

동력 전달용 기계부품 설계 자동화 시스템 개발

유 우 식

인천대학교 산업공학과

Development of the automatic design system for power transmission parts

Woo-Sik Yoo

This paper describes an automatic design system for the parts that compose the power transmission. Power transmission is composed of shaft, gear, clutch, brake and housing. To design power transmission, there are many recurrent calculations and drawings needed with conventional design process. In this paper, we propose three dimensional automatic design system that reduce recurrent calculations and drawings. Developed system consists of two modules; 1) Design expert system module to assist determining design parameters of clutch, brake and gear. 2) Parametric modeling module to make three dimensional solid model automatically. The proposed system has been tested in the fields and found to be a useful system.

1. 서론

동력 전달장치는 엔진의 출력을 차륜에 전하기 위한 일련의 기구를 의미하는데 그 역할은 단순한 동력의 전달뿐만 아니라 엔진의 출력 특성을 수송장비가 요구하는 구동력 특성에 적합 시키는 중요한 기능을 담당한다(자동차 공학 대사전, 1997). 주요한 구성요소로는 클러치, 변속기, 브레이크, 추진축, 조인트, 종감속 장치, 구동륜차축 등이 있으나, 본 연구에서는 클러치, 변속기, 브레이크, 추진축만을 연구대상으로 하였다. 특히 본 연구에서 고려한 동력전달장치는 지게차, 트랙터등의 중장비에서 활용되는 동력전달장치로 제한하였다. 중장비의 설계 업무 프로세스에서 잦은 시방의 변경과 새로운 공학변수들의 적용, 생성되는 설계모델의 크기나 복잡성, 어셈블리 파일들의 상호 연관관계 등은 상당히 큰 부담으로 작용한다. 또한 중장비 제품의 특성상 수많은 입력정보와 수치값, 경계정보 등이 동시에 적용되어야 하므로 신뢰성 있는 제품의 개발과 완제품의 검사를 위해서는 3D 모델의 도입과 공학변수들의 검토를 통한 반복적인 재설계 작업이 요구된다. 이에 따라 선진국의 우수한 기업들에서는 이미 CAD시스템에 수반된 전문가 시스템의 개발을 통한 설계 자동화 작업이 수행되고 있으며 이러한 접근 방법은 기존의 회사 내부에 축적된 설계 방법론 및 공학적 지식과 접목되어 설계의 생산성을 향상시킬 수 있다. 국내에서도 CAD 모델을 여러가지 상위레벨의 특징형상의

집합으로 표현하고 특징형상을 기하 및 수치 정보로 표현하여 형상의 추가 및 변경을 용이하게 해주는 파라메트릭 모델링에 관한 연구가 많이 수행되었다(이재열, 김광수, 1996; 이상혁 외 2000). 이들 연구들은 주로 반복적인 형상수정 작업이 필요 되는 초기 제품설계 과정에서 발전기, 재봉틀, CRT 부품 등의 설계 자동화를 지원하기 위하여 수행되었다(이장용, 한순홍, 2000; 이상혁 외 2000). 그러나 아직까지 기어, 브레이크, 클러치 등을 포함하는 동력 전달 부품의 설계 자동화 연구는 수행된 바 없으며, 특히 이들 부품들은 복잡한 계산식을 통해 설계 변수를 반복 결정하여 CAD 모델을 생성해야 하는 특징을 가지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 국내 중장비 동력전달장치 설계분야에서 축적된 설계지식을 포함하고 3D 파라메트릭 CAD 시스템의 API(Application Programming Interface)기능을 이용하여 설계 자동화 시스템을 개발하였는데, 그 내용을 소개한다. <그림 1>은 제안하는 시스템을 활용하여 모델링한 동력전달장치인데 변속기의 기어조립 부품과 클러치 및 브레이크 등의 조립 모델을 얻을 수 있었다.

2. 본론

본 논문에서는 동력 전달장치의 3차원 설계를 지원하기 위하여 숙련된 설계 전문가의 설계지식을 포함시켜 비전문가라도

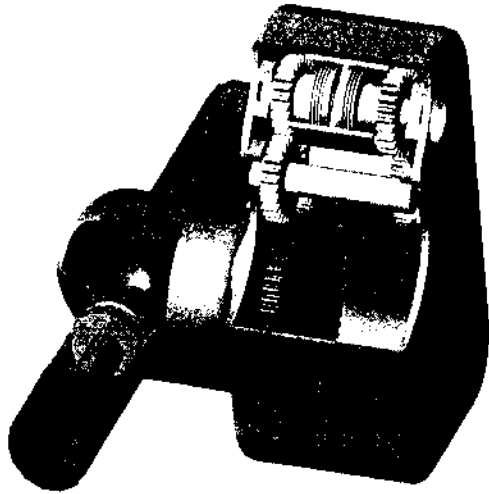
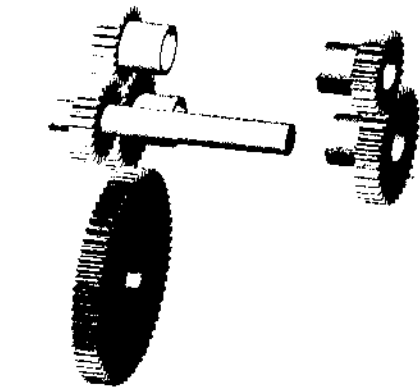


그림 1. Power Transmission 부품 조립모형.

쉽게 기계 부품설계가 가능한 설계자동화 시스템을 개발하였는데 개발된 시스템은 크게 두 부분으로 구성된다. 즉 각 부품의 설계변수를 결정하기 위한 모듈과 결정된 기계 부품의 3차원 파라메트릭 솔리드모델링 모듈로 상세한 설명은 다음과 같다.

2.1 설계 변수 결정 지원 전문가 시스템

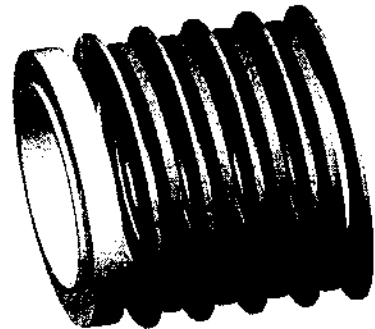
본 절에서는 기계부품의 설계변수 결정을 지원하기 위하여 동력전달장치 부품의 설계지식과 고려하는 변수의 공학 계산 공식을 정리하고 관련 데이터베이스를 연결하여 사용자 편의성이 보장된 설계변수 결정지원 전문가 모듈을 개발하였는데 이를 설명한다. <그림 2>는 변속기의 주요부품인 평기어를 설계하기 위한 형상 변수 입력 화면과 모델링 절차를 보여주는데 피니언과 기어의 잇수와 압력각, 전위계수 등을 입력받아 기본적인 형상변수 데이터를 결정시켜 주며, 이를 바탕으로 피니언과 기어를 자동으로 모델링하고 조립하므로 기초 설계 시에 반복 설계의 시간을 절약할 수 있다. 본 연구에서



(a) 기어



(b) 롤러치



(c) 브레이크

그림 3. 동력 전달 기계 부품.

고려한 동력전달장치는 <그림 3>과 같이 변속기 기어, 클러치와 브레이크 등이다.

본 연구에서는 3차원 모델링에 시간이 많이 소요되는 기어를 자동으로 CAD 모델링하기 위하여 형상 변수를 계산하고 치형을 구성하는 일을 수행하는 기어 모듈을 완성하였다. 기어는 한 쌍의 마찰자 접촉면에 이를 깎아 미끄러지지 않고 서로 맞물려 회전력을 전달하는 기계요소로 한 쌍의 기어 중 작은 것을 피니언, 큰 것을 기어라 한다. 기어의 형상제원을 결정하는 요소에는 대표적인 것들로 모듈, 기초원, 피치원, 압력각, 전위, 백래시(Back lash) 등이 있다. 이러한 형상제원 입력을 통하여 기어 설계용 데이터를 산출하고 인버튜드 치형을 확인한 후 솔리드 모델을 생성한다.

<그림 4>는 3차원 솔리드 모델을 생성하기 위해 기어의 형상 제원을 구하는 프로그램 수행 화면인데 <표 1>과 같이 기

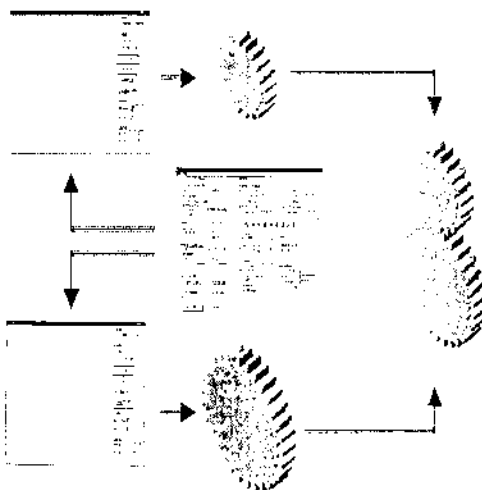


그림 2. 기어 형상변수 입력 및 모델링.

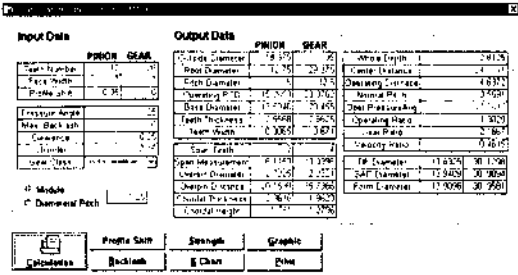


그림 4. 기어의 형상제원 입력.

표 1. 전위 기어의 계산공식

사양	피니언	기어
잇수	z_1	z_2
전위계수	x_{n1}	x_{n2}
공구모듈	m_n	
공구압력각	$\alpha_c = \alpha_0 = \alpha_n$	
공구 이빨물새	c_1	
경면압력각	$\alpha_s = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta_0} \right)$ 또는 $\tan \alpha_s = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta_0}$	
경면물새압력각	$\text{inv} \alpha_{s1} = 2 \tan \alpha_n \left(\frac{x_{n1} + x_{n2}}{z_1 + z_2} \right) + \text{inv} \alpha_s$	
중심거리증가계수	$a_x = \left(\frac{z_1 + z_2}{2 \cos \beta_0} + y \right) m_n = \frac{d_{s1} + d_{s2}}{2}$	
중심거리	$L_1 = \frac{\pi z_1 m_n}{\sin \beta_0}$	$L_2 = \frac{\pi z_2 m_n}{\sin \beta_0}$
기준피치원지름	$d_{01} = \frac{z_1 m_n}{\cos \beta_0}$	$d_{02} = \frac{z_2 m_n}{\cos \beta_0}$
물림피치원지름	$d_{s1} = 2a_x \left(\frac{z_1}{z_1 + z_2} \right)$	$d_{s2} = 2a_x \left(\frac{z_2}{z_1 + z_2} \right)$
이빨높이	$h_{11} = (1 + x_{n1}) m_n$	$h_{12} = (1 + x_{n2}) m_n$
이빨원지름	$d_{11} = \left[\frac{z_1}{\cos \beta_0} + 2(1 + x_{n1}) \right] m_n$	$d_{12} = \left[\frac{z_2}{\cos \beta_0} + 2(1 + x_{n2}) \right] m_n$
저지높이	$h = 2m_n + c_1$	
저지과원피치원지름	$s_{01} = \left(\frac{\pi}{2} + 2x_{n1} \tan \alpha_c \right) m_n$	$s_{02} = \left(\frac{\pi}{2} + 2x_{n2} \tan \alpha_c \right) m_n$
전위량	$x_{n1} m_n$	$x_{n2} m_n$
절차기 잇수	$z_{m1} = \frac{z_1 z_{c1}}{180} + 0.5$	$z_{m2} = \frac{z_2 z_{c2}}{180} + 0.5$
오버피치름	$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta_0}$	$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta_0}$
기준원지름	$d_{s1} = d_{01} \cos \alpha_s$	$d_{s2} = d_{02} \cos \alpha_s$

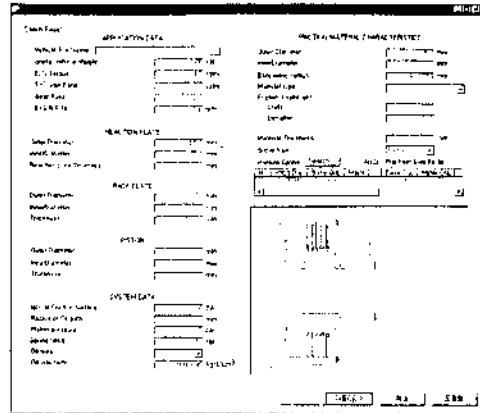
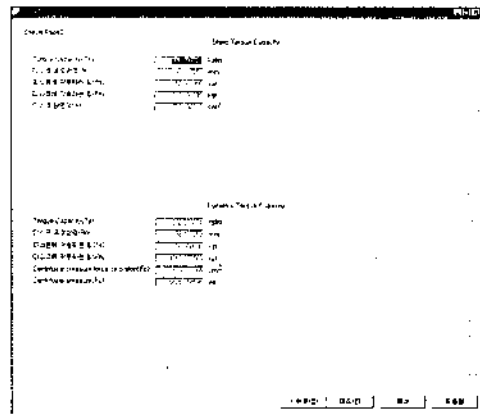


그림 5. 클러치 입력력.



클러치는 자동차의 엔진과 변속기 사이에 설치되어 있는데, 자동차용 엔진은 어떤 일정한 회전수 이하에서는 정상의 회전을 할 수가 없기 때문에 일정한 회전수 이상이 요구된다. 클러치는 엔진 동력의 전달 및 차단의 역할을 한다. 블러치에는 마찰판이 건조상태에서 사용되는 건식과 기름 속에서 사용되는 습식 클러치가 있다. <그림 5>와 같은 클러치 설계 지원 모듈을 살펴보면, 입력정보로 차량정보, Reaction plate, Back plate, Piston Friction Material 정보를 입력하여 출력정보로 정적, 동적 해석치, 디스크 유효반경, 피스톤에 작용하는 힘 디스크에 작용하는 힘, 디스크 단면적 등을 얻는다.

<그림 6>는 클러치의 설계과정을 순서도로 표현한 것인데, 먼저 엔진토크와 차량중량, 엔진 회전수와 기어비 등을 결정하면 엔진토크에 따라 디스크의 재질, 피스톤에 작용하는 힘과 스프링 반력, 유로반경 등을 결정하여 클러치를 모델링하게 되며 관련 계산공식은 <그림 7>과 같다.

브레이크에서 첫째로 요구되는 성능은 제동거리이다. 제동력은 타이어와 노면간의 마찰력을 이용한 것이며 전륜과 후륜의 제동력의 배분은 차량 중량에 맞는 선정을 하여 동적인 배분을 하여야 한다. <그림 8>은 차량 브레이크 피스톤 데이터를 입력하여 브레이크 특성 데이터(브레이크에 걸리는 힘, 휠 브레이크 토크, 브레이킹 타임, 평균 휠 스피드)와 차량 브레이크 출력을 받을 수 있는 모듈화면이다.

본 기어, 브레이크, 클러치의 설계변수 결정 지원 시스템은

어의 형상제원을 구하는 데 있어 필요한 계산 공식들을 활용하여 필요한 변수 값을 계산한다. 계산 결과는 CAD모델 생성과는 관련이 없는 값도 있으나 트랜스미션 설계시 고려해야 하는 요소는 모두 계산하였다.

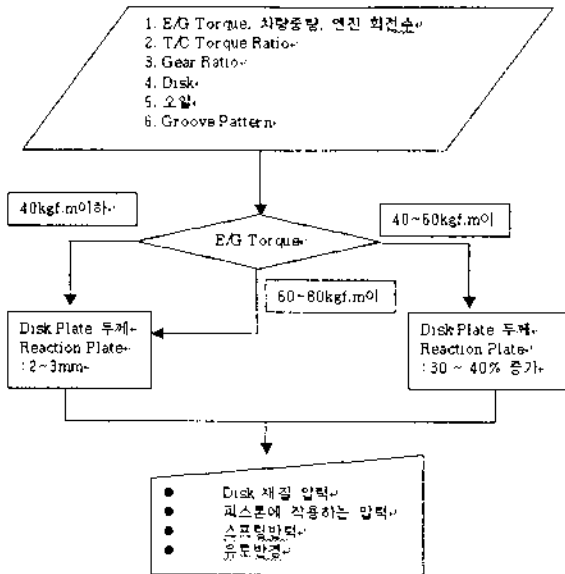


그림 6. 클러치 모델링.

구분	항목	단위	비고
Input data	μ : 디스크의 정마찰계수	-	-
	μ_d : 디스크의 동마찰계수	-	-
	N : 민할연속	-	-
	P : 피스톤에 작용하는 압력	PSI	-
	N_s : 스프링의 반력	kgf	-
	F_s : 클러치 스프링	mm	-
	R_1 : 디스크의 외경	mm	-
	R_2 : 디스크의 내경	mm	-
	R_3 : 디스크의 유효반경	mm	-
	R_4 : 후단의 반경	mm	-
	ω : 오일의 비점	(15.7N/m ²)	-
	l_1 : 디스크의 관성모멘트	kgf.m ²	-
l_2 : 피스톤의 관성모멘트	kgf.m ²	-	
Output data	T_{max} : Torque Capacity (Static)	kgf.m	$T_{max} = (P_1 \cdot R_1^2 - P_2 \cdot R_2^2) \cdot \mu$
	T_{dyn} : Torque Capacity (Dynamic)	kgf.m	$T_{dyn} = (R_1^2 - R_2^2) \cdot \mu$
	F_1 : 피스톤에 작용하는 힘	kgf	$F_1 = P \cdot (R_1^2 - R_2^2) \cdot \mu$
	F_2 : 디스크에 작용하는 힘	kgf	$F_2 = P \cdot (R_1^2 - R_2^2) \cdot \mu$
	F_c : Centrifugal pressure force on piston	kgf	$F_c = \frac{m \cdot \omega^2}{2} (R_1^2 - R_2^2)$
	E_s : Shaft energy capacity	kgf.m	$E_s = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$

그림 7. 클러치 계산공식.

중장비 동력전달 장치의 초기 설계시 고려해야 하는 설계변수들을 반복적인 계산없이 효율적으로 결정할 수 있도록 지원 기능을 수행할 수 있다.

2.2 3차원 파라메트릭 모델링 시스템

본 절에서는 결정된 기계부품의 변수를 매개변수로 입력 받아 3차원 솔리드 모델을 자동으로 수행하는 모놀로서 상용 솔리드 모델러의 API 함수 기능을 사용하여 매개변수만 입력하면 자동으로 형상을 3차원 모델링 하는 3차원 파라메트릭 솔리드 모델링 모듈에 대하여 설명한다. 앞 절에서 결정된 각 부품의 설계변수를 넘겨받아 확인한 후 3차원 형상을 자동으로 모델링하는 데 상용 모델러는 SolidWorks를 사용하였다. <그림 9>는 기어, 클러치, 브레이크의 모델링 과정을 보여주고 있는데 변속기 기어의 모델링 절차는 <그림 2>에서 본 바와 같이 인볼류트 곡선으로 치형을 구현한 후 Sweep Cut 작업을 통

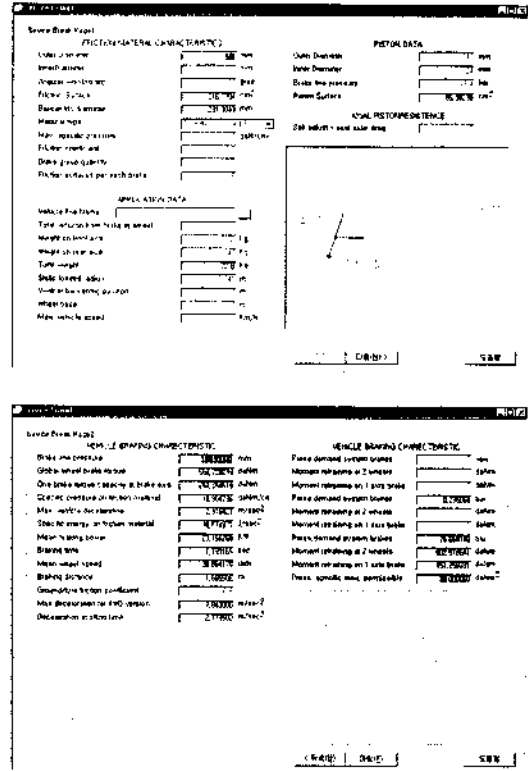


그림 8. 브레이크 입력출력 화면.

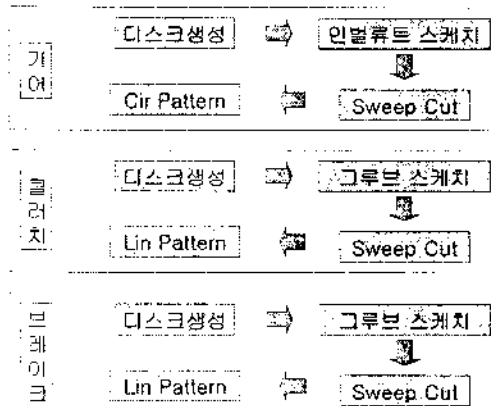


그림 9. 3D 파라메트릭 모델링 과정.

하여 형성한다. 여기서 모델링 하고 있는 클러치와 브레이크는 Wet Type으로 모델을 제한하였으며 모델링 절차는 먼저 디스크를 생성한 후 표면에 Groove를 스케치한 후 Sweep Cut 작업을 통해 한 개의 Groove를 생성한 후 패턴을 주고 미러링을 통해 양면에 Groove 수 만큼 생성해 낸다. <그림 10>은 Disk Plate의 파라메트릭 입력화면이다. 디스크의 바깥지름과 안지름 Groove의 종류를 선택한 후 편력항목을 입력한다. 선택된 Groove 종류에 따라 디스크의 모델링 된 형상이 <그림 11>과 같이 다양하게 바뀐다. <그림 13>은 후진기어의 조립을 위한 파라메트릭 입력화면으로 각 기어의 부분품 모델의 파일명을 입력하고 기어의 잇수, 각 기어의 축간 거리를 입력하면 각 기어가 간섭이 생기지 않게 <그림 12>와 같이 조립이 된

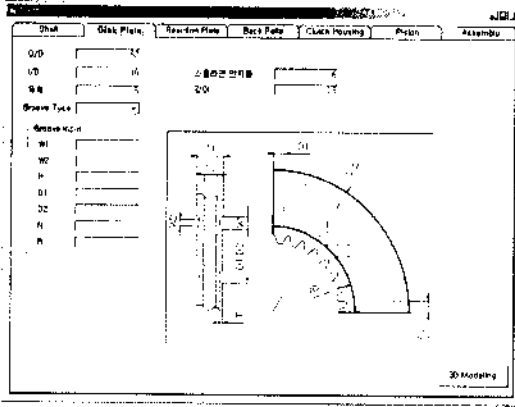


그림 10. Disk Plate의 파라메트릭 입력.

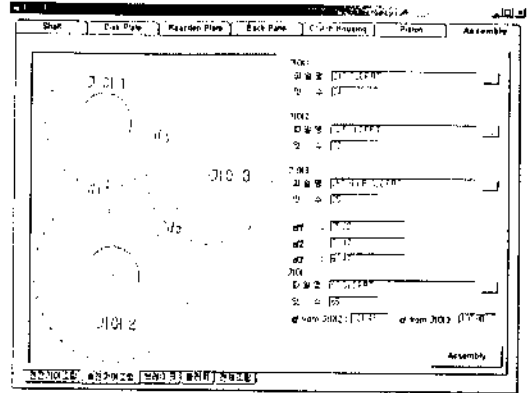


그림 13. 후진기어의 조립입력.

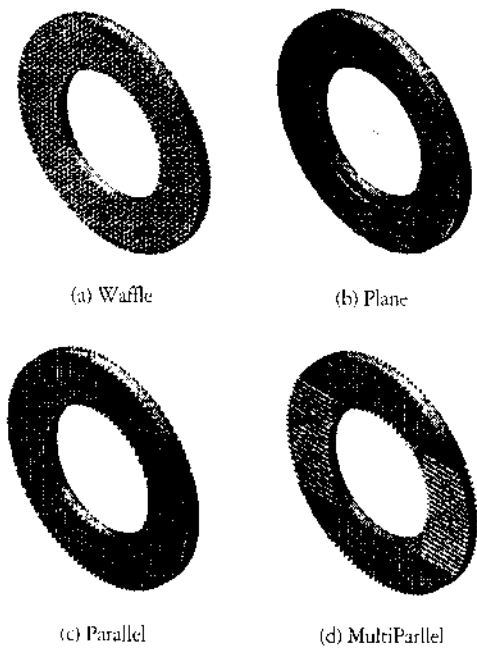


그림 11. Groove type별 모델링 출력.

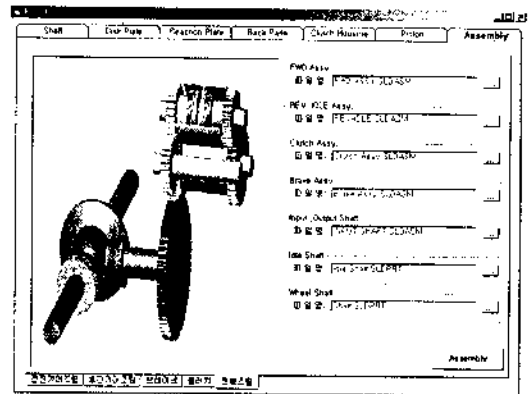


그림 14. 전체 조립의 파라메트릭 입력.

다. <그림 14>는 전체조립의 파라메트릭 입력화면으로 각 부분조립파일을 입력받아 그것으로부터 생성된 전체조립 모델을 보여주고 있다.

3. 결론

본 논문에서는 범용 CAD시스템을 이용하여 중장비의 동력전달장치를 효율적으로 설계할 수 있는 전용 설계자동화 시스템의 개발내용을 기술하였다. 개발된 시스템을 활용하여 설계 전문가들이 많은 시간을 투자하여 꼼꼼히 계산하고 작업하여야 하는 다수의 코팅링 작업과 도면생성 작업을 대부분 자동화하여 전문지식이 부족한 설계자도 쉽게 설계작업을 수행할 수 있게 되었다. 또한 데이터베이스와의 연계와 파라메트릭 설계의 개념을 최대한 활용하여 설계모델의 변경과 유사한 신모델의 개발에서도 개발기간을 획기적으로 단축시킬 수 있을 것이다.

본 시스템은 트랙터의 동력전달 장치 설계에 이미 적용되어 각 부품 모델의 생성모듈과 클러치 브레이크와 같은 부분품 조립모듈은 유용하게 사용되고 있으며 최적설계를 지원하고 설계시간의 단축에 기여하고 있다. 향후 시스템의 개선을 통하여 내측 평가기 유성기어 등의 다양한 기어를 지원할 계획

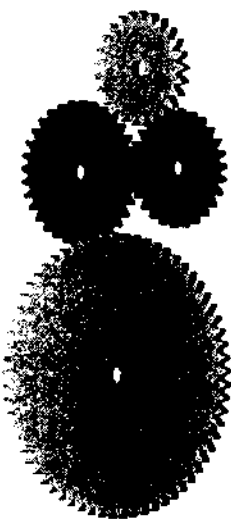


그림 12. 후진기어 조립모델.

이며 설계 방법의 발전에 따라서 지속적으로 개선시켜 나가야 할 것이다.

참고문헌

유우식 (1999), 수송장비 트랜스미션의 3차원 파라메트릭 모델링 시스템 개발, '98 산학연 권소사업 연구보고서, 인천대학교 중소기업 기술개발 지원센터.
 이상혁, 강희석, 유태석, 류승태 (2000), CRT 부품 설계자동화 시스템 개

발, 한국CAD/CAM 학회 논문집.
 이장용, 한순홍 (2000), CAD와 인터페이스를 통한 공업용 재봉기의 구성설계, 한국CAD/CAM 학회 논문집.
 이재열, 김광수 (1996), 파라메트릭 접근방법에 의한 특징형상육이용한 모델링, 한국CAD/CAM 학회 논문집.
 자동차 공학 대사전 (1997), 일본 자동차 기술회.
 황용근, 박용식, 곽규호, 손삼용, 박형우, 현재민, 장경일, 이윤중 (2000), 발전기 설계 자동화 시스템, 한국CAD/CAM 학회 논문집.
 AGMA 6010-E88, Standard for Spur, Helical, Herringbone and Bevel Enclosed Drives, 1998.
 Raymond J., Drago, P. E. (1988), Fundamentals of Gear Design.



유우식
 서울대학교 산업공학과 학사
 한국과학기술원 산업공학과 석사
 한국과학기술원 산업공학과 박사
 현재: 인천대학교 산업공학과 부교수
 관심분야: CAD/CAM, Surface modeling