

## 순간속도중심을 이용한 외륜회전형 에피사이클로이드 판기어의 형상설계법에 관한 연구

장세원\*(창원대학교 대학원 기계설계공학과), 신중호\*(창원대학교 기계설계공학과)  
권순만(창원대학교 기계설계공학과), 윤호업(LG이노텍)

### A Study on Shape Design Method by Instant Velocity Centers of Rotating Outer-Ring Type Epicycloid Plate Gear

S. W. Chang(Mech. Design Eng. Dept., CWNNU), J. H. Shin(Mech. Design Eng. Dept., CWNNU)  
S. M. Kwon(Mech. Design Eng. Dept., CWNNU), H. E. Yoon(LG Innotek)

#### ABSTRACT

This paper proposes a new approach for the shape design of the rotating outer-ring type epicycloid plate gear by using instant velocity center. First, this method defines the instant velocity centers for rotating outer-ring type epicycloid plate gear and calculates the contact angles and the contact points by using the geometric relationships and the kinematic properties of the reducer. Second, it generates the full shape of the cycloidal plate gear. Finally, the paper develops CAD-program for construction of the design automation using the proposed method. This CAD-program is developed to have the functions of the friendly user interface and the simulation of the real operation for the cycloid reducer.

**Key Words** : Instant velocity center(순간속도중심), Epicycloidal(에피사이클로이드), Rotating outer-ring type(외륜회전형), Cycloidal plate gear(사이클로이드 판기어), Roller gear(플러기어), Shape design(형상설계)

#### 1. 서론

사이클로이드 감속기는 사이클로이드 판기어와 플러(Roller)를 치형으로 하는 플러 기어(Roller gear)의 접촉운동을 기본원리로 구성된다. 플러기어는 다수의 플러를 치형으로 하며, 판기어는 이(Teeth)의 형상이 사이클로이드 곡선으로 나타나는데 정확한 설계와 가공이 이루어져야만 정밀한 운동을 전달할 수 있다. 그리고, 설계와 가공에 상당한 어려움이 있지만 사이클로이드 감속기는 다양한 특징 때문에 광범위하게 활용되고 있다. 플러기어의 플러개수 조정으로 속도비를 쉽게 결정할 수 있으며, 플러기어의 모든 플러가 사이클로이드 판기어와 접촉을 하면서 평형된 힘으로 회전력을 전달할 수 있다. 그리고 사이클로이드 판기어와 플러기어가 접촉에 의해 간섭없이 회전운동을 전달함으로써 백래시와 같은 문제가 발

생하지 않는 특징을 가지고 있다. 한편, 외륜 회전형 사이클로이드 감속기는 입력축의 회전수와 출력축의 회전수가 거의 비슷하면서 외륜에 회전운동을 전달하기 위하여 주로 사용된다. 외륜 고정형은 플러기어를 포함한 외륜이 고정되어 있고 사이클로이드 판기어만 공전과 자전운동을 하지만 외륜 회전형은 사이클로이드 판기어의 중심이 감속기의 중심에서 편심량 만큼 떨어져서 고정되어 같이 회전하게 된다. 즉, 사이클로이드 판기어가 회전하게 되면 플러기어를 포함한 외륜도 같이 회전을 하게 된다. 이때 두 개의 회전체의 회전 방향은 동일한 방향을 갖게 된다. 따라서 사이클로이드 판기어의 회전을 입력으로 설정하고, 플러기어의 회전을 출력으로 설정하면 작은 감속비를 갖는 감속기의 구성이 가능하기 때문에 속도비가 작은 정밀한 운동 전달이 필요한 장치에 많이 사용된다. 사이클로이드 판기어 형상설계에 관한 연구는 극히 미비한 실정이다. 현재 일부 선진국 기업들에 의해 독자적으로 개발되고 있어 문헌에는 개략적인 소

† Tel 055-279-7571 Fax 055-263-5221  
Email joongho@sarim.changwon.ac.kr

개와 형상정의에 대한 기본적인 자료를 담고 있는 정도이다. Litvin[1],[2]은 사이클로이드 감속기에 널리 이용되는 사이클로이드 판기어에 대한 간략한 소개와 롤러기어와 사이클로이드 판기어의 편심량과 잇수간의 관계 및 형상 생성의 기초적인 관계를 제시하였으며, 김성철[3]은 Litvin[1]의 아이디어를 이용하여 두 개의 기초원에 의한 사이클로이드 곡선을 생성한 다음 롤러의 반경만큼 오프셋(offset)기법을 이용한 사이클로이드 판기어 형상설계방법을 제시하고 있다. 그리고, 신중호[4]는 상대운동을 하는 두 물체의 순간속도중심을 이용하여 캠의 형상을 설계하는 기법을 소개하였으며 윤호업[5],[6]은 신중호[4]의 방법을 이용하여 사이클로이드 판기어의 형상을 설계하는 기법을 소개하고 있다.

본 연구에서는 신중호[4]의 순간속도중심을 이용하여 상대운동을 하는 물체의 접촉점을 찾아내는 방법을 이용하여 외륜회전형 사이클로이드 판기어의 형상을 설계하고, 설계자동화 프로그램을 이용하여 설계타당성을 검증하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 접촉기구의 순간속도 중심

장치의 기구학적 해석에서 속도는 시간의 제어나 동력 계산에 필요한 성분이다. 운동중인 기구장치는 임의의 순간에서 순간속도중심들을 가지게 되는데, 순간속도중심에서는 공유한 기구요소들이 같은 방향, 같은 크기의 속도를 공유하게 된다. 이러한 순간속도중심은 기구장치의 기하학적인 형상에 관련이 깊으며, 운동중인 기구의 순간속도를 결정하는데 이용된다.

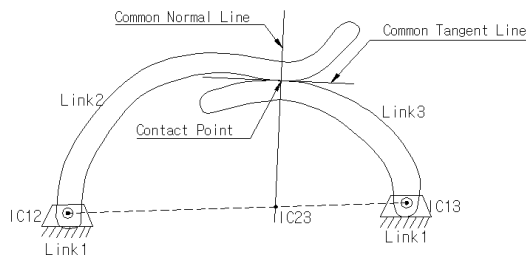


Fig.2.1 Instant velocity center of contact mechanism

케네디의 이론에 따르면 서로 상대적인 평면 운동을 하는 세 물체는 세 개의 순간속도중심을 가지게 된다. Fig.2.1에서 링크1(Link 1)은 고정되어 있고 링크2와 링크3은 직접 접촉을 이루면서 서로 상대적인 운동을 하고 있다. 케네디 이론에 따르면 순간속도중심 IC12, IC13은 각각 기구의 회전 중심에 존재하게 되고, IC23은 상대운동을 하는 링크2와 링크3

의 같은 방향, 같은 크기의 속도를 가지는 지점에 존재하게 된다. 즉, 링크2와 링크3의 접촉점에서의 공통 법선과 IC12, IC13을 이은 선의 교점에 해당한다.

### 2.2 외륜회전형 사이클로이드 판기어의 순간속도중심

외륜 회전형 감속기는 외륜 고정형의 감속기와는 달리 감속기의 중심과 사이클로이드기어의 중심이 모두 고정되어 있고, 롤러기어가 위치하고 있는 외륜이 회전한다. 고정된 그라운드(Ground)를 링크1로 정의하고, 사이클로이드 판기어를 링크3, 롤러기어를 링크2로 설정하면, 기구학적 해석을 위한 구조는 Fig.2.2와 같다. 여기서,  $O_1$ 은 사이클로이드 감속기의 중심이며  $O_C$ 는 사이클로이드 판기어 중심이고,  $O_R$ 은 롤러의 중심을 나타낸다.

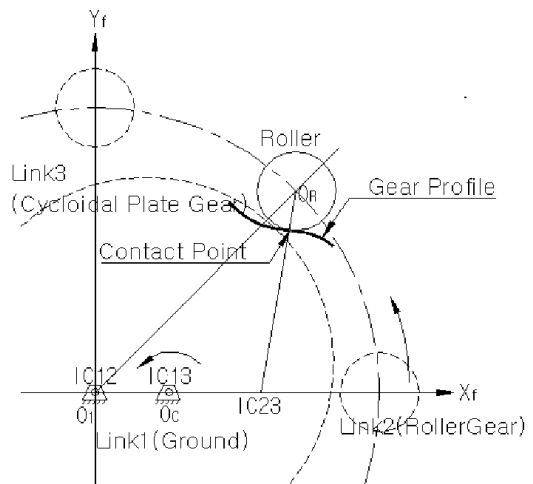


Fig. 2.2 Instant velocity centers of rotating outer-ring type cycloid reducer

Fig.2.2에서 링크1(Ground)은 고정되어 있고 링크2와 링크3은 서로 일정한 회전속력을 가지고 상대회전 운동을 한다.

링크1과 링크2(롤러기어), 링크1과 링크3(사이클로이드 판기어)의 순간속도중심은 각각 두 링크의 회전 중심부분인(IC12), (IC13)으로 정의되고, 링크2, 링크3의 순간속도중심은 두 링크가 접촉 운동을 하고 있으므로 케네디 이론에 의해 만나는 접촉점에서의 법선과 IC12와 IC13을 이은 연장선상의 교점 IC23으로 정의되며, Fig.2.3과 같다.

사이클로이드 감속기의 중심  $O_1$ 에서 롤러기어의 중심  $O_R$ 까지의 반경을 R, 감속기의 중심  $O_1$ 으로부터 IC23까지의 거리를 Q, 감속기의 중심  $O_1$ 에서 사이클로이드 판기어의 중심  $O_C$ 간의 거리를 E로 정의하면 Fig.2.3과 같다.

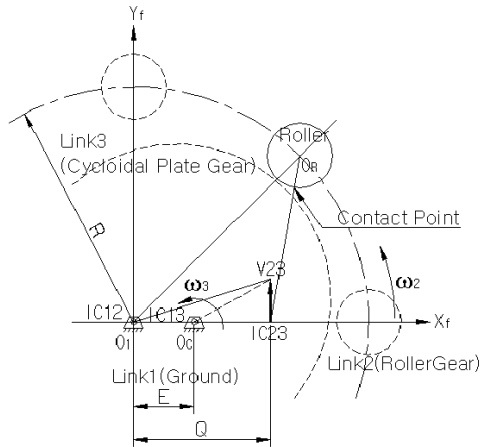


Fig.2.3 Geometry of rotating outer-ring type cycloid reducer

여기서, IC23에서의 속도인  $V_{23}$ 은 사이클로이드 판기어가 시계반대방향(CCW)으로 회전한다고 하면 Fig.2.3과 같이 표현된다.

사이클로이드 판기어의 중심과 롤러 기어의 중심이 고정되어 있고, 사이클로이드 판기어와 롤러 기어는 일정한 회전 속도를 가지고 상대회전운동을 한다. 이 때 임의의 순간 IC23에서 롤러기어의 회전에 의한 상대속도  $V_{23/IC12}$ 와 사이클로이드 판기어의 회전에 의한 상대속도  $V_{23/IC13}$ 가 발생되는데 이를 식으로 나타내면 식(2.1)과 식(2.2)와 같다.

$$V_{23/IC12} = Q\omega_2 = Q \frac{d\phi_2}{dt} \quad (2.1)$$

$$V_{23/IC13} = (Q-E)\omega_3 = (Q-E) \frac{d\phi_3}{dt} \quad (2.2)$$

임의의 순간에 IC23에서의 속도인  $V_{23/IC12}$ 과  $V_{23/IC13}$ 는 같은 방향에 같은 크기의 속도인  $V_{23}$ 으로 정의된다. 롤러기어와 사이클로이드 판기어가 서로 내접하고 있으므로 회전방향이 같고 식(2.1)과 식(2.2)는 식(2.3)과 같이 정리된다.

$$\frac{d\phi_2}{d\phi_3} = \frac{(Q-E)}{Q} \quad (2.3)$$

$d\phi_2/d\phi_3$ 는 외륜 회전형 사이클로이드 감속기의 속도비와 같다. 감속기의 속도비는 감속기의 롤러의 개수와 밀접한 관계를 가지므로  $d\phi_2/d\phi_3$ 를 롤러수와 외륜의 관계를 나타내면 식(2.4)와 같이 정의되고 다시 정리하면 식(2.5)와 같이 나타난다.

$$\frac{d\phi_2}{d\phi_3} = \frac{N-1}{N} \quad (2.4)$$

$$Q = EN \quad (2.5)$$

### 2.3 접촉각과 접촉점계산

순간속도중심 IC23은 감속기의 속도비가 결정되면 일정한 비율로 회전하므로 회전 속도에 상관없이 감속기의 중심으로부터 일정한 위치에 존재하게 된다.

Fig.2.4는 좌표축 2-좌표계는 롤러기어에 설정된 좌표계를 의미한다. 기하학적인 관계를 이용하여 접촉각  $\psi$ 를 계산하면 식(2.6)과 같고, 롤러기어의 중심을 원점으로 하는 2-좌표계에서 접촉점을 계산하면 식(2.7)과 같이 된다.

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{(EN)\sin\phi_2}{R - (EN)\cos\phi_2} \right) \quad (2.6)$$

$$C_x^2 = R - R_r \cos\psi \quad (2.7a)$$

$$C_y^2 = -R_r \sin\psi \quad (2.7b)$$

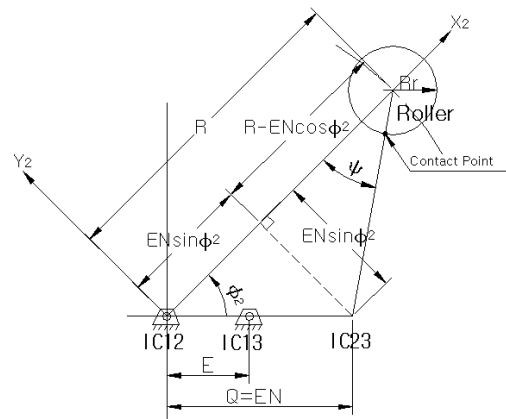


Fig.2.4 Contact point of cycloidal plate gear and roller

### 3. 설계적용 및 결과

외륜 회전형 사이클로이드 판기어의 설계의 타당성을 검증하기 위하여 사용된 데이터는 Table3.1과 같다. Fig.3.1은 Table3.1의 설계 데이터를 기초로 하여 설계한 사이클로이드 판기어의 형상을 보여주고 있고 Fig.3.2는 사이클로이드 판기어를 롤러기어에 편심져서 결합된 형상을 보여주고 있다. 또한, Fig.3.3은 2개의 사이클로이드 판기어가 180° 위상을 가지고 결합되어 회전하고 있는 모습을 보여준다. 이 경우의 속도비는 1:1.071이다.

Table3.1 Design variables for example

| Design parameters      | Design values |
|------------------------|---------------|
| Radius of reducer      | 120 mm        |
| Radius of roller       | 9 mm          |
| Number of rollers      | 15 EA         |
| Eccentricity of center | 4 mm          |

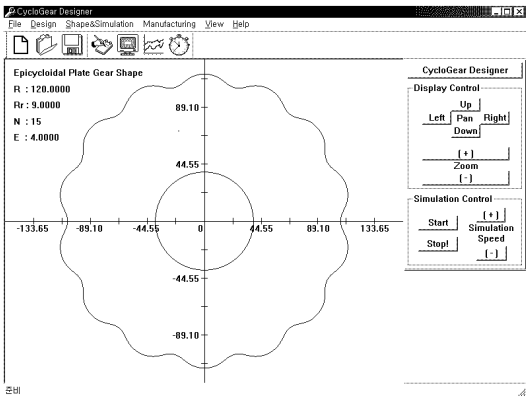


Fig.3.1 Screen for cycloidal plate gear shape

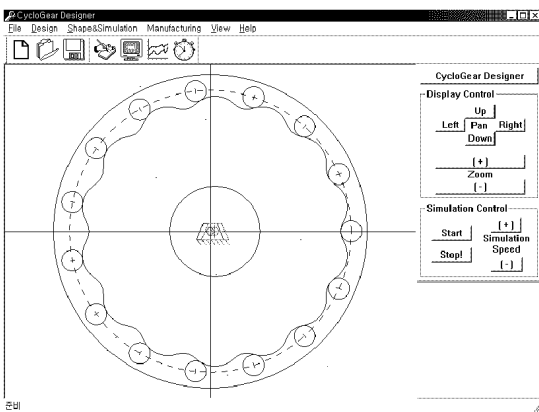


Fig.3.2 Screen for assembled cycloidal plate gear at rotating outer-ring type

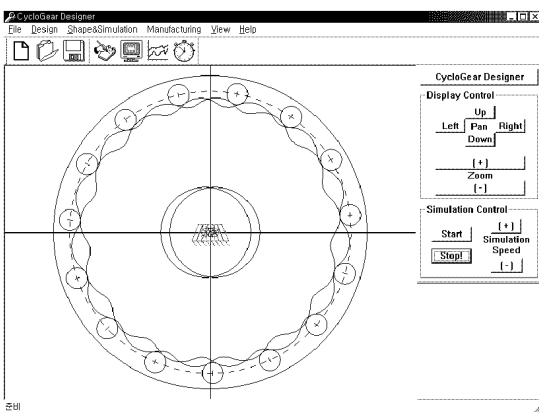


Fig.3.3 Screen for assembled two cycloidal plate gear at rotating outer-ring type

#### 4. 결론

본 연구에서는 속도비는 작지만 감속기의 주축회전과 같은 방향의 외륜 회전을 필요로 하거나, 외륜에 정확한 운동진달을 요하는 곳에 사용할 수 있는 외륜 회전형 사이클로이드 판기어의 정확한 설계를 위하여 순간속도 중심법을 이용하였다. 기하학적인 형상에 연관관계를 가지며 기구의 속도해석에 사용되는 순간속도중심의 특성을 이용하여 톨러와 연속적으로 접촉하며 회전하는 사이클로이드 판기어의 접촉각과 접촉점을 해석하였다. 제시한 이론을 검증하기 위하여 설계자동화 프로그램을 작성하였으며 예제를 통하여 이론의 정확성을 검증하였다.

#### 후기

이 논문은 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업 지원연구의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. F. L. Litvin., "Gear Geometry and Applied Theory," Prentice-Hall Inc., 1994.
2. F. L. Litvin., "Computerized Design and generation of Cycloidal Gearing," ASME, Design Eng. Tech. Conferences, Vol. 1, pp.537-543, 1995.
3. 김성철, 정원지, 조승래, 이춘만, "사이클로이드 기어 설계 및 가공에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제 16권, 제9호, pp48-53, 1999.
4. J. H. Shin, C. M. Lee, J. S. Kim, "Shape Design of Disk Cam Mechanisms Using Instant Velocity Center," Proceedings of 6th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Vol. 1, pp.178-186, 1996.
5. 윤호엽, "순간속도중심을 이용한 사이클로이드 판기어의 형상설계법과 전산원용 설계자동화에 관한 연구," 창원대학교 대학원 석사논문, 1999.
6. 신중호, 윤호엽, 강동우, "사이클로이드 판기어의 형상설계법에 관한 연구," 대한기계학회 논문집 A, 제25권, 제1호, pp70-80, 2001.