

공작기계 기어박스에서의 스퍼기어와 헬리컬기어에 대한 강도 내구성

한문식*, 조재웅#

(* 계명대학교 기계자동차공학과, # 공주대학교 기계자동차공학과)

Strength Durability on Spur and Helical Gears in the Gearbox of Machine Tool

Moonsik Han*, Jaeung Cho#

(Received 1 March 2014; received in revised form 13 May 2014; accepted 27 June 2014)

ABSTRACT

In this study, spur and helical box models of an existing machine tool are investigated using structural and fatigue analyses. As the helical box model is shown to have less stress and deformation than those characteristics of the spur box model, the helical box has more strength and more transmission efficiency on the structure. In terms of fatigue analysis, the helical box model has more repeated fatigue strength than that of the spur box model. These study results can be effectively utilized in the design of real gear boxes of machine tools by anticipating and investigating prevention and durability against damage.

Key Words : Spur and helical gears(스퍼, 헬리컬 기어), Equivalent stress(등가 응력), Total deformation(전 변형량), Fatigue life(피로수명), Fatigue damage(피로 손상), Durability(내구성)

1. 서 론

여러 공작기계에서 기어의 잇수비와 종류에 따라 원하는 회전수와 출력을 얻기 위해 사용되는 기어박스는 보통 기본 입력 동력원은 벨트기어로

얻고 출력은 스퍼기어와 헬리컬기어 등으로 얻는다^[1]. 입력 동력을 동일하게 주어진 상황에서 출력 기어의 변화만으로 달라지는 출력을 분석하여 스퍼기어와 헬리컬기어의 장점과 단점을 분석할 수 있다^[2]. 이러한 노력은 차후에 자신이 원하는 회전수와 출력에 따라 자유로이 스퍼기어와 헬리컬기어를 선택하는 기준이 되며 이러한 데이터는 기어박스 뿐만 아니라 다른 동력전달장치에서도 활용 가능할 것으로 보인다. 본 연구에서는 기존의 기어박스에서 스퍼기어와 헬리컬 기어의 구조해석과 피로해석으로서 비교 분석을 하였다[3-7]. 헬리컬

* Keimyung University Mechanical and Automotive Engineering Dept.

Corresponding Author :

Kongju National University Mechanical Engineering Dept.

E-mail : jucho@kongju.ac.kr

기어가 스퍼기어보다 구조나 피로의 내구성면에서 우수한 결과를 보이고 있다. 본 연구의 결과를 종합하여 실제 기어 박스의 설계에 응용한다면 그 파손방지 및 내구성을 검토, 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.

2. 연구 모델 및 구속조건

2.1 연구 모델

CATIA를 이용하여 모델링한 후 ANSYS를 이용하여 해석^[7]하였으며 Model 1의 메시는 Fig. 1과 같으며 스퍼기어의 크기는 지름 : 82 mm, 두께 : 11 mm 이며 잇수는 39개이고 모듈은 약 2.1 이다. 스퍼기어는 기존의 기어박스에서 주로 출력축에 쓰는 기어이며 모멘트 값은 500 N·m를 부여하였다.

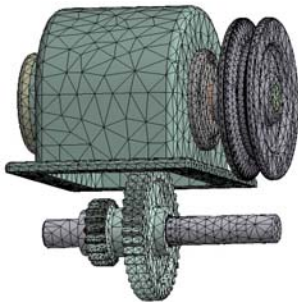


Fig 1. Mesh configuration of model 1

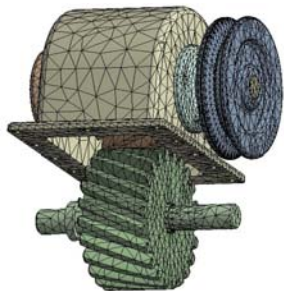


Fig 2. Mesh configuration of model 2

Table 1 Numbers of nodes and elements in models 1 and 2

	Model 1	Model 2
Nodes	83214	72844
Elements	39394	35516

Model 2의 메시는 Fig. 2와 같으며 헬리컬 기어의 크기는 지름 : 94 mm, 두께 : 40 mm 이며 잇수는 39개이고 모듈은 약 2.1이다. 헬리컬 기어는 보통 큰 힘을 전달할 때 쓰는 기어이며 더 큰 힘이 필요할 경우에는 더블 헬리컬 기어를 사용하기도 한다. 모멘트 값은 스퍼기어와 같이 500 N·m를 부여하였다. Model 1과 2에 대한 메시에 대한 절점과 요소수는 Table 1과 같다. 기어들의 요소수는 작아 보일 수도 있지만 전체적인 메시수는 4만개 정도까지가 된다. 이는 단순히 기어들만에 대한 구조해석을 하는 것이 아니라 기어 박스에 대한 강도를 해석하였다. 본 연구는 두 모델에 대한 그 상대적인 강도 비교를 하는 것으로서 기어들 자체에 대한 메시수가 구조 강도의 비교에 미치는 영향은 그다지 없다고 사료된다. 또한 많은 요소수는 해석 시간이 길어져 해석의 효율성이 저하될 수 있다고 사료된다.

2.2 모델의 구속 조건

Model 1 및 2는 각각 스퍼기어 및 헬리컬 기어를 포함한 기어 박스이고 잇수비와 모듈은 둘이 똑같은 값을 얻을 수 없기 때문에 최대한 비슷한 조건으로 만들고 나머지 하우징과 동력전달의 핵심인 키 샤프트 베어링 등도 동일하게 하였다. Model 1 및 2의 재료물성치는 Table 2와 같이 하여 구조용강으로 동일하게 적용한다. Model 1과 Model 2에 대한 구속 조건은 각각 Fig. 3에서 보는 바와 같이 하우징 및 공작기계와 나사고정을 하는 부분을 고정 구속을 적용하고, Fig. 4에서와 같이 Model 1과 Model 2에 대하여 각각 모멘트를 전달되는 축에 원통형 구속을 부여한다. 그 다음 Fig. 5에서와 같이 하우징 안에 있는 축의 각각 스퍼기어와 헬리컬 기어에 모멘트 500 N·m를 y

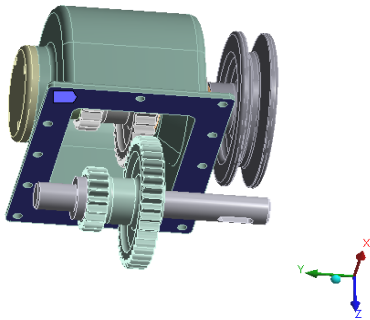
축의 반대방향으로 부여한다. 이것은 V벨트에서부터 오는 회전 모멘트를 보통 하우징 축의 기어에 부여한 것과 같다.

Table 2 Material property

Young's Modulus	200 GPa
Poisson's Ratio	0.3
Density	7850 kg/m ³
Tensile Yield Strength	250 MPa
Compressive Yield Strength	250 MPa
Tensile Ultimate Strength	460 MPa
Compressive Ultimate Strength	0 MPa

Fixed Support
Time: 1, s

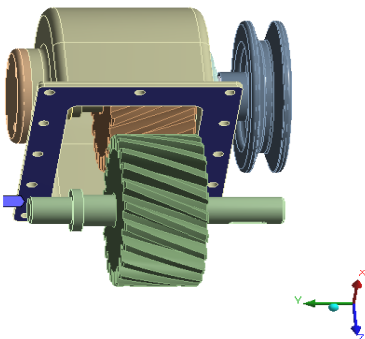
■ Fixed Support



(a) Model 1

Fixed Support
Time: 1, s

■ Fixed Support

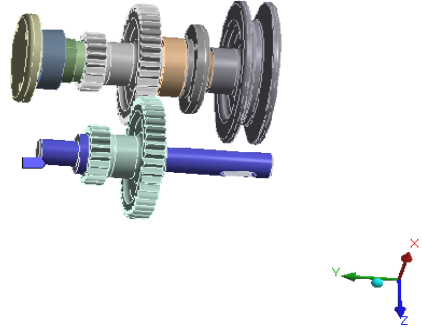


(b) Model 2

Fig. 3. Fixed supportstst

Cylindrical Support 2
Time: 1, s

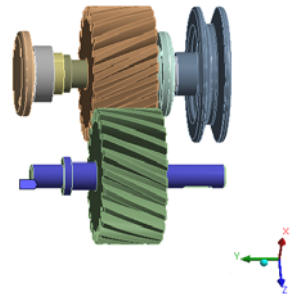
■ Cylindrical Support 2: 0, m



(a) Model 1

Cylindrical Support 2
Time: 1, s

■ Cylindrical Support 2: 0, m

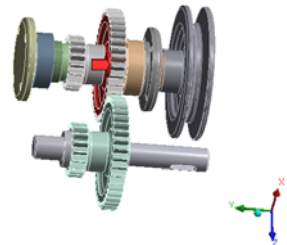


(b) Model 2

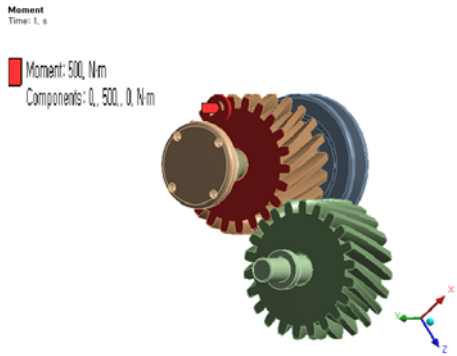
Fig. 4. Cylindrical supports

Moment
Time: 1, s

■ Moment: 500, N/m
Components: 0, 500, 0, N/m



(a) Model 1



(b) Model 2

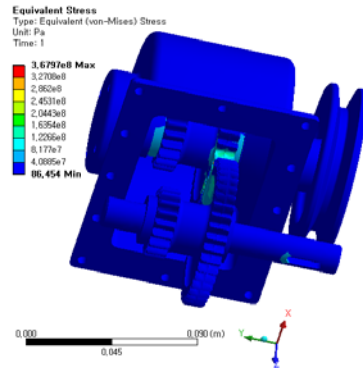
Fig. 5. Applied moments

3. 구조해석

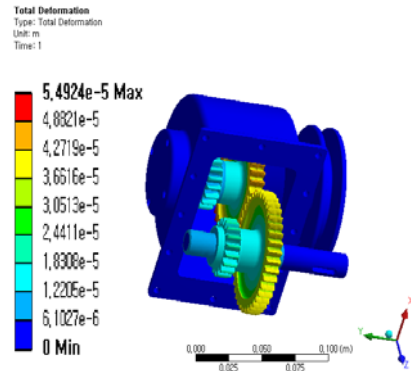
Model 1과 2에 대하여 모델링을 하여 구속 조건을 부여하여 구조 해석한 결과, Model 1의 등가 응력은 Fig. 6의 (a)와 같이 전달축에 걸리는 응력은 주로 86.454 Pa로 나타나고 있다. 또한 Fig. 9의 (b)는 위와 같은 조건에서의 총 변형량으로 최대 5.4924×10^{-5} m를 확인할 수 있다.

Model 2의 등가응력은 Fig. 7의 (a)에서와 같이 전달축에 걸리는 응력은 주로 17.436 Pa로 나타나고 있다. 또한 Fig. 7의 (b)는 위와 같은 조건에서의 총 변형량으로 최대 8.1475×10^{-6} m를 확인할 수 있다.

Table 3에서도 알 수 있듯이 출력축에 전달되는 응력은 Model 2인 헬리컬기어가 Model 1인 스퍼기어보다 주된 응력이 작게 나와 월등히 좋은 전달력을 확인 할 수 있었다. 그리고 총변형량에서는 Model 1인 스퍼기어보다 Model 2의 헬리컬기어가 10배 정도의 적은 변형량을 보이고 있다. 또한 Table 2에 나온 전달축의 등가응력은 주된 등가응력을 보여 준다. 그러나 그 최대 응력들은 Model 1 및 2는 368MPa 및 269MPa이 되어 국부적인 작은 부분에서 항복이 약간 진행됨을 알 수 있다.

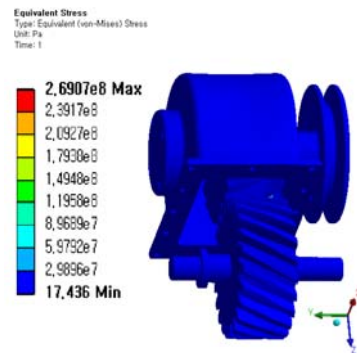


(a) Equivalent stress

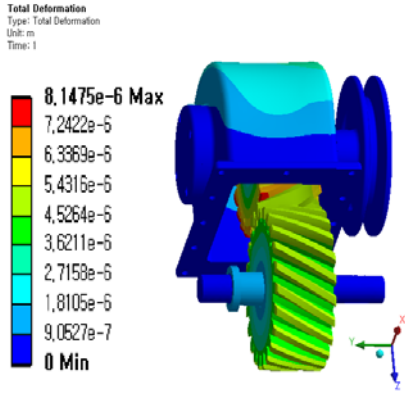


(b) Total deformation

Fig. 6. Results of structural analysis at model 1



(a) Equivalent stress



(b) Total deformation

Fig. 7. Results of structural analysis at model 2

Table 3 Comparison between structural analysis results of model 1 and model 2

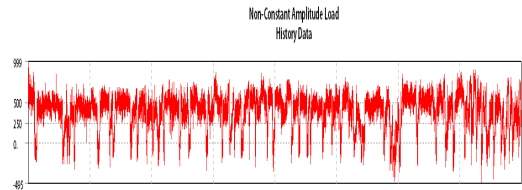
구분	Model 1	Model 2
Main stress	86.454 Pa	17.436 Pa
Maximum total deformation	5.4924×10^{-5} m	8.1475×10^{-6} m

4. 피로 해석

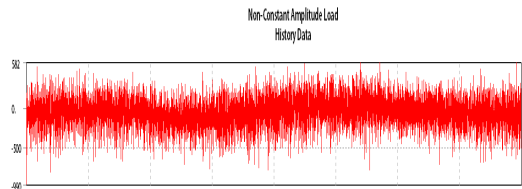
4.1 Model 1의 피로 해석

피로해석을 할 때의 Model 1의 경계조건은 Fig. 3과 Fig. 4와 같은 구조해석 구속 조건으로서 설정하고 Fig. 5와 같이 모멘트를 가하여 피로 해석 결과를 볼 수 있다. 피로해석에서는 다음과 같은 불규칙 변동 하중을 적용하였다. Fig. 8은 경과된 1 사이클들에 대한 응력 진폭과 일정한 평균 응력의 내역을 나타낸다. 이에 대한 3가지 형태를 (a), (b), (c) 와 같이 보이고 있다.

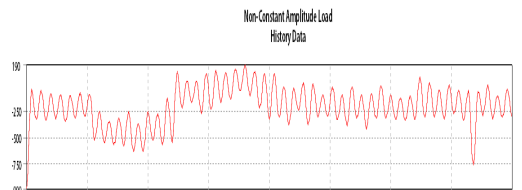
각각의 출력들은 불규칙 진폭하중들인 'SAE bracket history', 'SAE transmission', 'Sample history' 들의 하중들로서 서로 비교 될 수 있다. 피로에 대한 해석 결과의 출력들은 피로 수명 및 파손들을 나타낸다.



(a) SAE bracket history

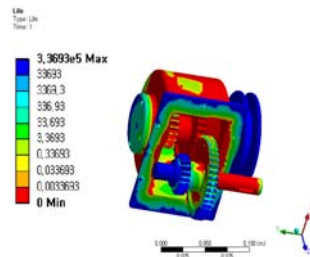


(b) SAE transmission

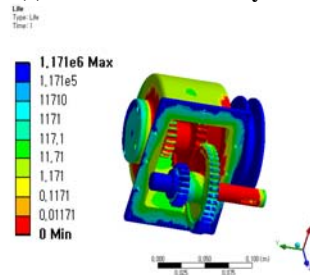


(c) Sample history

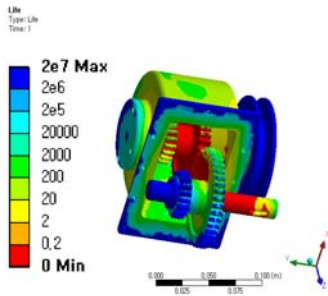
Fig. 8. Histories of fatigue loads



(a) SAE bracket history

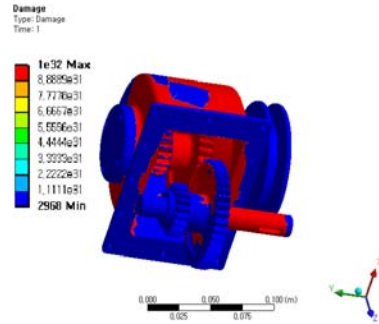


(b) SAE transmission



(c) Sample history

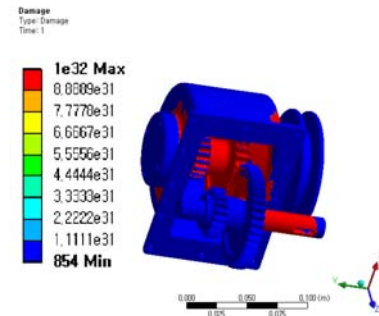
Fig. 9. Contour plots of fatigue life at model 1



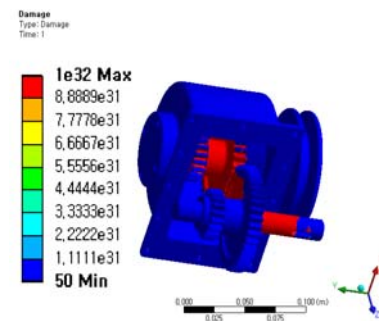
(a) SAE bracket history

Fig. 9에서 보면 Model 1에 대한 피로 수명의 등고선으로서 (a)의 경우의 하중의 변화가 극심한 'SAE bracket'의 경우가 사용 가능 수명이 3.37×10^5 Cycle 정도로 가장 짧은 것을 볼 수가 있고 하중의 변화가 완만한 'Sample history'의 경우가 그 수명이 2×10^7 Cycle 정도로 가장 긴 것을 알 수 있었다.

Fig. 10에서 볼 수 있는 바와 같이 Model 1에 대하여 등고선으로 된 피로 손상은 설계 수명을 사용 가능 수명으로 나눈 것으로 정의된다. 피로 손상이 아주 적은 부분으로서 세 가지 경우들을 공히 비교할 수 있다. (a)의 경우인 하중의 변화가 극심한 'SAE bracket'의 경우가 손상이 2968로 가장 많은 것을 볼 수가 있고 하중의 변화가 완만한 'Sample history'의 경우가 그 손상이 50 정도로 가장 적은 것을 알 수 있었다. 따라서 불규칙 피로 하중들 중에서는 하중의 변화가 극심한 'SAE bracket history'의 경우가 대체적으로 가장 불안정한 경향을 보이고 있고, 비교적 하중의 변화가 완만한 'Sample history'의 경우가 가장 안정함을 보이고 있다.



(b) SAE transmission



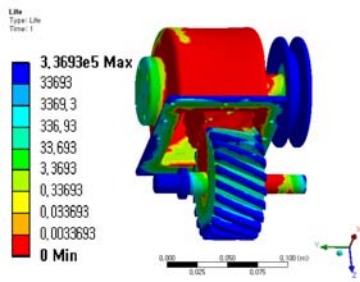
(c) Sample history

Fig 10. Contour plots of fatigue damages at model 1

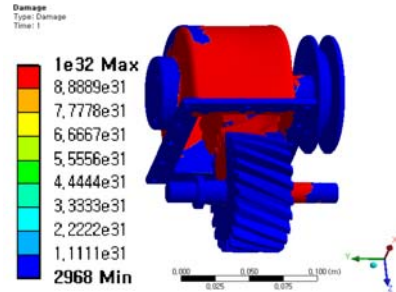
4.2 Model 2의 피로 해석

피로해석을 할 때의 Model 2의 경계조건은 Model 1의 경계조건과 같고, Model 2의 피로해석에서는 Model 1과 같은 불규칙 변동 하중을 세 가지 형태로 적용하였다. 각각의 출력들은 불규칙

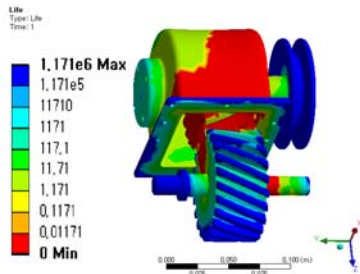
진폭하중들인 'SAE bracket history', 'SAE transmission', 'Sample history'들의 하중들로서 서로 비교 될 수 있다. 피로에 대한 해석 결과의 출력들은 피로 수명 및 파손들을 나타낸다.



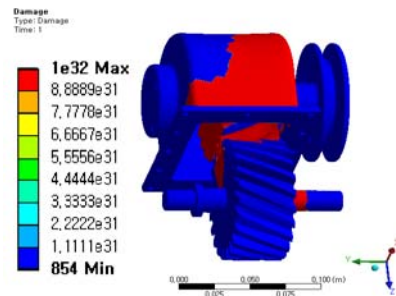
(a) SAE bracket history



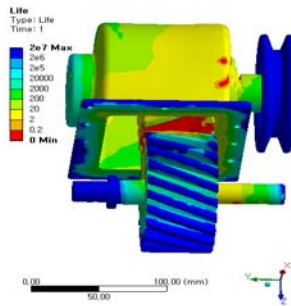
(a) SAE bracket history



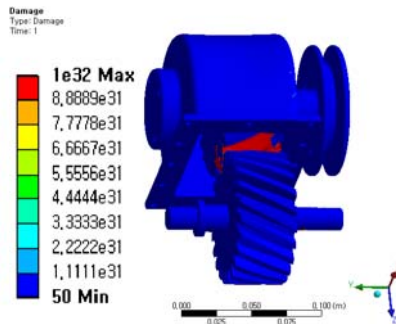
(b) SAE transmission



(b) SAE transmission



(c) Sample history



(c) Sample history

Fig. 11. Contour plots of fatigue life at model 2

Fig. 11에서 보면 Model 2에 대한 피로 수명의 등고선으로서 (a)의 경우의 하중의 변화가 극심한 ‘SAE bracket’의 경우가 사용 가능 수명이 3.37×10^5 Cycle 정도로 가장 짧은 것을 볼 수가 있고 하중의 변화가 완만한 ‘Sample history’의 경우가 그 수명이 2×10^7 Cycle 정도로 가장 긴 것을 알 수 있었다.

Fig. 12는 Model 2에 대하여 등고선으로 된 피

Fig 12 Contour plots of fatigue damages at model 2

로 손상으로서 피로 손상이 아주 적은 부분으로서 세 가지 경우들을 공히 비교할 수 있다. (a)의 경우인 하중의 변화가 극심한 ‘SAE bracket’의 경우가 손상이 2968로 가장 많은 것을 볼 수가 있고 하중의 변화가 완만한 ‘Sample history’의 경우가 그 손상이 50 정도로 가장 적은 것을 알 수 있었다.

따라서 불규칙 피로 하중들 중에서는 하중의 변화가 극심한 'SAE bracket history'의 경우가 대체적으로 가장 불안정한 경향을 보이고 있고, 비교적 하중의 변화가 완만한 'Sample history'의 경우가 가장 안정함을 보이고 있다.

Model 1과 Model 2에 대한 피로해석의 결과 값을 비교하면, 그 최대 수명 및 손상 영역이 달라짐을 볼 수 있다. 최대의 피로 수명이나 손상의 경우들을 보면 그 등고선의 범위가 완만한 피로 하중일수록 최대 피로수명이 길어지거나 손상의 범위가 작아짐을 알 수 있다.

Model 1과 Model 2를 비교하면, SAE bracket history 과 SAE transmission 는 life값에서 별다른 점을 보이지 않았다. Sample history에서 Model 2가 Model 1 보다 피로 수명이 더 길고 파손 가능성이 훨씬 더 적어짐을 알 수 있다.

또한 구조상에서 강성이 큰 헬리컬 기어가 스퍼기어보다 변형량이 작게 나타나고 있다. 피로해석 면에서 보면 전달응력이 크고 변형량이 적은 헬리컬기어가 스퍼기어보다 반복 피로강도에 더 강함을 보였다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 공작기계의 스퍼기어 박스와 헬리컬 기어 박스의 구조해석과 피로해석으로서 비교 분석을 하였다. 그 해석 결과는 다음과 같다.

1. 헬리컬 기어 박스가 스퍼기어 박스보다 응력과 변형량이 작게 나타나 헬리컬 박스 기어가 구조상에서 더 강성이 크고 전달 효율이 크다고 사료된다.
2. 헬리컬기어 박스가 스퍼기어 박스보다 반복 피로강도에 더 강함을 보였다.
3. 본 연구의 결과를 종합하여 실제 공작기계의 기어 박스 설계에 응용한다면 그 파손방지 및 내구성을 검토, 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Cho, J. W., Han, M. S., 2009, "Structural Analysis on the system of Differential Gear", Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 18, No. 3, pp. 279-284.
2. Cho, J. W., Han, M. S., 2009, "Fatigue and Vibration Analysis on Engine Parts" Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 19, No. 3, pp. 321-325.
3. Cho, J. W., Han, M. S., 2012, "Study on Structural Analysis of Flywheel under Rotary Power " Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 2, pp. 137-143.
4. Lee, J. H., Lee, D. H., Lee, K. H., 2010, "Contact Stress Analysis of a Pair of Mating Spur Gears" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 9, No. 4, pp. 59-65.
5. Kim, J. S., J, J. W., Lee, S. D., Cho, Y. J., 2009, "Experiments and Prediction of Pitting Life in Spur Gears" Journal of the Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers, Vol. 25, No. 6, pp. 399-403.
6. Lee, S., Lee, D. H., Hwang, S. C., Lee, K. H., 2012, "Stress Analysis of Helical Gear for a Railway Reducer" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 2, pp. 55-59.
7. Swanson, J., 2009, Ansys CFD 12.0, Ansys. Inc.