

기계 요소의 CAD 소프트웨어 개발

- Ohio State University case 연구 -

신 중 호

한국기계연구소 NC CENTER CAD/CAM 실

Graphics-Oriented Computer-Aided Design for Machine
Elements in The Ohio State University

Joong-ho Shin

CAD/CAM Lab. Numerical Control Dept. KIMM

Abstract

This paper introduces the program to develop graphics-oriented, interactive, computer-aided design modules for machine elements which are developing in Mechanical Engineering Department of The Ohio State University in U.S.A. The CAD modules are developed to be efficiently performed within the arena of minicomputer- and personal computer-based computer-aided design. In addition, this paper deals with the state-of-the-art in computer-aided design.

1. 서 론

컴퓨터 기술의 증진으로 일반산업 부문에서의 CAD (computer-aided design)의 역할이 급진적으로 향상되고 있다. CAD의 분야별 적용업무로서는 기본, 기능설계, 기술계산 및 해석, 상세설계, 제도 및 문서작성으로 포괄되며, 각 분야별 특정용도의 CAD용 소프트웨어가 외국에서 활발히 개발 및 상품화 되어 국내에서도 도입하여 그 이용도를 넓혀 나가고 있다.

대체로 상품화된 CAD용 소프트웨어는 금형의 설계, 제도, 기술계산 및 해석용으로 크게 분류되며, 그외로는 기구학적해석 및 동적해석용 소프트웨어가 주류를 이루고 있다. 또한 기본기능 설계 및 상세설계가 제품의 제작에 매우 중요한 단계로서 CAD의 필요성이

강조되며 이 분야에 적용 가능한 기계요소 CAD화가 시급히 요청된다.

본 논문에서는 현재 미국의 오하이오 주립대학교 기계과에서 수행하고 있는 기계요소의 GOCAD (graphics-oriented computer-aided design) 연구내용을 분석하여 국내의 CAD 발전에 도모하고자 한다.

2. 분석

미국 오하이오 주립대학에서 수행중인 GOCAD 연구는 기계요소설계의 CAD화를 위하여 1930년 부터 미국의 우수업체들의 (Allis Chalmers, Borg Wanner, Cummins Engine, F. Jos. Lamb, Ford, General Motors, McDonnell Douglas, Pitney Bowes, Westinghouse Electric, Kodak) 공동 프로젝트로서, 1985년에 상기업체외에 ITI가 새로 가입하였으며 1990년에 완전상품화를 위해 연구가 진행중이다.

개발대상인 기계요소는 다음과 같으며 기계요소의 전문분야의 CAD화를 목적으로 하고 있다 [1].

- o 치차 (spur, bevel, helical and worm gears)
- o 축 (shafts under static and dynamic loadings)
- o 스프링 (herical, torsional, leaf, belleville)
- o 베어링 (journal and rolling element bearings)
- o 캠 (disk cams)
- o 용접구조물 (welded connections)
- o 나사 (machine screws, power screws)

- o 플러치 (plate and cone clutches)
- o 브레이크 (shoe, disk and band brakes)
- o 플라이휠 (solid and spoked flywheels)
- o V형 벨트 (V-belts)
- o 리벳구조물 (riveted connections)

- o 한계속도(critical speeds) 와 한계하중(critical buckling loads)

2.1 각 분야별 프로그래밍의 개발 내용 [1-9]

각분야별 프로그램의 개발내용을 간략히 설명하면 다음과 같다.

1) 치차용 프로그램

치차(Fig.1-A)설계는 일반적으로 기구학적 해석과 강도해석 이 요구된다. 인볼류트(involute)치형만을 고려하며, 대상치차로서는 스피(spur), 베벨(bevel), 헬리컬(helical), 웜(worm)과 하이포이달(hypoidal) 치차들이다. 이 치차들은 다음의 항목들이 해석 되어져야 한다.

- 기구학적 특성 해석
 - o 치차구동체의 속도비
 - o 치차의 기구학적 형상
 - o Lewis 형상계수
 - o 접촉비, 백래쉬(backlash), 간섭(undercutting and interference)
- 강도해석
 - o 치차 작용력
 - o 치부위의 동적작용력
 - o 마모력
 - o 굽힘력
 - o 동력전달력

2) 축 설계용 프로그램

기계요소중 가장 보편적으로 사용되는 축(Fig.1-C)은 작용력, 응력및 휨을 3차원의 정.동적 하중조건에서 해석하며 요구하는 결과는 다음과 같다.

- o 축의 형상, 지지점의 상태및 외력
- o 축의 모멘트, 전달력, 기움기 및 휨
- o 축의 응력상태와 최대응력의 작용점

3) 스프링 프로그램

스프링(Fig.1-H)은 에너지저장 및 전달과 기계구조물의 유연성을 높여준다. 5 종류의 스프링(helical, torsion, leaf, spiral, belleville)을 선형 변위 해석(small-deflection analysis)에 근거하여 정.동적 상태에서 설계되어진다.

4) 베어링 프로그램

저널(journal : Fig.1-D1)베어링의 설계는 유체역학과 열역학적 경험식을 이용하여 해석및 설계가 가능하다. 주어진 베어링의 형상, 윤활제, 하중, 속도 및 냉각속도에 대해 발열량, 온도 및 회전력을 결정하는 설계용 소프트웨어이다.

롤링(rolling : Fig.1-D2) 베어링 프로그램은 주어진 베어링 형태, 하중상태, 수명 및 축의 직경에 대하여, 표준 베어링 공식과 각 하중상태및 계수들을 이용하여 반경방향의 하중을 결정하고 데이터 베이스에서 선별하며, 다종의 베어링에 대한 정적,동적 전동력을 데이터 베이스화 한다.

5) 캠 프로그램

치차의 경우와 동일하며, 캠(Fig.1-F)설계는 기구학적 측면과 작용력 상태에서 고려되어야한다. 캠의 변위는 회전과 관련되며, 작용력은 변위, 크기및 캠의 중심에 밀접하게 관련지워진다. 캠변위곡선(parabolic, harmonic, and cycloidal)의 선택에 의한 캠형상의 설계물 목적으로 하며, 변위, 속도, 가속도 및 부하력을 캠의 회전각도의 함수로써 표시한다.

6) 용접 구조물 프로그램

가장 보편적인 필렛(fillet : Fig.1-E)용접과 점(spot)용접만을 대상으로 평면상에 용접된 구조물의 응력해석 및 용접 요구치수의 설계용으로써 용접물의 모계 침부에 의한 효과를 무시한다. 응력 집중계수등 고려하고 피로 파괴에 대해 해석한다.

7) 나사 프로그램

체결용 나사(Fig.1-G1)와 동력전달용 나사(Fig.1-

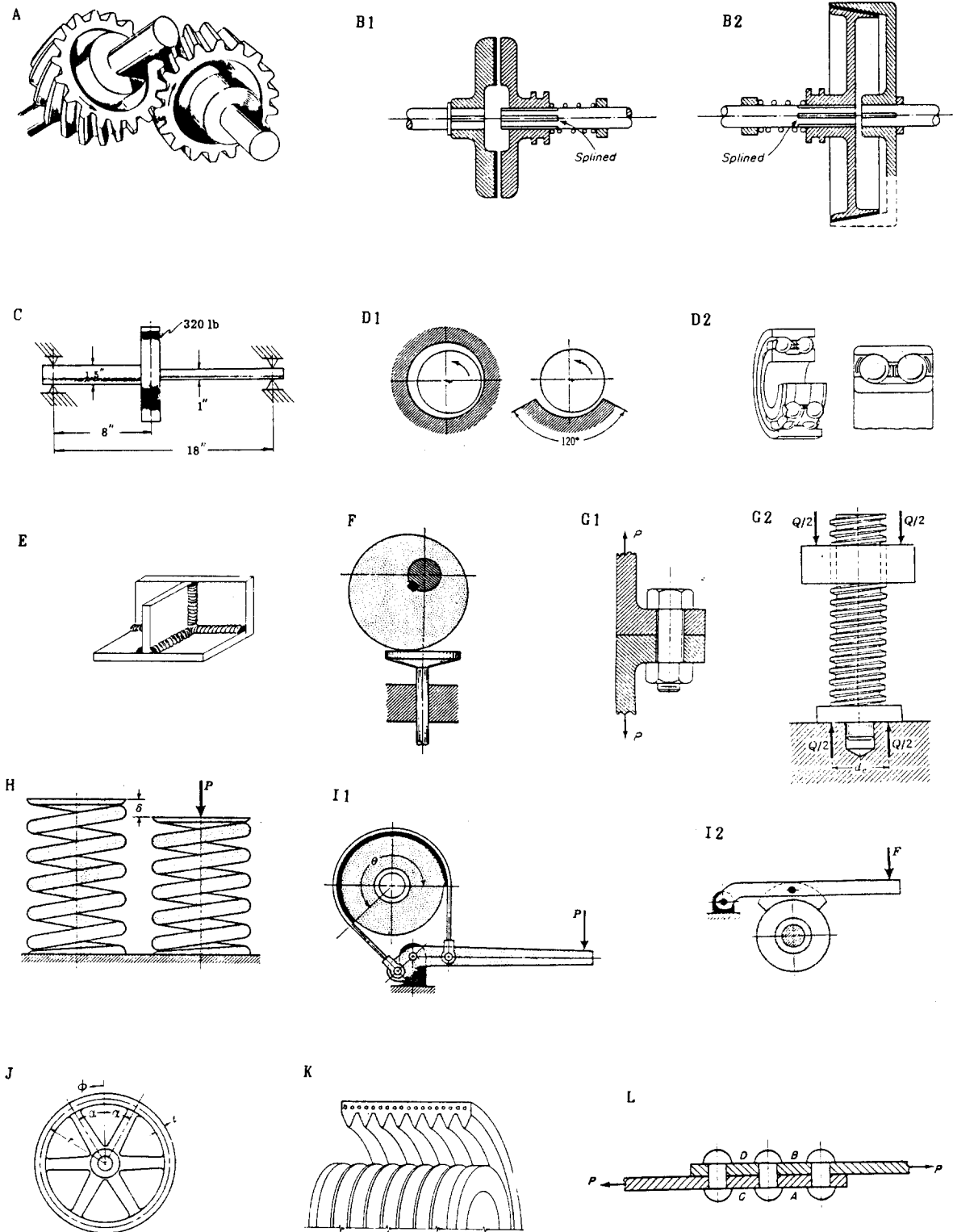


Fig. 1. Machine Elements

G2)를 대상으로 하여 평균 전달응력과 축하중에 의거하여 해석한다. 동력전달용 나사에서는 상승 및 하강시의 하중에 대한 극한하중(buckling load) 해석이 요구되며 피토파괴에 대한 해석도 동시에 고려되어야 한다.

8) 클러치 프로그램

판형 클러치(Fig.1-B1)와 원추형 클러치(Fig.1-B2)의 설계를 대상으로 한다. 판형 클러치는 일정 마모이론(uniform wear theory)이나 일정표면력이론(uniform pressure theory)에 근거하여, 회전력, 축하중, 표면력, 형상 및 마찰계수와 연관된다. 원추형 클러치는 원추면의 수직작용력을 이용하여 대부분 일정 마모이론으로 해석한다.

9) 브레이크 프로그램

브레이크는 두회전체의 회전방지를 목적으로 사용되는데 보편적인 3가지 형태(disk, band, shoe)의 브레이크를 고려한다. 판브레이크(band brake : Fig.1-I1)는 고정된 유연체의 밴드가 회전체를 둘러싸고 있는데, 회전력은 밴드의 인장력, 기하학적 형상 및 마찰계수로 표현된다. 슈브레이크(shoe brake : Fig.1-I2)구조는 딱딱한 플러이 회전체를 눌러서 회전방지를 유지하며 일정 마모이론으로 해석한다.

10) 플라이휠 프로그램

플라이휠(Fig.1-J)은 동적 에너지를 흡수하는 장치로서 일반적으로 판형(solid rim)과 스포크형(spoked rim)이 있다. 축 회전력이 회전각도에 크게 좌우되므로 평균동력전달이 설계상의 요구조건으로 사용되어야 하며, 속도변위차이량(velocity fluctuation)이 한계치내에 유지되도록 설계하여야 한다.

11) V형 벨트 프로그램

V형 벨트(Fig.1-K)는 마찰력을 이용하여 동력을 전달하는 기계 요소로서 기하학적 형상과 전달력을 고려하여 설계하여야 한다. 기하학적 형상으로는 벨트의 길이를 결정하여야 하며, 전달력 해석에서는 최대 벨트작용력을 인장력, 굴림력 및 구심력에 근거하여 결정하여야 한다. 적합한 벨트의 형태, 벨트의 수명 및 벨트의 수를 결정하여야 한다.

12) 리벳구조물 프로그램

리벳구조물(Fig.1-L)은 점용접 해석방법으로 설계할 수 있으며 인장력에 대해 내부응력은 일정분포(uniform)로 작용한다고 가정할 수 있다. 그러나 리벳구성형상(pattern)과 하중작용상태에 따라 구조물 전체의 질량중심점을 결정하여 해석하여야 한다. 요구되는 결과로서는 리벳의 직경과 최대하중위치의 결정등이다.

2.2 프로그램개발의 기법

기계요소의 CAD 용 프로그램은 다음사항을 고려하여 개발하여야 한다.

1) 사용 하드웨어에 독립적(hardware independent CAD)이어야 한다.

현재 사용중이거나 개발된 하드웨어에 독립적으로 운용이 가능한 프로그램이 개발되어야 한다. 이는 독자적으로 그래픽(graphics)과 사용된 하드웨어상의 특수기능들을 표준화하여 기계요소 CAD 프로그램과 분리시켜 독립적인 기능을 수행할 수 있도록 배려되어야 한다.

2) 상호 대화식 연결(interactive CAD)이 가능하여야 한다.

프로그램 사용자와 프로그램이 상호 대화하는 방식으로 자료의 입력과 출력이 가능하여 사용자가 필요한 사항들을 자유롭게 추적할 수 있도록 개발되어야 한다.

3) 소형 및 개인용 컴퓨터(microcomputer & personal computer-based CAD)에 이용가능하여야 한다.

마이크로 프로세서(microprocessor)의 급속한 발전으로 소형 및 개인용 컴퓨터의 기억용량이 증대되고 가격도 저렴함으로 인해 소형 및 개인용 컴퓨터의 보급이 활발하다. 그러므로 컴퓨터 개발전망에 부합하도록 프로그램이 개발되어야 한다.

4) 그래픽(graphics-oriented CAD)을 이용하여야 한다.

입력된 자료나 해석 및 설계의 결과는 쉽게 확인할 수

있도록 그래픽을 이용하여 형상화하거나, 도표로서 표시하여야 한다. 입력자료의 잘못으로 인한 결과의 피해는 설계자에게 치명적인 손실을 끼칠우려가 있으며, 출력자료의 신속하고 정확한 판단및 분석은 설계자의 능력을 향상시킨다.

5) 사용자편(user friendly CAD)에서 개발되어야한다. 프로그램 개발시 사용자가 사용하기에 편리하도록 각 기능간의 판단기능(diagnosis)을 충분히 배려하는, 사용자 입장에서 개발 되어야 한다.

이상의 기본적인 CAD개발기법을 이용하여 개발된 GOCAD프로그램은 약 30개이며, 현재도 개발중이다.

3. 스프링 프로그램의 소개

GOCAD프로그램들중, 일례로서 스프링프로그램밍 기법을 소개하고자 한다.

문제 : 다음의 상태에서 원활히 작동할 수 있는 비틀스프링(torsion spring)을 설계하라[8].

- * 직사각형 단면
- * 재료는 ASTM A228 (music wire)
- * 정적하중조건
- * 스프링의 단면 = 0.08 * 0.06 (inch)
- * 스프링의 반경 = 0.4 (inch)
- * 활동코일수 = 11.3 회전

SCREEN OUTPUT OF EXAMPLE 2 FROM PROGRAM [SPRING]

```

GOCAD - GRAPHICS ORIENTED COMPUTER AIDED DESIGN          SPRING PROGRAM
***** SPRING PROGRAM *****

      SPRING TYPES
      *****
(1) HELICAL TENSION SPRINGS
(2) HELICAL COMPRESSION SPRINGS
(3) HELICAL TORSION SPRINGS
(4) CLOCK SPRINGS
(5) BELLEVILLE SPRINGS
(6) LEAF SPRINGS
(7) EXIT
CHOICE= 3
  
```

```

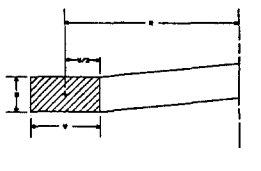
GOCAD - GRAPHICS ORIENTED COMPUTER AIDED DESIGN          HELICAL TORSION SPRING
***** WIRE CROSS SECTION *****
(1) ROUND WIRE
(2) RECTANGULAR WIRE
(3) EXIT
CHOICE= 2

FAILURE MODES
*****
(1) YIELDING
(2) FATIGUE
CHOICE= 1
  
```

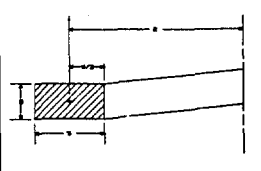
```

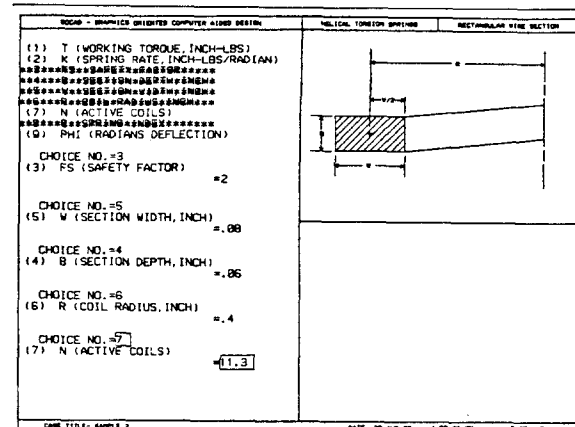
GOCAD - GRAPHICS ORIENTED COMPUTER AIDED DESIGN          HELICAL TORSION SPRING          RECTANGULAR WIRE SECTION
***** MATERIAL SELECTION *****
(1) HARD DRAWN STEEL (ASTM A227)
(2) MUSIC WIRE (ASTM A228)
(3) OIL TEMPERED STEEL (ASTM A229)
(4) 302 STAINLESS STEEL (ASTM A313)
(5) CHROME VANADIUM (ASTM A231)
(6) CHROME SILICON (ASTM A481)
(7) CARBON VALVE SPRING QUALITY (ASTM A238)
(8) PHOSPHOR BRONZE (ASTM B150, CLASS 1)
(9) USER SPECIFIED MATERIAL PROPERTIES
CHOICE= 2
  
```

```

GOCAD - GRAPHICS ORIENTED COMPUTER AIDED DESIGN          HELICAL TORSION SPRING          RECTANGULAR WIRE SECTION
(1) T (WORKING TORQUE, INCH-LBS)
(2) K (SPRING RATE, INCH-LBS/RADIAN)
(3) FS (SAFETY FACTOR)
(4) B (SECTION DEPTH, INCH)
(5) W (SECTION WIDTH, INCH)
(6) R (COIL RADIUS, INCH)
(7) N (ACTIVE COILS)
(8) C (SPRING INDEX)
(9) PHI (RADIAN DEFLECTION)
CHOICE NO. =

  
```

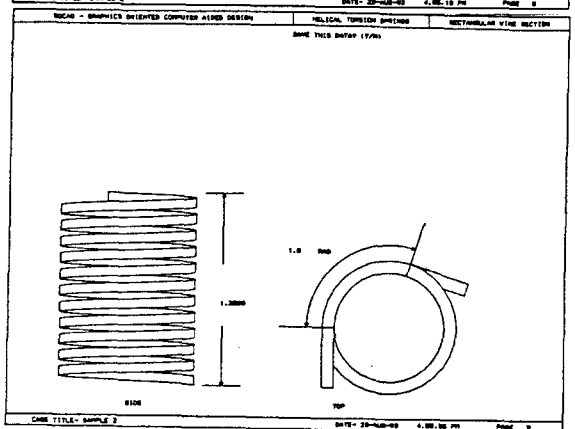
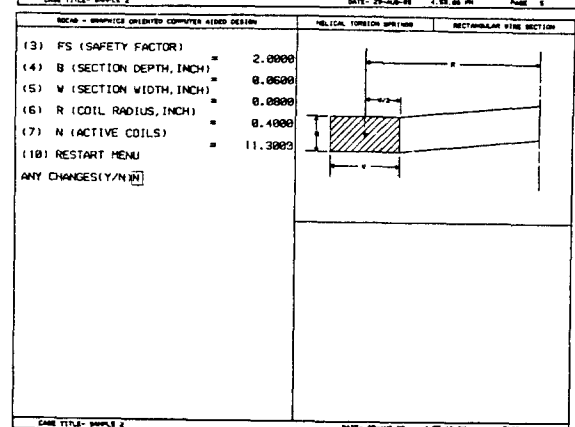
```

GOCAD - GRAPHICS ORIENTED COMPUTER AIDED DESIGN          HELICAL TORSION SPRING          RECTANGULAR WIRE SECTION
(1) T (WORKING TORQUE, INCH-LBS)
(2) K (SPRING RATE, INCH-LBS/RADIAN)
(3) FS (SAFETY FACTOR) = 2
CHOICE NO. = 3
(5) W (SECTION WIDTH, INCH) = 0.08
CHOICE NO. =

  
```



Reference

1. Kinzel, G. L. and Charles, J., "A Program to Develop Computer-Aided Machine Design Modules", A research proposal, The Ohio State Univ., 1979.
2. Shin, J. H., "The Development of An Interactive Fatigue Analysis Program for General Machine Elements", Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, The Ohio State Univ., Columbus, Ohio, 1981.
3. Shin, J. H. and Kinzel, G. L., "The Development of An Interactive Procedure for Fatigue Analysis Using Computer Graphics", Proceeding of The 2nd International Computer Engineering Conference and Exhibit, San Diego, CA, Aug. 14-17, 1982, published by ASME.
4. Shin, J. H., "Manuals for Interactive Fatigue Analysis Program to Machine-Design Programs Group", OSU, Columbus, Ohio, 1981.
5. Shin, J. H., "Manuals for Cross- Section Property Program to Machin-Design Programs Group", OSU, Columbus, Ohio, 1982.
6. Shin, J. H., "Manuals for V-belt Design Program to Machin-Design Programs Group", OSU, Columbus, Ohio, 1983.
7. Shin, J. H., "Sample Output from Programs Developed to Design and Analyze Machine Elements", OSU, Columbus, Ohio, 1982.
8. Shin, J. H., "Manual for Fillet and Spot Welded Connections Design and Analysis Program", OSU, Columbus, Ohio, 1984.
9. Shin, J. H., "Comprehensive Analysis Procedure for V-belt system", Proceedings of the 3rd International Computer Engineering Conference and Exhibit, Las Vegas, NV, Aug. 12-16, 1984.



FILE OUTPUT OF EXAMPLE 2 FROM PROGRAM (SPRING)

```

MATERIAL PROPERTIES
*****
MATERIAL TYPE           = MUSIC WIRE (ASTM A228)
RD (DENSITY)            = 0.284 LBS/CU IN
G (SHEAR MODULUS)      = 11800000.0 PSI
TAU (YIELD STRESS)     = 118577. PSI
TAU (FAILURE STRESS)   = 118577. PSI
TAU0 (DESIGN STRESS)   = 59289. PSI

DESIGNED FOR
*****
FAILURE MODE           = YIELDING

DESIGN VARIABLES
*****
T (MAX TORQUE)         = 7.0851 INCH-LB
K (SPRING RATE)        = 2.1273 INCH-LB/RADIAN
FS (SAFETY FACTOR)     = 2.0000
W (SECTION WIDTH)      = 0.0800 INCHES
B (SECTION HEIGHT)     = 0.0600 INCHES
R (COIL RADIUS)        = 0.4000 INCHES
N (ACTIVE COILS)       = 11.3000 COILS
C (SPRING INDEX 2R/(D OR W)) = 10.0000
G (ANGULAR DEFLECTION) = 3.3305 RADIAN
MINIMUM LENGTH         = 0.9040 INCHES
DESIGN LENGTH          = 1.2000 INCHES
NI (INACTIVE COILS)   = 0.0000 COILS

PERFORMANCE
*****
WT (WEIGHT)            = 0.0087 LBS
ENERGY (STORED AT T)   = 32.4566 IN-LB/CU-IN MATERIAL
  
```