

기어설계 자동화 시스템에 관한 연구

조해용* · 남기정* · 오병기*

(2001년 9월 22일 접수, 2002년 4월 22일 심사완료)

A Study on the Automated Design System for Gear

Hae Yong Cho, Gi Joung Nam and Byung Ki Oh

Key Words: Gear Design Expert System(기어설계 전문가 시스템), CAD(컴퓨터 응용설계)

Abstract

A computer aided expert system for spur, helical, bevel and worm gears was newly developed by using AutoCAD system and its AutoLISP computer language in the present study. Two methods are available for a designer to draw a gear. The first method needs the gear design parameters such as pressure, module, number of tooth, shaft angle, velocity, materials, etc. When the gear design parameters are inputted, a gear is drawn in AutoCAD system and maximum allowable power and shaft diameter are calculated additionally. The second method calculates all dimensions and gear design parameters to draw a gear when the information such as transmission, reduction ratio, rpm, materials and pressure are inputted. The system includes four programs. Each program is composed of a data input module, a database module, a strength calculation module, a drawing module, a text module and a drawing edit module. In conclusion, the CAD system would be widely used in companies to find the geometric data and manufacturing course.

1. 서론

종래의 기어설계는 기어의 기능적인 특성, 성능 그리고 경제적인 여건 등을 고려하여 설계사 양서를 작성하고, 역학적 해석을 통해 얻어진 결과를 반복하여 검토한 후 기어의 각 치수를 결정하여 도면을 작성하는 과정을 수작업에 의해서 수행하여 왔다. 그러나 설계과정이 복잡하여 많은 시간을 요할 뿐 아니라 치형 곡선을 그릴 때 정밀성을 기해야하는 어려움이 있으므로 일반적인 기어도면에서는 기어의 치형을 나타내지 못하

는 불완전한 도면을 그려 왔다.⁽¹⁾

기어설계에 대한 컴퓨터의 도입은 1960년대 초반부터 기어의 자동설계시스템에 관한 연구가 미국을 중심으로 활발히 진행되었다. Towsend⁽²⁾ 등과 Johnson⁽³⁾ 등은 각각 컴퓨터를 이용하여 곱힘응력과 접촉응력을 기초로 최적의 스퍼기어를 설계하였다. Tsay⁽⁴⁾는 인벌루트 헬리컬기어를 위한 수학적 모델 만들었고, 컴퓨터를 이용하여 기어의 기하학적 모델을 정의하였다. Cho⁽⁵⁾ 등은 AutoLISP 언어를 이용하여 스퍼 기어, 헬리컬기어를 설계하고 기어도면을 출력하는 프로그램을 개발하였다. Chong^(6,7) 등은 헬리컬치차의 치면의 접촉영역 해석법을 표시하고, 치면의 접촉상태와 치차 성능을 추정하는 방법을 연구하였고, 헬리컬 기어쌍의 부피와 물림 진동 사이에 존재하는 상충성을 해석하고, 목표 프로그래밍 방법을 도입하여 헬리컬 기어쌍의 부피와 물림진동을

† 책임저자, 회원, 충북대학교 기계공학부

E-mail : hychoc@cbucc.chungbuk.ac.kr

TEL : (043)261-2464 FAX : (043)263-2448

* 충북대학교 기계공학과 대학원

동시에 저감하는 설계법을 제시하였다. 그러나 지금 까지 개발된 시스템들은 기어설계가 자동으로 가능한 종합적인 시스템이 되지 못하였다. 따라서, 하중 조건이 주어졌을 때 기어의 적합한 세부 사양을 설계하고 동력 전달용기어로 많이 사용되는 스피어, 헬리컬, 베벨 및 워엄 기어등을 설계 할 수 있는 종합적인 시스템개발이 요구되고 있다.

본 연구의 목적은 컴퓨터를 이용하여 일반적인 동력전달용 기어로 많이 사용되고 있는 스피어, 헬리컬, 베벨, 워엄 기어를 초보자라도 숙련자와 같이 기어설계를 행할 수 있고 동력이 주어지면 적합한 이의 크기를 결정하고 기어의 적합한 세부 사양을 설계하는 기어설계 시스템을 개발하고자 하였다.

2. 시스템의 구성

본 시스템은 Fig. 1과 같이 주 프로그램 과 각각의 기어를 설계하는 프로그램으로 구성되어있다. 각 프로그램의 구성은 데이터 입력 모듈, 데이터베이스 모듈, 강도 계산 모듈, 도면 작도 모듈, 텍스트 모듈 및 도면 편집 모듈 등으로 구성되어 있다.

기어설계 프로그램의 진행방식은 선택의 다양성을 위해 주로 대화식을 이용하였다. 각 프로그램은 실제 기어설계에서 소홀히 다루기 쉬운 부분으로 각각의 프로그램은 독립적으로 또는 서로 연관하여 수행할 수 있도록 하였다. 이런 방식은 작업을 단순화시켜 시스템의 효율성을 높여 준다.

기어설계에 사용된 프로그램 언어는 CAD 시스템인 AutoCAD 환경에서 수행되는 AutoLISP을 사용하였다.

2.1 주 프로그램

주 프로그램에서는 두 축의 상대 위치 즉 교우각을 입력해서 자동으로 설계할 기어의 종류를 선택하면 3개의 주 설계 프로그램으로 할당된 이후 각 프로그램에서 설계된 기어를 도면 작도 및 출력하게 되는 시스템 전체를 제어하는 프로그램이다.

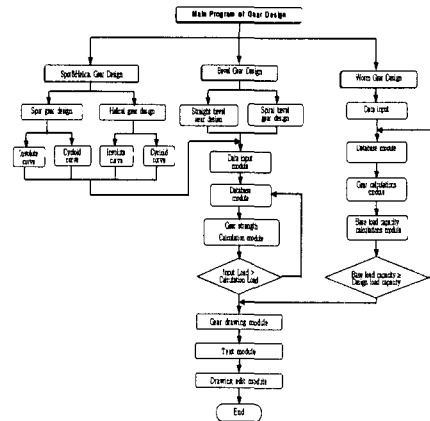


Fig. 1 Structure of the CAD program for gear design

2.2 데이터 입력 모듈

설계하고자 하는 기어의 모듈, 압력각, 백래쉬 등 기본 사양을 입력하는 방식과 전달 동력을 입력하여 기어의 기본 사양을 설계하는 두 가지 방식을 채택하였다. 기본사양 입력 모듈은 기어 설계의 여러 요소 값들을 정의하여 받아들이는 프로그램으로 기어 종류의 선정과 각종 설계변수의 선정으로 구성되어 있다. 기어 설계에 필요한 기본 변수들은 모듈, 압력각, 백래쉬, 잇수 등이 있다. 전달 동력 입력 모듈은 회전수, 감속비를 입력을 받아 중심거리를 예측을 하고 가상적인 모듈과 잇수 등을 구하여서 무 충격의 경우에 26000시간 사용에 견딜 수 있는 기본 부하용량과 비교 검토하여 만족한 결과가 나오면 상세 설계를 하고 그렇지 않으면 다시 중심거리 예측단계로 되돌아가서 만족할만한 값이 얻을 때까지 반복한다.

2.3 데이터베이스 모듈

AutoCAD 환경 하에서 도면화된 파일은 그 파일내에 데이터베이스로 여러 도면요소의 정보를 수록하고 있다. 입력 모듈에서 얻어진 데이터에 따라 데이터베이스에서 필요한 정보를 불러들여 도면 작성에 사용된다. 만약 사용자가 기어의 재료를 선정하면 선택된 재료에 따른 데이터 값들이 자동으로 선택되게 된다.

데이터베이스⁽⁸⁻¹¹⁾는 각종 핸드북, 관련 서적들 그리고 참고문헌에서 얻었다.

2.4 강도 계산 모듈

스퍼, 헬리컬, 베벨기어의 강도는 하중과 기어 치 형상에 가장 큰 영향을 받으며, 강도계산식⁽⁹⁾은 이폭의 외단부와 이폭의 중앙을 기준으로 한 굽힘강도식과 면압강도 스퀴어링강도식을 기본식으로 구성하였다. 워엄기어의 강도는 치면강도에 대한 허용부하를 기준 부하 용량 기준식으로 구성하였다. 최종적인 기어의 전달 가능 동력은 이들 중에서 가장 적은 값을 선택하여 설계하도록 되어 있으며, 또한 전달 가능 동력이 계산되어지면 이를 기본으로 하여 축과 키를 설계하게 된다.

2.5 도면 작성 모듈

도면의 작성은 입력된 데이터에 따라 설계 규칙에 근거하여 치의 형상, 기어의 단면 형상 및 치수 등을 그린다. 인벌루우트 기어 곡선은 인벌루우트 함수의 식을 이용하여 포인트를 얻고, 이 포인트를 라인으로 연결하여 얻을 수 있다. 인벌루우트 곡선의 정밀도를 위하여 포인트의 간격을 더 조밀하게 할 수도 있으며 여기서는 40 등분으로 하였다.

2.6 도면 텍스트 모듈

기어 도면에는 기어, 축, 키 등의 기계요소가 들어 있으며, 각 요소에 대한 데이터 값들은 설계 계산에 의해 나온 값으로 도면에서 텍스트로 출력되기 위해 미리 작성되어져야 한다.

2.7 도면 편집 모듈

기어 도면 편집 모듈은 기어의 전체 도면 출력을 위한 편집 기능을 수행한다. 각 단계에서 엔터키를 쳐야 다음 단계로 진행하게 되어 있으며, 각 단계가 끝나면 최종화면이 나타나도록 구성되어 있고, 세부 사항을 검사하기 위하여 부분 확대를 행할 수 있다. 프린터로 출력을 하려면, 최종화면에서 원하는 도면을 출력하도록 구성되어 있다.

3. 결과 및 고찰

본 논문에서는 일반적으로 많이 사용하는 동력 전달용 기어를 설계할 수 있는 시스템을 개발한 것으로 사용자가 기본적인 설계변수를 입력하거나

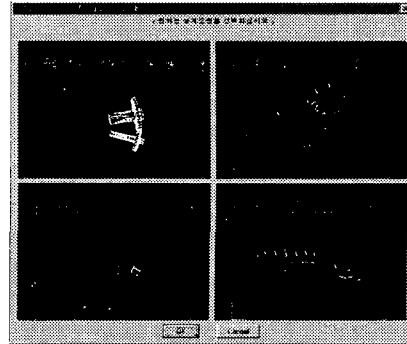


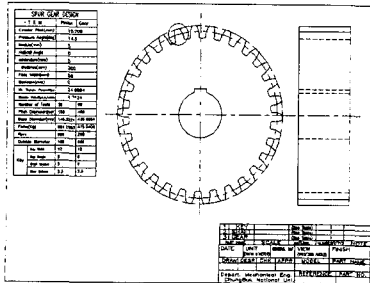
Fig. 2 Initial screen

전달동력을 입력하면 기어가 자동으로 설계되어 원하는 도면을 작성하도록 시스템을 구성하였다.

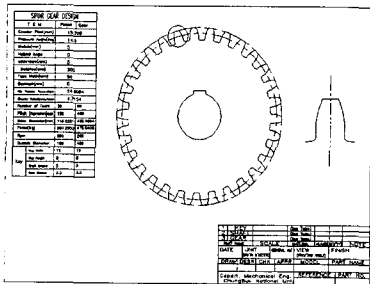
3.1 기어 강도 계산

기어의 강도계산에 필요한 변수값들 즉, 두 축의 상대위치, 동적인 작용변수, 재료에 따른 굽힘 응력, 접촉응력 등은 시스템 상에 데이터베이스로 적재되어 있다. 따라서 기어의 기본사양 혹은 전달동력 입력에 따른 설계 변수값만을 선택하면 시스템에서 계산규칙이 적용되어 필요한 데이터^(8,9) 값을 선정된 재료의 데이터로부터 자동으로 받아들여 강도를 계산한다. 따라서 경험이 없는 비숙련자라도 숙련자와 같이 기어를 쉽게 설계할 수 있다.

시스템에 적용한 워엄기어로 예를 들면, AutoCAD상에서 "main"을 입력한 후 "start"를 입력하면 자동으로 프로그램을 로드 한 후 Fig. 2와 같은 초기화면이 나타나며, 두 축의 상대위치, 즉 두 축사이의 각도를 입력하게 되어있다. 여기서 워엄과 워엄휠은 서로 만나지 않으므로 엔터키를 입력하면 자동으로 워엄기어 설계로 할당된다. 대화상자에서 먼저 동력전달 설계 변수들을 입력하면 최종적으로 기어의 설계가 완성이 된다. 워엄의 강도계산은 이 뿌리의 강도를 계산하기가 어렵다는 점과 그 손상이 대부분 치면에 생긴다는 점에서 치면 강도에 관한 것이 많고 그 설계도 치면의 강도로 행해지는 경우가 많다. 따라서 치면강도에 대한 허용부하를 규정한 AGMA규격식을 이용하였다. 이처럼 복잡한 이론식에 의한 계산이 프로그램 내에서 자동으로 이루어지므로, 설계이론을 모르는 초보자라도 설계변수들을 적절히 선정하면 원하는 기어를 설계할 수 있다.

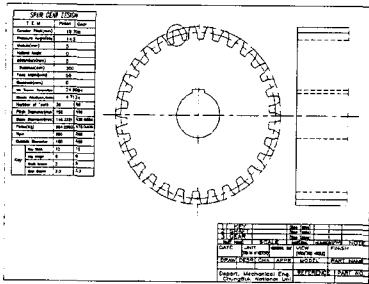


(a) A cross section drawing of involute spur gear

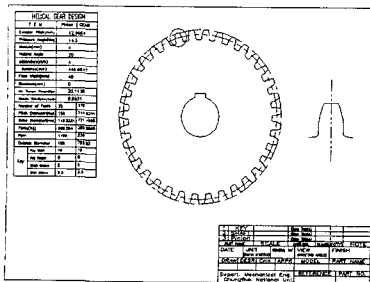


(b) Zoom drawing of involute spur gear

Fig. 3 Drawing of spur gear



(a) A cross section drawing of involute helical gear

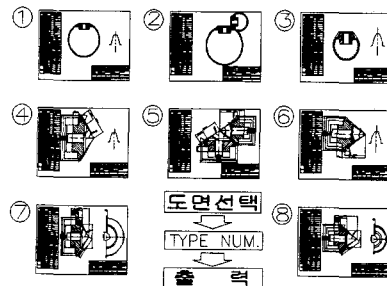


(b) Zoom drawing of involute helical gear

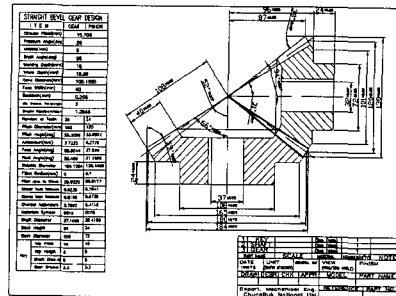
Fig. 4 Drawing of helical gear

3.2 데이터베이스 구축

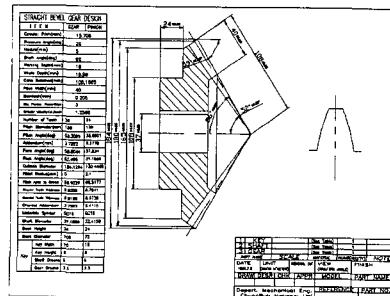
데이터베이스⁽⁸⁻¹¹⁾의 구축은 선택한 재질에 따른 허용굽힘강도, 기어 잇수에 따른 치형계수, 맞물림 기어의 경도에 따른 접촉응력계수, 모듈에 따른 백래쉬 및 축 직경에 따른 키의 데이터 등을 사용자가 관련 서적 등에서 찾아 일일이 입력 해주어야 하는 반복 작업을 제거해주어 직접 데이터를 입력하여 계산하는 작업보다 직접 데이터를 읽어 들이기 때문에 기어설계의 정확성과 생산능률을 높여줄 수 있다.



(a) Last screen of straight bevel gear



(b) Whole dimension of straight bevel gear



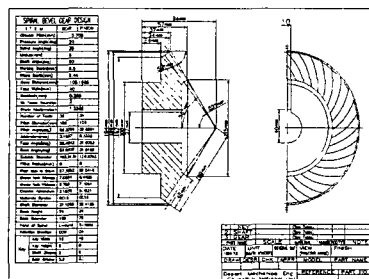
(c) Wheel dimension and tooth profile of straight bevel gear

Fig. 5 Drawing of straight bevel gear

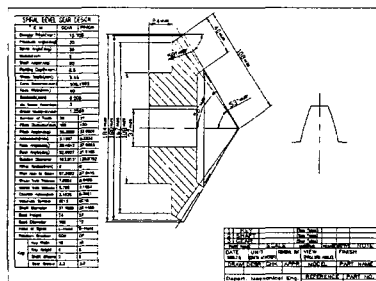
3.3 도면 출력결과 및 고찰

Fig. 3은 본 시스템을 이용하여 전달동력 입력 사항으로 설계된 스파 기어의 출력 도면으로, 전달동력 25ps, 피니언의 회전수는 600rpm, 감속비 1/3, 압력각 14.5°, 피니언의 피치원 지름 150mm으로 하고 피니언의 재질을 SM45C, 기어의 재질을 GC30으로 선택하고 이폭 계수(K)를 10으로 하여 설계된 결과이다. 이는 실제 인벌루우트 형상의 치형을 그대로 볼 수 있어서 비숙련자도 쉽게 기어 도면을 판독할 수 있고 키 설계는 문함 키로써 기어에 전달된 힘으로 축지름을 설계하고 축지름에 따른 데이터 베이스에 의해 설계하여 출력되었다. Fig. 4는 헬리컬기어가 출력된 도면으로 전달토크 20000(kg·mm), 피니언 회전수 1150rpm, 감속비1/5, 압력각 14.5°, 피니언의 피치원지름 150mm으로하고 피니언의 재질을 SM35C, 기어의 재질을 SC46으로 선택하고 이폭 계수(K)를 10으로 하여 설계하였다. 헬리컬기어 역시 인벌루우트 형상의 치형을 그대로 볼 수 있으며 치직각 방식을 통해서 도면으로 출력하였다. Fig. 5는 직선 베벨 기어쌍으로 전달토크 3PS,

피니언 회전수 200rpm, 감속비 2/3, 압력각 20°, 피니언의 피치원 지름 120mm 교우각 90° 이고 피니언과 기어의 재질은 GC15 이고 계수(K)는 7로 하여 설계하였다. 이는 베벨기어의 치수와 형상을 설계하였고 기어와 피니언의 배원추와 치의 형상이 정확하게 정의 되었고 각각의 상세 도면에서는 이들의 제원과 사양이 규격에 맞게 표시되어 출력되어진다. Fig. 6은 스파이럴 베벨기어 완성도로 직선 베벨기어의 입력사항과 같다. 기어의 제원 및 치수 그리고 스파이럴 곡선이 정확히 출력되어지고 이 도면의 텍스트에는 스파이럴 곡선의 방향과 회전 방향이 추가로 표시되어 있

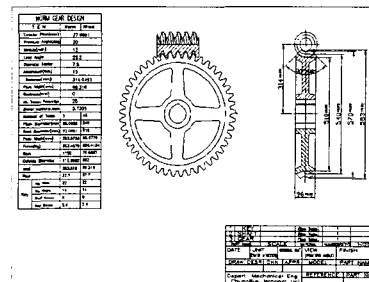


(a) Wheel dimension and section circle of spiral bevel gear

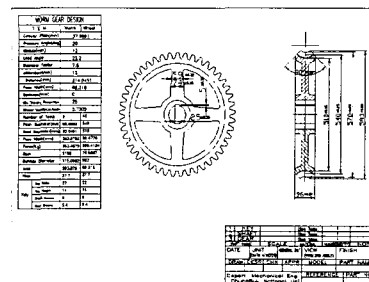


(b) Wheel dimension and tooth profile of spiral bevel gear

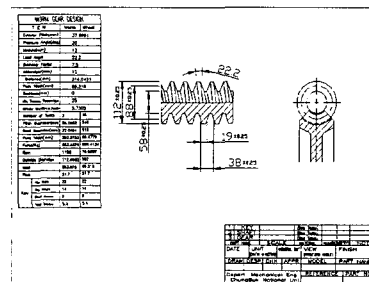
Fig. 6 Drawing of spiral bevel gear



(a) A cross section drawing of worm wheel and worm gear



(b) Wheel dimension and a cross section drawing of worm wheel gear



(c) Worm dimension and A cross section Fig. 7 Drawing of worm gear

다. 스파이럴 곡선 각도는 35° 로 하였으며 비틀림의 각 때문에 이의 접촉면이 커서 기어를 작게 할 수 있으며 운전이 원활하고 진동과 소음이 적게 되어진다. Fig. 7은 주어진 동력에 대하여 설계된 사다리꼴 워엄과 워엄기어의 도면으로 전달 동력은 25PS이고 워엄의 회전수 1150rpm, 감속비 1/15, 압력각 20° 이고 워엄과 워엄 휠의 재질은 인청동으로 하여 설계하였다. 이는 워엄은 원통형 나사이고, 워엄기어는 헬리컬 기어일 때와 같고, 설계 세부 사양을 텍스트에 잘 나타나 있으며 설계규칙에 의해 중심거리가 240mm 이상이면 아암과 보스를 설계하도록 추가시켰다.

본 시스템을 사용하면 동력전달용 기어로 많이 사용되는 스피어, 헬리컬, 베벨, 워엄기어 설계가 가능하고 컴퓨터 혹은 설계를 모르는 초보자라도 쉽게 도면을 출력 할수 있다. 현재까지 워엄 및 워엄휠에 대한 설계 프로그램을 개발한 예는 거의 없었다. 본 연구에서 개발한 시스템에 워엄 기어설계에 필요한 데이터를 입력하면 도면이 자동적으로 그려지므로 설계가 간편하고 쉽게 되도록 구성되어 있다.

지금까지의 기어 설계 프로그램들은 사양이 주어지면 도면을 창출해내고 그 강도를 검증하는데에 그쳤지만, 본 연구에서 개발한 시스템을 사용하면 현장에서 이루어지는 설계양식으로 적합한 이의 크기를 결정하고 기어의 적합한 세부 사양을 설계하며 그 결과를 도면으로 자동으로 출력할 수 있으므로 그 활용이 기대된다.

4. 결 론

(1) 범용 도면 편집 프로그램인 AutoCAD환경 상태에서 작동되는 Auto LISP을 이용한 프로그램을 개발함으로써 정확하게 원하는 기어의 단면과 치형 도면을 얻을 수 있다.

(2) 기어의 강도에 영향을 미치는 동적인 인자들을 실험식으로 얻은 값으로 데이터베이스를 이용하여 계산하였으므로 전문가가 아니라도 쉽게 원하는 기어를 설계할 수 있다.

(3) 두축의 상대 위치, 전달동력이 주어지면 원하는 사양을 시스템에 의해 자동으로 설계할수 있으므로 그 활용이 기대된다.

(4) 데이터베이스를 구축하여 사용자가 입력 시에 재질에 따른 허용응력 응력과 같은 데이터들을 관련 서적 등에서 찾아 일일이 입력해주어야 하는 반복 작업을 제거해주어 생산능률을 높여줄 수 있다.

참고문헌

- (1) Hundo, C. S., 1995, "The Technic of Gear Design," *Machine Design Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 141~151.
- (2) Savage, M., Coy, J. J. and Townsend, D. P., 1982, "Optimal Tooth Numbers for Compact Standard Spur Gear Sets," *ASME Journal of Mechanical Design*, Vol. 104, No. 3, pp. 749~758.
- (3) Carrol, R. K. and Johnson, G. E., "Dimensionless Solution to the Optimal Design of Spur Gear Sets," *ASME*, Vol. 111, pp. 290~296.
- (4) Tsay, C. B., 1988, "Helical Gears with Involute Shaped Teeth : Geometry, Computer Simulation, Tooth Contact Analysis, and Stress Analysis," *ASME*, Vol. 110, pp. 481~491.
- (5) Cho, H.Y., Kim, S. C., Choi, J. W., Song, J. C., 1996, "A Study on the development of the CAD Progrm for Gear," *KSME*, pp. 95~103.
- (6) Chong, T. H., Myong, J. H., 1998, "A Study on the Gear Performance Estimation Method and Tooth Bearing of Helical Gears," *KSME*, Vol. 22, No. 10, pp. 1884~1893.
- (7) Chong, T. H., Lee, H. D., Bae, I. H., 1999, "Design of Helical Gears for Reduction of Volume and Meshing Vibration," *KSME*, Vol. 23, No. 10, pp. 1716~1722.
- (8) Darle W. Dudley, 1984, "Handbook of Practical Gear Design," McGraw-Hill, Chapter 2,3,4.
- (9) Alec, Stokes, 1992, "Gear Handbook : Design and Calculations," Great Britain, pp. 2~83, 112~243, 263~280.
- (10) Colbourne J. R., 1987, "The Geometry of Involute Gears, Springer-Verlag," pp. 27~33, 53~65.
- (11) Mechanical Design Handbook Committee, 1994, "Mechanical Design handbook," Dae kyang, Inc., pp. 693~769.