

目次

1. 서론
2. 基本理論式
3. SYSTEM 구성
4. PROGRAM 의 구성
 - 4-1) Flow chart
 - 4-2) 極값의 調査 決定
5. 最適 Gear 列의 選定
 - 5-1) 4 단 기어열
 - 5-2) 3 단 기어열
 - 5-3) 2 단 기어열
6. 結 論

참고 문헌

부록

서론

CAD/CAM (Computer - Aided Design, Computer - Aided Manufacturing) System은 컴퓨터를 이용한 설계 제작을 자동화 하는 일련의 전체 과정을 일컫는다⁽¹⁾

서어보 장치 및 제어 (Servo mechanism and control)에서 각 변위는 Gear 감속에 의해 축으로 전달된다

이러한 서어보 구동장치는 가능한 한 정확한 추종응답을 얻기 위해 전달기어열의 관성을 최소화 할 필요가 있다.

공학 문제를 설계하는데 있어 필요한 설계 조건이 있고 이러한 설계조건을 최적화 시키고자 하는것이 CAD의 목標이고 따라서 최적설계 하고자 하는 구체적인 양을 수학적 함수와 기하학적 도형처리로 표시해야 하고, 제반 제한조건을 수식으로 나타내져야 하며 최적값은 함수의 극값 (Extreme Value)을 말하며 이러한 극값을 구하는 문제는 수학적 지식 (數值解析)이 필요로 한다.⁽²⁾

본 연구에서는 기어열의 최적 관성모우먼트 (Equivalent inertia of optimal Gear train)를 CAD/AG (computer Graphics)에 의해 나타내 보고자 한다.

또 기어열을 4단 기어열로 기준으로 하고, 3단, 2단 기어열로 하여 전체 관성 모우먼트를 비교해 보았다.

Computer 기종은 PC-9801을 사용하였고, 언어는 BASIC을 사용하여 결과 및 검증에 필요한 프로그램을 구성하였다.

基本理論式

- Motor 의 Pinion 에 물려있는 기어의 관성 (inertia) 은 모터축에 $I_g = A^2 I_p$ 의 상당관성으로 된다.

- Pinion 에 직접물려 있지 않은 기어의 관성은 $I_{g'} = I_p / A^2$ 의 상당관성으로 된다.

단 $A = \frac{\text{Gear의 잇수}}{\text{Pinion의 잇수}}$

따라서 4단 기어열의 관성을 모터축의 상당관성으로 옮겨보면 다음의 그림과 같다. (3)

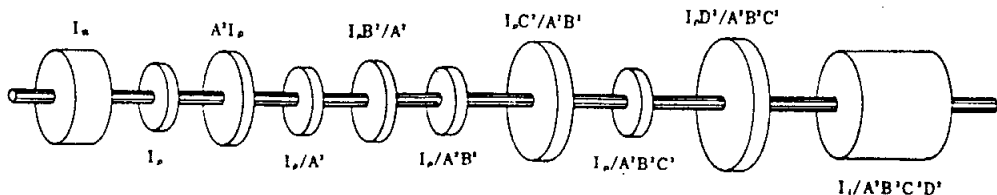
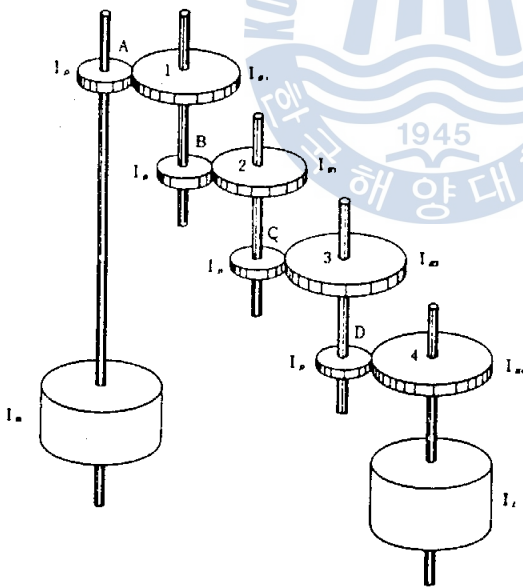


그림 1

모터축의 상당관성을 식으로 나타내어 보면

$$I_c = I_m + I_p + I_p \cdot A^2 + I_p/A^2 + B^2 I_p/A^2 + I_p/A^2 B^2 + C^2 I_p/A^2 B^2 + I_p/A^2 B^2 C^2 + D^2 I_p/A^2 B^2 C^2 + I_e/A^2 B^2 C^2 D^2 \quad \text{--- ②}$$

여기서 $R = A \cdot B \cdot C \cdot D$ --- ③ 라 놓으면

$$D = R/A \cdot B \cdot C \quad \text{--- ③}$$

③ 식을 ② 식에代入하면

$$I_c = I_m + (1 + A^2) I_p + \left(\frac{1}{A^2} + \frac{B^2}{A^2} \right) I_p + \left(\frac{1}{A^2 B^2} + \frac{C^2}{A^2 B^2} \right) I_p + \left(\frac{1}{A^2 B^2 C^2} + \frac{R^2}{A^4 B^4 C^4} \right) I_p + \frac{I_e}{R^2} \quad \text{--- ④}$$

④의식을 최소화 하기 위해 A, B, C 에 대해 각각 미분을 취하여 '0'으로 놓으면

$$\frac{\partial I_c}{\partial A} = \left(2A - \frac{2}{A^3} - \frac{2B^2}{A^3} \frac{2}{A^2 B^2} - \frac{2C^2}{A^3 B^2} - \frac{2}{A^3 B^2 C^2} - \frac{4R^2}{A^5 B^4 C^4} \right) I_p = 0$$

$$\frac{\partial I_c}{\partial B} = \left(\frac{2B}{A^2} - \frac{2}{A^2 B^3} - \frac{2C^2}{A^2 B^3} - \frac{2}{A^2 B^3 C^2} - \frac{4R^2}{A^4 B^5 C^4} \right) I_p = 0$$

$$\frac{\partial I_c}{\partial C} = \left(\frac{2C}{A^2 B^2} - \frac{2}{A^2 B^2 C^3} - \frac{4R^2}{A^4 B^4 C^5} \right) I_p = 0$$

로 된다.

따라서 윗세식으로부터 A, B, C 값을 구할수 있다.

기어열이 3단일 경우의 식은

$$I_e = I_m + I_p(1+A^2) + \left(\frac{1}{A^2} + \frac{B^2}{A^2}\right)I_p + \left(\frac{1}{A^2B^2} + \frac{R^2}{A^2B^4}\right)I_p + \frac{I_l}{R^2}$$

A, B 이 대해 각각 미분을 취하면

$$\frac{\partial I_e}{\partial A} = \left(2A - \frac{2}{A^3} - \frac{2B^2}{A^3} - \frac{2}{A^2B^2} - \frac{4R^2}{A^5B^4}\right)I_p = 0$$

$$\frac{\partial I_e}{\partial B} = \left(\frac{2B}{A^2} - \frac{2}{A^2B^2} - \frac{4R^2}{A^2B^5}\right)I_p = 0$$

에서 A, B 값을 구할수 있다.

$$\text{단 } R = A \cdot B \cdot C$$

$$C = \frac{R}{A \cdot B}$$

기어열이 2단일 경우의 식은

$$I_e = I_m + I_p(1+A^2) + I_p\left(\frac{1}{A^2} + \frac{R^2}{A^4}\right) + \frac{I_l}{R^2}$$

A 이 대하여 미분을 취하면

$$\frac{\partial I_e}{\partial A} = \left(2A - \frac{2}{A^3} - \frac{4R^2}{A^5}\right)I_p = 0$$

에서 A 값을 구하면 된다.

여기서 I_m = 모터의 관성

I_l = 부하의 관성

I_p = 지니언의 관성

A, B, C, D 기어비

I_g = 기어의 관성

R = 전체 감속비 ($R = A \cdot B \cdot C \cdot D$)

SYSTEM 구성

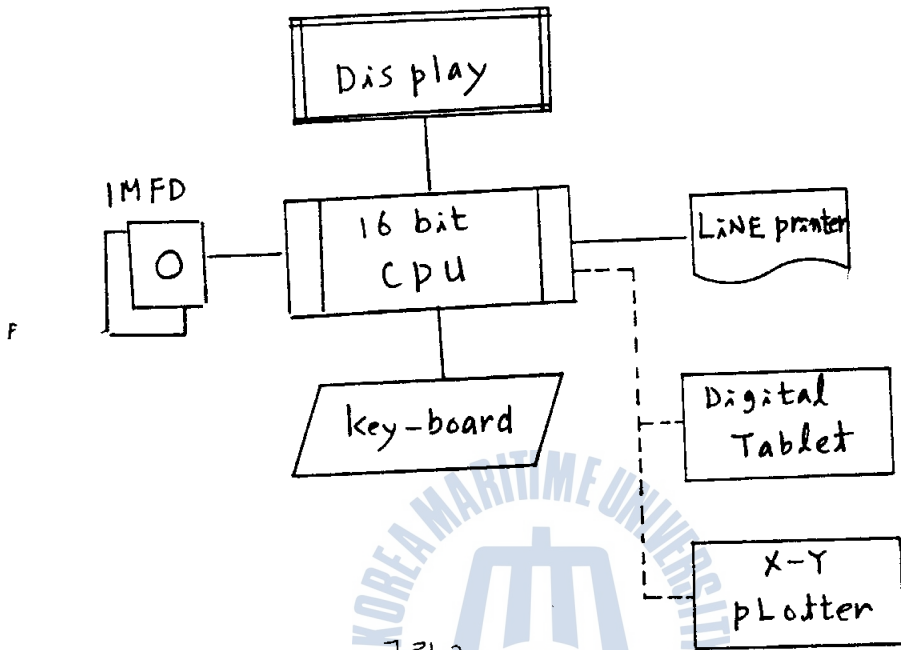


그림 2

본 연구를 수행하기 위한 기본 시스템 (Hardware) 은
 key-board, 16 bit 마이크로프로세서, 컬러디스플레이, PRINTER
 및 외부 메모리 (memory) 인 1Mbit FLOPY disk 와 driven
 로 구성되어 있다. (4)

PROGRAM 의 구성

최적관성 모수먼트를 구하는 Program을 설명하면
대략의 순서와 구성은 다음과같은 블록 다이어그램으로
나타낼수 있다.

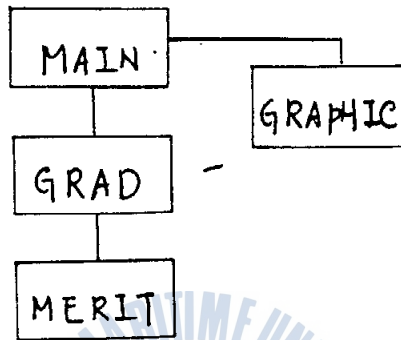
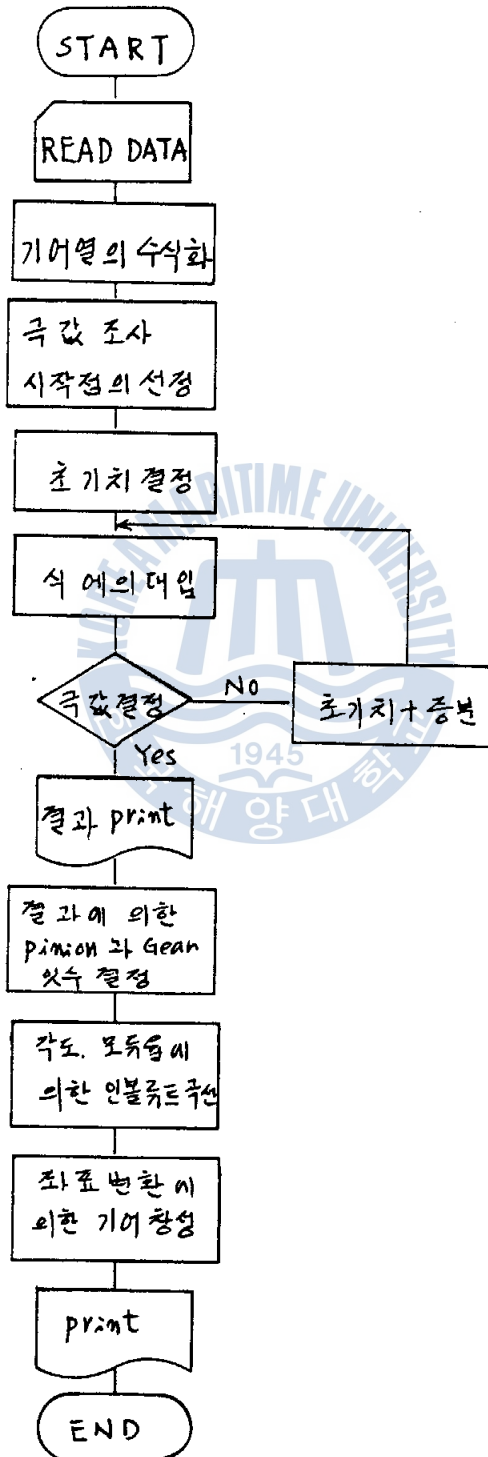


그림 3

- ⊙ MAIN 에서는 모든 입출력을 제어 한다.
- ⊙ GRAD 에서는 MERIT 에 있는 함수의 극값을 구하고, 반복 및 극값의 판정을 하여 결과를 나타낸다.
- ⊙ MERIT 에서는 기어열 에서의 함수식을 나타낸다.
- ⊙ GRAPHIC 에서는 구해진 최종결과로서 RATIO를 가지고 Pinion 과 Gear 의 잇수로 나타내어 Graphic 한 것이다. (5)

FLOW CHART



이때의 ΔP 는 그림 6으로 부터

$$\begin{aligned}\Delta P &= \frac{\partial P}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial P}{\partial x_2} \Delta x_2 \\ &= P_1 \cdot \Delta x_1 + P_2 \cdot \Delta x_2\end{aligned}$$

(a, b)로 부터 ($a + \Delta x_1, b + \Delta x_2$) 방향의 직선 기울기 S 는

$$S = \frac{\Delta P}{\sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2}} = \frac{P_1 \cdot \Delta x_1 + P_2 \cdot \Delta x_2}{\sqrt{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2}} \quad \text{로 된다.}$$

기울기 S 가 최대값을 갖기 위해선 다음 조건을

만족해야 한다 (이때의 $\Delta x_1, \Delta x_2$ 를 $\bar{\Delta x}_1, \bar{\Delta x}_2$ 라 하면)

$$\frac{\partial S}{\partial \Delta x_1} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial \Delta x_2} = 0$$

위의 관계로 부터

$$\bar{\Delta x}_2 = \frac{P_2}{P_1} \bar{\Delta x}_1$$

만일 x_1 방향으로 Δx_1 만큼 증가 하였을 경우
(즉 x_2 방향으로는 기울기를 고려치 않을때)

$P_2 = 0$ 가 되며, 따라서 $\Delta x_2 = 0$ 가 되어 가장
가파른 경은 x_1 방향으로 구해 갈수 있다.

最適 Gear 策의 選定

Input data 로서 全 기어열에 대하여

전체 감속비 $R=10$

모터의 관성 모멘트 $I_m = 10 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

모터 피니언의 관성 모멘트 $I_p = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

마지막 축에 관한 부하의 관성 모멘트 $I_L = 100 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

1) 4 단 기어열

OUTPUT DATA

EQUIVALENT INERTIA OF OPTIMAL GEAR TRAIN 16.8623 OPTIMAL GEAR RATIO FROM MOTOR TO LOAD

RATIO(S)= 1.59275

RATIO(S)= 1.64612

RATIO(S)= 1.78533

RATIO(S)= 2.13635

2) 3 단 기어열

OUTPUT DATA

EQUIVALENT INERTIA OF OPTIMAL GEAR TRAIN 17.4415 OPTIMAL GEAR RATIO FROM MOTOR TO LOAD

RATIO(S)= 1.74463

RATIO(S)= 2.02751

RATIO(S)= 2.82706

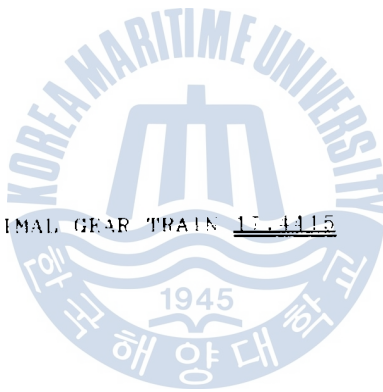
3) 2 단 기어열

OUTPUT DATA

EQUIVALENT INERTIA OF OPTIMAL GEAR TRAIN 20.9422 OPTIMAL GEAR RATIO FROM MOTOR TO LOAD

RATIO(S)= 2.43206

RATIO(S)= 4.11175



PINION Z1= 10

GEAR Z2= 16

PINION Z1= 10

GEAR Z2= 17



PINION Z1= 10

GEAR Z2= 18



PINION Z1= 10

GEAR Z2= 21



결 론

본 논문에서 사용한 PROGRAM은 INPUT 양이 적고
경제성을 고려한 PC를 사용하여 기어열을 4단, 3단, 2단으로
사용한 결과 상당히 정직한 결과가 나왔고
이것을 가지고 PAPER TAPE를 만들수 있는 방법을 고려하여
CAM과 연결 시킴으로써 現場에서
직접 사용 할수 있는 것으로 사료된다.
이와같은 효과로 기어열을 계산하는 작업이 단순화 되어
공수와 공기가 상당히 감소 될것으로
기대 된다.



참고 문헌

- (1) Groover Zimmers "CAD/CAM" PRENTICE HALL 1979
- (2) Pressman & Williams "Numerical control & Computer Aided Manufacturing" WILEY 1980
- (3) Nelson Wang "METHOD OF GEAR TRAIN RATIOS"
Wang Laboratories Programming Staff
- (4) 주식회사 타임 "月刊 機械設計" 1986. 11
- (5) 차명초 "도형처리공학" 이진사 1987
- (6) C.B Besant "Computer Aided Design and Manufacturing" Horwood, 1976



부 록

```

10 REM
20 DIM LOW(10),HIGH(10),X(10),P(10),Q(10),SPX(10),YY(10),SAVX(10),DELX(10)
25 DIM XA(10),YA(10),XZ(10),YZ(10),XZA(10),YZB(10)
30 READ RATIO,X1M,X1P,X1L,I1,I2,I3,DELTA,DMULT,EPS,F,MD,C,KX,KY,ST
35 DATA 10,10,1,100,4,1,1,0.1,1.2,0.0001,0.001,5,20,3,3,5
40 I1=I1-1
50 FOR I=1 TO I1
60 READ XLOW,XHIGH
70 LOW(I)=XLOW
80 HIGH(I)=XHIGH
90 NEXT I
95 DATA 1,3,1,3,1,3
100 GOSUB *GRAD
110 I1=I1+1
120 LPRINT "INPUT DATA"
130 LPRINT "NUMBER OF REDUCTION STEPS IN GEAR TRAIN":I1
140 LPRINT "ROTARY INERTIA OF MOTOR ARMATURE":X1M
150 LPRINT "ROTARY INERTIA OF MOTOR PINION":X1P
160 LPRINT "ROTARY INERTIA OF LOAD ON LAST SHAFT":X1L
170 LPRINT "OVERALL GEAR RATIO SPECIFIED":RATIO
180 LPRINT "OUTPUT DATA"
190 LPRINT "EQUIVALENT INERTIA OF OPTIMAL GEAR TRAIN":X1EQ;" OPTIMAL GEAR RATIO
FROM MOTOR TO LOAD"
200 FOR I=1 TO I1
210 XX=X(I)
220 LPRINT "RATIO(S)="XX
230 NEXT I
233 FOR D=1 TO I1
235 XX=X(D)
237 GOSUB *GRAPHIC
240 NEXT D
250 END
260 *GRAD
270 N1=0
280 N2=0
290 NN=0
300 FOR I=1 TO I1
310 SPX(I)=HIGH(I)-LOW(I)
320 NEXT I
330 IF I2 <=0 THEN 450 ELSE PRINT "CONVERGENCE"
340 ON I3 GOTO 350,380,420,450
350 FOR I=1 TO I1
360 X(I)=(LOW(I)+HIGH(I))/2
370 NEXT I
375 GOTO 450
380 FOR I=1 TO I1
390 X(I)=LOW(I)
400 NEXT I
410 GOTO 450
420 FOR I=1 TO I1
430 X(I)=HIGH(I)
440 NEXT I
450 YLD=-10^10
460 SAVY=YLD
470 REM CONDUCT SURVEY
480 SUM=0
490 IF N1-100*I1 <=0 THEN 560 ELSE 500
500 K=4
510 Y=SAVY
520 FOR I=1 TO I1
530 X(I)=SAVX(I)
540 NEXT I
550 GOTO 1270
560 J=0
570 N5=0
580 GOSUB *MERIT

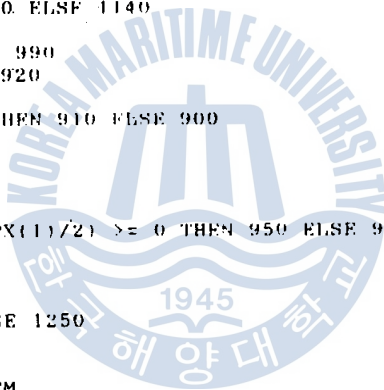
```



```

590 N1=N1+1
595 SAY=Y
600 IF SAVY-Y < 0 THEN 610 ELSE 650
610 SAVY=Y
620 FOR I=1 TO I1
630 SAVX(I)=X(I)
640 NEXT I
650 FOR I=1 TO I1
660 X(I)=X(I)+EPS
670 GOSUB *MERIT
680 N1=N1+1
690 YY(I)=Y
700 P(I)=(YY(I)-SAY)/EPS
710 SUM=SUM+P(I)^2
720 X(I)=X(I)-EPS
730 NEXT I
740 X(9)=SAVY
750 REM CONVERGENCE
760 IF I2=0 THEN 840 ELSE 770
770 N2=N2+1
780 IF N2-I2 = 0 THEN 790 ELSE 840
790 PRINT "N1=";N1;"DELTA=";DELTA;"Y=";SAY
795 N= I1+1
800 FOR J=1 TO N
810 PRINT "X(";I;")=";X(I)
820 NEXT I
830 N2=0
840 IF YLD-SAY < 0 THEN 850 ELSE 1140
850 DELTA=DELTA*DMULT
860 IF SUM=0 THEN 870 ELSE 990
870 IF NN=0 THEN 880 ELSE 920
880 X(1)=X(1)+EPS
890 IF X(1)-HIGH(1) <= 0 THEN 910 ELSE 900
900 X(1)=X(1)-Z*EPS
910 GOTO 480
920 J7=0
930 FOR I=1 TO I1
940 IF ABS(DELTA)-ABS(F*SPX(1)/Z) >= 0 THEN 950 ELSE 960
950 J7=J7+1
960 DELX(I)=EPS
970 NEXT I
980 IF J7 = 0 THEN 1270 ELSE 1250
990 DEM=SQR(SUM)
1000 FOR I=1 TO I1
1010 DELX(I)=P(I)*DELTA/DEM
1020 X(I)=X(I)+DELX(I)
1030 NEXT I
1040 YLD=SAVY
1050 FOR I=1 TO I1
1060 IF X(I)-LOW(1) < 0 THEN 1070 ELSE 1090
1070 N5=N5+1
1080 X(I)=LOW(1)
1090 IF X(I)-HIGH(1) > 0 THEN 1100 ELSE 1120
1100 N5=N5+1
1110 X(I)=HIGH(1)
1120 NEXT I
1130 GOTO 480
1140 J6=0
1150 YLD=SAVY
1160 Y=SAVY
1170 FOR I=1 TO I1
1180 X(I)=SAVX(I)
1190 NEXT I
1200 FOR I=1 TO I1
1210 IF ABS(DELTA)-ABS(F*SPX(1)/Z) >= 0 THEN 1220 ELSE 1230
1220 J6=J6+1
1230 NEXT I
1240 IF J6=0 THEN 1270 ELSE 1250
1250 DELTA=DELTA/10
1260 GOTO 860
1270 IF Y-SAVY < 0 THEN 1280 ELSE 1320
1280 Y=SAVY
1290 FOR I= 1 TO I1
1300 X(I)=SAVX(I)
1310 NEXT I

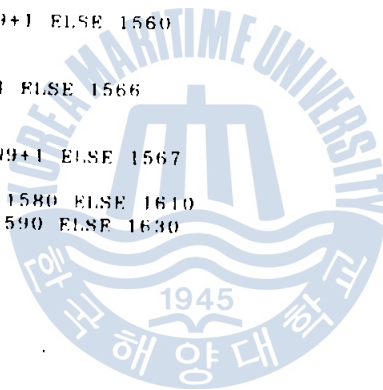
```




```

1320 GOSUB *MERIT
1325 SAT=Y
1330 N1=N1+1
1340 FOR I=1 TO 11
1350 B=F*SPX(I)/2
1360 X(I)=X(I)+B
1370 GOSUB *MERIT
1380 N1=N1+1
1390 P(I)=(Y-SAT)/B
1400 X(I)=X(I)-B
1410 NEXT I
1420 FOR I=1 TO 11
1430 X(I)=X(I)-B
1440 GOSUB *MERIT
1450 N1=N1+1
1460 Q(I)=(SAT-Y)/B
1470 X(I)=X(I)+B
1480 NEXT I
1490 IF 4-K <> 0 THEN 1500 ELSE 1610
1500 N8=0 :N9=0
1510 FOR I=1 TO 11
1520 IF P(I) < 0 THEN 1530 ELSE 1550
1530 N8=N8+1
1540 GOTO 1560
1550 IF P(I) = 0 THEN N9=N9+1 ELSE 1560
1560 NEXT I
1561 FOR I=1 TO 11
1562 IF Q(I) > 0 THEN 1564 ELSE 1566
1564 N8=N8+1
1565 GOTO 1567
1566 IF Q(I) = 0 THEN N9=N9+1 ELSE 1567
1567 NEXT I
1570 IF N9-2*11 <> 0 THEN 1580 ELSE 1610
1580 IF N8-2*11 = 0 THEN 1590 ELSE 1630
1590 K=2
1600 GOTO 1640
1610 K=3
1620 GOTO 1640
1630 K=1
1640 GOSUB *MERIT
1650 N1=N1+1
1660 IF I2=0 THEN 1810 ELSE 1670
1670 LPRINT "LARGEST MERIT ORDINATE";Y
1680 LPRINT "NUMBER OF FUNCTION EVALUATION";N1
1690 LPRINT "FINAL SEARCH STEP SIZE";DELTA
1700 LPRINT "STEP SIZE GROWTH MULTIPLIER";DMULT
1710 LPRINT "SURVEY PATTERN INCREMENT";EPS
1720 LPRINT "FRACTIONAL REDUCTION IN INTERVAL OF UNCERTAINTY";F
1730 LPRINT "SPECIE OF LARGEST MERIT ORDINATE";K
1740 JJ=0
1750 FOR I=1 TO 11
1760 JJ=JJ+1
1770 LPRINT "X(";JJ;")=";X(I);;"P(";JJ;")=";P(I);;"Q(";JJ;")=";Q(I)
1780 NEXT I
1790 ON K GOTO 1800,1820,1810
1800 LPRINT "MERIT EXTREME IS AN EXTREMUM"
1810 RETURN
1820 LPRINT "MERIT EXTREME IS A MAXIMUM"
1830 RETURN
1840 LPRINT "MERIT IS A PLATEAU"
1850 RETURN

```



```

1860 REM
1870 *MERIT
1890 PRD=1
1900 SUN=0
1910 BOTTOM=1
1920 FOR L=1 TO 11
1930 PRD=PRD*X(L)
1940 NEXT L
1950 M=I+1
1960 X(M)=RATIO/PRD
1980 FOR L=2 TO M
1990 TOP=X(L)^2+1
2000 BOTTOM=BOTTOM*X(L-1)^2
2010 SUN=SUN+TOP/BOTTOM
2020 NEXT L
2030 XIEQ=XIM+XIP*(1+X(1)^2)+XIP*SUN+XIL/RATIO^2
2040 Y=1/XIEQ
2050 RETURN
2060 *GRAPHIC
2070 REM GEAR
2080 SCREEN 3:CLS 3
2090 CONSOLE 0,25,0
2100 Z1=10
2110 Z2=INT(Z1*(XX+.055))
2160 CLS 1
2170 REM -----
2390 SA=0 : E=360 : PI=3.14159 : A=C/180*PI
2620 REM -----
2625 LPRINT TAB(10);"PINION Z1="Z1;TAB(50);"GEAR Z2=";Z2
2630 FOR GR=SA TO E STEP ST
2640 TH=GR/180*PI
2650 CS=COS(TH) : SN=SIN(TH) : TN=TAN(TH)
2660 XO=Z1*MD/2*CS*(TN-TH)
2665 X01=Z2*MD/2*CS*(TN-TH)
2670 YO=-Z1*MD/2*(CS+TH*SN-1)
2675 Y01=-Z2*MD/2*(CS+TH*SN-1)
2680 ZNA=INT(GR/360*Z1) : ZNB=INT(GR/360*Z2)
2690 FOR I= ZNA-1 TO ZNA+1
2700 CYC=PI*MD*I
2710 GOSUB *VERS
2720 GOSUB *WERS
2730 FOR J=0 TO 3
2740 LINE(XZ(J),YZ(J))-(XZ(J+1),YZ(J+1))
2745 NEXT J
2750 NEXT I
2752 FOR I=ZNB-1 TO ZNB+1
2753 CYC=PI*MD*I
2756 FOR J=0 TO 3
2757 LINE(XZA(J),YZB(J))-(XZA(J+1),YZB(J+1))
2758 NEXT J
2759 NEXT I
2760 NEXT GR
2770 VIEW(0,0)-(639,399)
2775 COPY 2
2780 RETURN
2790 *VERS
2800 REM -----
2810 XA(0)=CYC : YA(0)=-MD
2820 XA(1)=2.25*MD*TAN(A)+CYC : YA(1)=1.25*MD
2830 XA(2)=PI*MD/2-.25*MD*TAN(A)+CYC : YA(2)=1.25*MD
2840 XA(3)=PI*MD/2+2*MD*TAN(A)+CYC : YA(3)=-MD
2850 XA(4)=PI*MD+CYC : YA(4)=-MD
2860 RETURN
2870 *WERS
2880 REM-----
2890 FOR N=0 TO 4
2900 XZ(N)=KX*(XA(N)*CS-YA(N)*SN+Y0)+100
2910 YZ(N)=KY*(XA(N)*SN+YA(N)*CS+Y0)+130-Z*MD/2*KY
2920 NEXT N
2921 REM -----
2922 *XERS
2923 FOR N=0 TO 4
2925 XZA(N)=KX*(XA(N)*CS-YA(N)*SN+X01)+430
2927 YZB(N)=KY*(XA(N)*SN+YA(N)*CS+Y01)+70-Z*MD/2*KY
2929 NEXT N
2930 RETURN

```

