

헬리컬 코니칼 인볼류트 기어 쌍의 물림에 관한 연구 A Study on the Tooth Contact of Helical Conical Involute Gear Pairs

*김준성¹, 구재준¹, 문성민¹, 장기¹, 류성기¹
*J. S. Kim¹, J. J. Ku¹, S. M. Moon¹, Q. Zhang¹, #S. K. Lyu(sklyu@gnu.ac.kr)¹
¹경상대학교 기계항공공학부 기계설계학과

Key words : Conical involute gear, Tooth contact, Down angle adapter, Equivalent helical gear

1. 서론

기계공학에서 가장 쉽게 접하면서도 어려운 학문 중 하나가 기어라고 말한다. 이러한 기어가 한 단계 발전한 기어가 코니칼 인볼류트 기어(Conical Involute Gear)라고 볼 수 있다. 베벨 기어(Bevel Gear)가 해결 할 수 없는 작은 축각 범위에서부터 손쉬운 백래쉬(Backlash) 조정에 이르기까지 대단한 활용성을 보여주고 있는 이 기어는 현재까지 유럽과 아시아 등 몇몇 국가에서만 그 연구가 진행되고 있으며 소수의 실용화 예들만이 보고되고 있는 희소성이 큰 기어 분야이다.

미국, 독일, 일본, 영국 등 기어에 관한 연구가 꾸준히 진행되어 기어기술이 발달하고 있는 나라들에 비해 동력전달장치에서 가장 많이 사용하고 있는 기어 기술 연구가 상대적으로 빈약한 국내 사정을 보면서 기어 발전에 대한 관심이 생겼다. 그 발전의 매개체로써 기어 분야에서 루키(Rookie)로 떠오르고 있는 코니칼 인볼류트 기어의 연구를 통한 자체 설계 기술 확보가 본 연구의 목적이라 할 수 있다.

본 연구에서는 코니칼 인볼류트 기어의 기하학적 탐구, 기초 이론을 기반으로 헬리컬 코니칼 기어의 설계, 제작 및 물림(齒合)실험을 하여 선박 감속기용 Down-Angle Adapter 의 코니칼 기어 적용 및 실용화 연구를 수행하였다.

2. 코니칼 기어의 기하학

코니칼 인볼류트 기어는 스피어 및 헬리컬 기어와 마찬가지로 Hob 에 의해 절삭이 이루어진다. 하지만, 스피어 및 헬리컬 기어가 y-z 좌표평면에서만 변환이 이루어진다면 코니칼 인볼류트 기어는 x-z, y-z 공간상의 좌표 변환에 의해서 만들어지는 기어이다.

기어를 창성하는 기준랙(Basic rack)을 고려해서 이 랙의 직접적인 절삭이 이루어지는 면을 기어의 축에 대해 δ 만큼 기울였을 때 만들어진 랙의 중심면에 의해 생성된 기어가 바로 스피어 코니칼 인볼류트 기어이다. 물론 여기에 ψ 만큼 비틀림각을 부여하면 헬리컬 코니칼 인볼류트 기어가 생성된다.⁽¹⁾

Fig. 1 은 헬리컬 코니칼 기어와 기준랙과의 절삭 관계를 나타낸 그림이다. 좌표계 o-x, y, z 에서 y 축을 기준으로 δ 만큼 회전시키고, 다시 좌표계 o-x₃, y₃, z₃ 에서 x₂, x₃ 축을 기준으로 ψ 만큼 회전시킨 좌표계 o-x₂, y₂, z₂ 의 기준랙 평면에 의해 헬리컬 코니칼 기어가 창성되는 것을 보여준다.

Fig. 2 는 헬리컬 코니칼 기어의 소경부(Toe), 중심부(Center) 및 대경부(Heel)의 치형을 나타낸 그림이다. x 축의 '0' 값은 이 축이 기어의 중심축을 지난다는 것을 의미한다. Y 축값은 기어 중심축에서부터의 반경방향 거리를 나타낸다.

코니칼 인볼류트 기어를 창성하는 랙(Rack)의 기본제원은 치직각 모듈(Normal module) m, 좌·우치면 치직각 압력각(Normal pressure angle) $\alpha_{ol} \cdot \alpha_{or}$, 기준랙 중심면에 대한 리드 비틀림각(Helix angle of lead) ψ 및 창성 원추각(Generating cone angle) δ 이다. 따라서

$\alpha_{ol} \cdot \alpha_{or}$ (Hob 의 좌·우치면 압력각 : 보통의 Hob 좌·우치면 압력각은 동일하다.), ψ , δ , Z(기어의 잇수 : Number of teeth)를 코니칼 인볼류트 기어의 기본 제원이라고 정의한다.⁽²⁾

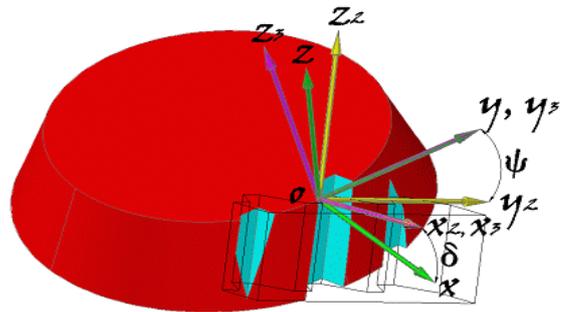


Fig. 1 The geometry of helical conical gear

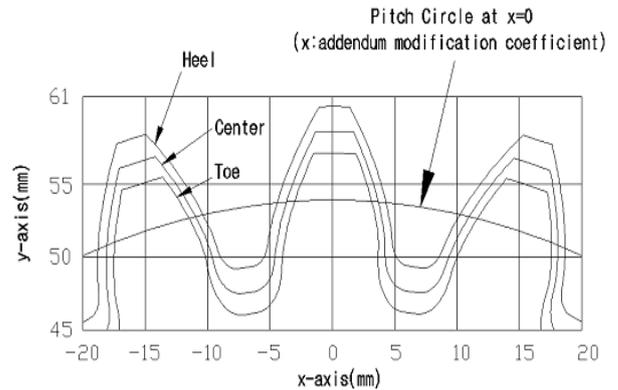


Fig. 2 Profile of helical conical gear

3. 시편제작 및 물림실험

3.1 시편제작

구동축 기어는 PRM 社의 기어를 사용하였고 이를 모델로 하여 같은 제원의 피동축 기어를 제작하였다. 코니칼 인볼류트 기어의 절삭은 CNC 호빙머신으로 가공하였다.

Fig. 3 에 K. Mitome^(6, 7)교수에 의해 연구된 테이블 이동 호브 절삭법과 같은 절삭원리를 나타냈다. 이는 호브가 x, y 두 축으로 동시에 움직이며 경사 절삭을 이룬다.

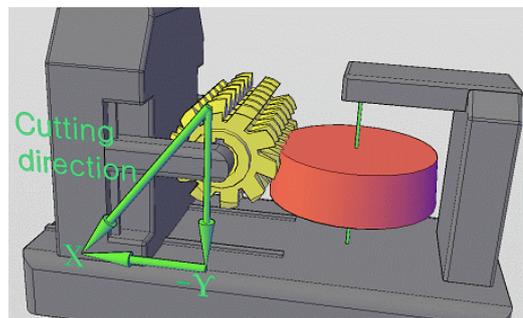


Fig. 3 Hob sliding taper hobbing

Fig. 4 는 가공전의 시편과 절삭이 이루어진 헬리칼 코니칼 기어를 나타낸 그림이며, CNC 호빙 머신으로 가공 하였다. 연삭가공은 하지 않았으며, 빠르게 가공되었는지 확인을 위해 CNC 기어 테스터기를 사용하여 측정하였다. Table 1 의 코니칼기어 제원은 K. Mitome⁽²⁾가 도출한 Table 2 식을 사용하여 구하였다.

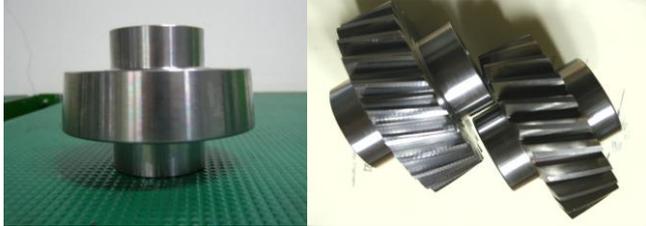


Fig. 4 Workpiece and helical conical gears

Table 1 Specification of conical gears

Pressure angle(°)	20
Helix angle(°)	RH 25.5
Cone angle(°)	5
Number of teeth	23
Module(DP)	6
Tooth width(mm)	36.5
Small-outside diameter(mm)	113.34
Small-outside diameter(mm)	116.37
Small-outside diameter(mm)	119.73
Zero-pitch diameter(mm)	107.88
Upper addendum modification coeff.	-0.3235
Lower addendum modification coeff.	0.3574

Table 2 Basic equations of conical gear

Right flank transverse pressure angle	$\tan \alpha_{vr} = \tan \alpha_v \cos \delta \sec \psi + \sin \delta \tan \psi$
Left flank transverse pressure angle	$\tan \alpha_{vl} = \tan \alpha_v \cos \delta \sec \psi - \sin \delta \tan \psi$
Right flank pitch helix angle	$\tan \beta_r = \tan \psi \cos \delta - \tan \alpha_v \sin \delta \sec \psi$
Left flank pitch helix angle	$\tan \beta_l = \tan \psi \cos \delta + \tan \alpha_v \sin \delta \sec \psi$
Right flank base helix angle	$\tan \beta_{br} = \tan \beta_r \cos \alpha_{vr}$
Left flank base helix angle	$\tan \beta_{bl} = \tan \beta_l \cos \alpha_{vl}$
Transverse pitch	$t_v = m \sec \psi$
Transverse module	$m_v = m \sec \psi$
Right flank transverse normal pitch	$t_{vnr} = t_v \cos \alpha_{vr}$
Left flank transverse normal pitch	$t_{vnl} = t_v \cos \alpha_{vl}$
Pitch diameter	$d_v = z m_v$
Right flank base diameter	$d_{vr} = z m_v \cos \alpha_{vr}$
Left flank base diameter	$d_{vl} = z m_v \cos \alpha_{vl}$
Right flank lead	$L_r = m d_v \cot \beta_r$
Left flank lead	$L_l = m d_v \cot \beta_l$

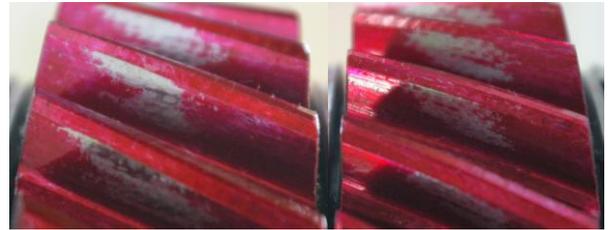
3.2 물림실험

이번 물림 실험에서는 무부하에서 회전속도를 변화시켜 가면서 수행하였고, 비틀림 방향만 다른 같은 제원의 기어를 사용하였다. Fig. 5 에서 알 수 있듯이 구동측 기어(Drive gear)의 경우 좌치면은 대체로 물림 흔적이 중심에 있으면서 아래쪽으로 물림이 약하게 나왔다. 물림 면적은 전체 치면의 1/3 정도이고, 우치면은 전체 치면의 1/4 정도로 물림 흔적이 중심에 집중되어 있다. 피동측 기어(Driven gear)의 좌·우치면은 비슷한 형상으로 나타났으며, 좌치면은

구동측 기어의 좌치면과 마찬가지로 물림 흔적이 아래쪽까지 퍼져 있었다. 이는 치형 측정에서 나왔던 것처럼 구동측 기어의 좌치면 리드 형상이 아래쪽으로 치우쳐져 있는 영향에 의한 것으로 생각된다. 대부분의 엔진 회전 방향이 엔진의 플라이 휠 방향에서 보았을 때 반시계 방향이라는 것을 고려한다면 좌치면이 동력 전달 측(Drive side)이 된다.



(a) Drive gear – left and right flank



(b) Driven gear – left and right flank

Fig. 5 Tooth bearing between conical gears

4. 결론

본 연구는 아직까지 국내에서는 생소한 개념인 코니칼 인볼류트 기어의 설계, 제작의 가능성을 확인하고 한 쌍의 헬리칼 코니칼 기어의 물림을 실험하여 코니칼기어 설계 및 제작의 가능성을 확인하였다.

본 연구를 통해 선박 감속기용 Down angle adapter 를 위한 교차축 용 헬리칼 코니칼 인볼류트 기어의 실현 가능성과 동력전달을 위해서는 치형 수정이 부수적으로 필요하다는 것을 확인하였다.

후기

이 논문은 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI 04-01-03)과 산업기술재단 지역혁신 인력양성사업 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 三留謙一, “円すい形インボリュート歯車の加工法とその応用の関する研究”, 博士學位論門, pp. 1-20.
2. 三留謙一, “円すい形インボリュート歯車の研究(第1報、設計および製作法)”, 日本機械学会論文集, C, 48-430, pp. 852-859, 1982.
3. 齒車便覽編集委員会, “齒車便覽”, 日刊工業新聞社, 1962.
4. 홍장표, “기계설계 이론과 실제”, (주)북스힐, pp. 607-705, 2005.
5. 김광태, 정재수, “기어기초활용기술” 예문사, 2008.
6. K. Mitome, “Table Sliding Taper Hobbing of Conical Gear using Cylindrical Hob. Part 1:Theoretical Analysis of Table Sliding Taper Hobbing”, ASME J. Eng. Ind. 103, pp. 446-451, NOVEMBER 1981.
7. K. Mitome, “Table Sliding Taper Hobbing of Conical Gear using Cylindrical Hob. Part 2:Hobbing Of Conical Involute Gear”, ASME J. Eng. Ind. 103, pp. 452-455, NOVEMBER 1981.