

하이포이드 하이레이셔 기어를 이용한 감속기 설계에 대한 연구

김성용*, 이창우#

(* 창원대학교 기계설계공학과, # 창원대학교 기계공학부)

A Study on Design of Reducer Using Hypoid High Ratio Gear

Seongyong Kim*, Changwoo Lee#

(Received 12 November 2014; received in revised form 14 December 2014; accepted 16 December 2014)

ABSTRACT

A hypoid gear is a type of spiral bevel gear whose axis does not intersect with the axis of the meshing gear. The size of a hypoid gear is compact and the ratio of contact is high; therefore, the noise is lower than in other types. Due to these characteristics, the hypoid gear is commonly used in manufacturing processes such as those of escalators and subway screen doors.

The purpose of this paper is to develop a reducer using the hypoid gear. In order to check the stability of the proposed reducer, 3D modeling is carried out by CATIA, and a structural analysis is performed using FEM (a finite element method).

Key Words : Hypoid Gear(하이포이드 기어), High ratio(고 비율), Reducer(감속기), Finite Element Analysis(유한요소해석)

1. 서 론

감속기는 원동기의 회전력을 정해진 감속비로 감속시켜 피동기에 전달하는 장치로서, 감속기능 외에 동력전달 장치이며 회전력을 감속비만큼 증폭시키는 기능을 가지고 있다. 감속기의 동력을 전달하기 위해 사용되는 기계요소로는 체인, 벨트, 기어 등이 있다. 그 중 기어는 가장 널리 사용되고 있다^[1].

기어는 구동축과 종동축의 상대적 위치에 따라

크게 평행 축 기어와 교차 축 기어, 어긋난 축 기어로 구분이 가능하며, 평행 축 및 교차 축의 기어 쌍의 물림은 대부분 회전이며 상대적으로 미끄럼은 적으므로 고효율이다.

하이포이드 기어(Hypoid gear)는 베벨기어의 일종으로서 베벨기어의 축을 엇갈리게 한 것으로 축의 협각이 90도를 이루는 것을 말하며, 하이포이드 기어의 경우 피니언 기어를 크게 제작할 수 있어 접촉률이 크고 원활하게 회전하여 감속비를 크게 할 수 있다는 장점이 있으며, 다른 기어에 비해 진동이나 소음이 매우 작은 편으로 하이포이드 기어의 형상은 다른 기어 형태와 달리 스파이럴 베벨기어와 워기어의 중간형태로 기어 형상이 복잡하고, 이해하기 쉽지 않으며, 동력 전달 시 미끄러짐 마찰이 심하게 발생하므로 극압 및 내마모성

* Department of Mechanical Design and Manufacturing, Changwon National Univ.

Corresponding Author :

School of Mechanical Engineering, Changwon National Univ.

E-mail : leecw@changwon.ac.kr

특성이 요구되며, 지하철 스크린 도어 및 에스컬레이터 등 산업 전반에 걸쳐 많은 곳에 사용된다. 이에 따라 최근에는 하이포이드 기어 강도의 영향 인자에 관한 파라미터 분석이 활발하게 진행되고 있으며, 또한 하이포이드 기어의 체적을 최소화하기 위해 유전 알고리즘을 이용한 최적 설계에 관한 연구 역시 활발히 진행 중에 있다^[2~6].

본 논문에서는 하이포이드 하이레이서 기어를 적용한 컴팩트한 감속기를 설계하고자 한다. 이에 구조해석을 수행하여 감속기의 안정성을 검토하였다.

2. 설계

2.1 하이포이드 기어 설계

하이포이드 기어 설계 과정은 가공 방식에 의하여 결정된다. 기어의 가공 방식으로는 페이스 밀링(face milling) 방식과 페이스 호빙(face hobbing) 방식으로 나뉘지며, 기어의 제원 설계를 위한 계산방법으로 글리슨 방식(ISO 23509)을 적용하였다.

하이포이드 기어는 전달하고자 하는 동력과 감속비에 의해 피치원 지름, 피니언 잇수, 피치 폭 등이 결정되며, 비틀림 각, 피니언 오프셋 등, 초기 설계 데이터는 공구의 데이터를 고려해 피치원뿔 파라미터가 결정된다. 하이포이드 기어 장치의 설계를 위한 초기설계 데이터는 Table 1과 같다.

Table 1 Basic data for hypoid gears design

Symbol	Description
Σ	Shaft angle
a	Pinion offset
$z_{1,2}$	Number of teeth in pinion, gear
m_{et2}	Outer transverse module
b_2	Gear face width
β_{m1}	Mean spiral angle of pinion
γ_{c0}	Cutter radius
z_0	Number of blade groups

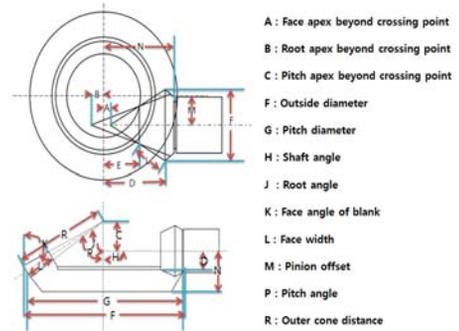


Fig. 1 Basic data for hypoid gears design

피치 원뿔 파라미터의 제원이 결정된 후 이 높이 계수(depth factor), 이 뿌리 틈새 계수(clearance factor), 어텐덤 계수(mean addendum factor), 이 두께 계수(thickness factor), 치 직각 백래쉬(outer normal backlash)를 통하여 기어의 상세 제원을 결정하며, 하이포이드 기어 제원과 관련된 내용은 Fig. 1에 나타난다.

2.2 하이포이드 감속기 설계

하이포이드 감속기의 기어 구조는 베벨기어와 같이 입력축과 출력축이 교차하는 구조이지만, 기어의 축이 일치하지 않고 엇갈린 구조로 이루어져 있으며, 피니언 기어의 잇수를 2개로 최소화 하고 이에 따라서 링 기어의 잇수를 1/3 정도로 줄여 감속기의 크기가 컴팩트하여 장소가 협소하거나 무게를 줄여야 하는 자동차 부품, 공작기계 부품 등에 사용할 수 있으며, 피니언 잇수와 기어의 잇수가 줄어들어도 감속비는 이전의 하이포이드 기어를 이용한 감속기와 동일한 성능을 발휘 할 수 있도록 설계하였다.

개발하고자 하는 감속기의 사양은 Table 2와 같으며, Fig 1은 하이포이드 감속기의 구조이다.

Table 2 Specification of the reducer

Item	Value
Gear ratio	1/30
Input shaft rotational speed(rpm)	1,750
Efficiency(%)	80
Sound level	72

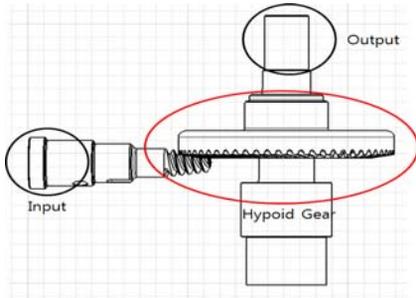


Fig. 2 Schematic of hypoid gears

3. FEM 해석

3.1 구조해석

Fig. 3은 상용 CAD 프로그램인 CATIA V5를 이용하여 3D 모델링을 진행하며, 각 구성품 간의 모델링을 완료 후 Assembly를 진행하여 감속기를 조립 후 간섭체크를 수행하여 간섭이 없음이 확인되면 FEM 해석을 진행한다. FEM 해석기법을 이용하여 하이포이드 기어 및 감속기의 응력 및 변형량을 계산하며, 구조해석은 상용해석 프로그램인 ANSYS Workbench를 사용하였다.

Fig. 4는 감속기의 유한요소 해석 모델을 나타내고 있으며, 응력 및 변형량이 가장 많이 발생할 것으로 예상되는 감속기의 기어 및 피니언 기어의 유한요소 격자를 조밀하게 생성하며, 응력 및 변형량이 적을 것으로 판단되는 감속기의 Case는 해석시간을 줄이기 위하여 격자를 크게 생성한다.

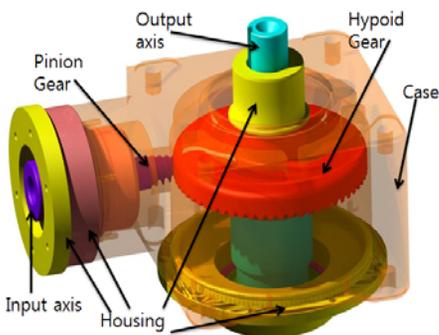


Fig. 3 3D model of the designed reducer

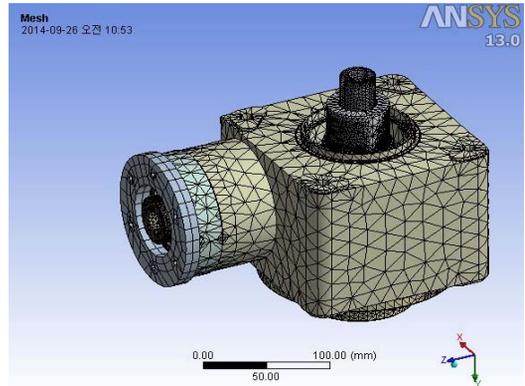


Fig. 4 FE model of the designed reducer



Fig. 5 Boundary conditions of the reducer

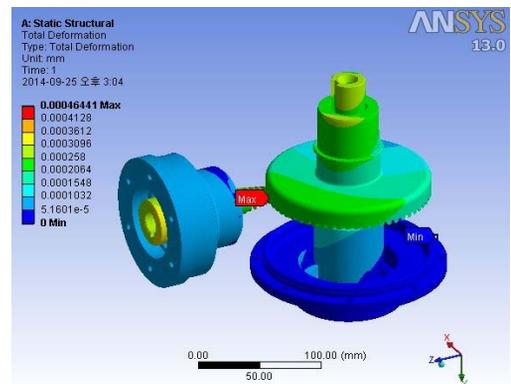


Fig. 6 Analysis of total deformation

Table 3 Material properties of the reducer

	Density (kg/m^3)	Poisson's ratio	Elasticity (GPa)
Steel	7,850	200	0.3

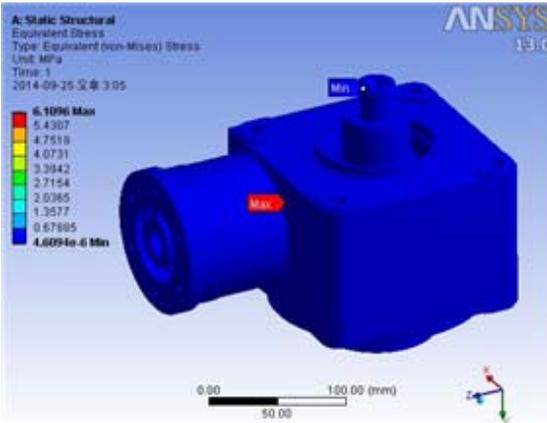


Fig. 7 Analysis of equivalent stress

Fig 5는 감속기의 경계조건 및 하중을 나타낸다. 구속조건은 감속기의 Case의 외부를 고정하였으며, 감속기 전체에 중력과 입력축에 1750rpm, 출력축에 59rpm을 적용하였다. 또한 감속기의 각 구성품의 재질은 Steel을 적용하여 표 3에 나타난 물성치를 적용한다. Fig 6은 해석 결과를 나타낸다. 해석 결과 감속기의 출력축 상단에 $4.64\mu m$ 의 최대 변형이 발생하고 이는 무시할 수 있을 정도의 값이며, 감속기 Case에서는 변형이 발생하지 않았으며, 응력 해석 결과 최대 응력은 피니언기어에서 발생하며 6.1MPa로 감속기의 재질인 Steel의 항복 응력에 비해 아주 작은 값이므로 무시할 수 있다. 따라서 감속기의 설계에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

3.2 모드해석

구조해석 완료 후 감속기의 외부 가진에 대한 안정성을 평가하기 위해 모드해석을 진행하였다. 경계 조건으로는 구조해석과 동일하게 감속기의

Table 4 Natural frequency of reducer

Mode Number	Natural Frequency(Hz)
1	535.44
2	785.04
3	1291.3
4	1914.5
5	1963.2
6	2083.6

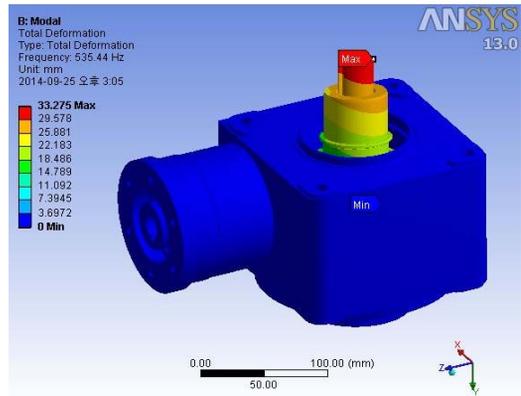


Fig. 8 Result of modal analysis

Case 외부를 고정하며 감속기 전체에 중력을 인가한 후 모드해석을 진행 하였다.

Fig. 8은 1차 모드해석의 결과이며 1차 모드 해석 결과 고유진동수는 535.44Hz로 나타났다. 또한 Table 4는 감속기의 1~6차 모드의 고유진동수를 나타내며 이 값은 입력축이 1750rpm으로 회전 할 경우의 29.3Hz에 비하여 공진주파수가 크게 상회하므로 해석 모델은 공진 주파수에 대하여 안정적으로 설계되었다고 판단하였다.

4. 결론

하이포이드 기어를 이용한 감속기 개발을 위하여 기어에 대한 설계 검토를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 하이포이드 기어 제원에 맞춰 파라미터를 설정하고 하이포이드 기어를 설계 하였다.

2) 감속기 설계를 위하여 구조적 안정성에 대하여 검토하였다. 감속기에 인가되는 응력에 따른 변형을 알아보기 위한 구조해석을 수행하여 감속기의 안전함을 확인하였다.

3) 3D 모델을 모델링하여 조립성 검토를 진행하며, 입력축 회전수 1750rpm, 감속비 1/30의 하이포이드 기어를 이용한 감속기를 설계하였다.

후 기

“본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학협력 기술개발사업(No.C0118730)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.”

REFERENCES

- (1) Kim, T. W., "Design of a Reduction Gear using Double-Enveloping Worm Gear" J.KSPE Vol. 30, No.8, pp. 785-789, 2013.
- (2) LEE, K. H., "Parameter Analysis of Hypoid Gear Strength and Durability" J.KSMTE Spring Conference, pp. 409-414, 2006.
- (3) Lee, K. H., "An Optimum Design Method of Hypoid Gear by Minimizing Volume" J.KSMTE Vol. 16, No. 6, pp. 55-61, 2007.
- (4) Kim, D. W., "Perform Design for Hypoid Gear Forging of Automobile Transmission Parts" J.KSTP Spring Conference pp. 377-380, 2010.
- (5) Han S. Y., " A Study on the Reliability and Life of Hypoid Gear Axle" J.KSPE Vol. 13, No. 3 pp. 123-131, 1996.
- (6) Choi, K. H., " Evaluation of strength and safety of reduction Gear Module" J.KSME Autumn Conference, pp. 465-469, 2009.
- (7) Choi, B. K., "Identify Hypoid Gear Whine Noise for Deflection Test and Transmission Error Measurement" J.KSNVE Vol. 19, No. 2, pp. 127-137, 2009.
- (8) Park, S. P., "Analysis of the Relation Between

Machining Accuracy of Internal Gear and Noise in Reduction Gears" J.KSME Vol. 36, No. 5 pp. 537-543, 2012.

- (9) Bea, I. H., "Optimal Design of Hypoid Gears" J.KSMTE Spring Conference pp. 421-425, 2006
- (10) Chong T. H., " Optimum Design of Multi-Stage Gear Drive Considering Volume and Reliability" J.KSMTE Autumn Conference pp. 368-375, 2006.