tooth Contact in Cylindrical Worm Gears,” Mech. Mach. Theory, Vol. 41, No. 6, pp. 707-724, 2006.
3. Litvin, F. L., Vecchiato, D., Yukishima, K., Fuentes, A., Gonzalez-Perez, I., and Hayasaka, K., “Reduction of Noise of Loaded and Unloaded Misaligned Gear Drives,” Comput. Meth. Appl. Mech. Eng., Vol. 195, No. 41-43, pp. 5523-5536, 2006.
4. Mohan, L. V. and Shunmugam, M. S., “Geometrical Aspects of Double Enveloping Worm Gear Drive,” Mech. Mach. Theory, Vol. 44, No. 11, pp. 2053-2065, 2009.
5. Shi, W., Qin, D., and Xu, W., “Meshing Control of the Double-Enveloping Hourglass Worm Gearing under the Conditions of Existing the Errors and the Load,” Mech. Mach. Theory, Vol. 39, No. 1, pp. 61-74, 2004.
6. Lee, S., Lee, D. H., Hwang, S. C. and Lee, K. H. “Stress Analysis of Helical Gear for a Railway Reducer,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 11, No. 2, pp. 55-59, 2012.
7. An, I. H., Hur, N. S., Lee, I. B. and Lyu, S. K., “A Study on Effect of the Grinding in SCM420H Planetary Gear,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 11, No. 5, pp. 54-59, 2012.
8. Choi, B. R., Hwang, K. B., Bae, K. Y., “Analysis on Cutting Force of Tool in Gear Chamfering Process,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 12, No. 1, pp. 52-62, 2013.
9. An, I. H., Ahn, M. J., Xu, Z. and Lyu, S. K., “A Study on the Effect of the Honing in SCM420H Planetary Gear,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 10, No. 3, pp. 13-18, 2011.
10. Han, M. and Cho, J., “Strength Durability on Spur and Helical Gears in the Gearbox of Machine Tool,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 13, No. 3, pp. 103-110, 2014.