

특수차량용 종감속기의 동하중 영향을 저감하기 위한 치형 최적화 설계

Optimal Design of Tooth Profile to minimize Dynamic Load Effects of Hub-Reduction Gear using Special-purpose Vehicle

*이기훈¹, #김도식¹, 이근호¹, 배인호², 조정관³

*K. H. Lee¹, #D. S. Kim(dohsik@kimm.re.kr)¹, G. H. Lee¹, I. H. Bae², J. K. Cho³

¹ 한국기계연구원 시스템엔지니어링 연구본부, ²에스텍엔에이취, ³삼광기계 제 2 공장

Key words : Hub-reduction gear, Planetary gear, Contact ratio, Transmission error, Pressure angle, Helix angle

1. 서론

기어 장치는 많은 동력 전달 장치에 활용되는 중요한 기계요소 부품이다. 기어의 강도와 함께 진동 및 소음과 같은 동적 특성을 최소화하는 것도 중요하다. 특히, 군수용에서는 신뢰성을 유지하는 것이 중요하므로 요구되는 수명에서 고장이 발생하지 않도록 해야 한다. 동하중 영향은 수명저하에 주요 원인이 되기도 한다. 성능을 향상시키기 위해서는 기어 장치의 크기가 커지거나 기어의 정밀도를 높이면 쉽게 해결할 수 있다. 그러나 이러한 방법은 비용을 많이 발생시키므로 좋지 못한 방법이다. 기어 치형의 설계는 많은 파라미터에 의해 결정되는 특징을 가지므로, 설계 방법을 최적화 함으로써 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 저자의 이전 보고에서는 치형 전위를 통해서 강도 향상시키는 연구를 진행하였고, 그 결과로써 치형 전위는 기어의 굽힘강도 측면에서는 향상되는 효과를 보였지만, 면압강도 측면에서는 큰 변화가 없음을 확인하였다.

본 연구에서는 기어 설계 파라미터의 변화를 통해서 동하중에 영향을 미치는 주요 파라미터인 전달오차(Transmission error) 분석을 수행하였다. 전달오차의 저감을 위해 기어의 압력각(Pressure angle)과 비틀림각(Helix angle)을 가지는 헬리컬 기어를 활용하는 설계 방법을 제안하였다. 이 때, 전위계수는 미끄럼률과 미끄럼 속도를 최적화하여 결정하였다.

2. 이론적 배경

동력전달요소로서 기어의 특징은 기어의 물림에 의해 정확한 속도비를 가지고 동력을 전달하는 것이다. 그러나 기어의 제원으로 결정되는 물림률(Contact ratio)이나 가공의 정도에 따라 결정되는 기어의 정밀도에 의해 약간의 속도비 차이가 발생한다. 이것을 전달오차라 한다. 전달 오차는 기어 장치의 진동에 직접적인 영향을 주며, 소음에도 깊은 관계가 있다. 전달오차는 식 (1)과 (2)에 의해 계산한다. 식 (1)은 전달오차의 양을 각으로 표현한 것이며, 식 (2)는 선형적 변위로 나타낸 것이다.

$$TE = \theta_2 - \frac{Z_2}{Z_1} \theta_1 \quad rad \quad (1)$$

$$TE = R_{b2} \left(\theta_2 - \frac{Z_2}{Z_1} \theta_1 \right) \quad (2)$$

여기서 θ_1 과 θ_2 는 각각 피니언과 기어의 각변위를 나타내며, R_{b2} 는 기어(Output gear)의 기초원 반지름이다. 또한 Z_1 과 Z_2 는 피니언과 기어의 잇수이다.

기어쌍에서는 피니언과 기어가 물리면서 각 기어에 대해서 구름(Rolling)과 미끄럼(Sliding)이 반복적으로 발생한다. 설계에서 전위계수를 결정할 때, 구름과 미끄럼의 비를 평가한 미끄럼률(Specific sliding)을 최적화하는 전위계수를 설계 파라미터로 활용한다. 또한 미끄럼 속도를 최소화하는 전위계수를 설계 파라미터로 활용할 수 있다.

본 연구에서는 전위계수를 위의 두 가지 방법에 의해 평가하고, 두 가지 방법 중 전달오차의 변화량이 작은 값을 설계 파라미터로

활용하여 압력각과 비틀림각에 변화에 맞추어 전위계수를 결정하였다.

3. 종감속기의 구조 및 설계

특수차량용 종감속기(Hub-reduction gear)는 한 단의 유성기어 열이다. 일반적으로 선기어, 링기어, 캐리어의 입출력 요소의 결정에 따라 3가지의 유성기어열을 구성할 수 있다. 여기서 활용된 구조는 유성기어열에서 가장 많이 활용되고 있는 링기어가 고정되어 있고, 선기어로 입력이 되는 구조이다. 따라서 종감속기가 가지는 기어비는 식(3)과 같다.

$$i = \frac{Z_R + Z_S}{Z_S} \quad (3)$$

여기서, i 는 기어비이며, Z_S 과 Z_R 은 각각 선기어와 링기어의 기어 잇수이다. 기어열의 구조와 상용소프트웨어를 활용한 3D modeling은 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

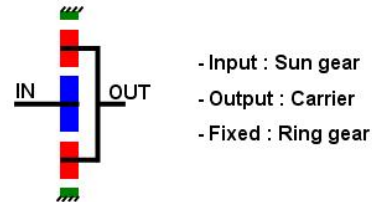


Fig. 1 Structure of planetary gear train

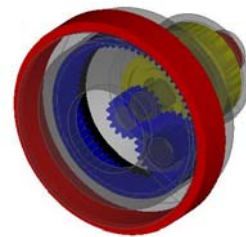


Fig. 2 3D view of planetary gear train

유성기어열의 기어 잇수는 선기어, 유성기어, 링기어가 각각 16, 23, 64이며, 모듈은 3.25를 사용하였다. 유효 치폭은 41.5mm이며, 중심거리는 66mm이다. 설명한 기어의 설계 제원은 동하중의 영향보다는 강도의 특성에 큰 영향을 미치는 파라미터 이므로 변화하지 않는 값으로 하였다. 또한, 유성기어의 개수는 4개로 설계하였다. 위의 기어 제원을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 Gear dimension of planetary gear

	Sun	Planet	Ring
Number of teeth	16	23	64
Module [mm]	3.25		
Facewidth [mm]	45	41.5	48
Center distance [mm]	66	-66	
Quality (ISO 1328)	8	9	9

위의 설계 제원을 바탕으로 기어의 압력각과 비틀림각을 변화하며 전달오차에 미치는 영향을 분석하였다.

4. 전달오차의 최적화

치형 설계를 통해서 전달오차를 최적화하기 위한 방법으로 여러 가지를 제안할 수 있다. 전달오차에 영향을 주는 인자는 피치 오차(pitch error), 압력각과 비틀림각에 의한 물림률, 치형 수정, 작용 하중, 마찰계수, 전위계수 등으로 정리할 수 있다. 이것을 나타낸 것이 Fig. 3이다.

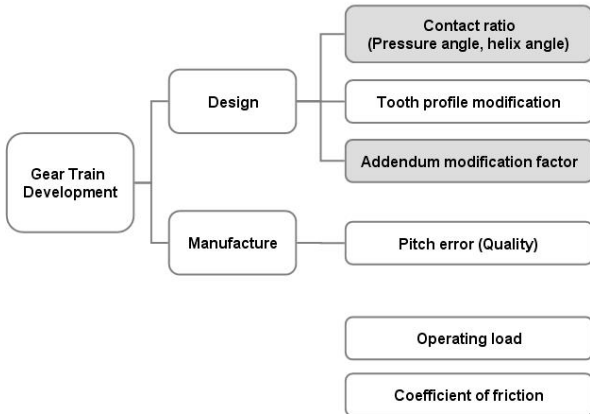


Fig. 3 Method of minimized for transmission error

물림률, 치형 수정, 전위계수는 설계적인 측면에서 전달오차를 결정하는 설계 파라미터이며, 피치 오차는 가공 측면에서 전달오차를 결정하는 방법이다. 또한 작용 하중과 마찰계수는 그 외의 측면이다. 전달오차의 계산을 위해 치면 사이의 마찰계수는 0.1로 가정하였다.

압력각은 20°~25°까지 1°씩 변화하며 물림률에 따른 전달오차의 변화를 분석하였다. 같은 방법으로 비틀림각은 5°~15°까지 1°씩 변화하며 물림률에 따른 전달오차를 분석하였다. 이 때, 다른 기어 제원의 변화를 없으며, 중심거리를 같게 유지하고 미끄럼 속도를 고려하여 전위계수를 결정하였다. 그 결과는 Fig. 4와 5에 나타내었다. 압력각과 비틀림각에 따라 강도의 특성이 변화할 수 있으나 계산된 안전계수의 결과로 볼 때, 0.1미만의 차이를 보여 고려하지 않았다.

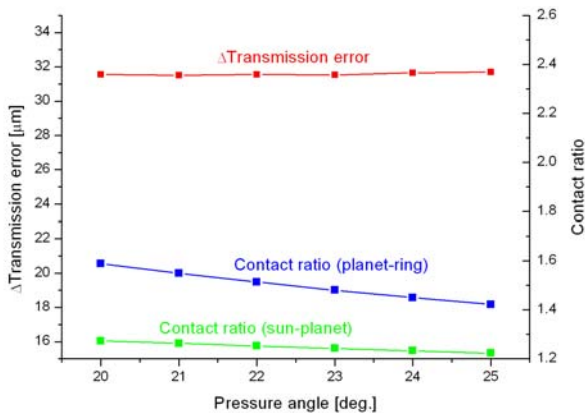


Fig. 4 Variation of transmission error for pressure angle

Fig. 4와 5에서 보듯이 전달오차는 압력각에 비해 비틀림각의 영향을 크게 받는다. 압력각이 작아질수록 물림률은 선형적으로 증가하며, 이 때 전달오차는 거의 일정하게 유지한다. 그러나 비틀림각이 커짐에 따라 물림률은 선형적으로 증가하고, 전달오차는 비교적 일정하게 유지하다가 선형적으로 감소하는 것을 확인하였다. 또한 최초 설계에 비해 압력각을 25°에서 20°로

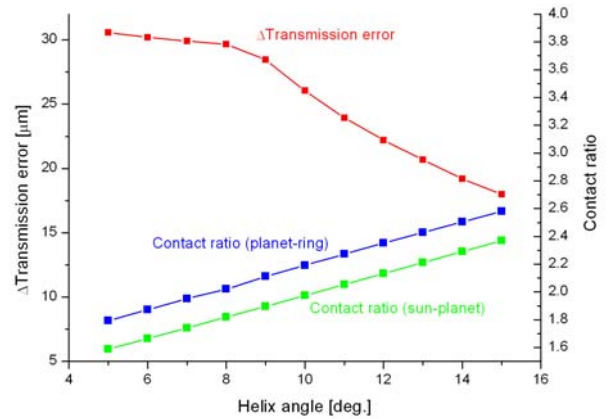


Fig. 5 Variation of transmission error for helix angle

감소시킨 경우, 전달오차는 약 0.4% 정도 감소함으로 동하중의 영향 저감에 도움이 되지 못하고, 최초 설계에 비해 비틀림각을 0°에서 15°로 증가시킨 경우, 전달오차는 약 43.2% 정도 감소하여 동하중의 영향 저감에 매우 효과적인 것을 확인하였다.

5. 결론

특수차량용 중감속기의 동하중 영향을 저감하기 위한 전달오차 최소화 치형 설계 연구에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 유성기어열의 기어쌍에 대한 물림률과 전달오차 사이에 선형적 관계가 성립하지 않는다.
2. 압력각의 변화는 전달오차의 저감에 영향을 미치지 않으며, 비틀림각의 변화는 전달오차의 저감에 큰 영향을 미친다.
3. 전달오차는 비틀림각의 선형적 변화에 영향을 받지 않으며, 일정 수준의 비틀림각을 가질 때, 전달오차가 감소함으로 동하중의 영향 저감에 도움이 준다.

후기

본 연구(결과물)는 지역산업 중점기술개발사업의 연구결과입니다.

참고문헌

1. MAAG gear handbook, 1990.
2. K. H. Lee., G. H. Lee., D. S. Kim., J. K. Cho., "Strength Characteristics Analysis for Addendum Modification of a Gear Using Special-purpose Vehicle," KASE Autumn Conference, 2007.
3. V. K. Tamminana., A. Kahraman., S. Vijayakar., "A Study of the Relationship Between the Dynamic Factors and the Dynamic Transmission Error of Spur Gear Pairs," Vol. 129. 75~84., 2007
4. Dudley's Gear Handbook., 1992.
5. AGMA 6123-A88, "Design Manual for Enclosed Epicyclic Metric Module Gear Drives", 1988
6. KISSsoft-hirware, rel 03/2008