

Auto_LISP을 이용한 기어설계 프로그램 개발에 관한 연구

이경원*, 반재삼*, 김종석*, 조규종**

A Study on the Development of the Gear Design Program Using Auto_LISP

Kyung-Woo Lee*, Jae-Sam Ban*, Jong-Seok Kim*, Kyu-Zong Cho**

Abstract

After investigating repeatedly results obtained through gear stress analysis, we make a determination of an optimal gear 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 was generated automatically with standard spur gear, equivalent helical gear, shifted gear & pinion by using developed program which is using Auto_LISP language in Auto-CAD. This program which can design rapidly gear shapes will successfully support gear designing and manufacturing for Small & Medium companies.

Key Words : Gear, Profile Curve, Auto_LISP, Designing and Manufacturing

1. 서론

기어는 현재의 자동차, 산업기계, 공작기계류에서부터 첨단 정밀기계류에 이르기까지 기계공학이 집적되어 적용되는 거의 모든 분야에서 동력 전달용 기계요소로 사용되고 있다.

이와 같이 다양한 응용분야에서 사용되는 기어장치는 높은 동력전달 효율과 부하한계에 가까운 극한 하중 상태에서 서도 가능한 그 크기를 소형화하여 기계장비의 경량화를

달성하고 동시에 저진동·저소음 운전이 요구되고 있는 실정이다. 또한, 최근 미국, 일본 등 선진국에서는 진동 및 소음의 감소, 동력전달효율의 극대화, 고(高)정밀도의 기어가 공 및 제작방법, 컴퓨터를 이용한 기어설계와 제작을 중심으로 기어에 관한 연구가 이루어져 오고 있다.

종래의 수작업을 통한 기어설계는 설계과정이 복잡하고 많은 시간을 요구할 뿐만 아니라 정확한 치형 곡선을 수작업을 통하여 얻는다는 어려움이 있으므로 일반적인 기어도면에서는 기어의 치형을 생략해왔다⁽¹⁾.

* 전남대학교 기계공학과 대학원
(이경원 leekw3@hanmail.net)

** 전남대학교 자동차공학부

컴퓨터를 이용한 기어설계에 관한 연구는 1960년대 초반부터 미국을 중심으로 활발하게 진행되었다. Townsend⁽²⁾와 Johnson⁽³⁾ 등은 컴퓨터를 이용하여 급힘 응력과 접촉 응력 해석을 했으며 이를 기초로 최적의 스퍼어기어를 설계하였고, Tsay⁽⁴⁾는 컴퓨터를 이용하여 기어의 기하학적 모델을 형상화했다.

국내에서는 조해용⁽⁵⁾이 기어 치형을 설계하여 도면화 할 수 있는 기어 자동설계 시스템에 관한 연구를 하였고, 변문현과 조성철⁽⁶⁾은 동력전달용 인벌류트 기어의 CAD화 기술에 관한 연구를 수행하여 설계 조건을 만족하면서 간섭이 없는 피니언의 최소 잇수를 구하는 기어설계 시스템을 개발하였다. 이경원⁽⁷⁾은 AutoLISP을 이용하여 기어의 형상을 자동으로 CAD상에 형상화하는 프로그램을 개발하였다. 그러나 기어와 피니언이 맞물려 있는 기어시스템의 접촉응력을 유한요소법으로 해석하기 위해서는 각각의 치형을 형상화 한 후 두 기어의 초기 접촉점을 찾아야 하므로 CAD상에서 다시 한번 작업해야하는 번거로움이 있다. 또한 각각의 회전된 상태에서의 접촉 형상을 얻기 위해서는 각각의 치형을 회전시켜야하는 불편함이 있다.

본 연구에서는 범용설계 프로그램인 Auto-CAD에서 지원되는 Auto_LISP 프로그램 언어를 이용하여 표준 스퍼기어, 상당 헬리컬기어, 전위기어 등의 기본 치형 형상을 기어와 피니언이 접촉해 있는 초기상태로 형상화 할 수 있게 하였다. 뿐만 아니라 Auto-CAD 기반에서도 쉽게 상용 CAE 프로그램의 전처리과정으로 이용할 수 있게 하여 데이터의 호환성을 향상시켰다. 또한 각각의 기어와 피니언이 서로 맞물려 돌아가는 형상을 자동으로 형상화하여 서로 다른 접촉점에서의 기어 물림 형상을 응력해석을 위한 전처리과정으로 활용하였다.

2. 자동 기어설계를 위한 시스템구성

본 프로그램에 사용된 프로그램언어는 범용 CAD 시스템인 Auto-CAD 환경에서 지원되는 Auto_LISP을 사용하였다. LISP 언어는 1960년경에 최초로 발표되어 인공지능의 연구와 기타 여러 분야에서 사용되어온 비교적 오래된 언어이다. Auto_LISP은 LISP이라는 언어에 기초를 두고 Auto-CAD에서 사용할 수 있도록 한 것이다. 따라서 Auto_LISP은 Auto-CAD 사용자들에게 효과적이고 유용한 기능들을 제공하기 위하여 만들어진 Auto-CAD에서만 실행 가능한 프로그래밍 언어이다.

Auto_LISP의 특징은 대화형식으로 이루어져 있어서 사용자가 쉽게 접근할 수 있고 그 기능이 탁월하며, 자체의 LISP 함수와 Auto-CAD의 명령들을 같이 사용하므로 초보자라도 Auto-CAD에 익숙한 사용자라면 보다 쉽게 숙달할 수 있도록 되어있다⁽¹²⁾.

2.1 프로그램 입력부분⁽⁷⁾

본 프로그램은 크게 기어의 치형을 Auto-CAD화면상에 자동으로 형상화하는 부분과 운전조건 등에 따른 기어의 제원을 자동으로 계산하여 텍스트 윈도우 상에 나타내주는 두 부분으로 이루어져 있다.

기어설계시 잇수, 모듈, 압력각의 변수값이 기어의 형상을 결정하는데 크게 영향을 미치게 된다. 따라서 이 프로그램의 입력부분에서는 설계자가 설계 조건에 따라 기어 형상을 결정짓는 잇수, 모듈, 압력각 등의 변수값을 직접 입력할 수 있도록 대화식으로 이루어져 있다. Fig. 1은 기어와 피니언의 잇수, 모듈, 압력각, 전위량, 클리어런스를 기어의 기능적인 특성과 운전조건 등을 고려하여 설계자가 다양하게

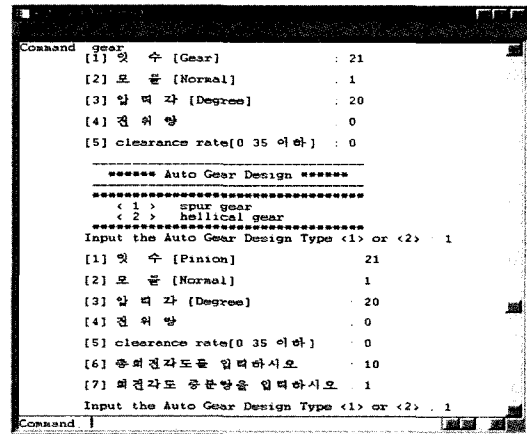


Fig. 1 Input window of gear sources

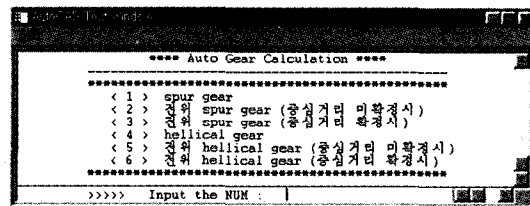


Fig. 2 Selection window of gear to calculate

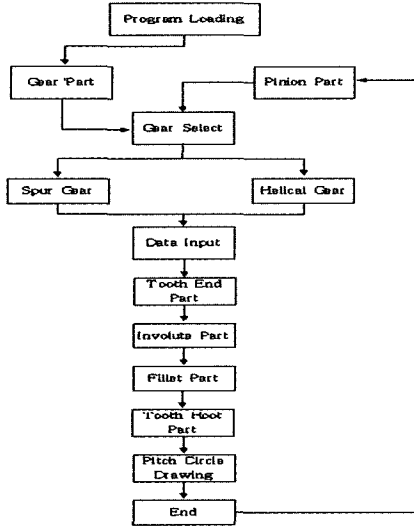


Fig. 3 Flowchart of program

입력할 수 있는 프로그램 입력부분이며 또한 중심거리 확정 시 기어(Gear)를 중심으로 피니언(Pinion)의 회전궤적을 설계자가 원하는 각도만큼 원하는 각도씩 자동으로 형상화할 수 있도록 총 회전각도와 회전각도 증분량을 입력할 수 있도록 하였다.

Fig. 2는 설계하고자 하는 기어의 제원을 계산하여 AutoCAD 안의 텍스트 윈도우 상에 나타내기 위한 입력부분이다^(8,9). 순차적인 대화식으로 입력하게 되어 있어서 처음 접하는 사용자라도 쉽게 제원을 계산할 수 있다.

Fig. 3의 프로그램 순서도에서도 알 수 있듯이 잇수가 많은 기어에 관한 데이터가 입력되면 내부적인 계산을 통하여 기어를 형상화하게 되고 다음으로 상대적으로 잇수가 적은 피니언에 관한 제원이 입력되면 기어와의 중심거리를 계산한 후 피니언의 잇수가 짝수이냐 홀수이냐에 따라서 초기 접촉점을 잡게된다. 다음으로 설계자가 입력한 총 회전 각도로 각각의 회전증분량 만큼 일정하게 기어주위를 도는 궤적을 형상화하게 된다.

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

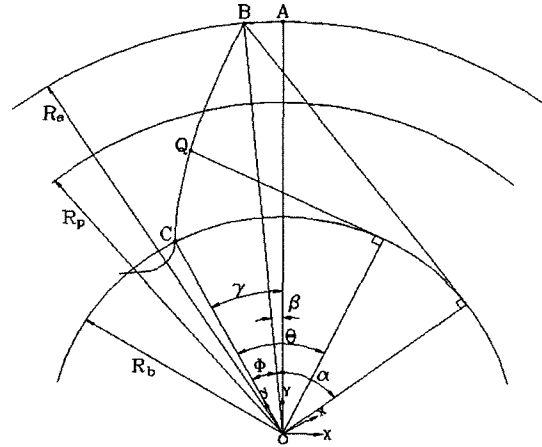


Fig. 4 Generation of Gear Tooth Profile

2.2 프로그램 출력 부분^(10,11)

프로그램의 입력부분에서 읽어 들인 변수값들은 AutoLISP에서 자동처리 과정을 거쳐 다음과 같은 4단계의 과정을 거쳐 Fig. 4와 같은 치형을 형상화하게 된다.

1단계 : 인벌류트 곡선의 시작과 끝을 알기위해 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.

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

$$x_m = R_a \sin \beta$$

$$y_m = R_a \cos \beta$$

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 이끝원 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. 4는 위와 같은 단계별로 치형이 형상화되는 순서를 나타낸 것이다.

2.3 결과

Fig. 5는 본 프로그램에서 자동으로 기어와 피니언을 형상화한 그림이다. 이와 마찬가지로 표준 스퍼기어와 전위기어 및 클리어런스를 준 기어의 경우도 프로그램 입력 부분에서 총 회전 각도와 회전 증분량에 따라 기어주위를 피니언이 돌아가는 회전 궤적을 자동으로 형상화 할 수 있다.

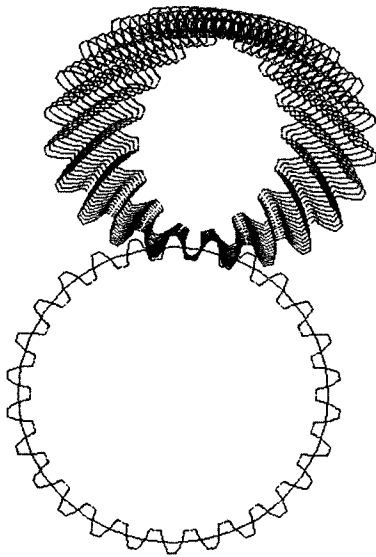


Fig. 5 Locus of gear generation

다음 그림들은 개발된 프로그램에서 출력한 기어 패적으로서 각각 표준 스퍼기어와 전위계수를 기어·피니언에 준 경우, 클리어런스를 준 경우의 기어 주위를 피니언이 총 15° 각도로 1° 씩 회전한 회전궤적을 나타낸 것이다.

Fig. 6, 7, 8은 표준 스퍼기어와 전위계수를 기어·피니언에 준 경우, 클리어런스를 준 경우의 기어와 피니언이 만나게 되는 초기 접촉점에서부터 기어를 중심으로 피니언이 회전하는 형상을 확대한 그림이다.

Fig. 9는 표준 스퍼기어와 전위기어 및 클리어런스(0.25) 기어의 치형을 자동 생성시켜 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 10은 압력각을 달리하여 기어의 치형을 자동 생성시켜 비교한 것이며, Fig. 11은 클리어런스를 달리하여 기어의 치

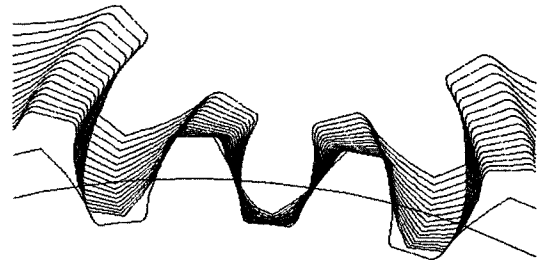


Fig. 6 Standard spur gear

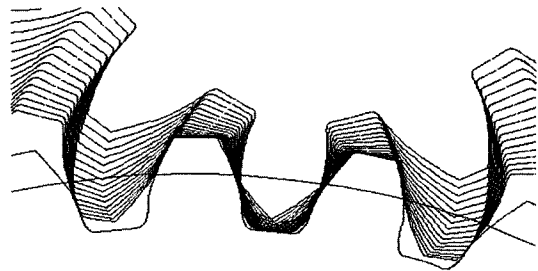


Fig. 7 Shifted gear profile

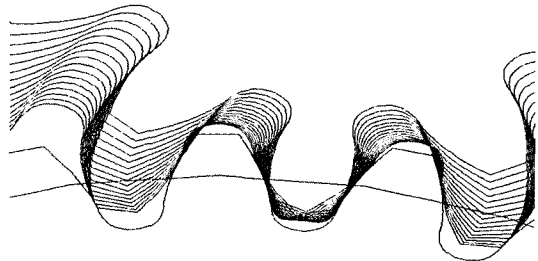


Fig. 8 Clearance(0.25) gear profile

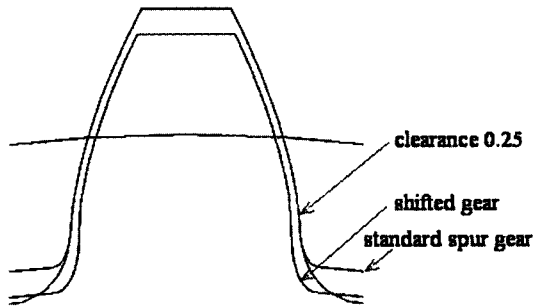


Fig. 9 Auto Gear Generation Magnified Profile

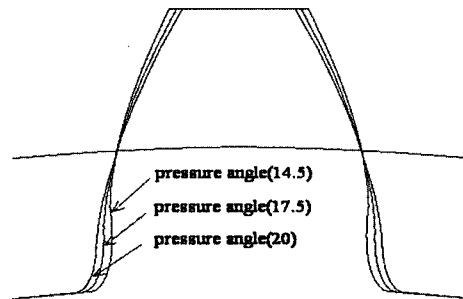


Fig. 10 Gear Profile as Pressure Angle

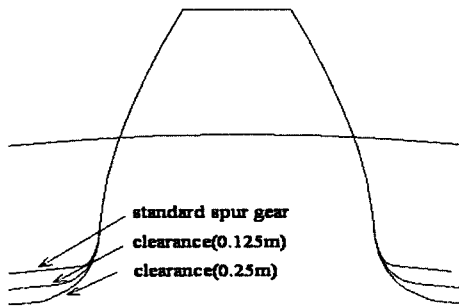


Fig. 11 Gear profile as clearance

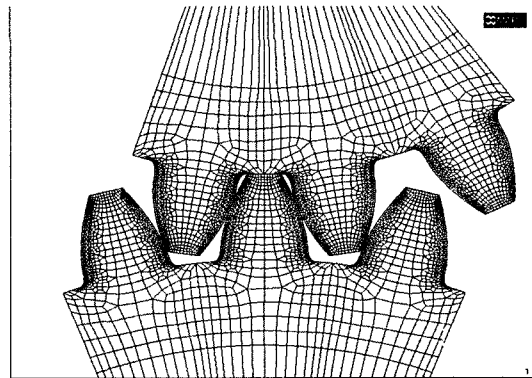


Fig. 12 FEM model of standard spur gear

형을 자동 생성시켜 비교한 것으로 설계자가 원하는 제원에 따라 기어의 형상을 자동 생성 시킬 수 있다.

3. 유한요소법에 의한 접촉응력 해석

위의 프로그램에 의해 자동 생성된 기어와 피니언에 대한 접촉 형상을 .dxf 파일로 변환하여 상용 패키지 CAE 프로그램에 Import 시켜 다음과 같이 접촉점에서의 응력해석을

Table 1 Finite element model spec

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

수행하였다.

기어와 피니언의 접촉응력을 해석하기 위해 기어에 회전력을 가하여 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.

유한요소 해석에 사용된 FEM 모델 제원은 다음 Table 1과 같다.

두 기어의 물림율이 1.59이므로 한 쌍의 기어치가 접촉을 끝마칠 때 적어도 다음의 한쌍의 기어치가 물림 상태에 있어야 한다. 따라서 기어를 한 피치 이상 2.6° 씩 총 8회를 회전시키면서 기어 치의 접촉 부위의 응력해석을 수행하였다.

Fig. 12부터 Fig. 15까지는 본 연구에서 개발된 기어 설계 프로그램을 이용하여 FEM 해석의 전처리 과정에서 사용된 실례를 나타내었다.

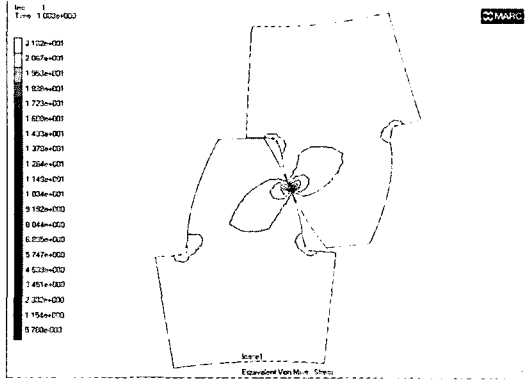


Fig. 13 Stress distribution at single contact

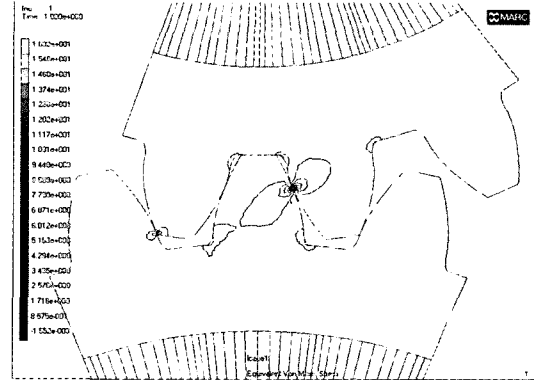


Fig. 14 Stress distribution at initial contact

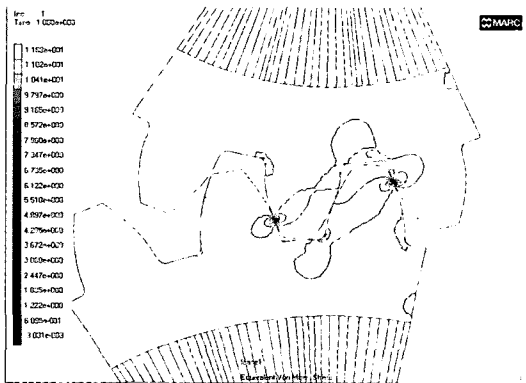


Fig. 15 Stress distribution at double contact

Fig. 12는 자동 설계하여 얻은 치형을 메쉬 작업을 수행한 상태를 나타내고 있으며 Fig. 13은 피치선상에서 두치가 만났을 때의 응력해석을 수행한 결과이다. Fig. 13은 두 쌍의 치가 동시에 접촉하기 시작한 부위에서의 응력해석을 수행한 결과이고 Fig. 15는 두 쌍의 치에 비슷하게 힘이 전달되는 부분에서의 응력해석을 수행한 결과이다. 따라서 제원에 따른 기어 형상을 얻은 다음 기어 물림 형상에 따라 응력해석을 하기 위한 전처리과정으로 쉽게 활용할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 치형 곡선을 정밀하게 그리기에는 시간과 노력이 많이 필요할 뿐만 아니라 수작업 하기 쉽지 않은 문제점을 고려하여 산업현장에서 주로 사용하는 인블루트 치

형의 스퍼기어, 헬리컬기어의 상당 스퍼기어를 대상으로 치형 자동생성과 제원 자동 설계 프로그램을 개발하였다.

기존 연구는 기어와 피니언 각각의 치형을 형상화 한 후 두 기어의 초기 접촉점을 찾아야 하므로 CAD상에서 다시 한번 작업해야 하는 번거로움이 있었고, 또한 각각의 회전된 상태에서의 접촉 형상을 얻기 위해서는 각각의 치형을 회전시켜야 하는 불편함이 있었다. 따라서 본 프로그램에서는 설계자가 기어와 피니언의 제원을 각각 입력하면 초기의 접촉 형상을 자동으로 형상화하게 되어 있으며 두 기어가 맞물려 회전되는 형상을 원하는 각도만큼 자동으로 그려낼 수도 있다. 이렇게 하여 얻어진 기어형상은 바로 CAE 프로그램을 이용한 기어 접촉 응력 해석을 위한 전처리 과정으로 쓰일 수 있다.

또한 Auto-CAD를 이용하여 기어를 설계하고 제작하는 중소기업에서는 본 프로그램을 사용하여 요구되는 제원에 적합한 기어 형상을 신속하게 결정하고 유한요소법을 이용한 응력 해석을 통하여 운전조건 등에 적합한 기어의 형상을 얻을 수 있는 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 BK21 사업에서 지원을 받아 이루어 졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) C. S. Hundo, "The Technic of Gear Design", Machine Design Technology, Vol. 10, No. 2, pp. 141 ~ 151,

- 1995.
- (2) 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.
 - (3) 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.
 - (4) 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 .
 - (5) 송중천 "기어설계용 CAD 프로그램 개발에 관한 연구", 석사학위논문, 1996.
 - (6) 조해용, "기어의 자동 설계 시스템 개발에 관한 연구", 한국 정밀공학회지 논문집, 제13권, 제5호, pp. 95~103, 1996.
 - (7) 이경원 "기어 자동설계 프로그램 개발에 관한 연구", 석사학위논문, 2000.
 - (8) 정선모, 한동철, 표준기계설계학, 동명사, 1996.
 - (9) 박재춘 외 3인 공저, 신기계설계학, pp. 483~537, 청문각, 1995.
 - (10) 김도균 "치간섭 제거를 위한 스퍼기어의 치형 최적설계", 석사학위논문, 1998.
 - (11) 박수진 "변형후 기어 치간섭 방지를 위한 치형 수정에 관한 연구", 석사학위논문, 1999.
 - (12) 김갑연, Auto-CAD 사용자를 위한 AutoLISP+ α , 탐구원, 1996.