

Auto_LISP을 이용한 기어설계 프로그램 개발에 관한 연구
A Study on the Development of the Gear Design
Program by using Auto_LISP

*조 규 중 **김 종 석

*전남대학교 자동차공학부 교수

**전남대학교 기계공학과 대학원

Abstract

Gear design carried in former type determined a few variables like module, pressure angle, helix angle.

After investigating repeatedly results obtained through stress analysis and making a determination an optimal shape, but its design process was not only complex but also difficult to get a precise profile curve from operating by hand.

In this study, rotating shape of gear profile curves were generated automatically with standard spur gear, equivalent helical gear, shifted gear & pinion by using developed program which is Auto_LISP language supported in Auto-CAD. Output tooth profile by using CAE program is applied as Preprocessor for stress analysis in each contact points.

This program which can be determined rapidly an optimal shape of gear will be successfully supported for Small & Medium companies designing and manufacturing gears by using Auto-CAD.

1. 서 론

기어는 차례로 물리는 이(tooth)의 직접 접촉에 의하여 동력의 전달과 전환을 담당하는 기계요소이다. 또한 자동차, 산업기계, 공작기계류에서부터 현재의 첨단 정밀기계류에 이르기까지 기계공학이 집적되어 적용되는 거의 모든 분야에서 동력 전달용 기계요소로 사용되고 있다.

종래의 기어설계는 모듈(module), 압력각(pressure angle), 나선각(helix angle)등의 여러 변수 값을 결정하고, 역학적 해석을 통하여 얻어진 결과를 반복해서 검토한

후 기어의 최적형상을 결정하여 도면으로 작성하는 과정을 수작업에 의해서 수행해왔다. 그러나 설계과정이 복잡하고 많은 시간을 요구할 뿐만 아니라 정확한 치형곡선을 수작업을 통하여 얻는다는 어려움이 있으므로 일반적인 기어도면에서는 기어의 치형을 생략해왔다. 따라서 기어설계 과정을 컴퓨터 프로그래밍화 하려는 연구가 진행되어 왔다.

컴퓨터를 이용한 기어설계에 관한 연구는 1960년대 초반부터 미국을 중심으로 활발하게 진행되었다.

Towsend¹⁾ 와 Johnson²⁾ 등은 컴퓨터를 이용하여 굽힘응력과 접촉응력 해석을 했으며 이를 기초로 최적의 스피어기어를 설계하였다. Tsay³⁾는 인볼류트 헬리컬기어를 위한 수학적 모델 만들었고, 컴퓨터를 이용하여 기어의 기하학적 모델을 형상화했다. 최근 컴퓨터 원용 기어설계는 유한요소법을 이용한 정확한 응력 계산을 토대로 기어의 최적형상을 결정하는 연구가 진행되고 있다.

유한요소법을 통한 기어의 응력해석을 위해서는 정확한 기어형상을 얻는 것이 중요하다. 따라서 여러 설계 변수값에 영향을 받는 다양한 기어를 설계하고 도면으로 제작하는 것은 중요한 문제이지만 여전히 취약점으로 남아있는 실정이다.

본 연구에서는 범용설계 프로그램인 Auto-CAD에서 지원되는 Auto_LISP을 이용하여 표준 스피어기어, 상당 헬리컬기어, 전위기어의 기어와 피니언이 서로 맞물려 돌아가는 형상을 자동으로 형상화했으며 출력된 치형

형상은 CAE 프로그램을 이용하여 각각의 접촉점에서의 응력해석을 위한 전처리 과정으로서 활용하였다.

2. 자동기어설계를 위한 시스템구성

이 프로그램에 사용된 프로그램언어는 범용 CAD 시스템인 Auto-CAD 환경에서 지원되는 Auto_LISP을 사용하였다.

Auto_LISP 프로그램언어는 Auto-CAD가 제공하는 기본적인 내용에서 느끼는 불편함을 해소하거나, 작업 환경을 사용자 스스로 관리하고 개선할 수 있도록 준비된 것이다. 그리고 Auto-CAD에서 사용되어 값을 파일로부터 불러올 수 있다.

1) 프로그램 입력부분

기어형상에 있어서 잇수, 모듈, 압력각 인자가 가장 크게 영향을 미치게 된다. 이들의 주어진 값에 따라 기어형상이 달라지게 된다. 따라서 이 프로그램의 입력부분에서는 설계자의 의도에 따라 기어 형상을 결정짓는 인자를 직접 입력할 수 있도록 대화식으로 이루어져 있다.

또한 중심 거리 확정시 기어(Gear)를 중심으로 피니언(Pinion)이 사용자가 원하는 각도만큼 원하는 각도씩 자동으로 회전궤적을 형상화 할 수 있게 하였다.

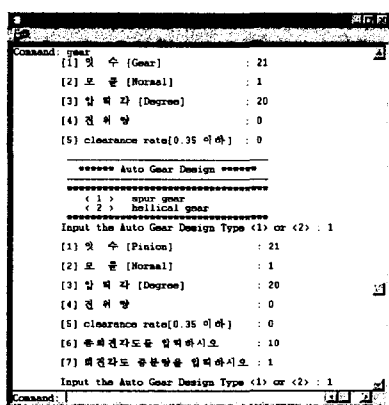


Fig. 1 Input window of gear sources

Fig.1는 설계자의 의도에 따라 잇수, 모듈, 압력각, 전위량, Clearance rate를 다양

하게 입력할 수 있는 창이다. 마지막으로 스퍼기어와 상당 헬리컬 기어를 선택함으로써 기어(Gear)와 피니언(Pinion)이 맞물리는 형상을 결과로 나타나게 된다.

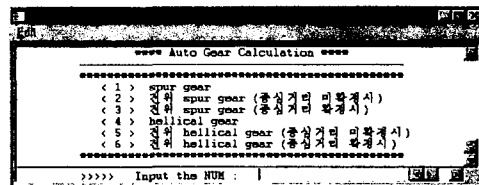


Fig. 2 Selection window of gear to calculate

Fig.2는 기어 치수 계산식에 관한 입력창이다.

본 프로그램은 표준 스퍼기어, 전위 스퍼기어(중심거리 미확정시), 전위 스퍼기어(중심거리 확정시), 표준 헬리컬기어, 전위 헬리컬기어(중심거리 미확정시), 전위 헬리컬기어(중심거리 확정시) 6가지의 기어 치수 계산을 할 수 있도록 프로그램 되어있다. 따라서 설계자가 설계하고자 하는 기어의 번호를 입력하면 된다.

이렇게 입력된 값은 다음과 같은 계산식에 의해서 완전한 치형으로 생성되게 된다.

1단계 : 인벌류트 곡선의 시작과 끝을 알기 위해 각 ϕ 를 구한다.

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{R_a}{R_b}\right)$$

$$\phi = \text{inv } \alpha = \tan \alpha - \alpha$$

2단계 : 점 B에서 점 C까지는 반지름 R_a 를 가지는 원의 궤적이므로 각 β 의 변화에 따른 좌표값 (x_m, y_m)를 구한다.

$$\beta = \frac{T_a}{2R_a}$$

$$x_m = R_a \sin \beta$$

$$y_m = R_a \cos \beta$$

여기서 $\phi \leq \beta \leq \gamma$ 이다.

3단계 : θ 의 값이 변함에 따라 인벌류트

곡선의 궤적을 나타내는 임의의 점 Q 의 좌표 (x_m, y_m) 를 구한다.

$$x_m = \cos \theta \cdot (-R_b \theta) + R_b \sin \theta$$

$$y_m = -\sin \theta \cdot (-R_b \theta) + R_b \cos \theta$$

여기서 $0 \leq \theta \leq \tan \alpha$ 이며, Q 의 좌표 (x_m, y_m) 의 수는 기초원 반경에서부터 이 끝원 반경까지 일정 개수만큼 분할하여 얻을 수 있는데 분할하는 개수에 따라 인벌류트 치형의 정확도가 결정된다.

4단계 : 랙커터에 의해 생성되는 필렛 곡선을 구하여 완전한 치형을 얻는다.

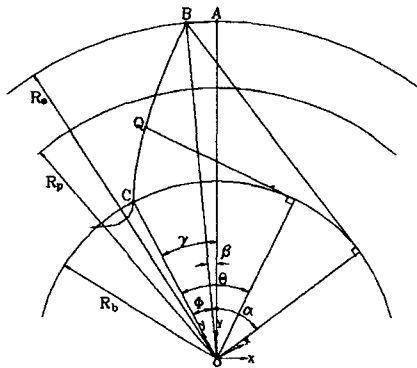


Fig. 3 Generation of Gear tooth profile

2) 프로그램 출력 부분

다음 그림들은 각각 표준 스퍼기어와 전위계수를 기어에 준 경우, 그리고 일반적인 기어에 적용되는 이끝 틈새 $0.25m$ 의 그림들이다. 그림들에 대한 제원은 다음 Table 1 과 같다.

Table 1 Standard spec of gear

Title	Gear	Pinion
tooth number	26	20
pressure angle	20°	
module	1	
radius of pitch circle	13 mm	10 mm
addendum modification coefficient	±0.25	
contact ratio	1.59	

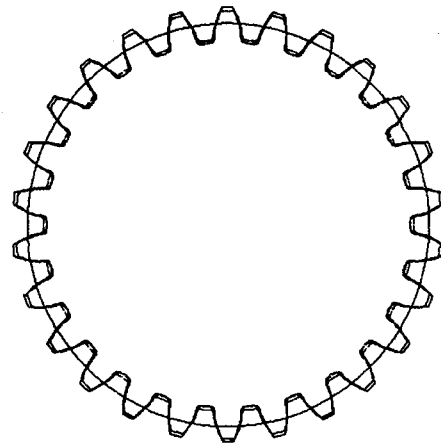


Fig. 4 Auto gear generation profile

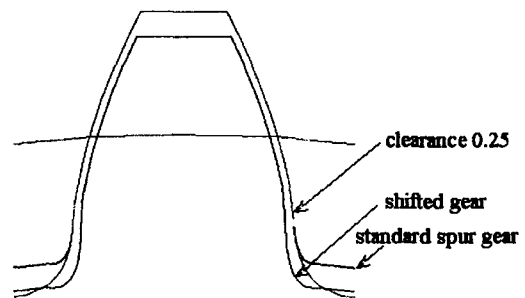


Fig. 5 Auto gear generation magnified profile

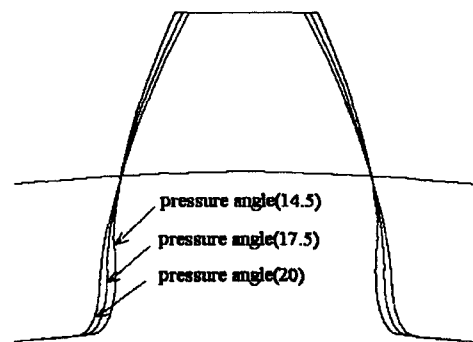


Fig. 6 Gear profile as pressure angle

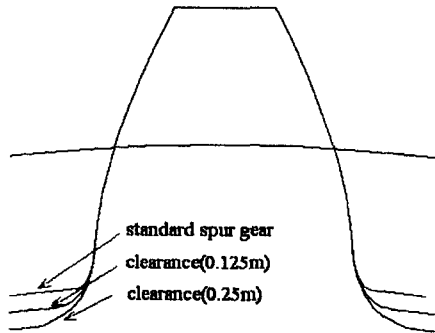


Fig. 7 Gear profile as clearance

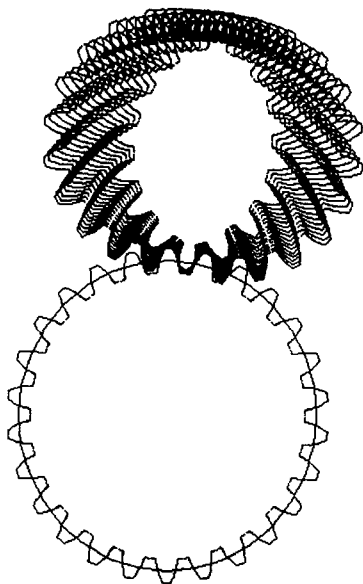


Fig. 8 Locus of gear generation

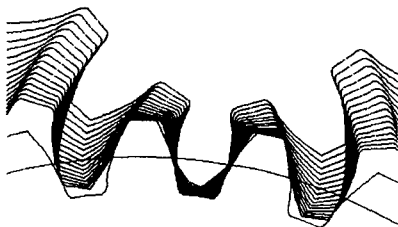


Fig. 9 Standard Spur gear

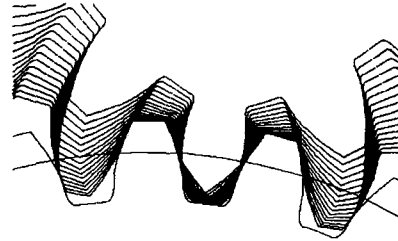


Fig. 10 Shifted gear profile

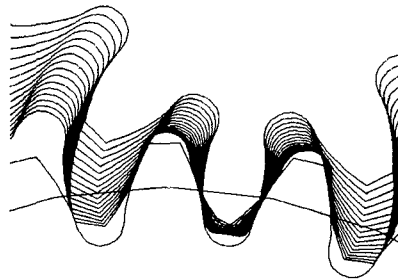


Fig. 11 Clearance(0.25) gear profile

3) 유한요소법에 의한 접촉응력 해석

위의 프로그램에 의해 자동 생성된 기어와 피니언에 대한 접촉 형상을 .dxf 파일로 변환하여 CAE에 import시켜 다음과 같이 접촉점에서의 응력해석을 수행하였다.

기어와 피니언의 접촉응력을 해석하기 위해 상대적으로 잇수가 작은 피니언을 구동기어로 하는 증속기어로 가정하였다.

Tale 1에서와 같이 두 기어의 물림율이 1.59이므로 한 쌍의 기어치가 접촉을 끝마칠 때 적어도 다음의 한쌍의 기어치가 물림 상태에 있어야 한다. 따라서 구동기어인 피니언을 한 피치 이상 2.6°씩 총 8회를 회전시키면서 한 쌍의 기어치가 접촉할 때와 두 개의 치가 동시에 접촉할 때를 확인하여 각각에 대하여 응력해석을 수행하였다.

두 기어의 형상은 기어의 너비 방향에 대해 동일한 형상을 갖고 있으며, 기어의 접촉 여부와 접촉 하중이 동일하다고 생각할 수 있으므로, 스퍼 기어의 물림 상태를 단위 치폭을 갖는 평면 응력 시스템으로 가정하였다.

또한 유한 요소 해석을 위해 잇수 3개를 취하여 유한 요소 모형을 수행하였으며, 유한 요소는 4 절점 사각형 요소를 사용하였다.

유한요소 해석에 사용된 표준 스퍼기어의 제원은 다음 Table 2와 같다.

Table 2 Finite Element Model Spec

Gear	Standard Spur Gear
An item	Standard Spur Gear
Element class	Quad(4)
Nodes	5220
Elements	4844
Modulus of Elasticity	21000 (kgf/mm^2)
Poisson's ratio	0.3

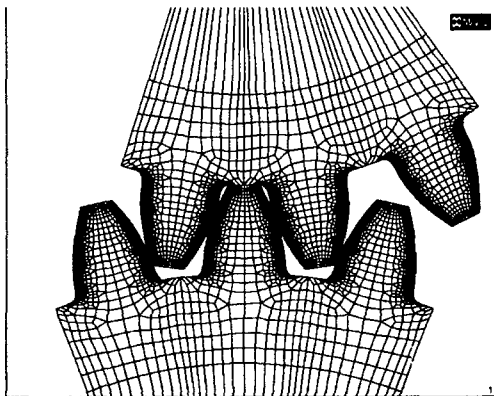


Fig. 10 FEM model of standard spur gear

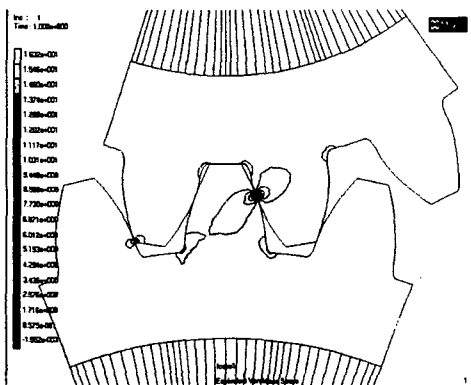


Fig. 11 Stress distribution at initial contact

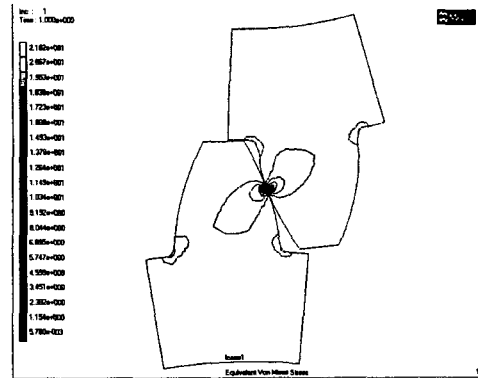


Fig. 12 Stress distribution at single contact

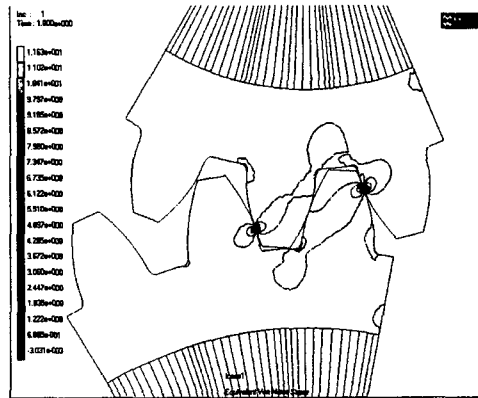


Fig. 13 Stress distribution at double contact

3. 결론

본 연구에서는 치형곡선을 정밀하게 그리기에는 시간과 노력이 많이 필요할 뿐만 아니라 수작업 하기 쉽지 않은 문제점을 고려하여 산업현장에서 주로 사용하는 인벌류트 치형의 스퍼기어, 헬리컬기어의 상당스퍼기어를 대상으로 치형 자동생성과 제원 자동설계 프로그램을 개발하였다.

이 프로그램은 Auto-CAD상에 내장되어 있는 Auto_LISP 언어를 사용하여 만들어진 것이다.

구동기어와 피동기어의 접촉 응력의 해석을 위해서는 정확한 초기 접촉상태의 기어 형상을 알아야 한다.

따라서 본 프로그램에서는 설계자가 구동기어와 피동기어의 제원을 각각 입력하게 되어있으며 두 기어가 맞물려 회전되는 형상을 원하는 각도만큼 자동으로 그려낼 수 있다. 이렇게 하여 그려진 기어형상은 바로 CAE 프로그램을 이용한 기어 접촉 응력 해석을 위한 전처리 과정으로 쓰일 수 있다.

또한 AutoCAD를 이용하여 기어를 설계하고 제작하는 중소기업에서는 본 프로그램을 사용하여 요구되는 제원에 적합한 최적의 기어 형상을 신속하게 결정하여 설계의 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. M. Savage, J. J. Coy, and D. P. Townsend, "Optimal Tooth Numbers for Compact Standard Spur Gear Sets", ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 104, No. 3, pp.749-758, 1982
2. R. K. Carroll and G. E. Johnson, "Dimensionless Solution to the Optimal Design of Spur Gear Sets, "Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, JUNE, Vol. 111, pp.290-296, 1989
3. C. B. Tsay, "Helical Gears with Involute Shaped Teeth: Geometry, Computer Simulation, Tooth Contact Analysis, and Stress Analysis", ASME, vol. 110, pp.481-491, 1988
4. C. S. Hundo, "The Technic of Gear Design", Machine Design Technology, Vol. 10, No. 2, pp. 141-151, 1995.
5. T. F. Conry and A. Seireg., "A Mathematical Programming Technique for the Evaluation of Load Distribution and Optimal Modifications for Gear Systems", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 94, July, 1972.
6. M. S. Tavakoli and D. R. Houser, "Optimum Profile Modifications for the Minimization of Static Transmission Errors of Spur Gears", Journal of Mechanism, Transmissions, and Automation in Design, MARCH, Vol. 108, pp. 86-95, 1986.
7. M. S.Kim, "Computer-Aided Design of Involute Cylindrical Gear for Power Transmission", M.S.D. Thesis, pp. 29-33, 1987.
8. Tong, B. S. and Walton, D., "A Computer Design Aid for Internal Spur and Helical Gears, " Int.J.Mach.Tools Manufact., Vol. 27, No. 4, pp. 479-489, 1987.
9. 기계설계 편람편찬 위원회, 기계설계, 대광서림, pp. 694-728, 1994.
10. 정선모, 한동철, 표준 기계설계학, 동명사, pp. 554-617, 1996.
11. 권오관, 기어 고급화를 위한 종합기술 개발에 관한 연구, 과학기술처, pp. 21-41, 103-130, 1992.
12. 조해용, "기어의 자동 설계 시스템 개발에 관한 연구", 한국 정밀공학회지 논문집, 제13권, 제 5호, pp. 95-103m 1996.
13. 변문현, 조성철, "동력전달용 인벌류트 기어의 CAD화 기술에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회논문집(I), pp. 968-973, 1995.