

유성기어열의 기구학적 특성분석에 관한 연구

박세환(창원대 대학원 기계설계공학과), 신중호(창원대 기계설계공학과), 윤호업(창원대 대학원 기계설계공학과), 김대원(남도대 기계자동차과)

A Study on Kinematic Characteristics of Planetary Gear Train

S. H. Park(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CWNU), J. H. Shin(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CWNU), H. E. Yoon(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CWNU), D. W. Kim(Mech. Automobile Eng. Dept., NDPC)

ABSTRACT

Gear trains are used in many machinery for variable speed ratios. Typical shapes of gear trains are two categories : simple gear trains and planetary gear trains. This paper presents the kinematic characteristics for planetary gear trains. The characteristics are the constraints of geometric relationships, number of gears, speed of each gear, and speed ratio of the train. The objective goal of this paper provides the CAD software, which is the academic tool for understanding the kinematics of the planetary gear trains.

Key Word: planetary gear train(유성기어열), simple gear train(단순기어열), kinematic characteristic(기구학적 특성)

1. 서론

기계산업의 급속한 발전으로 많은 기계요소들이 개발 되었다. 이중 기어열은 동력전달 및 속도의 감속을 위해 많이 사용되어 왔다. 기어열은 구성 방법에 따라 많은 형태가 있는데, 일반기어열(common gear train)은 제작이 용이하고 조립이 쉬워 가장 많이 사용하고 있지만, 공간에 비해 감속비가 떨어지는 단점이 있다. 따라서 감속비의 효율을 높이기 위해 고안된 것이 유성기어열인데 제한된 공간에서 감속비의 효율이 탁월하다는 장점과 구성에 따라 감속비를 손쉽게 변화시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만, 몇몇 형태는 조립시 제약을 받기 때문에 유성기어열의 구성을 어렵게 한다. 이 문제를 해결하기 위해 현재 단순 유성기어열에 대한 조립조건이 밝혀져 있지만, 다른 형태에 대한 유성기어열의 조립조건은 밝혀지지 않았다. 이에 본 연구에서는 유성기어열의 조립조건을 구하고, 유성기어열의 기구학적 특성을 해석하고 조립조건을 적용하여 기어의 모델링과 시뮬레이션을 통한 유성기어열의 운동을 파악하고자 한다.

2. 유성기어열의 정의[4]

기어열은 하나 이상의 기어와 피니언으로 구성된 것을 말한다. 기어열에는 몇가지의 형태가 있는데 이중 일반적인 기어열은 Fig. 1같이 링크 1(arm)이 고정되어 움직이지 않고 단지 기어와 피니언이 맞물려 회전하게 하는 1자유도를 가지는 기계 요소이다. 이에 반해 유성기어 열은 Fig. 2에서와 같이 2개의 기어와 연결되어 있는 암(arm)이 자유롭게 회전하는 링크 1을 가지는 장치이다. 즉 유성기어는 결합되어 있는 기어쌍이 2자유도로 운동하는 것을 말한다.

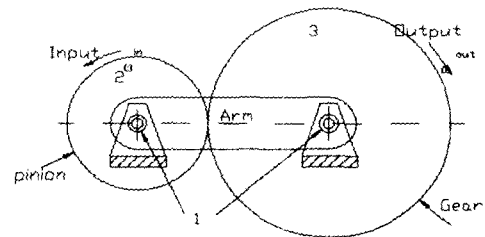


Fig. 1 Simple gear train

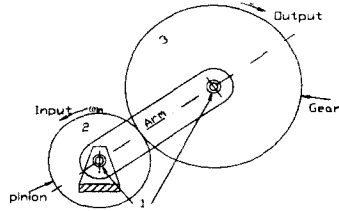


Fig. 2 Planetary gear train

이것은 태양기어와 그 둘레를 돌고 있는 유성기어 그리고 유성기어 둘레를 돌고 있는 링기어를 가지는 유성기어열이 되는 것이다. 이러한 유성기어열은 연결방식에 따라 여러 타입으로 나뉘어 지며 힘의 균형을 위해 유성기어를 대칭으로 배열한다. 그리고, 복합 유성기어열은 유성기어열과 일반기어열을 복합적으로 구성한 것을 말한다.

3. 유성기어열의 조립 조건

3.1 단순 유성기어열[3]

Fig. 3의 형태인 단순 유성기어열은 태양기어(기어 1), 유성기어(기어 2), 링기어(기어 3)로 구성되어 있다. 단순 유성기어열이 결합되기 위해서는 여러 가지 조건이 필요하다. 첫 번째는 피치원이 만족해야 하는데 같은 모듈을 사용함으로써 피치원과 잇수는 일정한 관계가 있다. 따라서 잇수를 만족하면 피치원의 크기는 자동으로 만족한다. 따라서 식(1)의 방법으로 링기어의 잇수를 계산 할 수 있는 것이다.

$$N_3 = N_1 + 2N_2 \quad (1)$$

두 번째는 다음과 같다. Fig. 3(a), Fig. 3(b)와 같이 기어 1을 고정된 상태에서 기어 1에 대한 기어 3과 압의 각 운동을 구해 보면 식(2), 식(3)과 같다. 그리고, 기어 3을 고정 한 상태에서 기어 3에 대한 기어 1과 압의 각 운동을 구해 보면 식(5), 식(6)과 같다. 압의 회전인 식(4)와 식(7)를 비교 해보면 일치하는 것을 알 수 있다. 즉 압의 회전은 기어 1, 3의 이 회전수에 관계없이 항상 일정함을 알 수 있다.

$$\theta_{31} = 1/N_3 \quad (2)$$

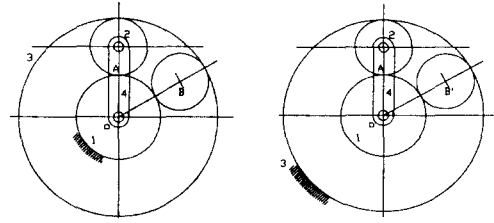
$$\theta_{41} = \theta_{31} \times \omega_{41} / \omega_{31} = 1/(N_1 + N_3) \quad (3)$$

$$\angle AOB = C(\theta_{41}) = C/(N_3 + N_1) \quad (4)$$

$$\theta_{13} = 1/N_1 \quad (5)$$

$$\theta_{43} = \theta_{13} \times \omega_{43} / \omega_{13} = 1/(N_1 + N_3) \quad (6)$$

$$\angle AOB' = C(\theta_{43}) = C/(N_3 + N_1) \quad (7)$$



(a) Fixed Gear 1 (b) Fixed Gear 3
Fig. 3 General feature of simple planetary gear train

따라서 식(8)을 만족하면 유성기어열은 대칭 배열이 된다. 여기서 식(7)의 역수가 유성기어의 개수가 된다.

$$(N_1 + N_3) / n = C(\text{정수}) \quad (8)$$

마지막으로 유성기어의 개수를 정해야 한다. 두 번째의 조건만 만족한다고 많은 수의 유성기어를 결합하게 되면 유성기어 간에 간섭이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해 유성기어가 결합 될 수 있는 최대 개수를 알아야 한다. Fig. 4와 식(9)로부터 유성기어가 결합되어질 수 있는 최대 개수를 구할 수 있다. 이는 \overline{AC} 가 R_{02} (기어 2의 어텐덤 반지름)보다 커야 간섭이 일어나지 않음을 보여 주고 있다.

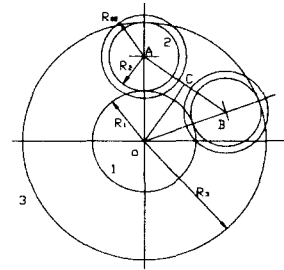


Fig. 4 Effective geometry for simple planetary gear train

따라서 식(10)를 만족하는 범위에서 유성기어의 최대 개수를 구할 수 있다. 여기서 N 은 기어 잇수, 그리고, n 은 유성기어의 개수를 나타낸다.

$$n_{\max} < \frac{180}{\sin^{-1}((N_2 + 2)/(N_1 + N_2))} \quad (9)$$

$$N_2 + 2 < (N_1 + N_2) \sin^{-1}(180/n) \quad (10)$$

3.2 2단 유성기어를 가진 유성기어열

Fig. 5 형태의 유성기어열은 태양기어(기어 1),

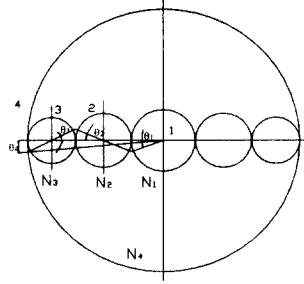


Fig. 5 Special feature of planetary gear train

유성기어(기어2,3), 링기어(기어4)로 구성되어있다.

3. 2. 1 조립 조건 1

Fig. 5는 단순 유성기어열에 유성기어가 하나 더 물려 있는 형태이다. 기어는 같은 모듈을 사용하고 기어의 잇수는 모듈과 피치원으로 표현된다. 따라서 링기어의 잇수는 링기어(기어4)의 피치원 반지름은 기어 1의 피치원 반지름과 기어2, 3의 피치원 지름의 합과 같다는 이론을 근거로 유도한 식(11)을 이용하여 구하면 된다.

$$N_4 = N_1 + 2N_2 + 2N_3 \quad (11)$$

3. 2. 2 조립 조건 2

Fig. 5의 형태인 유성기어열은 유성기어가 하나 더 존재하여 식(4)과 식(7)이 일치하지 않아 단순 유성기어열의 조건 2를 만족하지 못한다. 하지만 기하학적으로 접근하면 이 문제는 쉽게 해결 할 수 있다. 식(12)와 식(13)는 유성기어의 개수만큼 대칭배열 시킨 각을 태양기어와 링기어의 이(tooth)를 정수만큼 회전시킨 후의 각을 나타낸다. 그리고, 선기어와 링기어의 원주피치(circular pitch)의 각을 1로 두고 그 비를 구하면 식(14)과 식(15)와 같다.

$$\theta_1 = N_1/n / |N_1/n| \times 360 / N_1 \quad (12)$$

$$\theta_4 = N_1 / N_4 \times N_1/n / |N_1/n| \times 360 / N_1 \quad (13)$$

$$\theta_1 / 360 / N_1 = N_1/n / |N_1/n| \quad (14)$$

$$\theta_4 / 360 / N_4 = N_1/n / |N_1/n| \quad (15)$$

식(14)와 식(15)를 비교 해보면 같음을 알 수 있다. $360/n$ 의 각도로 회전하였을 때 몇 개의 이가 정확하게 회전한 후 이 하나를 기준으로 비를 계산하였을 때 식(16)과 같이 일치하면 유성기어가 대칭으로 조립될 수 있다.

$$Z_1/n / |Z_1/n| = Z_4/n / |Z_4/n| \quad (16)$$

3. 2. 3 조립 조건 3

Fig. 5의 형태인 유성기어열은 먼저단순유성기어열의 조건 3, 식(17)를 만족해야 하며, Fig. 6에서와 같이 기어 3의 어텐덤 반지름이 \overline{EF} 보다 클 경우는 단순 유성기어열의 조건 3과 같은 방법으로 구한 식(18)을 만족하는 범위에서 유성기어의 개수를 선택해야 한다.

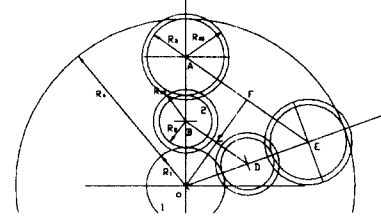


Fig. 6 Effective geometry for special planetary gear train

$$N_2 + 2 < (N_1 + N_2) \sin^{-1}(180/N) \quad (17)$$

$$N_2 + 2 < (N_1 + 2 \cdot N_2 + N_3) \sin^{-1}(180/N) \quad (18)$$

4. 유성기어열의 감속비 해석[4]

유성기어열은 기어들이 암을 중심으로 회전하고 암은 그 스스로의 운동을 하므로 속도차 문제를 도입하면 속도비를 구할 수 있으며, 식으로 나타내면 식(19)와 같다.

$$\omega_{gear} = \omega_{arm} + \omega_{gear/arm} \quad (19)$$

식(19)를 이용하여 테이블기법(tabular method)[4]으로 유성기어열의 감속비 해석을 할 수 있다.

5. 유성기어열의 프로그램 적용

유성기어의 조립 조건과 본 연구에서 제안한 확장된 유성기어 조립조건을 검증하기 위해 CAD 프로그램을 개발하고 예제를 적용하였다. Table 1은 첫 번째 예제의 설계변수로 조립된 형태는 각각 Fig. 7(a), (b)와 같다. 먼저 (a)의 경우를 살펴보면 조립조건 식(1), (8), (10)을 만족하고, Fig. 7(a)에서 정확하게 결합이 된 것을 볼 수 있다. (b)의 경우는 식(8)만족하지 않고, Fig. 7(b)에서 볼 수 있듯이 유

성기어와 링기어가 간섭이 발생하여 결합이 되지 않았다. Table 2은 두 번째 예제의 설계변수로 조립된 형태는 Fig. 8의 (a),(b)와 같다. (a)의 경우를 살펴보면 3가지 조립조건 식(11), 식(16), 식(18)을 모두 만족하며 그 결과는 Fig. 8(a)에 잘 나타나 있다. 그리고, (b)의 경우는 조립조건 식(16)을 만족하지 않아 Fig. 8(b)에서와 같이 유성기어와 링기어가 간섭이 발생하여 결합이 되지 않았다. 그리고, Fig. 9는 예제1의 감속비 해석을 실행한 프로그램의 결과이고, Fig. 10은 예제 2의 감속비 해석을 실행한 프로그램의 결과이다.

Table 1 Tooth Numbers of example 1

기어	잇수(a)	잇수(b)
태양기어(기어 1)	21	21
유성기어(기어 2)	15	16
링기어(기어 3)	51	53

Table 2 Tooth Numbers of example 2

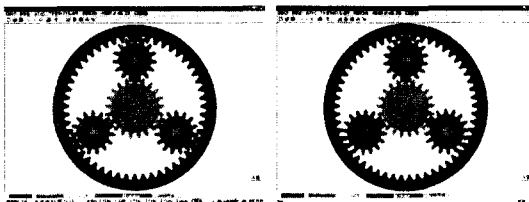
기어	잇수(a)	잇수(b)
태양기어(기어 1)	21	21
유성기어1(기어 2)	16	16
유성기어2(기어 3)	17	16
링기어 (기어 4)	87	85

Gear #	ω_{gear}	$\omega_{carrier}$	$\omega_{gear/carrier}$	Gear ratio
# 2	150.00	0.00	150.00	21 / 15
# 3	-150.00	0.00	-210.00	15 / 51
# 4	150.00	0.00	61 / 5	15 / 51

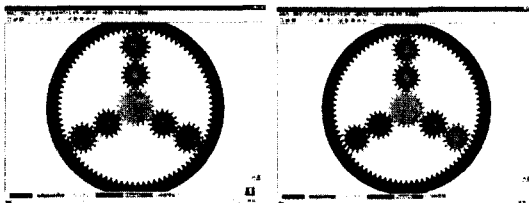
Fig. 9 Speed ratio table of example 1

Gear #	ω_{gear}	$\omega_{carrier}$	$\omega_{gear/carrier}$	Gear ratio
# 2	150.00	0.00	150.00	21 / 15
# 3	-146.19	0.00	-196.00	15 / 17
# 4	235.29	0.00	185.29	15 / 85

Fig. 10 Speed ratio table of example 2



(a) Complete assembling (b) Defective assembling
Fig. 7 Example 1



(a) Complete assembling (b) Defective assembling
Fig. 8 Example 2

6. 결론

본 논문에서는 이미 제시된 단순 유성기어열의 조립조건을 기반으로 확장된 유성기어열의 조립조건을 제시하였다. 이 조립조건을 토대로 CAD 프로그램을 개발하였고, 이 프로그램을 통하여 확장된 조립조건이 정확함을 입증하였다. 또한 CAD 프로그램은 다양한 형태의 유성기어열의 감속비 해석은 물론 유성기어열의 운동 형태도 파악 할 수 있다.

7.참고문헌

1. 송중천, "기어 설계용 CAD 프로그램에 개발에 관한 연구," 석사논문, 충북대학교, 1996.
2. 김덕환, "베벨기어 설계용 CAD 프로그램 개발에 관한 연구," 석사논문, 충북대학교, 1998.
3. H. Mabie and C. Reinholtz, "Mechanisms and Dynamics of Machinery 4/E," John Wiley & Sons., pp. 258-267, 1987.
4. Robert L. Norton, "Design of Machinery 2/E," McGrawHill., pp. 452-468, 1999.