

## 래칫 휠의 자동설계와 유한요소해석을 이용한 검증에 관한 연구

김민주\*, 이승수<sup>+</sup>, 전연찬<sup>++</sup>

(논문접수일 2001. 12. 21, 심사완료일 2002. 3. 18)

### A Study on the Verification Using Finite Element Analysis and Automatic Design of Ratchet Wheel

Min-Ju Kim\*, Seung-Soo Lee<sup>+</sup>, Eon-Chan Jeon<sup>++</sup>

#### Abstract

This study is an investigation for the ADS optimum design using FEA. We write out program which express ADS perfectly and reduce the required time for correcting of model to the minimum in solution and manufacture result. We complete algorithm which can plan optimum forming of model by feedback error information in CAE. Then we correct model by feedback data obtaining in solution process, repeat course following stress solution again and do modeling ratchet wheel for optimum forming. That is our aim. In ratchet wheel, greatest equivalence stress originates in key groove corner and KS standard is proved the design for security.

**Key Words** : Optimum Design(최적설계), FEA(Finite Element Analysis: 유한요소해석), ADS(Automatic Design System: 자동설계 시스템), Ratchet Wheel(래칫 휠)

### 1. 서론

많은 생산 현장에서 사용되는 CAD/CAM시스템은 3차원화된 모델을 기본적으로 채용하고 있으며, 이러한 3차원 모델을 제공하는 모델러는 여러 가지가 있다. 예를 들면 AutoCAD, MDT 및 CATIA, 그리고 Solid Edge등이다. 이러한 모델러의 종류에 상관없이 정밀 가공을 수행하기 위한 모델을

생성하는 데에는 많은 시간과 경비가 소요된다. 이를 해결하기 위한 방법의 일환으로 ADS(Automatic design system)의 활용 범위가 넓어지고 있다. ADS는 설계에 필요한 데이터를 입력받아 2차원 및 3차원 모델을 생성하는 프로그램을 통칭하는 것인데, 일반적으로 AutoCAD나 MDT 기반의 VisualLISP이 주로 사용된다. 그리고 ADS는 3D 모델링 전문가가 아니더라도 기계공학적 지식을 가진 사용자라면

\* 주저자, 동아대학교 대학원 기계공학과 (kmjshj@hanmail.net)  
주소: 604-714 부산시 사하구 하단동 840번지, Tel: 051-200-6847  
+ 동아대학교 대학원 기계공학과  
++ 동아대학교 기계·산업시스템공학부

누구나 쉽게 접근할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또 최근에는 CAD(Computer aided design)와 CAM(Computer aided manufacturing)시스템간의 직접적인 연결에 의한 실패를 줄이기 위하여 CAD-CAE-CAM의 작업순서를 일반화하고 있으며, 컴퓨터를 이용한 기계요소해석의 비중이 점점 증가하고 있다.

Savage와 Carroll등은<sup>(1,2)</sup> 최적의 스퍼기어를 설계하기 위하여 컴퓨터를 이용한 굽힘응력과 접촉응력 해석을 했으며, Tsay는 컴퓨터를 이용하여 기어의 기하학적 모델을 형상화하였고<sup>(3)</sup>, 국내에서도 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>(4,5,6)</sup>.

CAD, CAE(Computer analysis engineering) 및 CAM 각각에 대한 연구는 전술한 바와 같이 많이 행하여지고 있지만 이들을 효율적으로 통합하는 연구는 거의 없는 실정이다. 특히 해석결과를 피드백(Feedback)하여 재설계하는 데 걸리는 시간을 최소화하고, 3D 모델을 최적화하는 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 ADS를 완벽히 구현하는 프로그램을 개발하여 일반 사용자의 편의성을 높이고, 해석에 사용되는 유한요소모델을 신속히 제공하고자 한다. 그리고 유한요소해석 결과를 통한 정보를 피드백하여 유한요소모델의 최적형상을 재설계할 수 있는 실험방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 프로그램 언어인 VisualLISP을 사용하여 기계요소인 래치 휠을 모델링하는 프로그램을 개발하고<sup>(7,8,9)</sup>, 여기서 모델링한 데이터를 구조해석 프로그램인 ANSYS에 전송하여 응력해석을 수행한다. 그리고 해석과정에서 얻어진 데이터를 피드백하여 모델을 재수정하고, 다시 응력해석을 수행하는 과정을 반복하여 최적형상의 래치 휠을 모델링하고자 한다.

## 2. VisualLISP을 이용한 자동설계

자동설계 프로그램을 작성하기 위하여 Auto-CAD에서 구현되는 프로그램 언어인 VisualLISP을 사용하였다. Fig. 1은 VisualLISP을 사용하여 본 연구에 사용된 래치 휠을 자동설계할 수 있도록 프로그래밍한 것이다. 그림에 나타난 DCL창에 몇가지 요소만을 입력하여 Fig. 2와 같은 3D 모델을 생성할 수 있다. 래치 휠을 구성하는 요소들은 반경, 두께 및 외륜 반경, 그리고 외륜 깊이, 키의 폭과 높이 등이다.

## 3. ANSYS를 이용한 유한요소해석

유한요소해석(FEA : Finite element analysis)이란 구

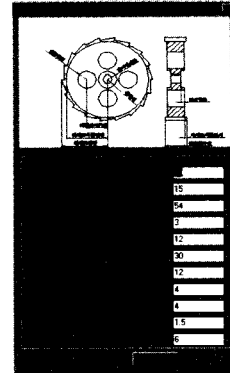


Fig. 1 Dialog box of ratchet wheel

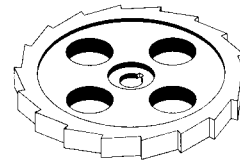


Fig. 2 Ratchet wheel model using visual lisp

조물내에 있는 무한개의 미지수점을 절점(Node)으로 이용하여 유한개의 이산화된 위치로 나타내고, 이들간에 서로 유기적 관계를 맺어 주는 요소(Element)라는 블록을 이용하여 전체 구조물이나 실제의 물리적 시스템 내의 임의의 점에서의 원하는 값을 수치적인 근사화를 통해 얻어내는 것을 말한다.

본 연구에 사용된 구조해석 프로그램인 ANSYS는 유한요소법(FEM : Finite element method)을 적용하여 구조, 유체 및 열 등의 해석에 사용되어진다. Fig. 3에 ANSYS의 구성을 나타내었다. ANSYS는 먼저 유한요소해석을 이론

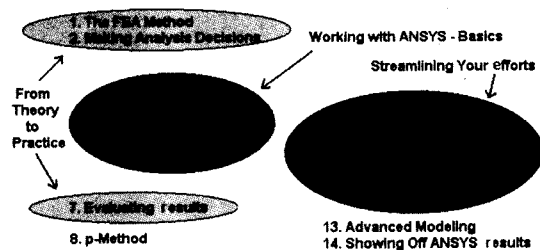


Fig. 3 Course organization of ANSYS

적 배경으로 하며, 분석대상을 결정한다. 그리고 GUI(Graphic user interface)를 통해 그래픽 모드로 전환하고, 환경설정을 한다. 또한 하중조건이나 경계조건 같은 기본적인 사항들을 설정하고 모델을 세우며, 이를 해석, 결과 값을 보고, 검토하는 과정으로 이루어진다.

그리고 이와 같은 과정을 좀더 효율적으로 만들기 위하여 APDL(ANSYS process development language), 최적환경설정 및 작업순서를 기록한 로그파일을 만들어 이를 활용하는 과정들로 이루어진다.

#### 4. 자동설계 프로그램과 유한요소해석을 이용한 최적형상설계 실험방법

Fig. 4는 자동설계 프로그램과 유한요소해석을 이용한 최적형상설계 실험방법을 나타낸 것이다. 어떠한 기계요소를 선택하여 최적형상을 설계할 것인가 먼저 선정하고, VisualLISP을 이용한 자동설계프로그램을 통해 3D 모델을 생성한다. 그리고 구조해석 프로그램인 ANSYS에서 사용되는 ~.IGES 파일로 변환한다. 변환된 파일을 ANSYS에서 불러들여서 요소망 생성과 하중조건 및 경계조건을 설정하고, 해석을 수행한다. 그리고 해석결과를 분석하여 어느 부위에 응력집중 현상이 나타나는지를 판단하고, 이 부분의 치수를 변경하여 다시 재설계 및 구조해석의 순서를 반복한다.

반복의 횟수는 데이터의 적합성을 판단하여 증가시킬 수 있는데, 적합성의 기준은 안전성과 경제성이다. 본 연구에서는 Fig. 4의 실험방법에 따라 래칫 휠을 자동설계하고, 이 모델을 유한요소해석하여 최대 등가응력을 구한다. 최대 등가응력이 키 홈에서 발생할 것으로 예측되기 때문에 기준 데이터를 KS B 1311에 근거하여 키 홈을 설계-해석한 값으로 설정하고, 키 홈의 폭과 높이에 변화를 주어서 최적 설계하고자 한다. 기준 데이터를 얻기 위한 설계 조건은 키 홈의 폭이 4mm이고, 높이가 1.5mm이다. 이 치수는 KS 규격에 나타난 키의 크기 4×4mm(축경이 10~13 φ일 때)에서 축에 2.5mm가 묻히고, 1.5mm가 키 홈에 채결되는 데 기인한다.

#### 5. ANSYS를 이용한 래칫 휠의 응력해석

유한요소해석 프로그램인 ANSYS에서 응력해석을 하기 위해서는 자체적으로 유한요소모델을 생성하든지 아니면 외부의 프로그램을 이용하여 설계한 모델을 불러들이는 방법이 있다.

본 연구에서는 후자의 경우로서 Fig. 1과 같은 자동설계 프로그램을 통해 생성된 3D 모델을 사용하여 유한요소모델을 생성하였다.

Fig. 5는 본 연구에 사용된 래칫 휠의 유한요소 모델을

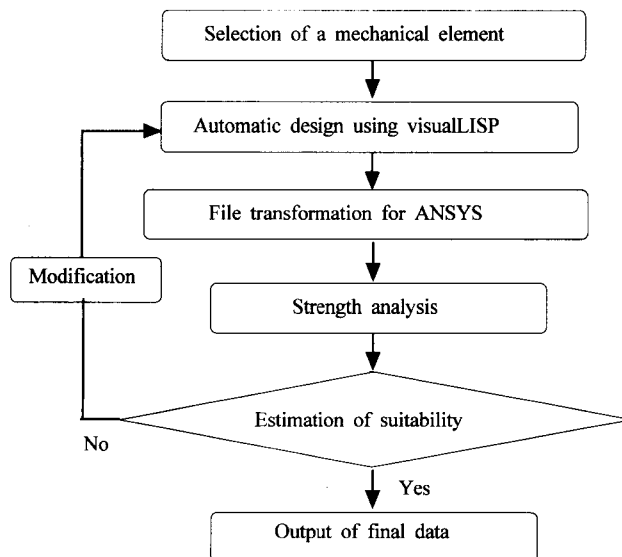


Fig. 4 Method of Inspection for optimum shape design using automatic design program and FEA

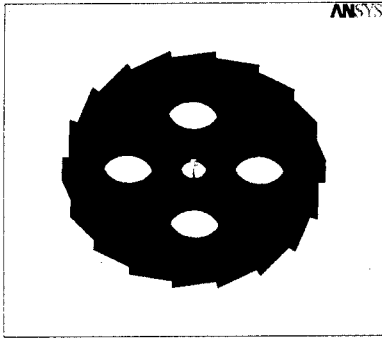


Fig. 5 Finite element model of ratchet wheel

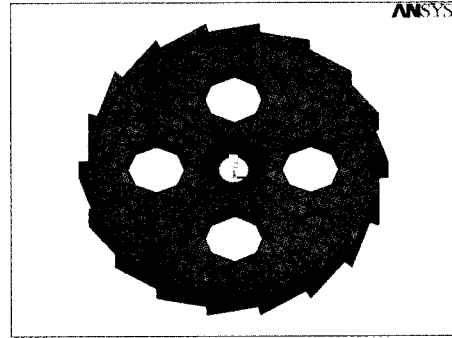


Fig. 6 Mesh generation of FEA model

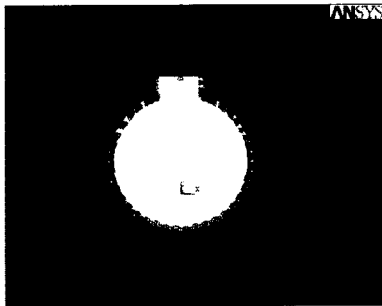


Fig. 7 Boundary condition of finite element model

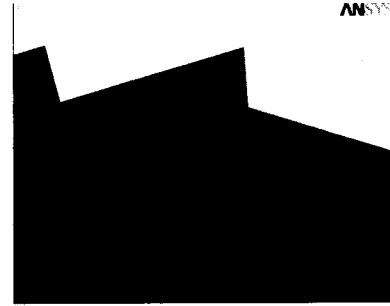


Fig. 8 Load condition of finite element model

나타낸 것으로, 솔리드 모델을 유한요소모델로 사용하였으며, 키 홈의 규격은 KS B 1311을 참조하여 설계하였다. 그리고 응력해석을 수행하기 위한 래칫 휠의 특성값을 계산해 주어야 한다. 래칫 휠의 재질이 기계구조용 강인 SM45C이기 때문에 여기에 기초하여 특성값을 입력하였다. Fig. 6은 유한요소해석을 수행하기 위하여 유한요소모델에 요소망을 생성한 그림이다. 요소망은 네 개의 절점을 가진 삼각뿔로 구성되어 있으며 절점 수는 11,257개이고, 요소 수는 6,114개이다.

본 연구에 사용된 래칫 휠은 휠 중심에 위치한 키 홈부분에서 최대 응력이 예상되어진다. 따라서 효율적인 해석을 위하여 키 홈 부근의 요소망 간격을 조밀하게 생성하였다.

본 연구에 사용된 유한요소모델인 래칫 휠에 적용된 경계조건을 Fig. 7에 나타내었다. 래칫 휠 중심에 축이 끼여 체결되어 있으므로, 중심부분에 작용하는 변위량 UX, UY 및 UZ가 0이다. 그리고 회전 모멘트 성분 Rot X, Rot Y 및 Rot Z 또한 0이기 때문에 원주방향 및 키 접촉면을 전부 구속하였다.

Fig. 8은 유한요소모델에 작용하는 하중조건을 나타낸 그림이다. 래칫 휠 자체가 동력을 전달하지 않고, 역회전을 방지하는 작용을 하기 때문에 치면에 수직방향으로 하중이 작용한다. 현장에서 주로 사용되는 10kPa을 작용시켜 해석을 수행하여 얻어진 최대 응력집중 부위와 응력의 크기를 바탕으로 키 홈의 길이 및 폭을 산정하는 최적설계를 수행하고자 한다.

## 6. 자동설계 프로그램과 유한요소해석을 이용한 최적형상설계의 결과 및 고찰

ADS 프로그램에 의해 자동 설계된 래칫 휠 모델에 유한요소해석을 적용하여 최대 등가 응력을 해석한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 예상 된바와 같이 키 홈 모서리 부위에서 최대 등가 응력( $M_x$ )이 발생한 것을 볼 수 있다. 이때의 설계 조건은 키 홈의 폭이 4mm이고, 높이가 1.5mm이며, 95.35MPa의 응력이 키 홈의 모서리에 발생하였다.

Fig. 9의 조건을 기준으로 설계조건을 변경하여 유한요소

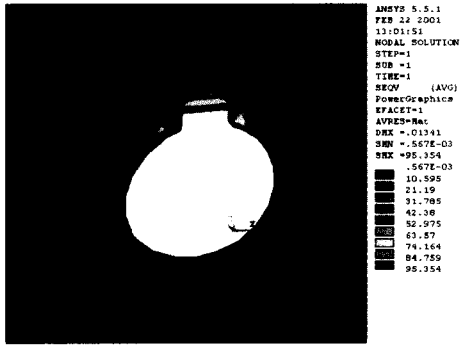


Fig. 9 Distributed equivalent stress when key width is 4 mm & key height is 1.5 mm

모델을 재생성하고, 다시 해석을 수행하였다. 그리고 그 결과를 Table 1에 나타내었으며, 시각적으로 그 차이를 살펴보기 위하여 Fig. 10과 Fig. 11에 키 폭과 높이에 따른 최대 응력을 나타내었다. Fig. 10과 Fig. 11에서는 키 홈의 폭과 높이 중 하나를 고정시키고, 나머지 하나를 변화시켰을 때 나타나는 응력의 변화를 한 눈에 알 수 있다.

Fig. 10과 Fig. 11을 살펴보면 키 홈의 폭을 고정시키고, 높이를 변화시켰을 때 KS 규격에서 지정한 4.0×1.5mm보다 4.0×1.7mm의 결과가 더 좋게 나타나는데 이는 수치해석의 근사 오차에 관계된 것으로 보인다. 왜냐하면 0.2mm 간격을 좀 더 세분화한 0.1mm의 간격을 해석에 적용하였을 때 4.0×1.6mm의 값이 100.90MPa를 나타내기 때문이다. 그리고 키 홈의 높이를 고정시키고, 폭을 변화시켰을 때 4.0×1.5mm의 응력값이 가장 작게 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 키의 폭과 높이의 변화에 상관없이 KS 규격에서 지정한 4.0×1.5mm가 가장 안정적임을 알 수 있다.

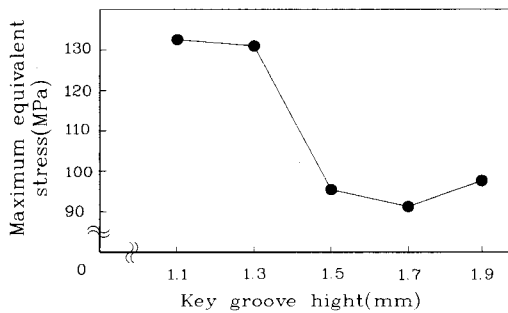


Fig. 10 Stress value according to change of key groove height

Table 1 Maximum equivalent stresses according to varying key width & key height

Key width (mm)	Key height (mm)	Maximum equivalent stress (MPa)
4.0	1.1	132.67
	1.3	131.79
	1.5	95.35
	1.7	91.15
	1.9	97.59
3.6	1.5	96.61
3.8		98.16
4.0		95.35
4.2		105.02
4.4		100.93

그리고 자동설계 프로그램과 해석 프로그램 ANSYS 사이의 피드백 시간을 최대 10분 이내로 단축할 수 있었다.

### 7. 결론

본 연구에서는 AutoCAD상의 VisualLISP 프로그램을 이용하여 래칭 휠을 자동 설계하고, 이를 유한요소모델로 채용하여 CAE 프로그램인 ANSYS에서 최대 등가 응력을 해석하였다. 그리고 그 결과를 토대로 래칭 휠의 최적형상 설계를 위한 모델 수정 및 해석을 반복 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) VisualLISP을 이용한 자동설계 프로그램을 개발함

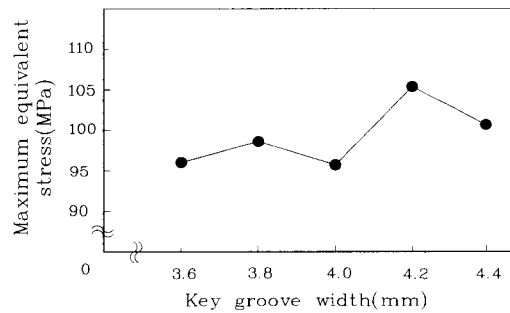


Fig. 11 Stress value according to change of key groove width

로써 일반사용자의 편의성을 높였으며, 복잡한 형상의 유한요소모델을 신속히 제공할 수 있는 가능성을 제시하였다.

- (2) 최적형상설계를 위한 3차원 모델링 기법의 하나로 자동설계 프로그램을 제시하였고, 자동설계 프로그램과 유한요소해석을 이용한 최적형상설계 방법을 제시하였다.
- (3) 래칫 휠에서 최대 등가 응력은 키 홈의 모서리 부위에서 발생하였고, KS규격이 안전성을 고려한 설계임을 증명하였다.

### 후 기

본 연구는 2001년도 동아대학교 학술연구비(연구기초자료비)의 지원에 의해서 이루어졌음.

### 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) 이원석, 이현우, "FEA를 이용한 Lug의 피로수명 평가에 관한 연구", 한국정밀공학회지, Vol. 15, No. 10, pp. 88~95, 1998.
- (5) 이상범, "단순유한요소 모델을 이용한 차체필라 형상 최적설계", 한국공작기계학회지, Vol. 9, No. 6, pp. 133~139, 2000.
- (6) 박천홍, 정재훈 외 2인, "FEM을 이용한 유정압 테이블의 운동정밀도 해석", 한국정밀공학회지, Vol. 17, No. 12, pp. 137~144, 2000.
- (7) "기계설계편람 제3판", 기계설계편람편집위원회, pp. 849~852, 1994.
- (8) "오토캐드(AutoCAD)-Releases13", 한국ATC협회, pp. 315, 1997.
- (9) "Visual LISP for AutoCAD 2000", 김찬우, 크라운출판사, 2000.