

마찰효과를 고려한 사이클로이드 감속기의 작용력 해석에 관한 연구

홍진표*(창원대 대학원 기계설계공학과), 신중호†(창원대학교 기계설계공학과),
권순만(창원대학교 기계설계공학과), 장세원(창원대학교 대학원 기계설계공학과)

A Study on Contact Force Analysis of Plate Gears for Cycloidal Speed Reducer
with Friction Effect

J. P. Hong(Mech. Design Eng. Dept., CWNU), J. H. Shin(Mech. Design Eng. Dept., CWNU),
S. M. Kwon (Mech. Design Eng. Dept., CWNU), S. W. Jang(Mech. Design Eng. Dept., CWNU)

ABSTRACT

A cycloidal speed reducer is a type of the speed reducers of machinery. The cycloidal speed reducer consists of two cycloidal plate gears, housing roller gear, input shaft, output pin and shaft, and eccentric bearings. Especially the cycloidal plate gear has the peculiar parts of the teeth, because of gearing with the housing roller gear that has the several rollers on the circular line. And then all teeth on the cycloidal plate gear can be designed to contact with the rollers on the housing roller gear at the same time. Therefore the cycloidal plate gear has always contact motion with rollers and the force is interacted between roller gear with cycloidal plate gear. Because the contact force and friction force must be required to improve the accuracy in design procedures of cycloidal speed reducers, this paper presents a force analysis considered friction effect approach derived by static force equilibrium condition, geometrical adaptation, instant velocity center method and relative velocity method.

Key Words : Cycloidal speed reducer(사이클로이드 감속기), Friction force(마찰력), Contact force(접촉력)

1. 서론

현대 사회의 산업기기, 건설기기, 자동차기기 등은 점점 고기능화 되고 구성품들은 단순화, 소형화 되면서 큰 힘을 요구한다. 따라서 높은 감속비를 가지고, 감속비 조절이 용이하고, 구조가 매우 간단하고, 소형이면서 백래쉬가 없는 사이클로이드 감속기(cycloidal speed reducer)가 많이 사용되고 있다.

사이클로이드 감속기는 운동중에 항상 다점에서 접촉을 유지하므로 내충격성이 우수한 장점을 보유하고 있다. 그러나 사이클로이드 감속기에 대한 형상설계, 작용력 해석 및 구조해석기술 등은 기술보유 및 확보를 위해 선진국 제조회사에서 유출을 금지하고 있으며, 관련 논문도 저조한 실정이다. 본 논문에서는 사이클로이드 감속기의 정역학적 힘의 평형과 기구학적 운동특성 및 기하학적 적합성을 이용하여 접촉력(contact force)을 구하는 방법을 제시한다. 또한, 사이클로이드 판기어 설계와 설계 데이터의 체계화를 위한 전산 원용 프로그램을 구축하고 사이클로이드 감속기의 개발에 응용성을 향상한다.

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

2. 구성

Fig.1은 사이클로이드 감속기의 구성을 나타낸 것으로 감속기는 사이클로이드 판기어(cycloidal plate gear)와 외륜 롤러기어(housing roller gear), 출력 핀기어(out pin gear), 편심 베어링(eccentric bearing)등으로 구성되는데, 그 중에서 사이클로이드 판기어는 사이클로이드 감속기의 핵심부품에 해당된다.

사이클로이드 판기어와 접촉운동을 하는 외륜 롤러기어는 감속기 하우징에 고정되어 있고 출력 핀기어는 출력축과 연결되어 있다. 그리고 편심 베어링은 감속기 중심에서 편심량 만큼 사이클로이드 판기어를 편심시켜 회전운동을 하게 하며 입력축과 연결되어 있다.

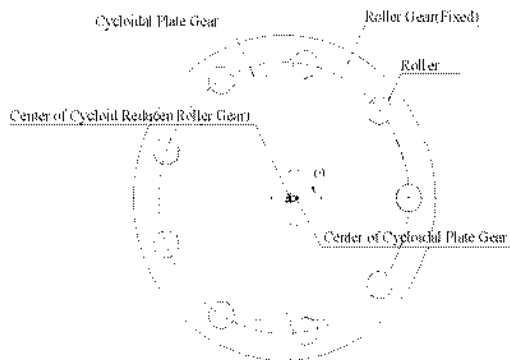


Fig. 1 Constitution of cycloidal speed reducer

3. 접촉력 해석

본 논문에서는 7개의 롤러로 구성된 외륜 롤러기어와 2개의 판기어가 결합된 경우를 모델화하고, 공식을 정의한다. 이때, 첨자 i 는 롤러의 번호이며, 첨자 1과 2는 판기어의 번호에 해당된다. Fig.2는 롤러와 순간속도중심, 편심중심 사이의 각도인 θ_{i1} , θ_{i2} , α_i 를 나타내고 있으며 θ_{i1} 과 θ_{i2} 의 합은 θ_0 라고 한다. Fig.3과 Fig. 4에서 F_R 은 판기어로 작용하는 힘, F_{i1} 은 롤러가 판기어 #1의 순간속도 중심으로 작용하는 힘이고, F_{i2} 는 롤러가 판기어 #2의 순간속도 중심으로 작용하는 힘이다. F_{i1} , F_{i2} 와 F_R 과의 관계를 구하면 다음과 같다.

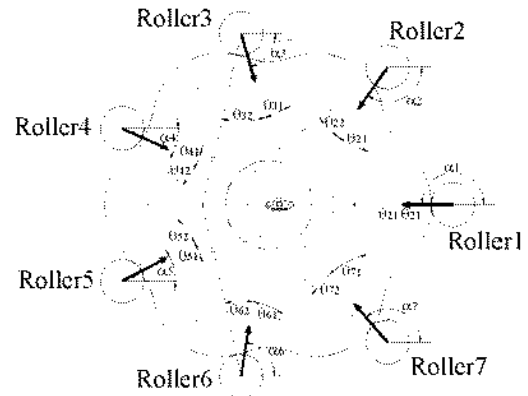


Fig. 2 Directional angle components

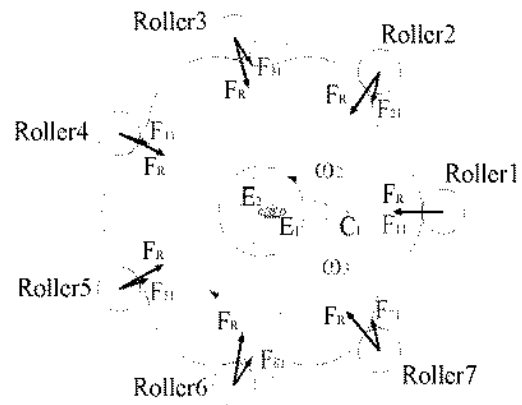


Fig. 3 Contact forces and component forces interacted between seven rollers and #1 cycloidal plate gear

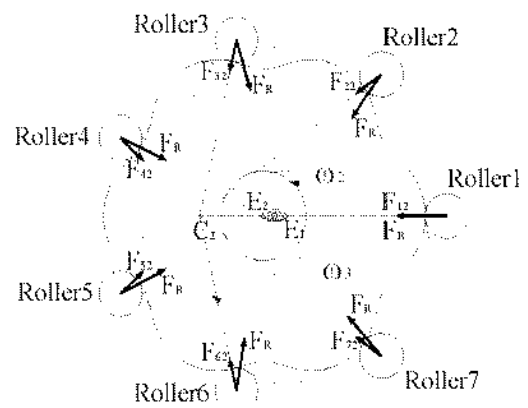


Fig. 4 Contact forces and component forces interacted between seven rollers and #2 cycloidal plate gear

$$F_R \cdot \sin\theta_{i1} = F_{i2} \cdot \sin\theta_a \quad (1)$$

$$F_R \cdot \sin\theta_{i2} = F_{i1} \cdot \sin\theta_a \quad (2)$$

$$F_{i1} = F_R \cdot \frac{\sin\theta_{i2}}{\sin\theta_a} \quad (3)$$

$$F_{i2} = F_R \cdot \frac{\sin\theta_{i1}}{\sin\theta_a} \quad (4)$$

식 (3),(4)에서 분모에 해당하는 $\sin\theta_a$ 가 '0' 이 되는 특수한 경우는 Fig. 3, 4의 롤러 1의 위치와 같은 상황에 해당된다. 이때 fig. 3의 롤러 1에 의한 작용력 F_{i1} 과 Fig. 4의 롤러 1에 의한 작용력 F_{i2} 는 다음과 같이 정의된다.

$$F_{i1} = F_R \cdot \left(\sum \cos\alpha_i + \frac{\cos\alpha_1}{2} \right) \quad (5)$$

$$\text{조건} : (-180 < \alpha_i < 0)$$

$$F_{i2} = F_R \cdot \left(\sum \cos\alpha_i + \frac{\cos\alpha_1}{2} \right) \quad (6)$$

$$\text{조건} : (0 < \alpha_i < 180)$$

2개의 판기어에 작용하는 접촉력은 순간속도 중심점에서 반력과 힘의 평형 조건을 만족하여야 하고 마찰력의 방향은 순간속도 중심점과 롤러의 접촉점의 접선방향이다. Fig. 5는 판기어 #1에 작용하는 작용력을 나타내었고 마찰력은 롤러와 판기어 #1의 접선방향이다. Fig. 6은 판기어 #2에 을 나타내었고 마찰력은 롤러와 판기어 #2의 접선 방향이다. α_{i1} 과 α_{i2} 는 각 롤러의 중심에서 각각의 순간속도 중심으로 향하는 각도이다. 그리고 F_{C1X} 와 F_{C1Y} 는 판기어 #1의 순간속도 중심(C1)에 반작용되는 x 방향과 y 방향성분이고 F_{C2X} 와 F_{C2Y} 는 판기어 #2의 순간속도 중심(C2)에 반작용되는 성분이다. 따라서 작용되는 힘은 식 (7),(8),(9),(10)으로 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n (F_{i1} \cdot \cos\alpha_{i1} + \mu(F_{i1} \cdot \cos(\alpha_{i1}-90))) + F_{C1X} = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n (F_{i1} \cdot \sin\alpha_{i1} + \mu(F_{i1} \cdot \sin(\alpha_{i1}-90))) + F_{C1Y} = 0 \quad (8)$$

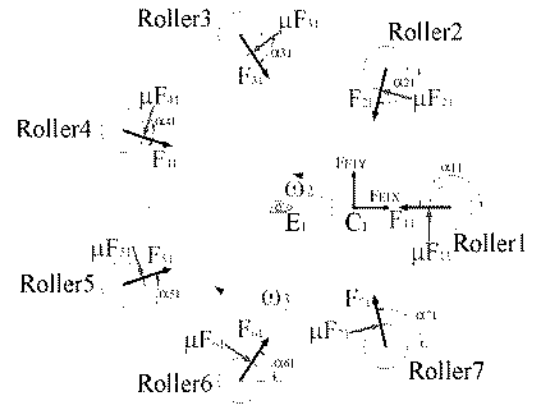


Fig.5 Component forces and friction forces on #1 cycloidal plate gear

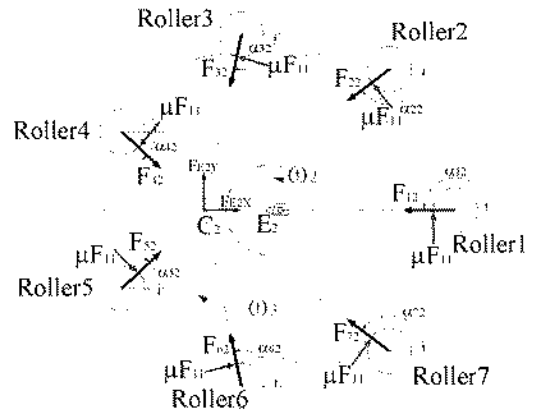


Fig.6 Component forces and friction forces on #2 cycloidal plate gear

$$\sum_{i=1}^n (F_{i2} \cdot \cos\alpha_{i2} + \mu(F_{i2} \cdot \cos(\alpha_{i2}-90))) + F_{C2X} = 0 \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n (F_{i2} \cdot \sin\alpha_{i2} + \mu(F_{i2} \cdot \sin(\alpha_{i2}-90))) + F_{C2Y} = 0 \quad (10)$$

감속기의 감속비가 1:(1-N)이므로 입력토크(Ti)와 출력토크(To)의 관계식은 식(11)과 같다. 출력토크는 y 방향의 힘으로 인한 모멘트와 같으므로 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_O = (1 - N) \cdot T_i \quad (11)$$

$$T_i = E \cdot (F_{CY} - F_{CY}) \quad (12)$$

주어진 입력토크에 의해 식(12)에서 작용력 F_R 을 구할 수 있고, 톨러기어의 임의의 상태에서 판기어에 작용하는 힘을 계산할 수 있다.

4. 적용례

앞서의 이론을 사용하여 감속기반경(R)=100mm, 톨러기어 개수(N)=4 또는 7개, 편심량(E)=5mm, 입력토크(Ti)=50,000Nmm와 같은 입력변수를 사용하여 마찰이 있는 경우의 사이클로이드 판기어의 접촉력을 해석해 보았다. Fig. 7과 Fig. 8에서 보듯이 접촉력은 사이클로이드 감속기의 기구학적 형상에 따라 각각의 각도에 대해 차이가 있으며 톨러의 개수에 따라서도 차이가 남을 알 수 있다.

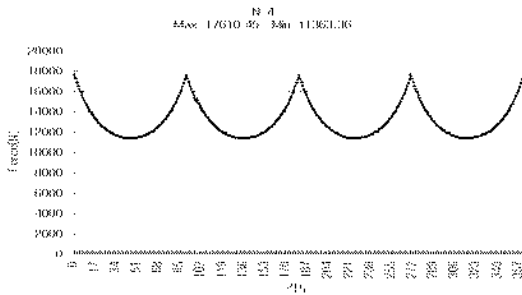


Fig. 7 Contact forces considered friction effect when N=4 and E=5

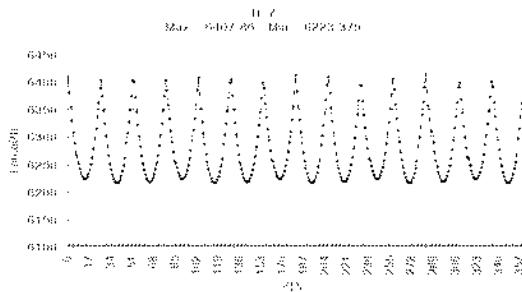


Fig. 8 Contact forces considered friction effect when N=7 and E=5

5. 결론

본 논문에서는 형상설계가 완료된 사이클로이드 감속기에서 마찰력을 고려해 작용력을 해석하는 방법을 제시하였다. 이 결과가 사이클로이드 감속기의 설계 및 제작에 고려되어 진다면 보다 쉽게 감속기의 설계 및 제작이 이루어질 것이다. 앞으로 수행되어야 할 과제로는 사이클로이드 감속기 내부의 편향 작용력과 마찰력을 고려한다면 완전한 사이클로이드 감속기의 해석이 이루어질 수 있을 것이다.

후기

이 논문은 한국산업기술재단의 지역혁신 인력사업 지원연구의 지원을 받아 이루어 졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 신중호, 윤호업, 강동우, "사이클로이드 판기어 형상 설계법에 관한 연구", 대한기계학회 논문집 A권, 제25권, 제1호, pp.70~80, 2001.
2. 신중호, 김종수, "디스크형 캠기구 설계를 위한 순간속도 중심설계법의 연구", 창원대학교 산기연 논문집, 1994.
3. 신중호, 이춘만, 김종수, "Shape Design of Disk Cam Mechanisms Using Instant Velocity Center," Proceeding of 6th International symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Vol. 1, pp.178-186, 1996.
4. 신중호, 김종수, 하경훈, "캠 구동 슬라이더 기구의 기구동역학 해석에 관한 연구," 대한 기계학회 논문집, 제21권, 제6호, pp.871-883, 1997.
5. Litvin F. L., "Gear Geometry and Applied Theory," Prentice-Hall Inc, 1994.
6. 김도현, 윤호업, 장세원, 신중호, "사이클로이드 감속기의 판기어 접촉력 해석에 관한 연구," 한국정밀공학회 학술논문집, pp.800~803, 2003.