

Damping 을 갖는 토크미터형 감속기

송창훈* · 이우민* · 오세훈** · 이종원**

The speed reducer of torque meter type with damping

Song Chang-Hun, Lee Woo-Min, Oh Se-Hoon, Lee Chong-Won

Key Words : Planetary-type reduction gear(유성형 감속기어), torque meter(토크미터)

Abstract

Planetary Speed Reducer consists of a sun gear, a planetary gear and a ring gear and if one element is fixed at this Speed Reducer, another elements operate to become a drive-axis and a subordination-axis respectively. Planetary Speed Reducer is frequently used for gear Speed Reducer because it has the advantage of having the high efficiency and getting the high Speed Reducer ratio in small space. However, it is difficult to know the current transmitted torque immediately during the use of Speed Reducer and so complicated equipment is installed in addition to protect the overload of system. The object of this paper is to design the Speed Reducer of torque-meter type that can know the torque transmitted using the power transmission feature of a simple Planetary Speed Reducer fixed at ring gear.

기호설명

- α Pressure angle
- β Angle displacement of planetary gear
- ϵ Contact ratio
- η Efficiency
- μ Coefficient of friction
- z Gear tooth number
- ω Angular velocity
- M Torque

1. 서론

기어 및 기어장치는 가장 중요한 기계요소 중의 하나로서 동력전달에 있어서 축간 거리가 짧은 경우에 연속되는 회전운동을 일정한 속도비로 미끄럼 없이 전달시키는 역할을 한다. 또한 기어는 주로 구동, 전환 및 동력전달을 위해 사용되고 있다. 이것은 기계공학이 집적되어 적용되는 항공기, 자동차, 산업기계, 터보기계, 건설기계, 선박, 차량,

공작기계 등과 사무용 및 계측기계, 자동화 장비 등의 거의 모든 산업 부문에 응용되고 있다.

이들 감속기 중 특히 많이 사용되는 유성감속기는 동일 변속조건에서 작고, 가벼우며, 입력 출력이 동심으로 구성된다. 또한 동력전달효율이 높고 고정 태양기어의 제동이 가능하다. 하지만 유성기어의 공전에 의한 원심력 때문에 너무 고속에서는 사용이 불가능하고 부품수가 많고, 저동력 전달시 사격이 비싸다. 또한 많은 동작을 조합시키는 조정장치가 필요한 단점을 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 열거한 장점과 크기가 작은 특성 등으로 여러분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 유성기어의 일반적인 구조는 Fig. 1 에서와 같으며 중앙부의 기어를 태양기어 가운데 기어를 유성기어 바깥쪽의 기어를 내기어라 하고 이들중 하나를 고정축으로 하고 나머지 요소를 구동축과 종동축으로 하여 감속 또는 가속을 한다. 또한 이들 축은 모두 동축상에 배치된다.

이렇듯 흔히 사용되는 감속기들은 사용 중 운행상태를 분석하기 위해서는 구동토크를 측정해야 할 필요가 있다. 과도한 토크는 감속기의 파손뿐 아니라 시스템에도 좋지 못한 영향을 줄 것이 분명하기 때문이다. 일반적으로 사용되는 구동 토크를 측정방법은 토크미터를 사용하는 것이다. 하지

* 중앙대 대학원

** 중앙대

만 토크미터는 실제 장치에 장착하기에는 공간문제와 비용문제를 가지고 있어 이들을 해결하기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 대부분의 연구는 회전축에 strain gage 를 이용하여 응력을 측정하거나 축의 변위에 의한 두지점간의 위상차를 이용하는 토크를 계산하는 방법이 많이 사용되지만, 실제 구동하는 부분에 대한 측정을 하는 이유로 장치가 복잡하고 측정이 까다로운 면이 있었다. 이를 개선하기 위한 방법으로 유성감속기 중 구동특성을 이용하여 구동토크를 측정하는 것이 보다 간단한 대안으로 제시될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유성기어장치 중 단순유성기어장치로 내기어가 고정되어 있고 태양기어가 구동축이며, 유성기어가 종동축이 되는 유성감속기의 동력전달 특성을 활용하여, 내기어의 작용하는 힘을 측정하여 감속기의 전달동력을 실시간으로 알 수 있는 토크미터형 감속기를 개발하고자 한다.

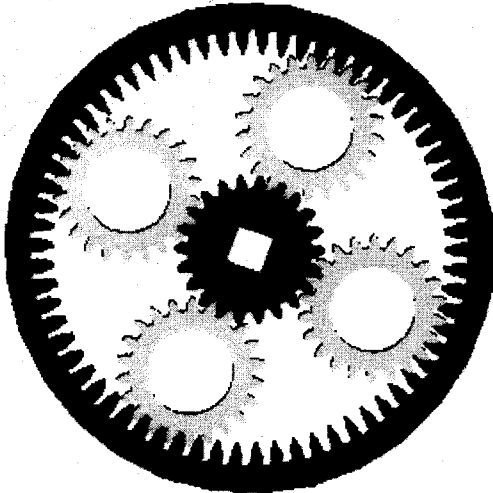


Fig. 1 Basic structure of planetary speed reducer

2. 유성감속기의 동력전달 특성

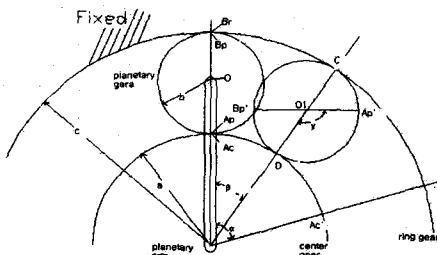


Fig. 2 Modeling of planetary speed reducer

Fig2 에 나타난 것 처럼 유성기어 장치에 대하여 태양기어를 고정하고, 캐리어를 시계방향으로 회전시킨다고 가정하자. 유성기어가 O 점에 있을 때 그림에서처럼 B_p 는 내기어 위에 있는 B_r 과 같은 점에 있고 A_p 는 태양기어 위에 있는 점 A_c 와 맞물려 있다. 태양기어를 임의의 각 α 로 회전시키면 유성 캐리어는 각 β 만큼 회전하게 된다. 회전의 결과로 유성기어의 중심점이 O' 로 이동하게 되고, 점 C 와 D 는 차례대로 내기어와 태양기어에 의한 새로운 물림점이 된다. A_p' 와 B_p' 는 원래의 점의 새로운 위치가 된다. 내기어와 유성기어의 상대적인 운동은 전적으로 이의 물림에 의한 것으로 호 $B_p'C$ 는 호 B_pC 와 같게 되고 또한 호 $A_p'D$ 는 호 DA_c' 와 같게 된다. 태양기어가 회전한 후 A_c' 는 점 A_c 의 새로운 위치가 된다. 기하학적인 면에서 각 $B_p'O_1C$ 는 각 DO_1A_p' 과 같게 된다. 여기서 DO_1A_p' 는 γ 라 하자. 그러므로 호 $B_p'C$ 와 $B_p'D$, DA_c' 는 모두 같게 된다.

여기서 a 를 태양기어의 피치원 반경, b 를 유성기어의 피치원 반경, c 를 내기어의 피치원 반경이라하고 α, β 를 태양기어와 유성기어의 각변위라고 하면, 다음식이 성립된다.

$$\beta c = \gamma b = (\alpha - \beta)a$$

그러므로 유성캐리어의 각변위 β 는 다음과 같다.

$$\beta = \alpha \frac{1}{1 + c/a}$$

$$\frac{\omega_s}{\omega_A} = \frac{1}{1 + i_0}$$

여기서 $i_0 = \frac{\text{태양기어의 잇수}}{\text{내기어의 잇수}}$

그리고 진동효율 η 는

$$\eta = \frac{1 + \eta_1 \eta_2 i_0}{1 + i_0}$$

여기서 η_1 은 유성기어와 태양기어간의 물림효율이고, η_2 는 유성기어와 내기어의 물림효율이다.

η_1, η_2 는 다음과 같은 식으로 나타난다.

1 < ε < 2인 경우

$$\eta_1 = 1 - \mu\pi \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + 1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

$$\eta_2 = 1 - \mu\pi \left(\frac{1}{z_2} - \frac{1}{z_3} \right) (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + 1 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

2 < ε < 3인 경우

$$\eta_1 = 1 - \mu\pi \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \left(\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + 3 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2}{3} \right)$$

$$\eta_2 = 1 - \mu\pi \left(\frac{1}{z_2} - \frac{1}{z_3} \right) \left(\frac{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + 3 - \varepsilon_1 - \varepsilon_2}{3} \right)$$

태양기어 A 유성기어 B 와 내기어 C, 그리고 유성캐리어 S 로 구성된 2K-H 형 단순 유성치차장치에서 태양기어 A 가 구동축이고, 유성 캐리어 S 가 종동축일 때, 효율 η 는 다음식과 같다.

$$\eta = \frac{M_s}{M_A} \left| \frac{\omega_s}{\omega_A} \right| = \frac{1 + \eta_0 i_0}{1 + i_0}$$

여기서 구동토크는 M_A , 종동토크는 M_s 라 하면, 입력토크와 출력토크의 관계는 다음과 같음을 알 수 있다.

$$M_s = (1 + \eta_0 i_0) M_A$$

이 식에서 입력 토크가 주워지면 출력 토크를 구할 수 있다. 여기서 i_0 는 태양기어와 내기어의 잇수비 (z_A/z_C) 이고, 기준효율 η_0 는 태양기어와 유성기어의 물림효율 η_1 과 유성기어와 내기어의 물림효율 η_2 의 곱으로 나타내어 진다. 또한

$$\frac{\omega_s}{\omega_A} = \frac{1}{1 + i_0} \text{ 이다.}$$

그리고 작용하는 토크식은 다음과 같다.

$$M_A + M_C - M_s = 0$$

그러므로 내기어에 작용하는 토크 M_C 는 다음과 같다.

$$M_C = \eta_0 i_0 M_A$$

다시 내기어와 작용하는 토크와 종동축에 작용하는 토크의 관계는 다음과 같다.

$$M_C = \frac{\eta_0 i_0}{1 + \eta_0 i_0} M_s$$

3. 토크미터형 감속기의 설계

본 연구에 사용된 감속기는 유성기어가 4 개인 감속기로 사양은 Table 1 과 같다.

항목	Sun	Planet	Ring
압력각	20		
잇 수	22	22	66
전위계수	0.16	0.16	0.7
현재백래쉬	0.069		0.081
최소백래쉬	0.069		0.081
최대백래쉬	0.245		0.289
중심거리	22.396		22.396
피치원지름	22	22	66
기초원지름	20.673	20.673	62.02
치선원지름	24.79	24.29	65.4
치저원지름	19.82	19.82	69.9

Table. 1 Specification of speed reducer

감속기에 작용하는 토크를 측정하기 위하여 다양한 방법이 사용되고 있으나 내기어가 고정단인 단순 유성 감속기에서는 고정되어 토크를 받고 있는 내기어의 토크를 측정하는 것이 구동되고 있는 다른 요소들의 토크 측정보다 비교적 간단하다. 이번 연구에 사용된 감속기의 경우 내기어에 작용하는 토크는 다음과 같다.

$$M_C = 0.3202 M_A$$

내기어에 작용하는 토크를 효과적으로 측정하기 위해서 본 연구에서는 내기어를 하우징에 고정시켜 어느 정도 움직일 수 있도록 함으로서 토크에 비례하는 변형이 나오도록 하는 방법을 사용하였다. 즉 내기어와 하우징사이의 고정을 십자형의 지지대를 사용하여 고정함으로 내기어에 작용하는 토

크에 의하여 지지대에 변형이 발생하고, 이 변형이 하우징과 내기어 사이의 미세각의 회전으로 나타나 이 변위를 특징하는 방식을 택하였다.

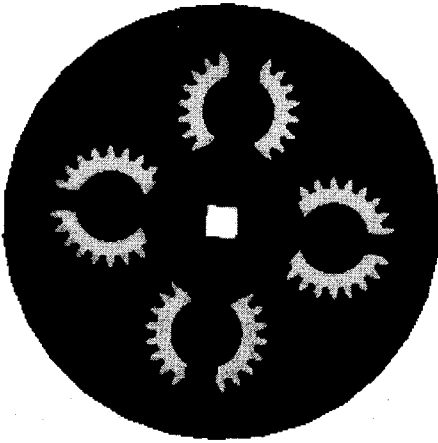


Fig. 3 Planetary speed reducer fixing the ring gear

십자형 지지대의 변위는 지지대의 재질과 형상으로서 예측할 수 있다. 지지대의 폭이 일정할 경우에는 모멘트에 의한 변형이 지지대의 전부분에 걸쳐 고르 나타나면 만약 내기어를 지지하는 부분과 하우징에 고정된 부분의 폭을 서로 다르게 하면 폭이 작은 곳에서 주로 변형이 일어나게 된다. 지지대는 대칭을 이루므로 축이 지나지 않는 지지대의 중앙부에는 처짐이 발생하지 않고 회전 변위만 발생하여 간섭을 주지 않는다. 따라서 폭이 다른 경우 변위량은 폭이 좁은 축의 중심에서 끝단까지의 길이를 갖는 외팔보의 처짐량과 같은 변형량을 같다고 예측할 수 있다. 내기어의 토크 M_C 에 예상되는 지지대의 변위량은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta = \frac{L^3 P}{3EI}$$

이 식을 적용하여 내기어에 2Nm의 힘이 작용할 때 지지대의 변형량을 계산한 그래프는 Fig. 4와 같다.

유한 요소 해석을 이용하여 지지대의 폭을 4mm로 하였을 때의 변형량을 계산한 것은 Fig. 5와 Fig. 6과 같다.

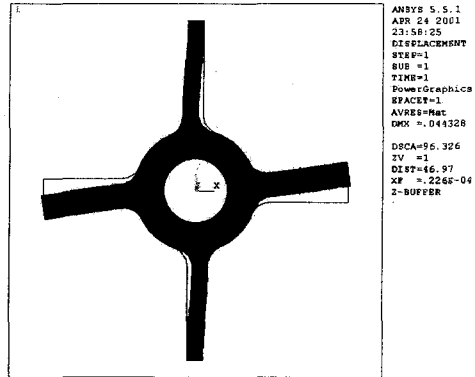


Fig. 5 FEM analysis result of fixing bar

지지대는 알루미늄합금(72Gpa, $\nu=0.32$)인 재질로 y 방향은 하우징에 지지대를 고정된 부분이고 x 방향은 내기어를 지지한 부분이다. 입력토크가 2Nm 일때 지지대의 변형 모습을 나타낸 것이다.

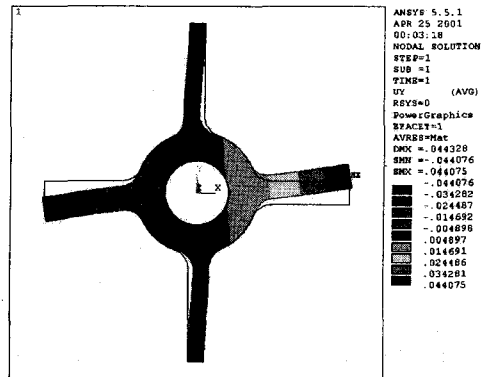


Fig. 6 Deformation of y-axis direction of fixing bar

그림은 지지대의 y 방향 변형량을 표시한 그림이다. 지지대의 최대 변위량은 0.4mm 정도가 되는 것을 알 수가 있다. 이 결과는 변형량을 예측한 식의 값과 유사함을 알 수 있으며, 변위량은 지지대의 폭과 두께 등을 적절히 조절하여 측정이 용이한 값이 나타나도록 할 수 있음을 알 수 있다.

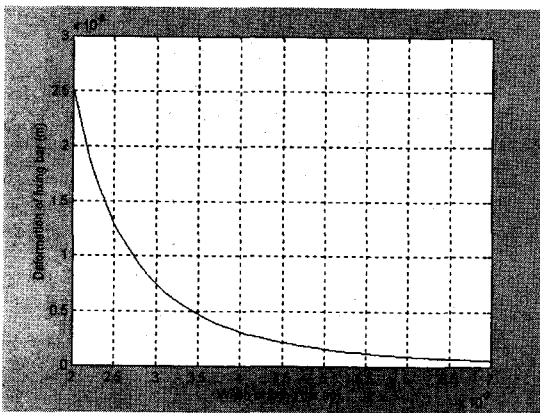


Fig. 4 Relation of width and deformation in fixing bar

4. 내기어의 변위 측정

자기장내에서 움직이는 전하는 자기장으로부터 영향(자기력)을 받는다. 도체, 반도체 또는 전해질 용액내에서 이 힘은 홀(hall)효과라고 불리우는 편리한 특성을 보인다. 이 홀 효과는 전하수송체가 어떤 부호의 전하인지 그리고 얼마나 빨리 이동할 수 있는지를 알아낼 수 있는 중요한 조사방법일 뿐만 아니라, 자기장의 크기와 방향을 알아내는 검출기로도 응용되고 있다.

전하수송체의 밀도와 크기가 알려진 물체(흔히는 금속박막 또는 반도체의 얇은 판을 사용한다.)를 쓰면 홀 전압으로부터 자기장을 알아낼 수 있다. 이러한 자기장 감지기를 홀 센서라고 부르며, 이를 사용한 자기장 측정기를 흔히 가우스미터라고 부른다.

입력토크와 출력토크는 내기어 토크량에 밀접한 관계가 있으므로 내기어의 토크 측정이 곧 유성감속기의 구동토크를 감지할 수 있는 한 방법이 될 수 있다. 앞절에서 내기어 토크에 대하여 지지대의 변위량이 변하고 내기어의 회전변위가 발생함을 알 수 있었다. 지지대의 변위를 구하는 방법은 스트레인 게이지를 이용하여 측정이 가능하지만 지지대의 변위로 나타나는 내기어의 회전변위를 측정하는 것이 가장 간단한 방법이라고 할 수 있다. 내기어의 회전변위를 구하기 위해서 앞에서 언급한 홀효과를 사용한 홀센서를 이용한다. 하우징의 한 편에 홈을 내고 홀 센서를 장착하여 내기어와 하우징의 변위차를 측정하면 내기어의 토크를 계산할 수 있다.

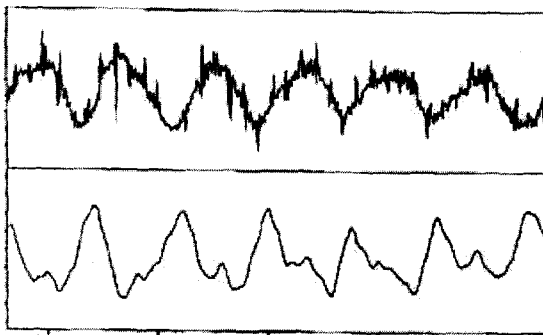


Fig. 7 Input and output torque

그러나 실제 감속기의 운행에서 전달토크는 치차의 동력전달이 연속적이지 않아 Fig. 7 과 같은 진동의 형태를 갖고 이 진동의 형태는 회전속도와 잇수에 관련이 있다. 따라서 내기어의 토크도 진동의 형태를 갖게 된다. 그러므로 내기어의 변위

역시 진동을 하게되므로 지지대에 댐핑요소를 장착하여 진동이 계측에 영향을 주지 않도록 하였다.

5. 결론

본 연구에서는 감속기의 동력전달 특성을 이용하여 내기어가 고정단인 단순유성기어장치에서 내기어에 작용하는 토크를 이용하여 입력 축 및 출력 축에 작용하는 토크를 알 수 있음을 보였고, 내기어에 작용하는 토크를 쉽게 검출하기 위하여 고정된 내기어에 일정한 변위를 허용함으로써 이를 계측 분석하여 전달토크를 계산할 수 있는 감속기를 개발하였다. 전동 휠체어의 구동부와 같이 동력 전달용으로 사용되는 감속기에 토크미터의 특성을 부여하여 작동 토크를 쉽게 알 수 있도록 함으로서 안정된 범위내에서 시스템의 운영이 가능하고, 또한 감속기와 모터등의 구동부 파손을 방지할 수 있으므로, 감속기가 장착된 시스템운영에 많은 편의를 제공할 것으로 기대된다.

참고문헌

- (1) 한국 기계연구소, 1991, "기어 감속기 개발", 상공부
- (2) J. Derek Smith, 1999, "Gear noise and vibration", Marcel Dekker, Inc.
- (3) Juvinall Marshek, 1991, "Fundamentals of Machine Component Design", John Wiley & Sons, pp.550~649
- (4) Chironis, 1967 "Gear Design and Application", McGraw-Hill, pp94~113
- (5) Dennis P. Townsend, 1986, "Dudley's Gear Handbook", McGraw-Hill
- (6) George H. Martin, 1982, "Kinematics and Dynamics of Mechines", McGraw-Hill, pp. 240~307
- (7) E. Chen, D.Walton, 1986, "The Optimum Design of KHV Planetary Gears with Small Tooth Differences"