เอกสารอ้างอิง

1. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ "อากาศพลศาสตร์ของกังหันลมแนวนอน" วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2529 หน้า 51-57
2. สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ "รูปร่างของกังหันลมแนวนอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในเชิงอากาศพลศาสตร์" วิศวกรรมสาร ปีที่ 39 เล่มที่ 4 สิงหาคม 2529 หน้า 83-87
3. Wilson, R.E., Lissaman, P.S. "Applied Aerodynamics of Wing Power Machines" Oregon State University, July 1974.
4. Wilson, R.E., Lissaman, P.S., and Walker, S.N., "Aerodynamic Performance of Wind Turbine" Oregon State University, June 1976.
5. Wilson, R.E., Patton, E.M., "Design Analysis of Performance and Aerodynamic Loading of Non-Flexible Horizontal Axis Wind Turbine", Oregon State University, August 1978.
6. Niley, S.J., "A Catalog of Low Reynolds Number Airfoil Data for Wind Turbine Applications", Texas A&M University.
7. Jansen, W.A.M., and Smulders, "Roter Design for Horizontal Axis Windmills", Steering Committee for Wind Energy in Developing Countries.

8. คณิต ถิรวณิชย์ "สมรรถนะของโรเตอร์กังหันลมที่ใช้ในประเทศไทย คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ตุลาคม 2529

9. วินัย พรหมอินทร์ และคณะ "กังหันลมผลิตไฟฟ้า 3 ใบ ระยะที่ 2" คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, เมษายน 2528

10. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ "โครงการวิจัยและพัฒนาการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลม", สิงหาคม 2528

11. Frank, R. Eldride "Wind Machines" second edition Van Nostrand Reinhold Company, 1980.

12. Danie Hunt, V. "Wind Power" A Handbook on Wind Energy Conversion Systems. Van Nostrand Reinhold Company, 1981.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการหาผลเฉลยของค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดรูปร่างของใบกังหัน ($c, C_L/R$ และ ϕ) ในแต่ละตำแหน่งที่พิจารณาบนใบกังหันตลอดความยาวใบ โปรแกรมดังกล่าวเขียนด้วยภาษา Fortran 77 ซึ่ง run บน Personal Computer

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก-1 รายละเอียดของโปรแกรม

โปรแกรมนี้จะทำการคำนวณหาค่า กำลังงานสูงสุดในแต่ละตำแหน่งบนใบกังหัน จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์กำลังงาน โดยวิธี Trapezoidal rule โดยมีรายละเอียดในส่วนต่าง ๆ ดังนี้

รายละเอียดของค่า INPUT ต่าง ๆ ในโปรแกรม

I = ค่าอัตราส่วนของรัศมีใบพัด (I=r/R) ในแต่ละ sub-station

B = จำนวนใบ

A = แฟคเตอร์เหนี่ยวนำตามแกน

X = อัตราส่วนความเร็วปลายใบ

รายละเอียดของค่า OUTPUT ที่ได้

AA = แฟคเตอร์เหนี่ยวนำเชิงมุม (Angular Induction Factor)

DELTA = มุมรวมของอากาศที่ส่วนของใบกังหัน (Flow Angle)

EF = แฟคเตอร์การสูญเสียปลายใบ (Tip loss Factor)

FN = กำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนใบกังหัน (Power at Each Station)

CCL = รูปร่างของใบกังหัน (Blade Geometry)

CPMAX = สัมประสิทธิ์กำลังงาน (Power coefficient)

รายละเอียดตรรกะของโปรแกรม

เริ่มต้นโปรแกรมจะกำหนดค่าให้กับตัวแปรต่าง ๆ ที่จะใช้ในการคำนวณ เช่น PI = 3.14159, I = Ø.1 ฯลฯ หลังจากนั้นทำการพิมพ์หัวกระดาษ และทำการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

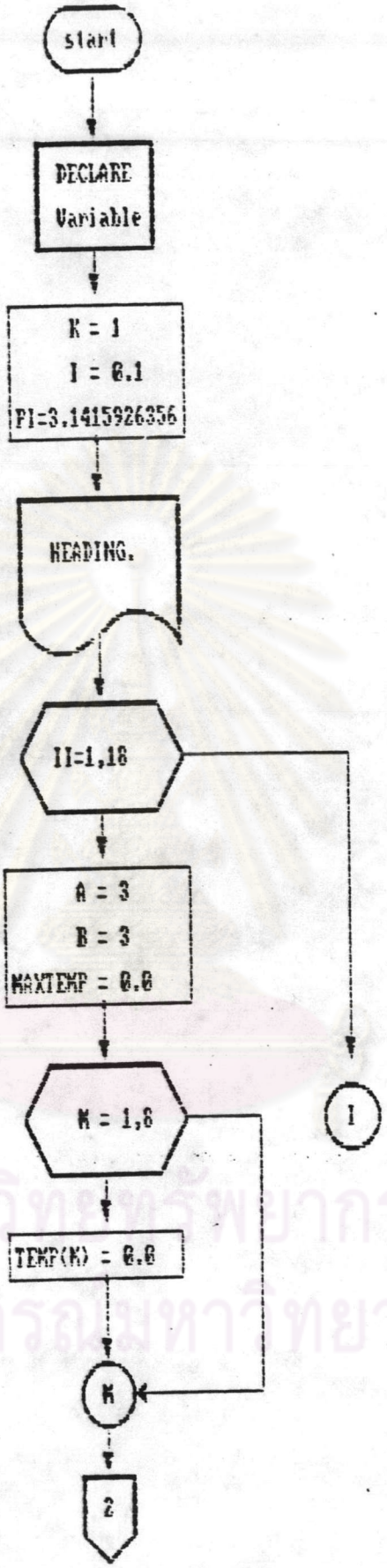
A เริ่มต้นหาค่า FN ในแต่ละ Station ของ I ที่เปลี่ยนแปลง โดยเริ่มต้นที่ค่า I = Ø.1 เมื่อเสร็จสิ้นในวนรอบนี้แต่ละครั้งจะได้ค่า FN ที่ I ต่าง ๆ กัน คือที่ I = Ø.1 ถึง I = Ø.95 ถ้า I น้อยกว่า Ø.95 จะลงมาที่ B แล้ววนมาทำที่ A ใหม่ ถ้า I มากกว่า Ø.95 จะไปที่ C

B คำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้แก่ค่า XI, AA, DELTA, EP, FN, COL ซึ่งค่าเหล่านี้ จะแตกต่างกันไปตามแต่ค่า A ที่เปลี่ยนไปโดยค่า A เริ่มต้นที่ A = Ø.3 ถึง Ø.4 โดยค่า A จะเพิ่มขึ้นทีละ Ø.ØØ1 ดังนั้น จะมีการวนรอบในขั้นตอนนี้ทั้งหมด 1Ø1 รอบ และในแต่ละรอบจะมีการเปรียบเทียบค่า FN เพื่อหาค่า FN ที่มากที่สุดไว้คำนวณหาค่า CPMAX ถ้าค่า A มากกว่า Ø.4 จะไปทำขั้นตอน A ถ้าน้อยกว่าจะยังคงทำขั้นตอน B

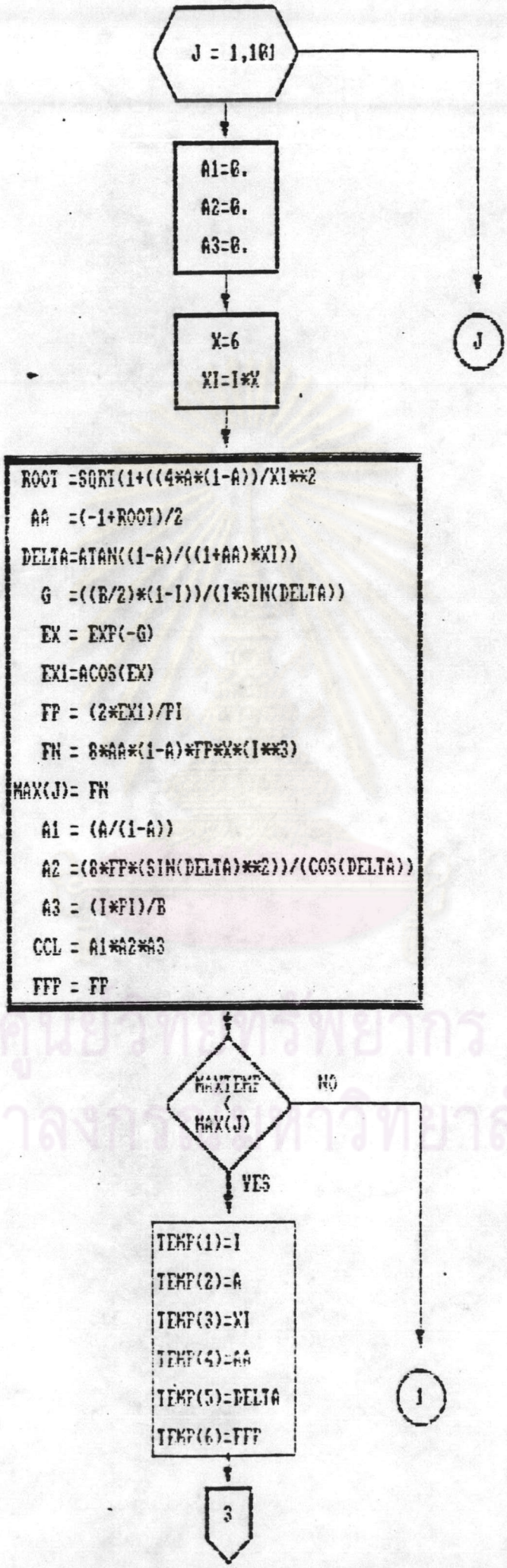
C คำนวณหาค่า CPMAX จากสูตร และพิมพ์ค่าผลเฉลย (OUTPUT) ที่ต้องการออกมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

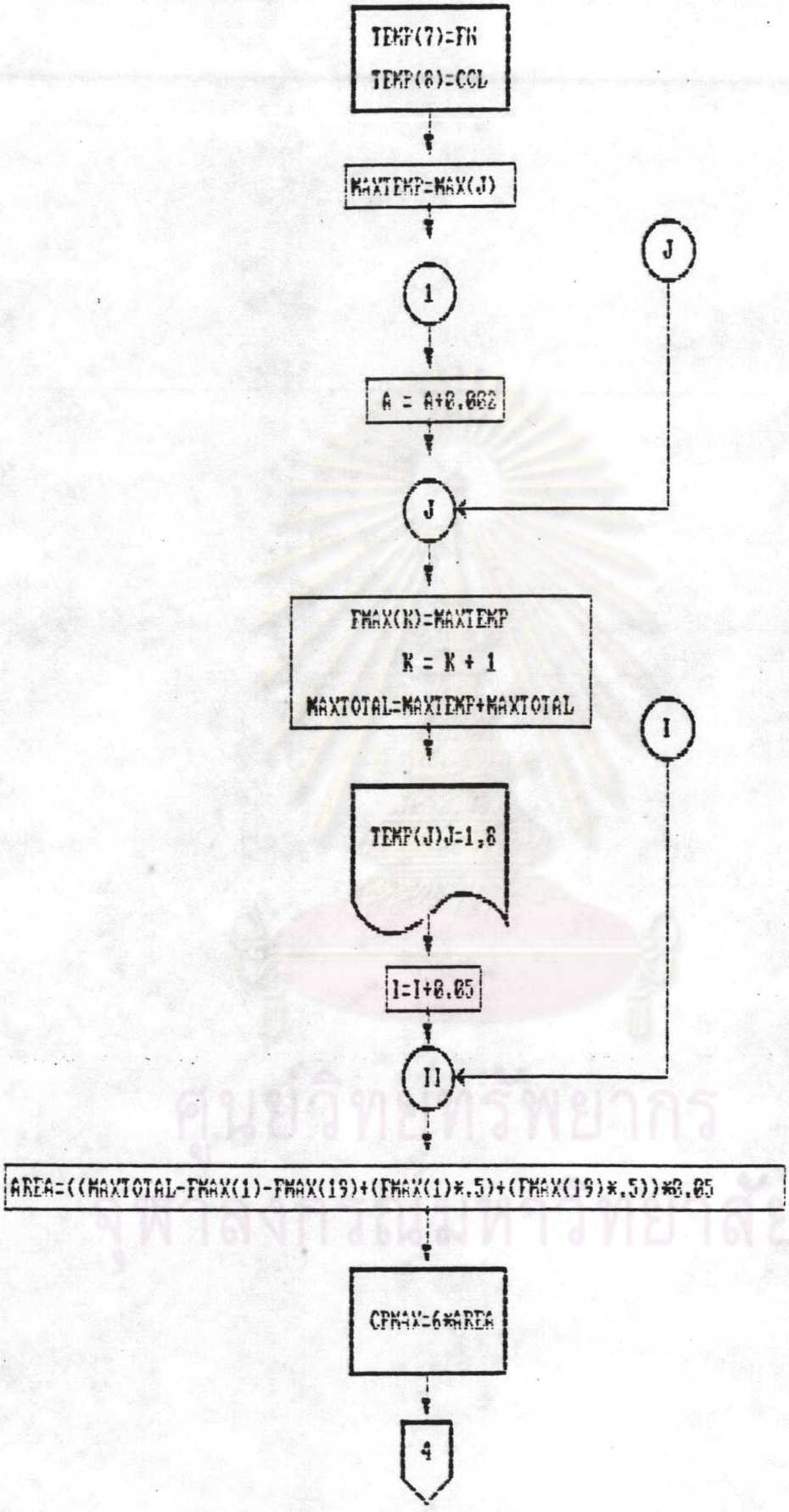
Program Flowchart

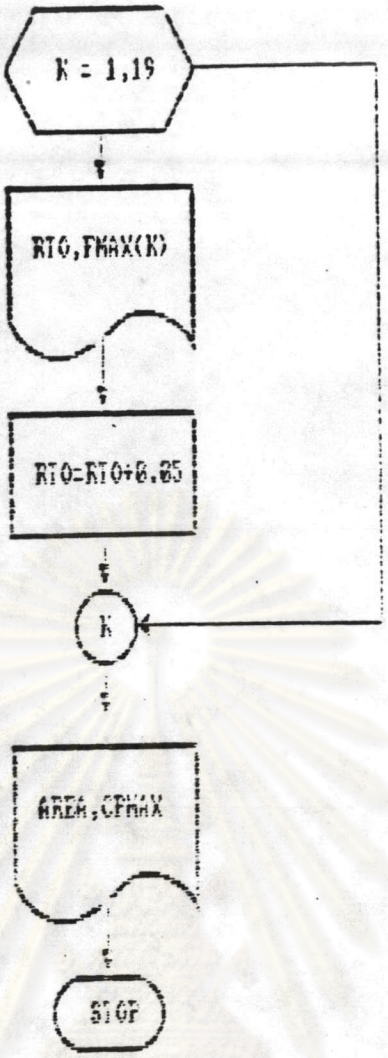


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


TEMP(7)=FN
TEMP(8)=CCL
MAXTEMP=MAX(J)
1
J
A = A+0.002
J
FMAX(K)=MAXTEMP
K = K + 1
MAXTOTAL=MAXTEMP+MAXTOTAL
I
TEMP(J)J=1,8
I=I+0.05
II
AREA=((MAXTOTAL-FMAX(1)-FMAX(19)+(FMAX(1)*.5)+(FMAX(19)*.5))*0.05
CPMAX=6*AREA
4



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Program Listing

```
      PROGRAM CALCULATE1
      DIMENSION MAX(120),TEMP(8),FMAX(19)
      REAL I
      DOUBLE PRECISION PI,A1,A2,A3,ROOT,AA,DELTA,G,EX,EX1,FP,FN,CCL,
     1                 MAX,MAXTEMP,FMAX,MAXTOTAL,AREA,CPMAX
      MAXTOTAL=0.
      K=1
      PI=3.1415926356
      I=0.1
C     ************************************************************
C     WRITE HEADING OF TABLE PARTITION
C     ************************************************************
      WRITE(6,10)
      WRITE(6,15)
      WRITE(6,20)
      WRITE(6,25)
      WRITE(6,55)
      WRITE(6,35)
      WRITE(6,40)
      WRITE(6,45)
      WRITE(6,50)
      WRITE(6,55)
C     ************************************************************
C     CALCULATE EQUVATION VALUE PARTITION
C     ************************************************************
      DO 200 II=1,18
      A=.3
      B=3.
      MAXTEMP=0.0
      DO 250 M=1,8
      TEMP(M)=0.0
  250 CONTINUE
      DO 300 J=1,101
      A1=0.
      A2=0.
      A3=0.
      X=6
      X1=I*X
      ROOT=SQRT(1+((4*A*(1-A))/X1**2))
      AA=(-1+ROOT)/2
```

```
      DELTA=DATAN((1-A)/((1+AA)*XI))
      G=((B/2)*(1-I))/(I*DSIN(DELTA))
      EX=DEXP(-G)
      EX1=DACOS(EX)
      FP=(2*EX1)/PI
      FN=8*AA*(1-A)*FP*X*(I**3)
      MAX(J)=FN
      A1=(A/(1-A))
      A2=(8*FP*(DSIN(DELTA)**2))/(DCOS(DELTA))
      A3=(I*PI)/B
      CCL=A1*A2*A3
      FFP=FP
      IF (MAXTEMP.LT.MAX(J)) THEN
          TEMP(1)=I
          TEMP(2)=A
          TEMP(3)=XI
          TEMP(4)=AA
          TEMP(5)=DELTA
          TEMP(6)=FFP
          TEMP(7)=FN
          TEMP(8)=CCL
          MAXTEMP=MAX(J)
      ENDIF
      A=A+.001
  300 CONTINUE
C     ************************************************************
C     FIND MAXIMUM Fn VALUE PARTITION
C     ************************************************************
      FMAX(K)=MAXTEMP
      K=K+1
      MAXTOTAL=MAXTEMP+MAXTOTAL
      WRITE(6,70) TEMP(1),TEMP(2),TEMP(3),TEMP(4),TEMP(5),TEMP(6),
     -            TEMP(7),TEMP(8)
      I=I+.05
  200 CONTINUE
      WRITE(6,55)
      AREA=((MAXTOTAL-FMAX(1)-FMAX(19))+(FMAX(1)*.5)+(FMAX(19)
     -      *.5))*0.05
      CPMAX=6*AREA
      WRITE(6,100)
```

```
      WRITE(6,105)
      RTO=.1
      DO 500 K=1,19
      WRITE(6,110) RTO,FMAX(K)
      RTO=RTO+0.05
  500 CONTINUE
      WRITE(6,120)
      WRITE(6,130)
      WRITE(6,150) AREA
      WRITE(6,160) CPMAX
C     ****************************************************
C     FORMAT STATEMENT
C     ****************************************************
   10 FORMAT(1H1,'tip speed ratio  :   6')
   15 FORMAT(1H ,'starting  r/R  :   0.1      starting  a  :    0.2')
   20 FORMAT(1H ,'step size      :  0.05      step size  :   0.001')
   25 FORMAT(1H ,'ending  :          0.95      ending  :.       0.4')
   35 FORMAT(1H ,7X,'Axial',13X,'Angular',2X,'Flow')
   40 FORMAT(1H ,1X,'r/R',1X,'Induction',2X,'Local',3X,'Induction',1X,
     -       'Angle',1X,'Tip loss',3X,'Power At',5X,'Blade')
   45 FORMAT(1H ,6X,'Factor',3X,'Tipspeed',2X,'Factor',3X,
     -       '(Rad)',2X,'Factor',2X,'Each Station',2X,'Geometry')
   50 FORMAT(1H ,2X,'I',6X,'A',8X,'x',8X,'AA',5X,'FEE( )',
     -       4X,'F',10X,'Ps',8X,'cCL/R')
   55 FORMAT(1H ,72('-'))
   70 FORMAT(1H0,F4.2,3X,F5.3,4X,F3.1,4X,F8.6,2X,F6.4,1X,F7.5,2X,
     -       F12.10,1X,F9.7)
  100 FORMAT(1H1,'CONCLUSION:- From Recent Table (Tip Speed Ratio=6)'
     -       ,1X,'We Can Evaluate The')
  105 FORMAT(1H ,'              Value Of F At Different Value.Of r/R By')
  110 FORMAT(1H0,10X,'r/R = ',F4.2,10X,'F',' = ',F12.10)
  120 FORMAT(1H0,'Find Power Coefficient By Trapezoidal Rule')
  130 FORMAT(1H0,5X,'CP = X * AREA')
  150 FORMAT(1H0,8X,'= 6*[',F12.10,']')
  160 FORMAT(1H0,8X,'= ',F0.4)
      STOP
      END
```

ภาคผนวก ข

โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำนายสมรรถนะของกังหันลมแกนนอน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นโปรแกรมที่ดัดแปลงจาก โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาโดย Wilson [4] เพื่อให้สามารถใช้กับ Personal Computer ได้ โปรแกรมนี้ถูกเขียนด้วยภาษา Fortran 77 เพื่อทำการทำนายสมรรถนะของกังหันลมแกนนอน นอกเหนือจากตัวโปรแกรมแล้ว ยังมีอีก 2 ส่วน ที่น่าจะพิจารณา คือ การป้อนข้อมูลเข้า (input) และผลเฉลย (Output)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข-1 รายละเอียดของโปรแกรมหาสมรรถนะของกังหันลมแนวนอน

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของตัวโปรแกรม จะกล่าวถึงรายละเอียดของส่วนการป้อนข้อมูลเข้า (Input) และผลเฉลย (Output)

ส่วนการป้อนข้อมูลเข้าโปรแกรมนี้จะประกอบด้วยพารามิเตอร์ (parameters) ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

B = จำนวนใบ

BCRR = อัตราส่วนของขนาดความกว้างต่อความยาว ของใบกังหันที่ตำแหน่งโคนใบคูณด้วยจำนวนใบของใบกังกัน (Bc/R)

EM = ค่าความลาดเอียงของเส้นสัมประสิทธิ์แรงยก

AST = ค่ามุมสตอล์, องศา

CD ZERO= ค่าสัมประสิทธิ์แรงหน่วงต่ำสุด

CL MAX = ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงสุด

AL = มุมปะทะที่สัมประสิทธิ์แรงยกมีค่าเป็นศูนย์, องศา

SI = มุมเอียงของใบ (Coning Angle), องศา

PITCH = มุมบิดของใบกังหันที่เปลี่ยนแปลง (Pitch Angle), องศา

BETA ROOT= ค่าของมุมบิดที่โคนใบกังหัน, องศา

DBETA = ค่าความแตกต่างระหว่างมุมบิดที่มีค่าเริ่มเปลี่ยนกับมุมบิดที่ปลายใบ

RT = ตำแหน่งบนใบกังหันที่มีมุมบิดเริ่มเปลี่ยน (r/R)

$$= \frac{r_{\text{twist change}}}{R}$$

DCND = ค่าความแตกต่างระหว่างขนาดความกว้างของใบกังหันที่มีค่าเริ่มเปลี่ยนกับขนาดความกว้างของปลายใบกังหัน

$$= \frac{C_{\text{chord change}} - C_{\text{tip}}}{R}$$

RC = ตำแหน่งบนใบกังหัน (rc/R) ที่ค่า c เริ่มเปลี่ยน

$$= \frac{r_{\text{chorc change}}}{R}$$

RH = อัตราส่วนระหว่างความยาวใบที่ตำแหน่งโคนใบต่อความยาวใบ

$$= \frac{r_{hub}}{R}$$

ผลเฉลย

ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะมีผลเฉลยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

X = อัตราส่วนความเร็วปลายใบ, $R\Omega / V_\infty$

XL = อัตราส่วนความเร็วปลายใบที่ตำแหน่งพิจารณา

A = แฟคเตอร์เหนี่ยวนำ

CP = สัมประสิทธิ์กำลังงาน

CT = สัมประสิทธิ์ของแรงทรัสท์

PHI = มุมรวมของใบกังหัน (ϕ) ระหว่างระนาบของกังหันลมกับความเร็วรวมของอากาศ, องศา

BETA = มุมบิดของใบกังหัน ที่ตำแหน่งที่พิจารณา (β), องศา

ALPHA = มุมปะทะในจุดตำแหน่งที่พิจารณา (α), องศา

CL = ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงยก ที่ตำแหน่งที่พิจารณา

CD = ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงหน่วง ที่ตำแหน่งที่พิจารณา

BCR = ค่าอัตราส่วนความกว้างของใบกังหัน กับความยาวของใบกังหันคูณด้วยจำนวนใบกังหัน

อัตราส่วนความเร็วปลายใบตำแหน่งที่พิจารณา, $r\Omega / V_\infty$ เป็นตัวแปรอิสระ ค่าของ $r\Omega / V_\infty$ นี้จะลดลงจนกระทั่งเท่ากับ ค่า $r\Omega / V_\infty$ ที่ตำแหน่งของดุมใบ (Hub) ผลที่ได้คือ ค่า C_P , C_T

การวิเคราะห์

โปรแกรมนี้อยู่ภายใต้ข้อสมมุติฐานที่ว่า ไม่คิดค่าของแฟคเตอร์เหนี่ยวนำเชิงมุม ($a' = 0$) และในการหาค่าของแฟคเตอร์เหนี่ยวนำตามแนวแกน, a นั้นจะหาค่าได้จาก 6 สมการ ที่สอดคล้องกับมุมปะทะของแพนอากาศ (Airfoil) และสัมประสิทธิ์แรงยก คือ

กรณีที่ 1

$$C_L = 2\pi m \sin(\alpha + \alpha_{L_0}) \qquad \alpha < \alpha_{C_{L\ MAX}}$$

กรณีที่ 2

$$C_L = C_{L\ MAX} \qquad \alpha_{C_{L\ MAX}} < \alpha < \alpha_{stall}$$

กรณีที่ 3

$$C_L = \frac{C_{L\ MAX} \sin(60 - \alpha)}{\sin(60 - \alpha_{stall})} \qquad \alpha_{stall} < \alpha$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับกรณีที่ 1 สมการที่ได้คือ

ให้

$$B1 = 4 + (BcmX/R)\ \cos\varphi \cos(\beta - \alpha_{Lo})$$

$$C1 = (BcmX/R)\cos\varphi\ [\cos(\beta - \alpha_{Lo}) - x \sin(\beta - \alpha_{Lo})]$$

ถ้า

$$(B1)^2 > 16\ C1$$

$$a = \frac{B1 - \sqrt{(B1)^2 - 16\ C1}}{8} \qquad (1)$$

หรือถ้า

$$(B1)^2 < 16\ C1, \qquad \text{ให้ } B2 = 8 - B1$$

ดังนั้น

$$a = \frac{B2 - \sqrt{(B2\emptyset^2 + 16\ C1}}{8} \qquad (2)$$

สำหรับกรณีที่ 2 สมการควอเดรติดที่ได้ คือ

$$a^2 - a + (BcxX/8\pi R)C_{L\ MAX}\ \cos\varphi\sqrt{1 + [(1 - a)^2 / x^2]} = \emptyset$$

ดังนั้น

$$a = 1/2\ \{1 - \sqrt{1 - (BcxX/2\pi R)C_{L\ MAX}\ \cos\varphi\ \sqrt{1 + [(1-a)^2/x^2]}}\} \qquad (3)$$

หรือเมื่อ

$$(BcxX/2\pi R)C_{L\ MAX}\ \cos\varphi\ \sqrt{1 + [(1 - a)^2/x^2]} > 1$$

จะได้

$$a = 1/2\ \{1 + \sqrt{1 + (BcxX/2\pi R)C_{L\ MAX}\ \cos\varphi\ \sqrt{1 + [(1 - a)^2/x^2]}}\} \qquad (4)$$

สำหรับกรณีที่ 3 เมื่อ $\alpha > \alpha_{stall}$

ค่า a คือ

$$a = \frac{1 - (K/4) - \sqrt{(1 - (K/4)^2 - M}}{2} \qquad (5)$$

ให้

$$K = \frac{(XBc/2\pi R)\, C_{L\ MAX} \cos\varphi \cos(60 + \beta)}{\sin(60 - \alpha stall)}$$

และ

$$M = \frac{(XBc/2\pi R)\, C_{L\ MAX} \cos\varphi\, [X\sin(60+\beta) - \cos(60+\beta)]}{\sin(60 - \alpha stall)}$$

ถ้า

$$M > [1 + (K/4)]^2$$

จะได้

$$a = \frac{[1 - (K/4)] + \sqrt{[1 - (K/4)^2 - M}}{2} \qquad (6)$$

สัมประสิทธิกำลังงาน และสัมประสิทธิของแรงธรัสท์ คือ

$$C_P = (\cos^3\varphi / \pi X) \int_{X_{hub}}^{X} (Bc/R) \sqrt{1 + [(1-a)/x]^2}\, [(1-a)C_L - xC_D]\, x^2 dx$$

และ

$$C_T = (\cos^3\varphi / \pi X) \int_{X_{hub}}^{X} (Bc/R) \sqrt{1 + [(1-a)/x]^2}\, [xC_L + (1-a)C_D]\, x dx$$

ตรรกะของโปรแกรม

เริ่มต้นที่ค่า a = Ø, ตั้งค่า X = 3, การคำนวณ, พิมพ์หัวกระดาษ และอื่น ๆ

1 XL = X - x

A คำนวณหา BCR ที่ตำแหน่งที่พิจารณา

คำนวณหา มุมบิดที่ตำแหน่งที่พิจารณา

คำนวณหา a จากสมการ 1 และ 2

คำนวณหา ϕ

คำนวณหา α

คำนวณหา C_L

ถ้า $C_L > C_{L\ MAX}$ ทำต่อไป, ถ้าไม่ใช่ ให้ไปทำที่ c

ถ้า $\alpha > \alpha stall$, ไปทำที่ B, ถ้าไม่ใช่, ทำต่อไป

ทำย้อนกลับไปกลับมา 3 ครั้ง

คำนวณหา a จากสมการ 3 และ 4

คำนวณหา ϕ

คำนวณหา α

ถ้า $\alpha > \alpha stall$, ทำต่อไป, ถ้าไม่ใช่, ไปทำที่ c

B คำนวณหา a จากสมการ 5 และ 6

คำนวณหา ϕ

คำนวณหา α

คำนวณหา C_L

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

C คำนวณหา C_D จากสมการ

คำนวณหา C_P

คำนวณหา C_T

ลดค่า XL ครั้งละ x

ถ้า XL เท่ากับค่าที่ดุมใบกังหัน, พิมพ์ผลของ C_P และ C_T, นอกเหนือจากนี้, ให้กลับไปทำที่ A

XL เท่ากับค่าที่ดุมใบกังหัน, บวก 1 ถึง X

ถ้า X มีค่าน้อยกว่าค่า X สูงสุด, ไปทำที่ 1,

นอกเหนือจากนี้จะหยุด

เมื่อเริ่ม run โปรแกรม เครื่องจะถามค่าอินพุท ค่าของมุมต่าง ๆ ที่อินพุทมีหน่วยเป็นองศาซึ่งโปรแกรมจะเปลี่ยนเป็นเรเดียนให้เรียบร้อย ซึ่งค่าอินพุทเหล่านี้ คือ

BCRR = Bc/R ที่ตำแหน่งโคนใบ

BBTA = $(\beta_{\text{twist change}} - \beta_{\text{tip}})$

RT = $\dfrac{r_{\text{twist change}}}{R}$

EM = $\dfrac{C_{L\ MAX}}{2 \sin (\alpha C_{LMAX} + \alpha_{LO})}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$RC = \frac{r_{chorD\ change}}{R}$$

$$RH = \frac{r_{hub}}{R}$$

$$DCND = \frac{BCR_{chrod\ change} - BCR_{tip}}{B}$$

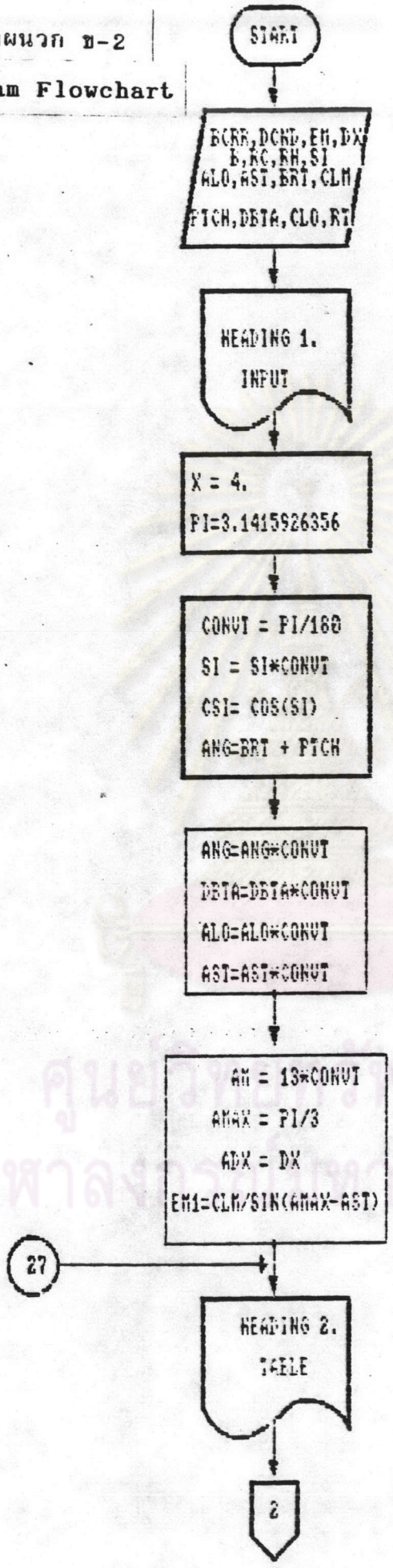
$$= \frac{C_{chord\ change} - C_{tip}}{R}$$

ผลจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข-4.1 ถึง ข-4.5

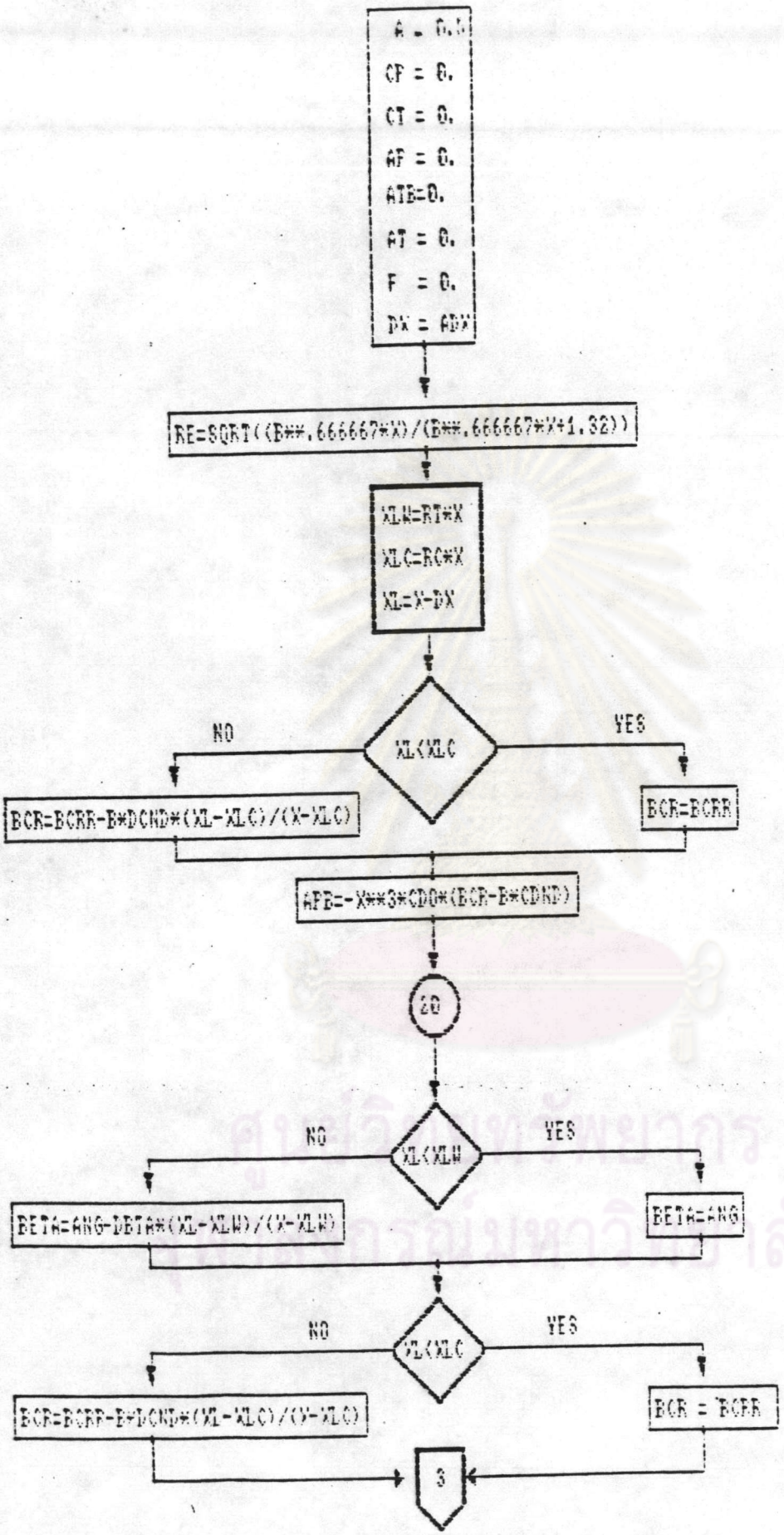
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

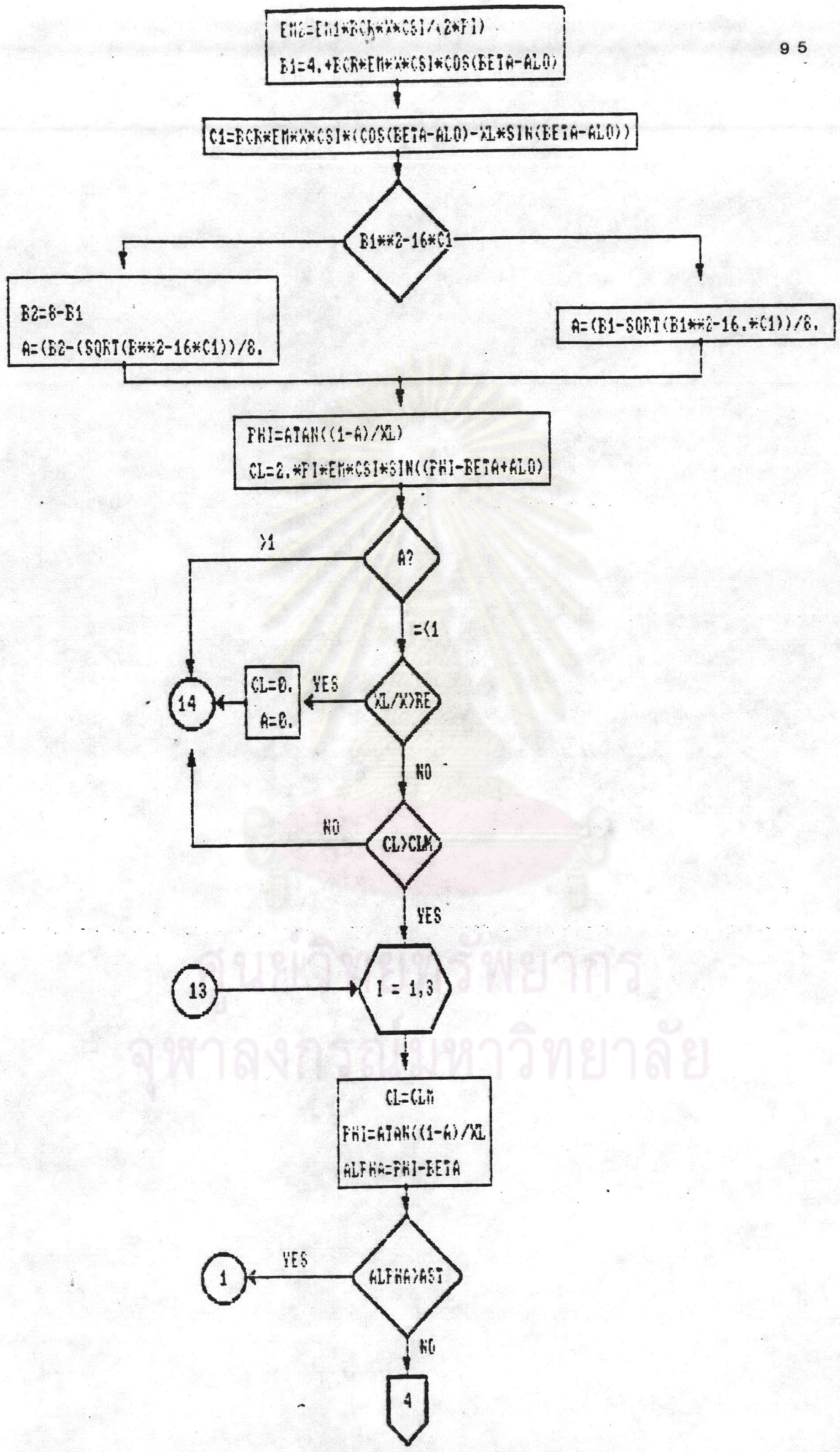
ภาคผนวก ข-2

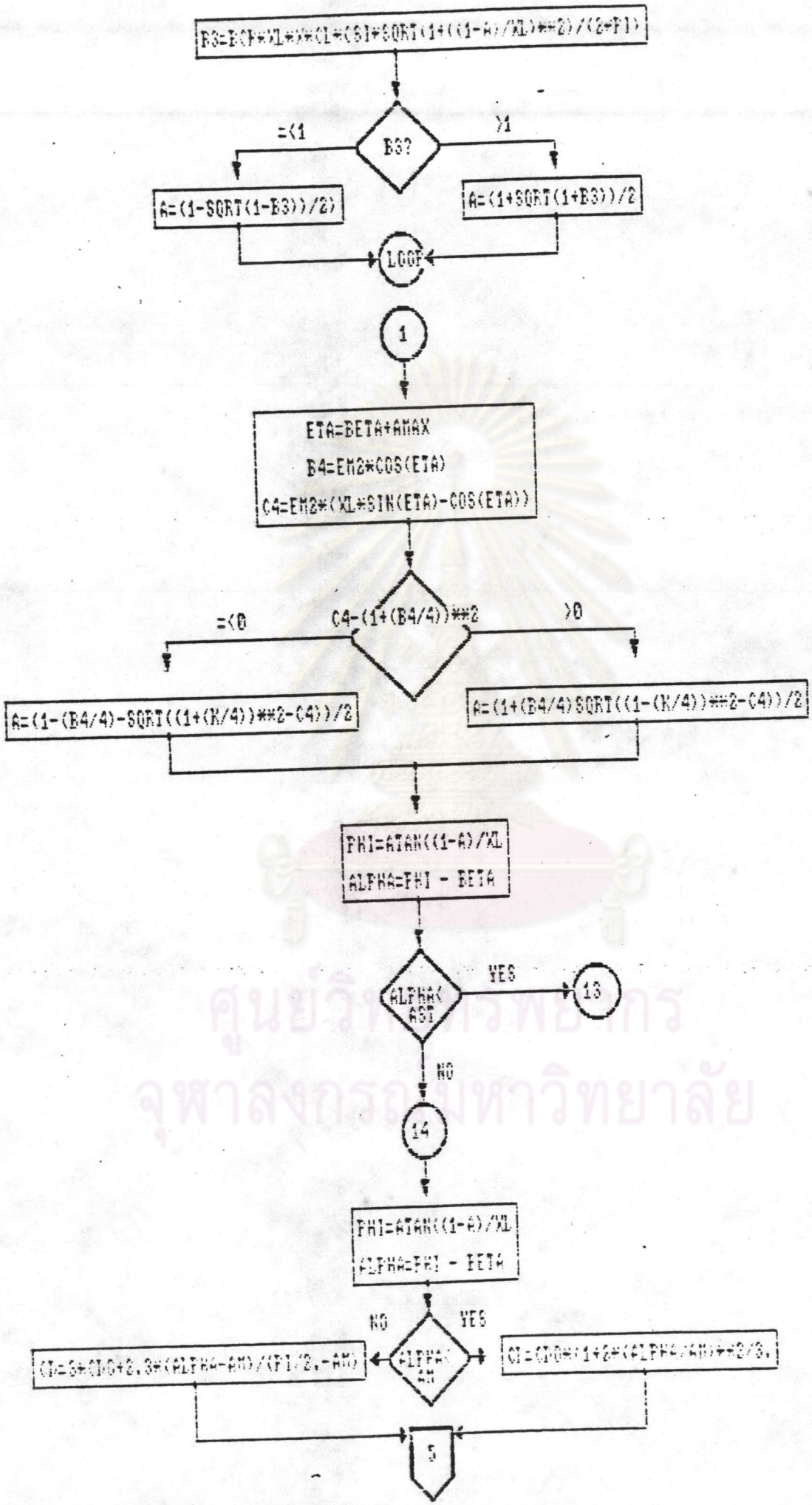
Program Flowchart



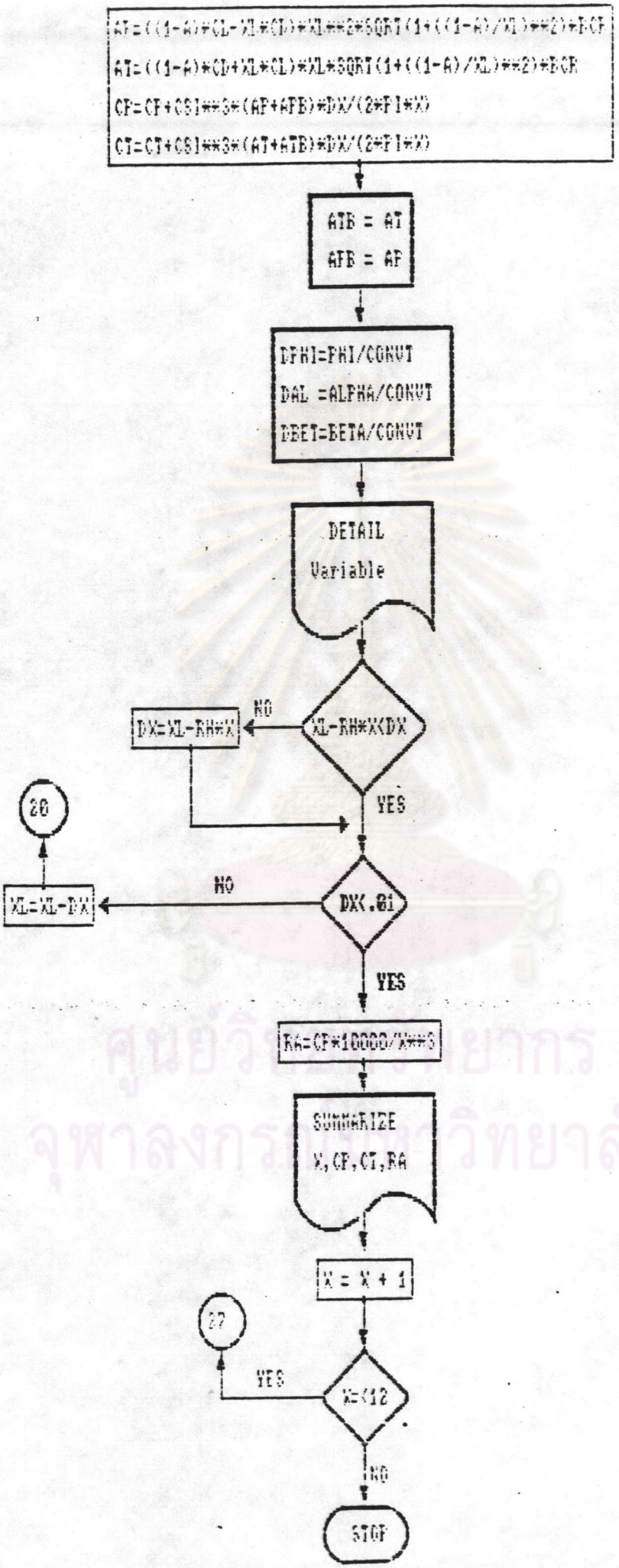
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


A = 0.5
CF = 0.
CT = 0.
AF = 0.
ATB=0.
AT = 0.
F = 0.
DX = ADX
RE=SQRT((B**.666667*X)/(B**.666667*X+1.32))
XLW=RT*X
XLC=RC*X
XL=X-DX
XL<XLC
NO
YES
BCR=BCRR-B*DCND*(XL-XLC)/(X-XLC)
BCR=BCRR
APB=-X**3*CDO*(BCR-B*CDND)
20
XL<XLW
NO
YES
BETA=ANG-DBTA*(XL-XLW)/(X-XLW)
BETA=ANG
XL<XLC
NO
YES
BCR=BCRR-B*DCND*(XL-XLC)/(X-XLC)
BCR = BCRR
3


EM2=EM1*BCR**CSI/(2*PI)
B1=4.+BCR*EM**CSI*COS(BETA-ALO)
C1=BCR*EM**CSI*(COS(BETA-ALO)-XL*SIN(BETA-ALO))
B1**2-16*C1
B2=8-B1
A=(B2-(SQRT(B**2-16*C1))/8.
A=(B1-SQRT(B1**2-16.*C1))/8.
PHI=ATAN((1-A)/XL)
CL=2.*PI*EM*CSI*SIN((PHI-BETA+ALO)
A?
>1
=<1
(XL/X)RE
YES
CL=0.
A=0.
14
NO
CL>CLM
NO
YES
13
I = 1,3
CL=CLM
PHI=ATAN((1-A)/XL
ALPHA=PHI-BETA
ALPHA>AST
YES
1
NO
4



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


AF=((1-A)*CL-XL*CD)*XL**2*SQRT(1+((1-A)/XL)**2)*BCF
AT=((1-A)*CD+XL*CL)*XL*SQRT(1+((1-A)/XL)**2)*BCF
CF=CF+CS1**3*(AF+AFB)*DX/(2*PI*X)
CT=CT+CS1**3*(AT+ATB)*DX/(2*PI*X)
ATB = AT
AFB = AF
DFHI=PHI/CONVT
DAL =ALPHA/CONVT
DBET=BETA/CONVT
DETAIL
Variable
XL-RH*X<DX
NO
DX=XL-RH*X
YES
20
DX.Gi
NO
XL=XL-DX
YES
RA=CF*10000/X**3
SUMMARIZE
X,CF,CT,RA
X = X + 1
27
X=<12
YES
NO
STOP

ภาคผนวก ข-3 | **Program Listing**

```
C     PROGRAM POWER(INPUT,OUTPUT,TAPE1)
      INTEGER X,CON
      PI=3.1415926356
      X=3
      B=3
      READ*,BCRR,EM,DX,CDO,CLM,RH,ALO
      READ*,AST,SI,BRT,DBTA,RC,RT,PTCH,DCND
   40 WRITE(6,60)
      WRITE(6,19)
      WRITE(6,8)X,B,BCRR,EM,DX,CDO,CLM,RT,RC,RH
      WRITE(6,9)
      WRITE(6,18)ALO,AST,SI,PTCH,BRT,DBTA,DCND
      CON=0
      CONVT=PI/180.
      SI=SI*CONVT
      CSI=COS(SI)
      ANG=BRT+PTCH
      ANG=ANG*CONVT
      DBTA=DBTA*CONVT
      ALO=ALO*CONVT
      AST=AST*CONVT
      AM=12.*CONVT
      AMAX=PI/3.
      EM1=CLM/(SIN(AMAX-AST))
      ADX=DX
      WRITE(6,21)
   27 IF (CON.EQ.0) THEN
          WRITE(6,15)
          WRITE(6,35)
          GOTO 77
      ENDIF
      WRITE(6,25)
      WRITE(6,35)
   77 XLW=RT*X
      XLC=RC*X
      RE=SQRT((B**.666667*X)/(B**.666667*X+1.32))
      DX=ADX
      A=0.5
      CP=0.
      CT=0.
```

```
      AP=0.
      AT=0.
      XL=X-.2
      IF (XL.LT.XLC) BCR=BCRR
      IF (XL.GE.XLC) BCR=BCRR-B*DCND*(XL-XLC)/(X-XLC)
      APB=-X**3*CDO*(BCR-B*DCND)
      ATB=0.
      F=0.
      XL=X-DX
   20 CONTINUE
      IF (XL.LT.XLW) BETA=ANG
      IF (XL.GE.XLW) BETA=ANG-DBTA*(XL-XLW)/(X-XLW)
      IF (XL.LT.XLC) BCR=BCRR
      IF (XL.GE.XLC) BCR=BCRR-B*DCND*(XL-XLC)/(X-XLC)
      EM2=EM1*BCR*X*CSI/(2.*PI)
      B1=4.+BCR*EM*X*CSI*COS(BETA-ALO)
      C1=BCR*EM*X*CSI*(COS(BETA-ALO)-XL*SIN(BETA-ALO))
      IF (B1**2-16.*C1) 203,200,200
  200 A=(B1-SQRT(B1**2-16.*C1))/8.
C     WRITE(6,*) "1.1"
      GOTO 202
  203 B2=8.-B1
      A=(B2+SQRT(B2**2+16.*C1))/8.
C     WRITE(6,*) "1.2"
  202 PHI=ATAN((1.-A)/XL)
      CL=2.*PI*EM*CSI*SIN((PHI-BETA)+ALO)
      ABC=SIN((PHI-BETA)+ALO)
      IF (A-1.) 205,205,201
  205 IF((XL/X).GT.RE) GOTO 206
      GOTO 207
  206 CL=0.
      A=0.
C     WRITE(6,*) "00000000000"
      GOTO 14
  207 IF (CL.GT.CLM) GOTO 13
  201 GOTO 14
   13 DO 12 I=1,3,1
      CL=CLM
      PHI=ATAN((1.-A)/XL)
      ALPHA=PHI-BETA
```

```
      IF (ALPHA.GT.AST) GOTO 303
      B3=BCR*XL*X*CL*CSI*SQRT(1.+((1.-A)/XL)**2)/(2.*PI)
      BBB=SQRT(1+((1.-A)/XL)**2)
      AAA=B3-1
      IF (B3-1.) 300,300,301
  300 A=(1.-SQRT(1.-B3))/2.
      GOTO 12
  301 A=(1.+SQRT(1.+B3))/2.
   12 CONTINUE
C     WRITE(6,*) "22222222222"
      GOTO 14
  303 ETA=BETA+AMAX
      B4=EM2*COS(ETA)
      C4=EM2*(XL*SIN(ETA)-COS(ETA))
      IF (C4-(1+(B4/4))**2) 801,801,802
  801 A=(1-(B4/4)-SQRT((1+(K/4))**2-C4))/2
      GOTO 803
  802 A=(1+(B4/4)+SQRT((1-(K/4))**2-C4))/2
  803 PHI=ATAN((1.-A)/XL)
C     WRITE(6,*) "333333333333"
      ALPHA=PHI-BETA
      IF (ALPHA.LT.AST) GOTO 13
      CL=EM1*SIN(AMAX-ALPHA)
   14 CONTINUE
      PHI=ATAN((1.-A)/XL)
      ALPHA=PHI-BETA
      IF (ALPHA.LT.AM) CD=CDO*(1.+2.*(ALPHA/AM)**2/3.)
      IF (ALPHA.GE.AM) CD=3.*CDO+2.3*(ALPHA-AM)/(PI/2.-AM)
      AP=((1.-A)*CL-XL*CD)*XL**2*SQRT(1.+((1.-A)/XL)**2)*BCR
      AT=((1.-A)*CD+XL*CL)*XL*SQRT(1.+((1.-A)/XL)**2)*BCR
      CP=CP+CSI**3*(AP+APB)*DX/(2.*PI*X)
      CT=CT+CSI**3*(AT+ATB)*DX/(2.*PI*X)
      ATB=AT
      APB=AP
      DPHI=PHI/CONVT
      DAL=ALPHA/CONVT
      DBET=BETA/CONVT
      WRITE(6,16)X,XL,A,CP,CT,DPHI,DBET,DAL,CL,CD,BCR
      IF ((XL-RH*X).LT.DX) DX=XL-RH*X
      IF (DX.LT..01) GOTO 30
```

```
      X1=XL-DX
      GOTO 20
   30 RA=CP*10000./X**3
      WRITE(6,17) X,CP,CT,RA
      X=X+1.
      CON=1
      IF (X.LE.10) GOTO 27
      WRITE(6,100) TIMOUT
    1 FORMAT('POWER INPUT SEQUNECE')
    2 FORMAT('WRITE B,BCRR,M,DX')
   65 FORMAT('WRITE ALO,AST,SI,BETA ROOT,DBETA')
   66 FORMAT('WRITE RT,DCND,RC,RH')
    3 FORMAT('WRITE CD ZERO,CL MAX')
    8 FORMAT(2X,I2,2X,9F7.3)
    9 FORMAT(1HO,3X,'ALO',4X,'AST',5X,'SI',3X,'PTCH',4X,
     -       'BRT',3X,'DBTA',3X,'DCND')
   18 FORMAT(7F7.3)
   19 FORMAT(1HO,2X,'X',6X,'B',3X,'BCRR',6X,'M',5X,'DX',4X,'CDO',
     )      4X,'CLM',5X,'RT',5X,'RC',5X,'RH')
   15 FORMAT(1HO//,3X,'X',4X,'XL',6X,'A',5X,'CP',5X,'CT',4X,'PHI',
     -       3X,'BETA',2X,'ALPHA',5X,'CL',5X,'CD',4X,'BCR')
   25 FORMAT(1H1//,3X,'X',4X,'XL',6X,'A',5X,'CP',5X,'CT',4X,'PHI',
     -       3X,'BETA',2X,'ALPHA',5X,'CL',5X,'CD',4X,'BCR')
   35 FORMAT(1H ,73('-'))
   21 FORMAT(1HO//,25X,'PROGRAM POWER OUTPUT',//)
   17 FORMAT(1HO/,5X,'POWER AND WINDWISE FORCE SUMMARY FOR X=',
     -       F10.2,/,15X,'CP',F10.4,/,15X,'CT',F10.4,/,15X,
     -       '10000CP/X3',F10.4)
   16 FORMAT(1H ,1X,I2,F7.3,3F7.4,6F7.3)
   60 FORMAT(1HO,25X,'PROGRAM OPERATING CONDITIONS')
  100 FORMAT(///,5X,'THIS RUN USED',F9.3,3X,'SECONDS')
      STOP
      END
```

ตารางที่ ข-4.1 ผลเฉลยที่ให้ค่าสมรรถนะของใบกังหันที่ออกแบบไว้

X	XL	A	CP	CT	PHI	BETA	ALPHA	CL	CD	BCR
6	5.800	.0000	-.0007	.0002	9.782	.479	9.303	.000	.045	.118
6	5.600	.1741	.0036	.0184	8.390	.958	7.431	.820	.040	.130
6	5.400	.1805	.0233	.0543	8.629	1.437	7.192	.801	.040	.142
6	5.200	.1858	.0427	.0896	8.899	1.917	6.982	.785	.039	.153
6	5.000	.1902	.0620	.1246	9.200	2.396	6.804	.771	.039	.165
6	4.800	.1938	.0809	.1587	9.535	2.875	6.660	.759	.039	.177
6	4.600	.1968	.0994	.1918	9.904	3.354	6.550	.750	.038	.189
6	4.400	.1995	.1176	.2239	10.312	3.833	6.478	.745	.038	.201
6	4.200	.2019	.1353	.2548	10.760	4.312	6.447	.742	.038	.213
6	4.000	.2042	.1526	.2846	11.252	4.792	6.461	.743	.038	.225
6	3.800	.2062	.1694	.3132	11.793	5.271	6.523	.748	.038	.236
6	3.600	.2092	.1857	.3405	12.389	5.750	6.639	.757	.039	.248
6	3.400	.2123	.2016	.3667	13.045	6.229	6.816	.771	.039	.260
6	3.200	.2158	.2169	.3917	13.770	6.708	7.062	.791	.039	.272
6	3.000	.2200	.2316	.4154	14.575	7.187	7.387	.817	.040	.284
6	2.800	.2249	.2458	.4380	15.473	7.667	7.806	.850	.041	.296
6	2.600	.2308	.2594	.4594	16.480	8.146	8.334	.892	.042	.308
6	2.400	.2378	.2723	.4796	17.619	8.625	8.994	.944	.044	.319
6	2.200	.2460	.2845	.4986	18.918	9.104	9.814	1.008	.046	.331
6	2.000	.2556	.2960	.5164	20.415	9.583	10.832	1.088	.049	.343
6	1.800	.2643	.3060	.5331	22.230	10.062	12.167	1.180	.101	.355
6	1.600	.1785	.3134	.5478	27.179	10.542	16.637	1.108	.233	.355
6	1.400	.1410	.3181	.5598	31.533	11.021	20.513	1.026	.347	.355
6	1.200	.1071	.3206	.5695	36.652	11.500	25.152	.922	.484	.355
6	1.000	.0737	.3216	.5774	42.809	11.500	31.309	.775	.665	.355
6	.800	.0428	.3214	.5841	50.112	11.500	38.612	.588	.881	.355
6	.600	.0140	.3207	.5900	58.679	11.500	47.179	.358	1.133	.355

POWER AND WINDWISE FORCE SUMMARY FOR X= 6

CP .3207

CT .5900

10000CP/X3 14.8489

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-4.2 ผลเฉลยที่ให้ค่าสมรรถนะของใบกังหันที่มีค่าความกว้างของใบกังหันเหมือนที่ออกแบบไว้ แต่มีค่ามุมบิดเท่ากับ 11.5 องศาคงที่ตลอดความยาวของใบกังหัน

X	XL	A	CP	CT	PHI	BETA	ALPHA	CL	CD	BCR
5	4.800	.0000	.0005	.0001	11.768	11.500	.268	.000	.032	.120
5	4.600	.0332	-.0004	.0051	11.869	11.500	.369	.255	.032	.134
5	4.400	.0403	.0040	.0155	12.304	11.500	.804	.290	.032	.149
5	4.200	.0481	.0099	.0274	12.770	11.500	1.270	.328	.032	.163
5	4.000	.0565	.0172	.0406	13.272	11.500	1.772	.368	.032	.177
5	3.800	.0656	.0260	.0552	13.814	11.500	2.314	.412	.033	.191
5	3.600	.0755	.0360	.0710	14.403	11.500	2.903	.459	.033	.206
5	3.400	.0860	.0473	.0879	15.047	11.500	3.547	.511	.034	.220
5	3.200	.0973	.0595	.1057	15.754	11.500	4.254	.567	.035	.234
5	3.000	.1093	.0726	.1244	16.537	11.500	5.037	.630	.036	.248
5	2.800	.1221	.0863	.1436	17.409	11.500	5.909	.699	.037	.263
5	2.600	.1356	.1005	.1633	18.389	11.500	6.889	.777	.039	.277
5	2.400	.1501	.1148	.1832	19.501	11.500	8.001	.865	.041	.291
5	2.200	.1654	.1292	.2031	20.775	11.500	9.275	.966	.045	.305
5	2.000	.1816	.1432	.2226	22.254	11.500	10.754	1.082	.049	.319
5	1.800	.1911	.1557	.2416	24.199	11.500	12.699	1.180	.117	.334
5	1.600	.1417	.1650	.2588	28.211	11.500	16.711	1.106	.235	.348
5	1.400	.1147	.1709	.2733	32.308	11.500	20.808	1.020	.356	.355
5	1.200	.0863	.1739	.2851	37.285	11.500	25.785	.907	.502	.355
5	1.000	.0599	.1749	.2947	43.231	11.500	31.731	.764	.678	.355
5	.800	.0350	.1747	.3028	50.340	11.500	38.840	.582	.887	.355
5	.600	.0115	.1739	.3101	58.744	11.500	47.244	.356	1.135	.355
5	.500	.0001	.1734	.3135	63.432	11.500	51.932	.226	1.273	.355

POWER AND WINDWISE FORCE SUMMARY FOR X= 5

CP .1734

CT .3135

100000P/X3 13.8695

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-4.3 ผลเฉลยที่ให้ค่าสมรรถนะของใบกังหันที่มีค่าความกว้างของใบกังหันมีค่าเท่ากับ 7.1 เซนติเมตร และมุมบิดเท่ากับ 11.5 องศา ตลอดความยาวของใบกังหัน

X	XL	A	CP	CT	PHI	BETA	ALPHA	CL	CD	BCR
4	3.800	.0000	-.0112	.0004	14.744	11.500	3.244	.000	.034	.355
4	3.600	.1000	-.0064	.0173	14.036	11.500	2.536	.429	.033	.355
4	3.400	.1076	.0144	.0504	14.707	11.500	3.207	.483	.034	.355
4	3.200	.1152	.0362	.0836	15.456	11.500	3.956	.543	.034	.355
4	3.000	.1229	.0587	.1166	16.297	11.500	4.797	.611	.035	.355
4	2.800	.1308	.0815	.1493	17.246	11.500	5.746	.686	.037	.355
4	2.600	.1388	.1043	.1812	18.327	11.500	6.827	.772	.039	.355
4	2.400	.1469	.1268	.2123	19.568	11.500	8.068	.871	.042	.355
4	2.200	.1551	.1486	.2423	21.008	11.500	9.508	.984	.045	.355
4	2.000	.1636	.1695	.2709	22.696	11.500	11.196	1.117	.051	.355
4	1.800	.1344	.1870	.2974	25.683	11.500	14.183	1.157	.160	.355
4	1.600	.1106	.1986	.3201	29.070	11.500	17.570	1.089	.260	.355
4	1.400	.0882	.2059	.3386	33.076	11.500	21.576	1.003	.378	.355
4	1.200	.0670	.2095	.3535	37.866	11.500	26.366	.894	.520	.355
4	1.000	.0468	.2107	.3657	43.627	11.500	32.127	.754	.689	.355
4	.800	.0275	.2104	.3760	50.558	11.500	39.058	.577	.894	.355
4	.600	.0090	.2093	.3851	58.806	11.500	47.306	.355	1.137	.355
4	.400	-.0088	.2081	.3940	68.371	11.500	56.871	.088	1.419	.355

POWER AND WINDWISE FORCE SUMMARY FOR X= 4

CP .2081

CT .3940

10000CP/X3 32.5086

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-4.4 ผลเฉลยที่ให้ค่าสมรรถนะของใบกังหันที่มีค่าความกว้างของใบกังหันเหมือนที่ออกแบบไว้ แต่มีค่ามุมบิดเท่ากับศูนย์องศาตลอดความยาวของใบกังหัน

X	XL	A	CP	CT	PHI	BETA	ALPHA	CL	CD	BCR
5	4.800	.0000	-.0224	.0006	11.768	.000	11.768	.000	.053	.355
5	4.600	.4620	-.0247	.0380	6.671	.000	6.671	.760	.039	.355
5	4.400	.4542	-.0022	.1099	7.071	.000	7.071	.792	.039	.355
5	4.200	.4467	.0208	.1784	7.505	.000	7.505	.826	.040	.355
5	4.000	.4395	.0440	.2436	7.977	.000	7.977	.864	.041	.355
5	3.800	.4324	.0672	.3054	8.495	.000	8.495	.904	.043	.355
5	3.600	.4256	.0902	.3638	9.065	.000	9.065	.950	.044	.355
5	3.400	.4190	.1129	.4189	9.697	.000	9.697	.999	.046	.355
5	3.200	.4126	.1352	.4706	10.402	.000	10.402	1.055	.048	.355
5	3.000	.4063	.1567	.5190	11.195	.000	11.195	1.117	.051	.355
5	2.800	.3939	.1751	.5642	12.214	.000	12.214	1.180	.102	.355
5	2.600	.2470	.1872	.6048	16.151	.000	16.151	1.118	.218	.355
5	2.400	.2067	.1940	.6395	18.291	.000	18.291	1.073	.282	.355
5	2.200	.1717	.1973	.6690	20.631	.000	20.631	1.023	.350	.355
5	2.000	.1404	.1979	.6938	23.257	.000	23.257	.965	.428	.355
5	1.800	.1119	.1966	.7145	26.262	.000	26.262	.896	.517	.355
5	1.600	.0854	.1938	.7317	29.753	.000	29.753	.813	.619	.355
5	1.400	.0606	.1902	.7459	33.861	.000	33.861	.711	.741	.355
5	1.200	.0373	.1862	.7578	38.739	.000	38.739	.585	.884	.355
5	1.000	.0151	.1821	.7678	44.563	.000	44.563	.429	1.056	.355
5	.800	-.0060	.1783	.7767	51.508	.000	51.508	.238	1.261	.355
5	.600	-.0262	.175	.7851	59.687	.000	59.687	.009	1.502	.355
5	.500	-.0361	.1737	.7893	64.238	.000	64.238	-.119	1.636	.355

POWER AND WINDWISE FORCE SUMMARY FOR X= 5

CP .1737

CT .7893

10000CP/X3 13.8988

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-4.5 ผลเฉลยที่ให้ค่าสมรรถนะของใบกังหันที่มีค่าความกว้างของใบกังหันมีค่าเท่ากับ 7.1 เซนติเมตร และมุมบิดเท่ากับศูนย์องศา ตลอดความยาวของใบกังหัน

X	XL	A	CP	CT	PHI	BETA	ALPHA	CL	CD	BCR
6	5.800	.0000	-.0009	.0002	9.782	.000	9.782	.000	.046	.118
6	5.600	.1912	.0038	.0197	8.218	.000	8.218	.883	.042	.130
6	5.400	.2079	.0248	.0590	8.345	.000	8.345	.893	.042	.142
6	5.200	.2243	.0461	.0991	8.484	.000	8.484	.904	.043	.153
6	5.000	.2406	.0674	.1398	8.636	.000	8.636	.916	.043	.165
6	4.800	.2567	.0886	.1808	8.803	.000	8.803	.929	.043	.177
6	4.600	.2725	.1096	.2217	8.987	.000	8.987	.943	.044	.189
6	4.400	.2880	.1301	.2623	9.191	.000	9.191	.959	.045	.201
6	4.200	.3033	.1502	.3024	9.419	.000	9.419	.977	.045	.213
6	4.000	.3183	.1697	.3417	9.672	.000	9.672	.997	.046	.225
6	3.800	.3329	.1886	.3800	9.957	.000	9.957	1.020	.047	.236
6	3.600	.3471	.2067	.4172	10.279	.000	10.279	1.045	.048	.248
6	3.400	.3610	.2240	.4531	10.644	.000	10.644	1.074	.049	.260
6	3.200	.3745	.2405	.4875	11.061	.000	11.061	1.106	.050	.272
6	3.000	.3875	.2560	.5202	11.540	.000	11.540	1.144	.052	.284
6	2.800	.3995	.2689	.5513	12.222	.000	12.222	1.180	.103	.296
6	2.600	.2643	.2776	.5800	15.800	.000	15.800	1.125	.208	.308
6	2.400	.2330	.2829	.6056	17.722	.000	17.722	1.085	.265	.319
6	2.200	.2022	.2859	.6281	19.932	.000	19.932	1.039	.330	.331
6	2.000	.1717	.2868	.6476	22.496	.000	22.496	.982	.405	.343
6	1.800	.1414	.2861	.6644	25.500	.000	25.500	.914	.494	.355
6	1.600	.1068	.2842	.6786	29.173	.000	29.173	.827	.602	.355
6	1.400	.0752	.2814	.6904	33.448	.000	33.448	.721	.728	.355
6	1.200	.0460	.2781	.7002	38.485	.000	38.485	.592	.877	.355
6	1.000	.0187	.2748	.7085	44.460	.000	44.460	.432	1.053	.355
6	.800	-.0071	.2716	.7159	51.537	.000	51.537	.237	1.262	.355
6	.600	-.0315	.2689	.7229	59.814	.000	59.814	.005	1.506	.353

POWER AND WINDWISE FORCE SUMMARY FOR X= 6

CP .2689

CT .7229

100*CP/X3 12.4506

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ข้อมูลและผลจากการทดลองหาสมรรถนะของกังหันลม โดยอุโมงลม และรถปิคอัพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลการทดลองกังหันที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 5.03 เมตร/วินาที

Test No.	Weight (gm.)	Spring Load (N.)	Shaft Speed (RPM.)
1	-	-	630
2	124	0.15	573
3	224	0.30	538
4	274	0.40	521
5	324	0.45	507
6	374	0.60	498
7	424	0.70	483
8	474	0.80	465
9	524	0.90	441
10	574	1.00	420

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-2 ข้อมูลการทดลองกังหันที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 5.19 เมตร/วินาที

Test No.	Weight (gm.)	Spring Load (N.)	Shaft Speed (RPM.)
1	-	-	655
2	124	Ø.1	6Ø1
3	224	Ø.25	551
4	324	Ø.4	527
5	424	Ø.6	499
6	474	Ø.7	484
7	524	Ø.8	458
8	574	Ø.9	434
9	624	1.1	424
1Ø	674	1.2	416

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-3 ข้อมูลการทดลองกังหันที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 5.68 เมตร/วินาที

Test No.	Weight (gm.)	Spring Load (N.)	Shaft Speed (RPM.)
1	-	-	801
2	124	0.10	744
3	224	0.30	704
4	324	0.50	667
5	424	0.70	626
6	524	0.90	591
7	624	1.10	572
8	674	1.20	552
9	724	1.30	548
10	774	1.40	529
11	824	1.50	512
12	874	1.60	491
13	924	1.70	483
14	974	1.80	464

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-4 ข้อมูลการทดลองกังหันที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 6.23 เมตร/วินาที

Test No.	Weight (gm.)	Spring Load (N.)	Shaft Speed (RPM.)
1	-	-	934
2	124	0.10	867
3	224	0.20	824
4	324	0.35	776
5	424	0.60	727
6	524	0.80	706
7	624	0.90	688
8	724	1.00	654
9	824	1.40	608
10	924	1.60	584
11	974	1.70	575
12	1024	1.80	553
13	1074	1.90	531
14	1124	2.00	522
15	1274	2.30	511
16	1324	2.50	504
17	1374	2.70	498

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-5 ข้อมูลการทดลองกังหันที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงค์ลมที่ความเร็วลม 6.60 เมตร/วินาที

Test No.	Weight (gm.)	Spring Load (N.)	Shaft Speed (RPM.)
1	-	-	1077
2	124	0.10	1026
3	224	0.30	973
4	324	0.50	947
5	424	0.60	896
6	524	0.80	848
7	624	1.00	794
8	724	1.20	761
9	824	1.40	719
10	924	1.70	676
11	1024	1.90	660
12	1124	2.10	630
13	1224	2.20	583
14	1324	2.30	565
15	1374	2.40	556
16	1424	2.50	544
17	1474	2.60	531
18	1524	2.70	526

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-6 ข้อมูลการทดลองกังหันที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 7.20 เมตร/วินาที

Test No.	Weight (gm.)	Spring Load (N.)	Shaft Speed (RPM.)
1	-	-	1150
2	124	-	1117
3	224	0.10	1069
4	324	0.20	1027
5	424	0.40	974
6	524	0.60	943
7	624	0.80	910
8	724	1.00	894
9	824	1.10	843
10	924	1.30	825
11	1024	1.50	791
12	1124	1.70	764
13	1224	1.90	744
14	1324	2.20	709
15	1424	2.50	699
16	1524	2.80	676
17	1624	3.10	664
18	1724	3.40	643
19	1824	3.80	620
20	1924	4.00	596

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-7 ข้อมูลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้รถปิคอัพวิ่งทดลอง ที่ความเร็วลม 7 เมตร/วินาที

Test No.	Weight (gm.)	Spring Load (gm.)	Shaft Speed (RPM)
1	-	-	1021
2	200	12	998
3	300	35	986
4	400	45	921
5	500	55	884
6	600	70	865
7	700	85	811
8	800	105	802
9	900	125	793
10	1000	155	761
11	1100	160	716

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-8 ข้อมูลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้รถปิคอัพวิ่งทดลองที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที

Test No.	Weight (gm.)	Spring Load (gm.)	Shaft Speed (RPM)
1	-	-	1358
2	200	15	1326
3	300	40	1258
4	400	50	1204
5	500	75	1153
6	600	80	1130
7	700	100	1096
8	800	120	1078
9	900	155	1050
10	1000	170	996
11	1100	205	948
12	1200	225	901
13	1300	245	897
14	1400	260	864
15	1500	290	850
16	1600	305	819
17	1700	325	779
18	1800	350	766

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-9 ข้อมูลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้รถปิคอัพวิ่งทดลองที่ความเร็วลม 9 เมตร/วินาที

Test No.	Weight (gm.)	Spring Load (gm.)	Shaft Speed (RPM)
1	-	-	1540
2	200	10	1515
3	300	35	1430
4	400	60	1400
5	500	70	1390
6	600	100	1324
7	700	125	1259
8	800	145	1170
9	900	155	1140
10	1000	175	1093
11	1100	195	1082
12	1200	210	1050
13	1300	250	998
14	1400	280	982
15	1500	310	965
16	1600	325	931
17	1700	350	921
18	1800	370	890
19	1900	390	883
20	2000	400	870
21	2100	410	851
22	2200	430	835
23	2300	445	802
24	2400	500	775

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-10 ข้อมูลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้รถปิคอัพวิ่งทดลอง ที่ความเร็วลม 10 เมตร/วินาที

Test No.	Weight (gm.)	Spring Load (gm.)	Shaft Speed (RPM)
1	-	-	1886
2	200	10	1674
3	300	35	1622
4	400	55	1609
5	500	100	1566
6	600	105	1498
7	700	115	1470
8	800	125	1416
9	900	150	1403
10	1000	175	1398
11	1100	185	1358
12	1200	200	1314
13	1300	210	1289
14	1400	225	1225
15	1500	250	1182
16	1600	270	1162
17	1700	300	1137
18	1800	315	1066
19	1900	325	1051
20	2000	350	1025
21	2100	370	1002
22	2200	395	998
23	2300	410	953
24	2400	450	935
25	2500	490	915
26	2600	500	895
27	2700	510	873
28	2800	560	859

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-11 ผลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 5.03 เมตร/วินาที

Test No.	Torque (N.m)	Angular Vel. (rad./sec)	Power (Watt.)	Power Coeff.	Tipspeed ratio	Torque Coeff.
1	-	65.974	-	-	7.870	-
2	0.096	60.005	5.761	0.067	7.158	0.009
3	0.171	56.339	9.634	0.112	6.720	0.017
4	0.206	54.559	11.239	0.130	6.508	0.020
5	0.246	53.093	13.061	0.151	6.333	0.024
6	0.276	52.151	14.394	0.167	6.221	0.027
7	0.311	50.580	15.730	0.182	6.033	0.030
8	0.347	48.695	16.897	0.196	5.809	0.034
9	0.382	46.182	17.642	0.204	5.509	0.037
10	0.417	43.982	18.341	0.212	5.246	0.040

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-12 ผลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 5.19 เมตร/วินาที

Test No.	Torque (N.m)	Angular Vel. (rad./sec)	Power (Watt.)	Power Coeff.	Tipspeed ratio	Torque Coeff.
1	-	68.592	-	-	7.930	-
2	0.101	62.937	6.357	0.067	7.276	0.009
3	0.176	57.701	10.155	0.107	6.6711	0.016
4	0.250	58.817	13.797	0.145	6.380	0.023
5	0.320	52.255	16.722	0.176	6.041	0.029
6	0.356	50.685	18.044	0.190	5.859	0.032
7	0.391	47.962	18.753	0.198	5.545	0.036
8	0.426	45.448	19.361	0.204	5.254	0.039
9	0.460	44.401	20.425	0.215	5.133	0.042
10	0.487	43.564	21.215	0.224	5.036	0.045

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-13 ผลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 5.68 เมตร/วินาที

Test No.	Torque (N.m)	Angular Vel. (rad./sec)	Power (Watt.)	Power Coeff.	Tipspeed ratio	Torque Coeff.
1	-	83.881	-	-	8.861	-
2	0.101	77.912	7.869	0.063	8.230	0.008
3	0.171	73.723	12.607	0.101	7.788	0.013
4	0.241	69.848	16.833	0.135	7.738	0.018
5	0.311	65.555	20.388	0.164	6.925	0.024
6	0.382	61.890	23.642	0.190	6.538	0.029
7	0.452	59.900	27.075	0.218	6.327	0.034
8	0.487	57.805	28.151	0.226	6.100	0.037
9	0.522	57.387	29.956	0.241	6.062	0.040
10	0.557	55.397	30.856	0.248	5.852	0.042
11	0.592	53.617	31.741	0.255	5.664	0.045
12	0.627	51.418	32.239	0.259	5.431	0.048
13	0.662	50.580	33.484	0.269	5.343	0.050
14	0.698	48.590	33.916	0.273	5.133	0.053

ตารางที่ ค-14 ผลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 6.23 เมตร/วินาที

Test No.	Torque (N.m)	Angular Vel. (rad./sec)	Power (Watt.)	Power Coeff.	Tipspeed ratio	Torque Coeff.
1	-	97.808	-	-	9.420	-
2	0.101	90.709	9.170	0.050	8.744	0.006
3	0.180	86.289	15.532	0.095	8.310	0.011
4	0.255	81.263	20.722	0.126	7.826	0.016
5	0.320	76.131	24.362	0.149	7.332	0.020
6	0.391	73.392	28.907	0.176	7.120	0.025
7	0.470	72.047	33.862	0.206	6.939	0.030
8	0.549	68.487	38.347	0.233	6.596	0.035
9	0.601	64.717	38.895	0.237	6.233	0.038
10	0.672	61.156	41.097	0.251	5.890	0.043
11	0.707	60.214	42.571	0.260	5.799	0.045
12	0.743	57.910	43.027	0.262	5.577	0.047
13	0.787	55.606	43.762	0.267	5.355	0.050
14	0.813	54.664	44.442	0.271	5.265	0.052
15	0.918	53.512	49.124	0.299	5.154	0.058
16	0.944	52.779	49.823	0.304	5.083	0.060
17	0.970	52.151	50.586	0.308	5.023	0.061

ตารางที่ ค-15 ผลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 6.60 เมตร/วินาที

Test No.	Torque (N.m)	Angular Vel. (rad./sec)	Power (Watt.)	Power Coeff.	Tipspeed ratio	Torque Coeff.
1	-	112.783	-	-	10.253	-
2	0.101	107.443	10.852	0.056	9.768	0.006
3	0.171	101.893	17.443	0.089	9.263	0.010
4	0.241	99.170	23.900	0.123	9.015	0.014
5	0.320	93.829	30.025	0.154	8.530	0.018
6	0.391	88.803	34.722	0.178	8.073	0.022
7	0.461	83.148	38.331	0.197	7.589	0.026
8	0.531	79.692	42.316	0.217	7.245	0.030
9	0.601	75.294	45.252	0.232	6.845	0.032
10	0.662	70.791	46.864	0.240	6.436	0.037
11	0.734	69.115	50.730	0.260	6.283	0.041
12	0.804	65.974	53.043	0.272	5.998	0.045
13	0.883	61.052	53.889	0.276	5.550	0.051
14	0.962	59.167	56.919	0.292	5.379	0.054
15	0.997	58.224	58.791	0.298	5.293	0.056
16	1.032	56.968	59.332	0.301	5.179	0.058
17	1.067	55.606	60.757	0.304	5.055	0.060
18	1.103	55.083	61.693	0.311	5.008	0.062

ตารางที่ ค-16 ผลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้อุโมงลมที่ความเร็วลม 7.20 เมตร/วินาที

Test No.	Torque (N.m)	Angular Vel. (rad./sec)	Power (Watt.)	Power Coeff.	Tipspeed ratio	Torque Coeff.
1	-	120.428	-	-	10.036	-
2	1.109	116.972	12.750	0.050	9.748	0.005
3	0.189	111.946	21.158	0.084	9.329	0.009
4	0.268	107.547	28.823	0.114	8.962	0.013
5	0.338	101.997	34.475	0.136	8.500	0.016
6	0.409	98.751	40.389	0.160	8.229	0.019
7	0.479	95.295	45.646	0.180	7.941	0.023
8	0.549	93.620	51.397	0.203	7.802	0.026
9	0.628	88.279	55.437	2.219	7.357	0.030
10	0.699	86.394	60.389	0.238	7.200	0.033
11	0.769	82.834	63.669	0.251	6.903	0.036
12	0.839	80.006	67.125	0.265	6.667	0.040
13	0.909	79.912	70.822	0.280	6.493	0.043
14	0.971	74.246	72.093	0.234	6.137	0.046
15	1.032	73.199	75.542	0.298	6.100	0.049
16	1.094	70.791	77.445	0.306	5.899	0.052
17	1.155	69.534	80.312	0.317	5.795	0.055
18	1.216	67.335	81.879	0.323	5.611	0.058
19	1.268	64.926	82.327	0.325	5.411	0.060
20	1.339	62.413	83.751	0.330	5.201	0.063

ตารางที่ ค-17 ผลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้รถปิคอัพวิ่งทดลอง ที่ความเร็วลม 7 เมตร/วินาที

Test No.	Torque (N.m)	Angular Vel. (rad./sec)	Power (Watt.)	Power Coeff.	Tipspeed ratio	Torque Coeff.
1	-	106.899	-	-	9.163	-
2	0.116	104.491	17.345	0.075	8.956	0.008
3	0.234	103.234	24.157	0.104	8.849	0.012
4	0.313	96.429	30.182	0.130	8.265	0.016
5	0.393	92.555	36.374	0.156	7.933	0.020
6	0.468	90.566	42.385	0.182	7.763	0.022
7	0.543	84.912	46.107	0.198	7.278	0.027
8	0.614	83.969	51.557	0.222	7.197	0.031
9	0.684	83.027	56.791	0.244	7.117	0.034
10	0.746	79.677	59.439	0.255	6.829	0.037
11	0.830	74.965	62.221	0.267	6.426	0.042

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-18 ผลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้รถปิคอัพวิ่งทดลอง ที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที

Test No.	Torque (N.m)	Angular Vel. (rad./sec)	Power (Watt.)	Power Coeff.	Tipspeed ratio	Torque Coeff.
1	-	142.183	-	-	10.664	-
2	0.163	138.832	22.630	0.065	10.412	0.006
3	0.230	131.832	30.294	0.087	9.878	0.009
4	0.309	126.059	38.952	0.112	9.454	0.012
5	0.375	120.719	45.270	0.130	9.054	0.014
6	0.459	118.311	54.305	0.156	8.873	0.018
7	0.530	114.751	60.818	0.175	8.606	0.020
8	0.604	112.867	68.712	0.198	8.465	0.023
9	0.658	109.935	72.337	0.208	8.245	0.025
10	0.733	104.281	76.438	0.220	7.821	0.028
11	0.790	99.256	78.412	0.226	7.444	0.030
12	0.861	94.335	81.222	0.234	7.075	0.033
13	0.931	93.916	87.436	0.252	7.044	0.034
14	1.006	90.461	91.004	0.262	6.785	0.040
15	1.068	88.995	95.047	0.274	6.675	0.041
16	1.143	85.749	98.011	0.282	6.431	0.044
17	1.214	81.577	99.034	0.285	6.118	0.047
18	1.280	80.216	102.676	0.296	6.016	0.049

ตารางที่ ค- 19 ผลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้รถปิคอัพวิ่งทดลอง ที่ความเร็วลม 9 เมตร/วินาที

Test No.	Torque (N.m)	Angular Vel. (rad./sec)	Power (Watt.)	Power Coeff.	Tipspeed ratio	Torque Coeff.
1	-	161.238	-	-	10.749	-
2	0.168	158.621	26.648	0.054	10.575	0.005
3	0.234	149.721	35.035	0.071	9.981	0.007
4	0.300	146.580	43.974	0.089	9.772	0.009
5	0.380	145.533	55.303	0.112	9.702	0.012
6	0.441	138.623	61.133	0.124	9.242	0.013
7	0.508	131.817	66.963	0.135	8.788	0.015
8	0.578	122.499	70.804	0.143	8.167	0.018
9	0.658	119.358	78.538	0.159	7.957	0.020
10	0.728	114.437	83.310	0.168	7.629	0.022
11	0.799	113.285	90.515	0.183	7.552	0.024
12	0.874	109.935	96.083	0.194	7.329	0.027
13	0.927	104.491	96.863	0.196	6.966	0.028
14	0.989	102.815	101.684	0.206	6.854	0.030
15	1.051	101.036	106.189	0.215	6.736	0.032
16	1.126	97.476	109.758	0.222	6.498	0.034
17	1.192	96.427	114.941	0.232	6.428	0.036
18	1.263	93.183	117.690	0.238	6.212	0.038
19	1.333	92.450	123.236	0.249	6.163	0.040
20	1.413	91.089	128.709	0.260	6.073	0.043
21	1.492	89.100	132.937	0.269	5.940	0.045
22	1.563	87.425	136.645	0.276	5.828	0.047
23	1.638	83.969	137.541	0.278	5.598	0.050
24	1.678	81.413	136.158	0.275	5.410	0.051

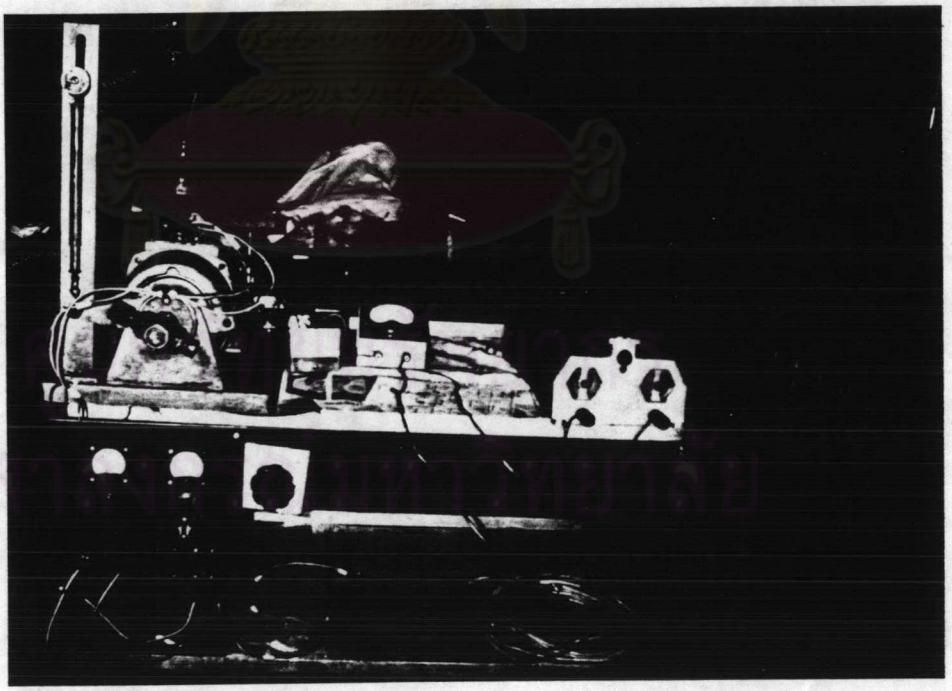
ตารางที่ ค-20 ผลการทดลองกังหันลมที่ออกแบบ โดยใช้รถปิคอัพวิ่งทดลอง ที่ความเร็วลม 10 เมตร/วินาที

Test No.	Torque (N.m)	Angular Vel. (rad./sec)	Power (Watt.)	Power Coeff.	Tipspeed ratio	Torque Coeff.
1	-	176.524	-	-	10.591	-
2	0.168	175.268	29.445	0.043	10.516	0.004
3	0.234	169.823	39.739	0.059	10.189	0.006
4	0.305	168.462	51.381	0.076	10.108	0.008
5	0.353	163.960	57.878	0.085	9.838	0.009
6	0.437	156.841	68.540	0.101	9.411	0.011
7	0.516	153.907	79.417	0.117	9.235	0.013
8	0.596	148.255	88.360	0.130	8.895	0.015
9	0.662	146.894	97.244	0.143	8.814	0.016
10	0.728	146.371	106.558	0.157	8.782	0.018
11	0.808	142.183	114.884	0.169	8.531	0.020
12	0.883	137.576	121.480	0.179	8.255	0.022
13	0.962	134.958	129.830	0.191	8.098	0.024
14	1.037	128.258	133.004	0.196	7.696	0.026
15	1.104	123.755	136.626	0.201	7.425	0.027
16	1.174	121.661	142.830	0.211	7.300	0.029
17	1.236	119.044	147.138	0.217	7.143	0.030
18	1.311	111.610	146.321	0.216	6.697	0.032
19	1.391	110.040	153.066	0.226	6.602	0.034
20	1.457	107.318	156.362	0.230	6.439	0.036
21	1.527	104.909	160.196	0.236	6.295	0.038
22	1.594	104.491	166.559	0.246	6.270	0.039
23	1.669	99.779	166.531	0.245	5.987	0.041
24	1.722	97.895	168.575	0.248	5.874	0.042
25	1.775	95.801	170.047	0.251	5.748	0.044
26	1.854	93.707	173.733	0.256	5.622	0.046
27	1.934	91.403	176.773	0.261	5.484	0.048
28	1.978	89.937	177.895	0.262	5.396	0.049

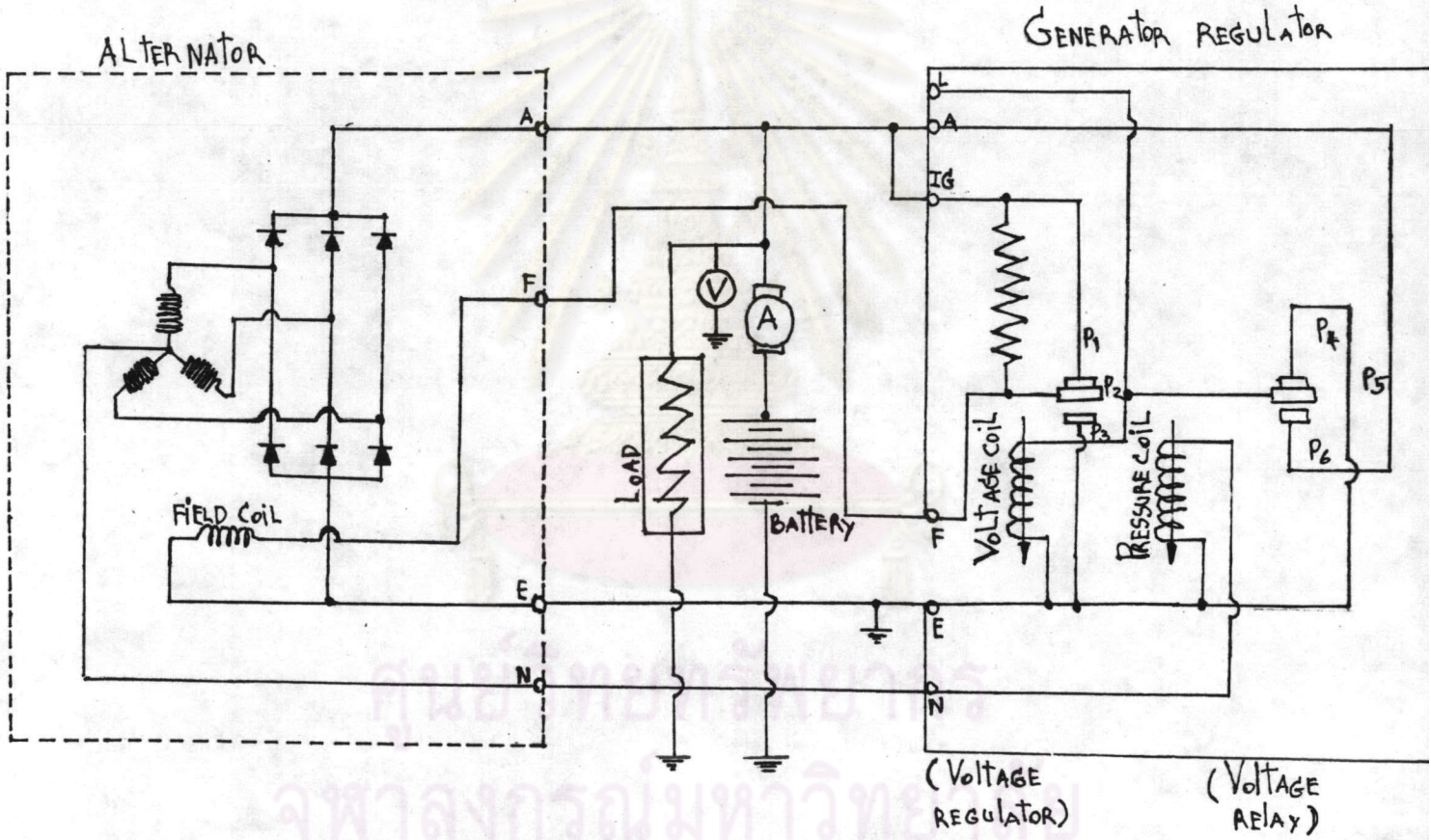
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ในการทดลอง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ ที่มีใช้ในรถยนต์ (Alternator) ขนาด 12 โวลท์ 35 แอมแปร์ ยี่ห้อ MITSUBIHI ในการทดลองได้ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับเครื่องทดสอบหาแรงบิด (Dynamometer) โดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อผ่านชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Regulator) ดังแสดงในรูปที่ ง-1 และวงจรทางไฟฟ้าในการทดลองได้แสดงในรูปที่ ง-2 สำหรับการทดลองเพื่อหาสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ ได้ดำเนินการทดลอง ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-1 การติดตั้งอุปกรณ์และทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ ง-2 วงจรทางไฟฟ้าของการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ดีซี-มอเตอร์

เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้กับกระแสตรง (Direct current motor) ขนาด 24 โวลท์ มีความเร็วรอบสูงสุด 4000 รอบ/นาที ยี่ห้อ Manchester Willescen ใช้สำหรับขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ขณะทดลองและสามารถปรับรอบได้ด้วยอุปกรณ์ field control rheostat โดยใช้มือหมุนปรับรอบของมอเตอร์

2. เครื่องวัดรอบ

เป็นเครื่องวัดรอบที่แสดงผลแบบตัวเลขโดยมีช่วงการวัด 5 ถึง 100,000 รอบ/นาที ยี่ห้อLutron รุ่น DT2232 A มีความละเอียด ± 1 รอบ/นาที ใช้ในการวัดความเร็วรอบของเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator)

เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีใช้ในรถยนต์ทั่วไป ยี่ห้อ MITSUBIHI รุ่น AH 2035 K E6A ขนาด 12 โวลท์ 35 แอมแปร์

4. ภาระ (Load)

ในการทดลองเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เพิ่มภาระในขณะทดลอง โดยใช้ชุดเพิ่มความต้านทานทางไฟฟ้า (electric resistace) ยี่ห้อ Berco ชนิด DE ขนาด 12.6 โอห์ม 16 แอมแปร์ ในการปรับค่าความต้านทาน

การทดลองมีขั้นตอนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. นำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทดลอง ซึ่งมีขนาด 12 โวลท์ และ 35 แอมแปร์ มาต่อตรง (Direct Coupling) กับดีซี-มอเตอร์ บนแท่น

2. ต่อระบบไฟฟ้าระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับภาระที่ใช้ในการทดลองซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จะใช้ไฟจากแบตเตอรี่ไปเลี้ยง Field Coil ด้วย

3. ต่อไปจากแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลท์ ซึ่งได้จากแบตเตอรี่ 2 ลูก ที่ต่ออนุกรมกันอยู่ไปเข้าสวิทช์ปิดเปิด

4. เปิดสวิทช์ไฟให้มอเตอร์หมุน

5. ปรับความเร็วรอบตามต้องการโดยใช้ Digital Tachometer เป็นตัววัดรอบซึ่งสามารถปรับรอบได้ด้วยชุด Field Control Rheostat โดยเริ่มที่ 1900 รอบ/นาที

6. ตั้งแขนของชุดวัดแรงที่ศูนย์ โดยเลื่อนตาชั่งสปริง

7. อ่านค่าของแรงจาก ตาชั่งสปริง โวลท์ และแอมแปร์

8. เพิ่มภาระโดยปรับค่าความต้านทาน

9. กลับไปทำตามข้อ 6 ใหม่ จนกระทั่งค่าของโวลท์ ที่อ่านได้มีค่าน้อยกว่า 12 โวลท์ จะหยุดการทดลอง และไปทำในข้อ 10

10. เพิ่มความเร็วรอบเป็น 2000 รอบ/นาที

11. กลับไปทำข้อ 6 ถึงข้อ 8 จนกระทั่งค่าของโวลท์ที่ได้ต่ำกว่า 12 โวลท์ และที่ค่าของความเร็วรอบสุดท้ายที่ 2000 รอบ/นาที

ผลการทดลองสมรรถนะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกระแสสลับ ขนาด 12 โวลท์ 35 แอมแปร์

1. แรงบิดเริ่มต้นหมุน (Starting torque), Q_{start} จากการทดลอง พบว่าแรงบิดเริ่มต้นหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีค่าเท่ากับ Ø.218 และ Ø.229 นิวตัน-เมตร ณ.ที่ความเร็วรอบ 19ØØ และ 2ØØØ รอบ/นาที ตามลำดับ

2. ค่ากำลังงานที่ได้ (Power Output) จากการทดลองพบว่าค่ากำลังงานสูงสุดที่ได้เท่ากับ 9Ø วัตต์ ที่ค่ากำลังงานขาเข้าเท่ากับ 171.11 วัตต์ เมื่อทดลองที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2ØØØ รอบ/นาที และค่ากำลังงานที่ได้จะมีค่าลงดลง เมื่อความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของรถยนต์มีค่าต่ำลง เช่น ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 19ØØ รอบ/นาที จะได้กำลังงานสูงสุดเท่ากับ 6Ø วัตต์ ในขณะที่ต้องใช้กำลังงานในการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เท่ากับ 113.8Ø วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ ง-3 และ ง-4

3. ค่าแรงบิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการขับ ในการทดลองนี้พบว่า ค่าแรงบิดจะสูงขึ้นเมื่อค่ากำลังงานที่ได้สูง และค่าแรงบิดสูงสุดเท่ากับ Ø.817 นิวตัน-เมตร เมื่อทดลองที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 2ØØØ รอบ/นาที และค่าแรงบิดสูงสุดเท่ากับ Ø.572 นิวตัน-เมตร ที่ความเร็วรอบ 19ØØ รอบ/นาที ดังแสดงในรูปที่ ง-5 และ ง-6

4. ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ในการทดลองพบว่าประสิทธิภาพจะสูงขึ้นเมื่อกำลังงานที่ได้มีค่าสูงขึ้น และประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 52.72 เปอร์เซนต์ จะได้กำลังงานเท่ากับ 6Ø วัตต์ ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 19ØØ รอบ/นาที และ 55.6 เปอร์เซนต์จะได้กำลังงานเท่ากับ 79.3 วัตต์ ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 2ØØØ รอบ/นาที ดังแสดงในรูปที่ ง-7 และ ง-8 ตามลำดับ

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มีความเร็วรอบ 1900 รอบ/นาที

Test No.	Load (lb)	V_a (Volts)	I_a (Amp.)
1	0.40	12.3	0.40
2	0.50	12.3	0.50
3	0.55	12.3	0.55
4	0.65	12.3	0.65
5	0.74	12.3	0.74
6	0.80	12.2	0.80
7	0.88	12.2	0.88
8	0.96	12.1	0.96
9	1.05	12.0	1.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที

Test No.	Load (lb)	V_a (Volts)	I_a (Amp.)
1	0.42	12.8	1.0
2	0.50	12.8	1.5
3	0.56	12.8	2.0
4	0.63	12.8	2.5
5	0.70	12.8	3.0
6	0.80	12.7	3.5
7	0.90	12.7	4.0
8	0.95	12.7	4.5
9	1.03	12.6	5.0
10	1.10	12.4	5.5
11	1.17	12.3	6.0
12	1.25	12.2	6.5
13	1.35	12.0	7.0
14	1.50	12.0	7.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

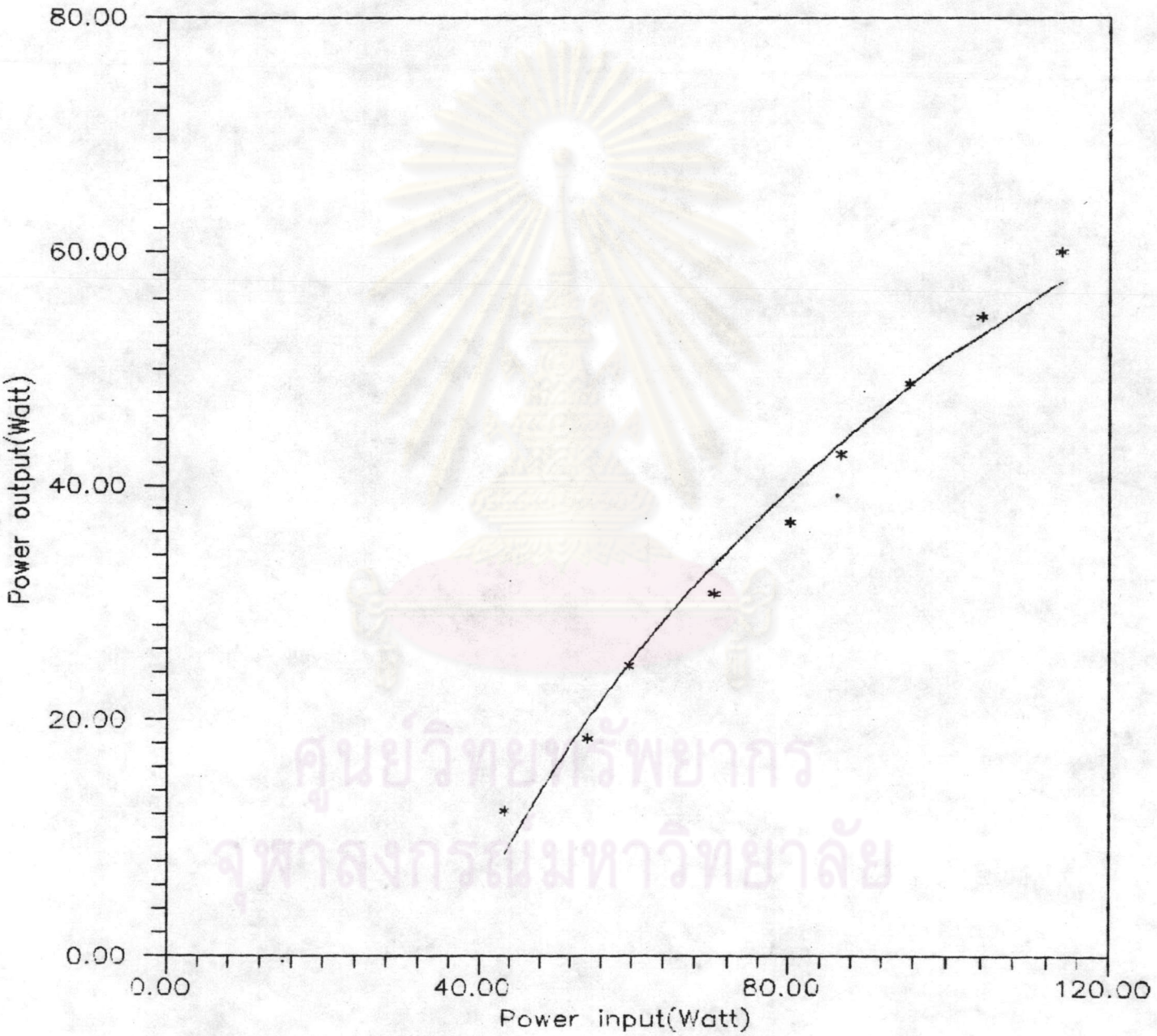
ตารางที่ ง - 3 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มีความเร็วรอบ 1900 รอบ/นาที

Test No.	Q (N.m)	P_{in} (Watt)	P_{out} (Watt)	η_G %
1	0.218	31.44	12.30	28.35
2	0.273	54.32	18.45	33.97
3	0.300	59.69	24.60	41.21
4	0.354	70.44	30.75	43.65
5	0.403	80.18	36.90	46.02
6	0.436	86.75	42.70	49.22
7	0.480	95.51	48.80	51.09
8	0.523	104.06	54.45	52.33
9	0.572	113.81	60.00	52.72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

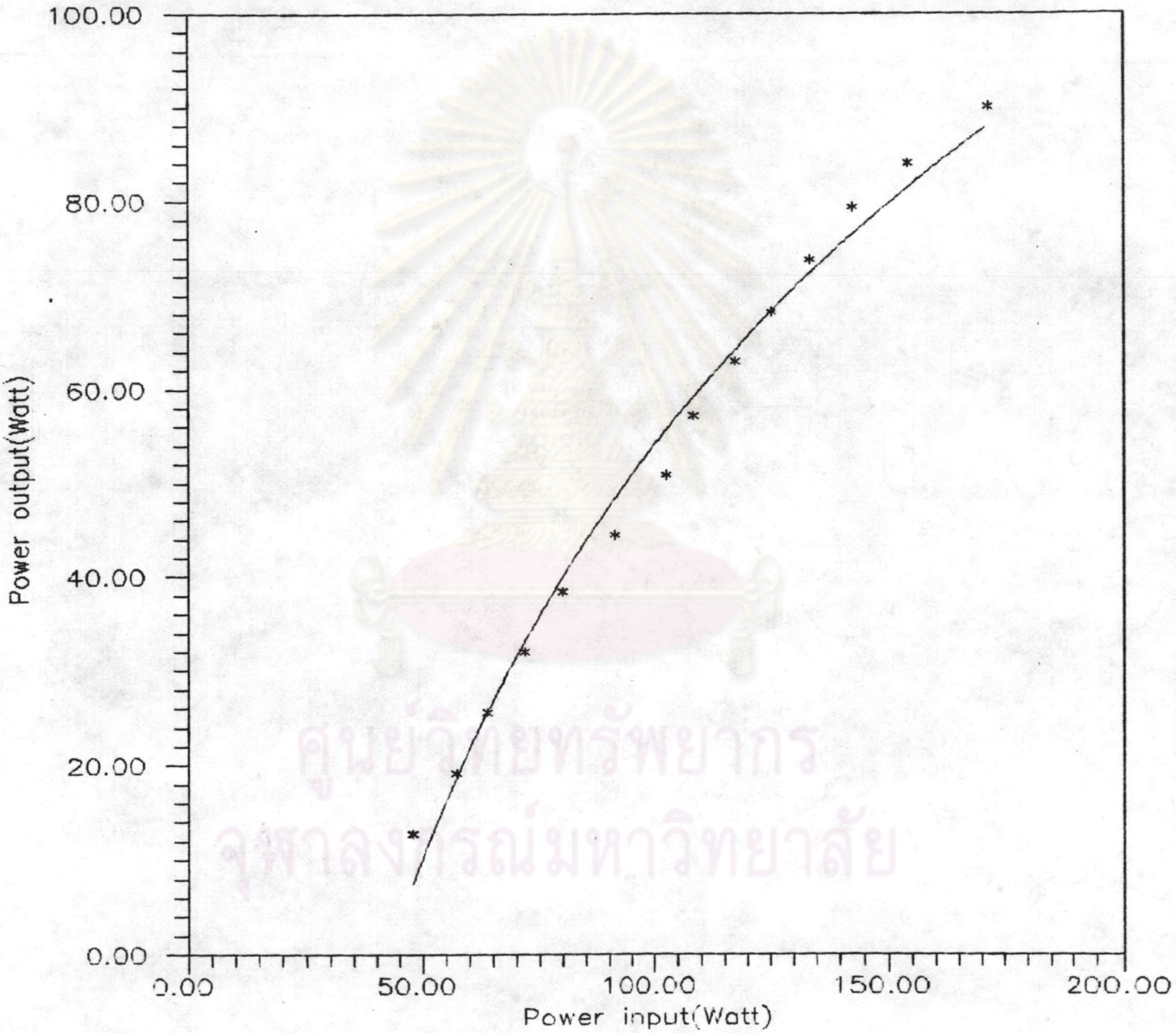
ตารางที่ ง.- 4 ผลการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มีความเร็วรอบ 2000 รอบ/นาที

Test No.	Q (N.m)	P_{in} (Watt)	P_{out} (Watt)	η_G %
1	0.229	47.962	12.80	26.69
2	0.273	57.18	19.20	33.58
3	0.305	63.88	25.60	40.08
4	0.343	71.84	32.00	44.54
5	0.382	80.01	38.40	47.99
6	0.436	91.32	44.45	48.68
7	0.490	102.63	50.80	49.50
8	0.518	108.49	57.15	52.68
9	0.561	117.50	63.00	53.62
10	0.599	125.46	68.20	54.36
11	0.638	133.62	73.80	55.23
12	0.681	142.63	79.30	55.60
13	0.736	154.15	84.00	54.49
14	0.817	171.11	90.00	52.60



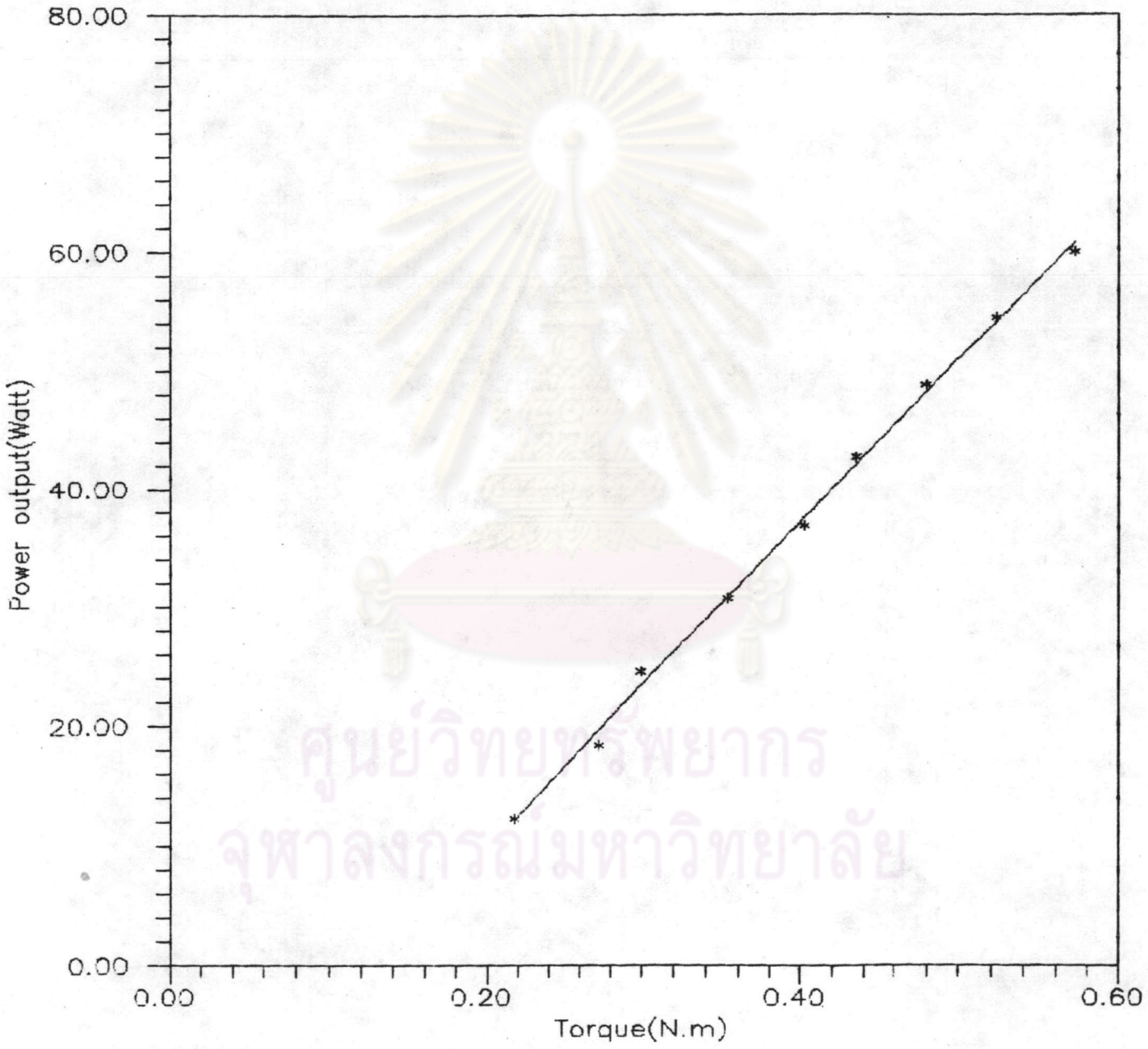
รูปที่ ง_3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานขาเข้ากับกำลังงานที่ได้ที่มีความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 1900 รอบ/นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



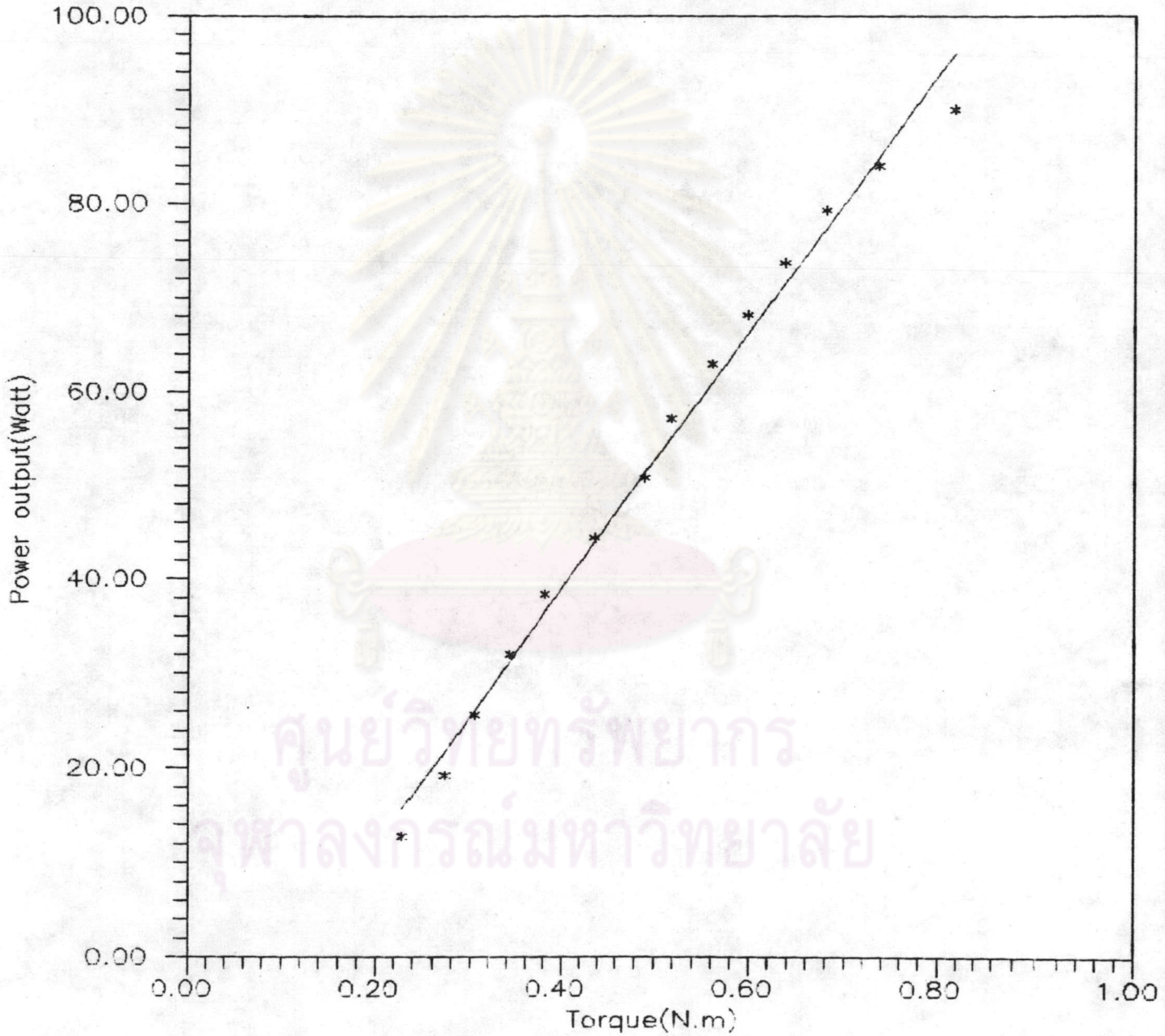
รูปที่ ง.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานขาเข้ากับกำลังงานที่ได้ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 2000 รอบ/นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



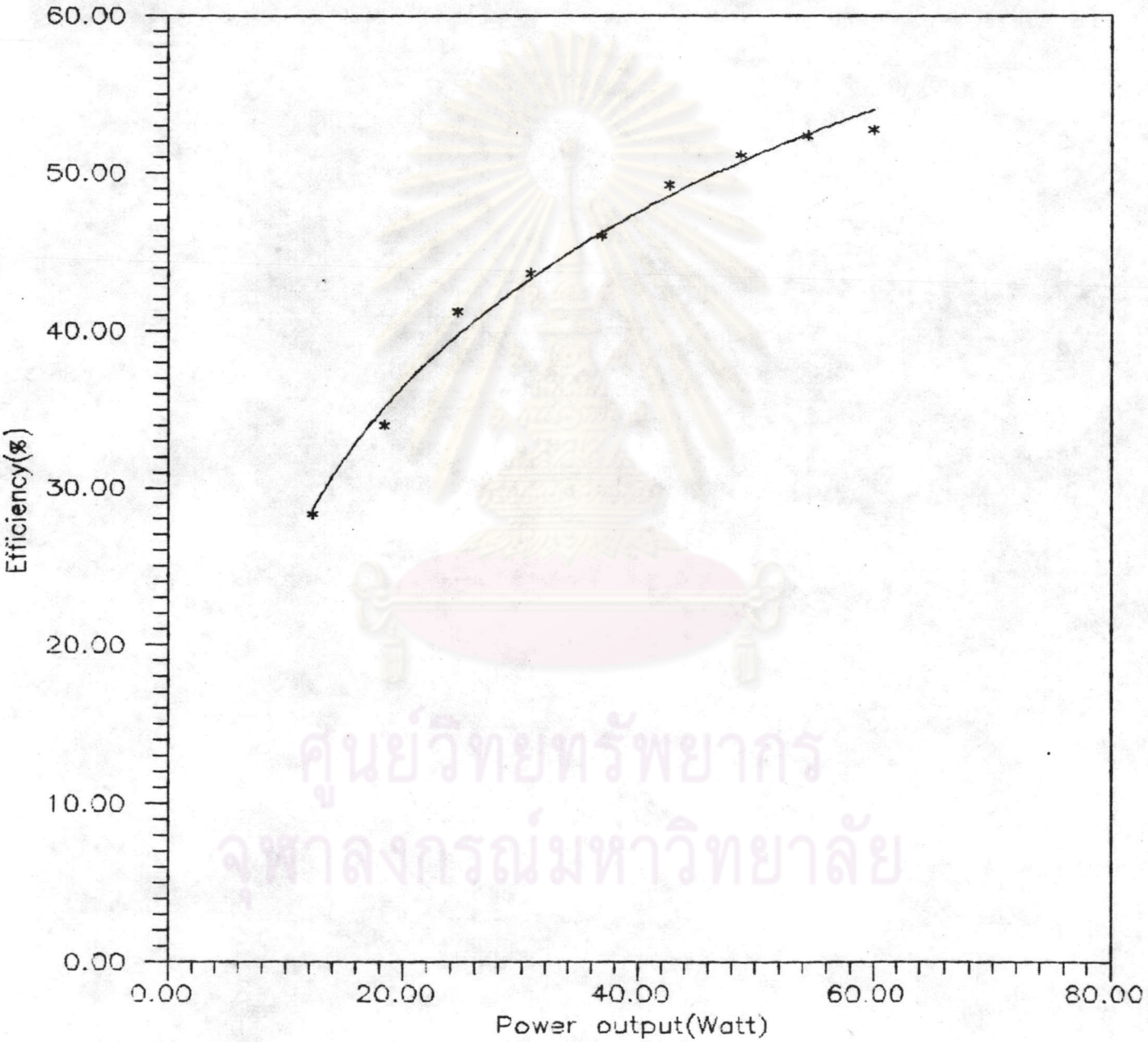
รูปที่ ง-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกำลังงานที่ได้ ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 1900 รอบ/นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



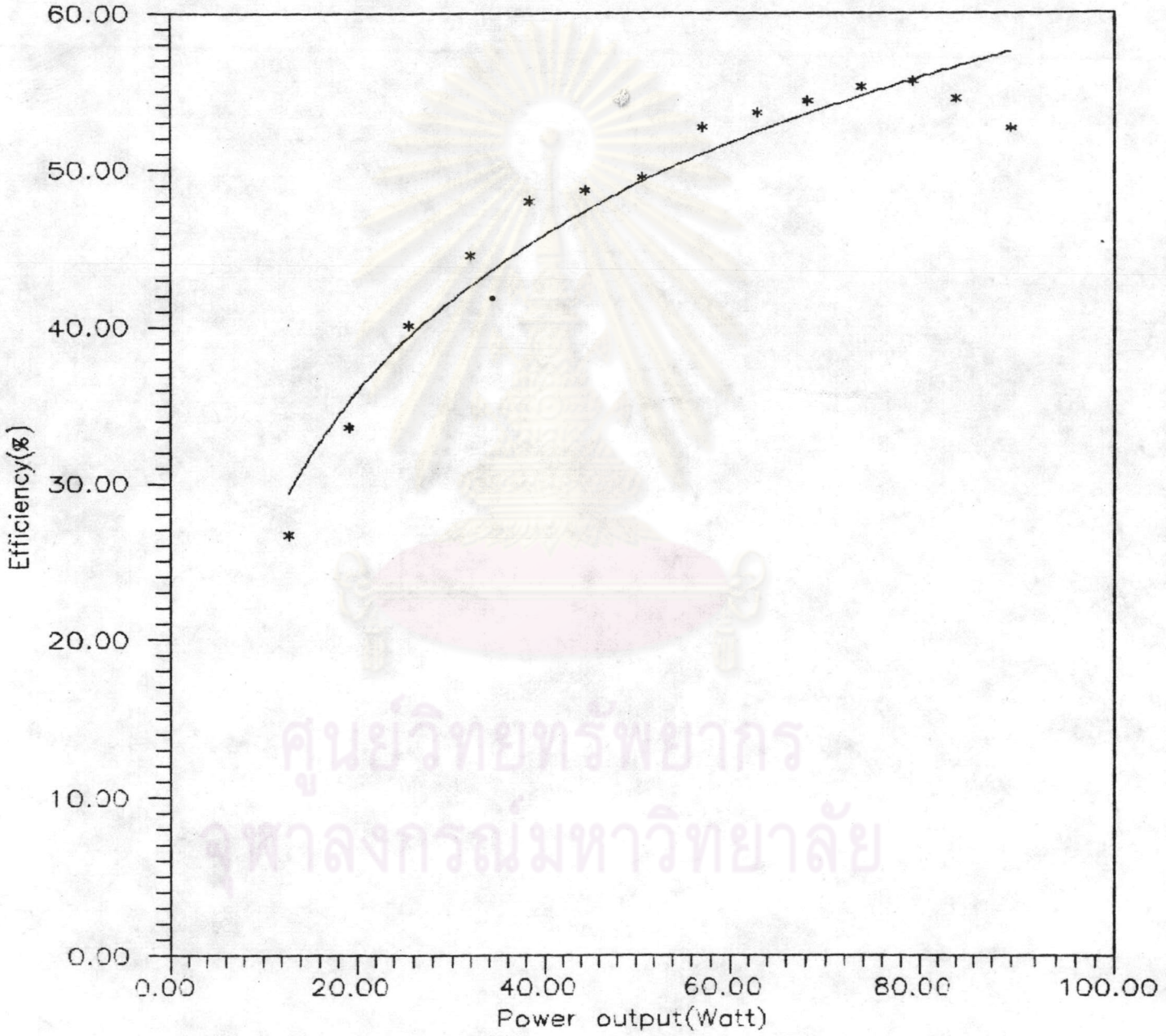
รูปที่ ง-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกำลังงาน ที่ได้ที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 2000 รอบ/นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ได้กับประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบ 1900 รอบ/นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ได้กับประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2000 รอบ/นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

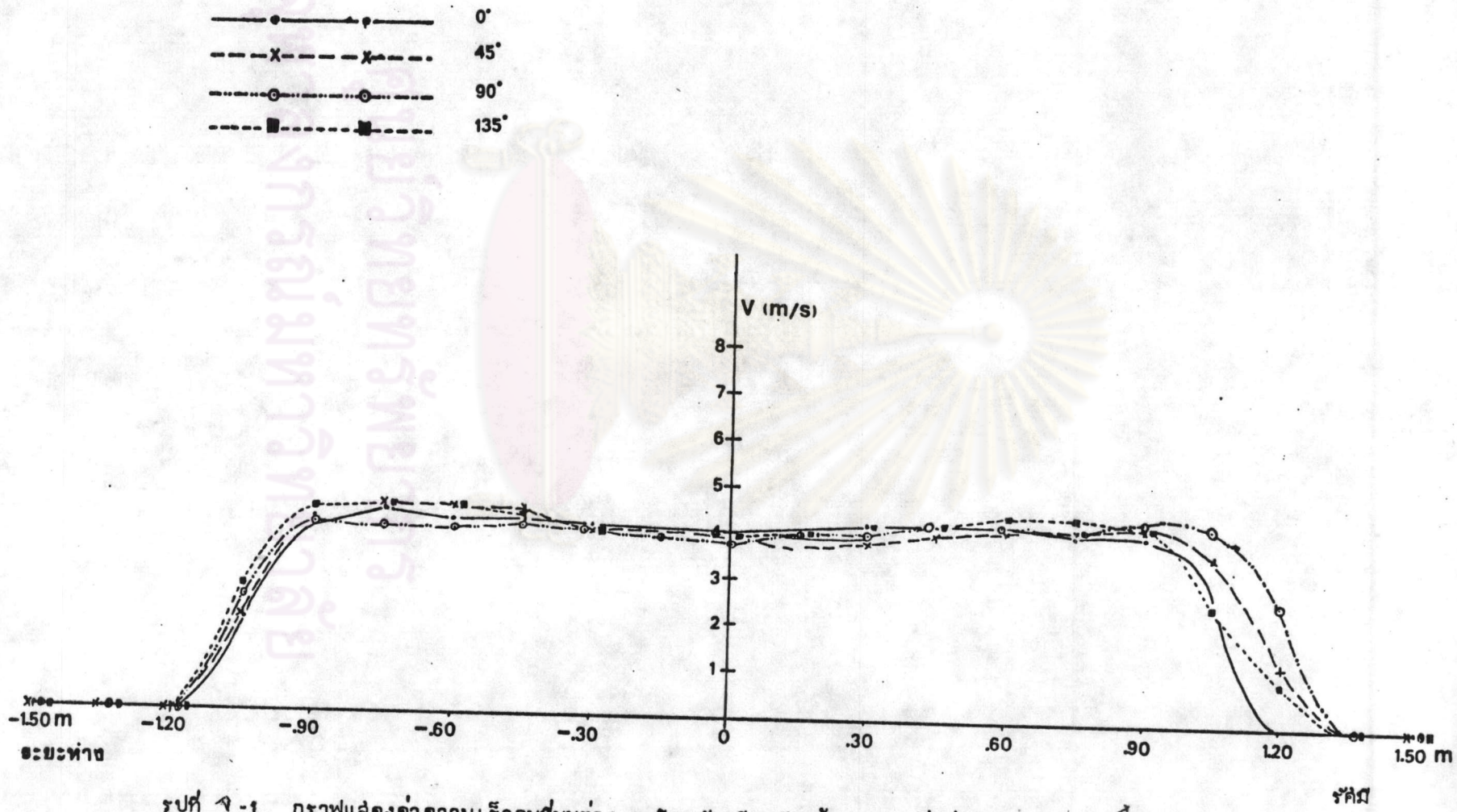
การสอบเทียบอุโมงลม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสอบเทียบอุโมงลม [8]

จากการสอบเทียบที่ความเร็วรอบของใบพัดของอุโมงลมเท่ากับ 600 รอบ/นาที และทำการวัดที่มุมต่างๆ จาก 0, 45, 90 และ 135 องศา เพื่อนำผลที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับแนวศูนย์องศา และพบว่าที่ระยะห่างจากอุโมงลมเท่ากับ 1.5 เมตร และกังหันลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1.5 เมตร ซึ่งความเร็วลมจะมีค่าสม่ำเสมอดี ดังแสดงในรูปที่ จ-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๙ -1 กราฟแสดงค่าความเร็วลมที่มุมต่าง ๆ โดยวัดเทียบกับเส้นระดับ เมื่อห่างจากปากอุโมงค์ลม 1.50 เมตร ที่ความเร็วรอบของใบพัด 600 รอบ ต่อนาที

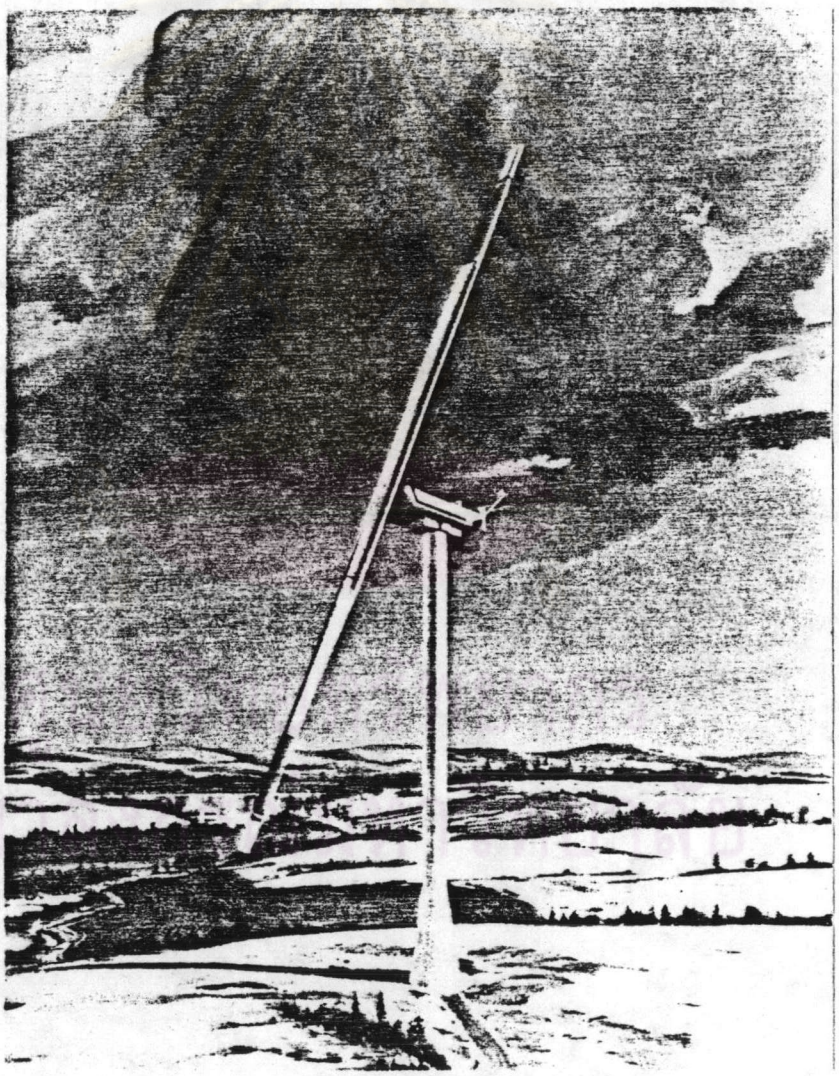
ภาคผนวก ฉ

กังหันลมแกนนอนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีผลิตในประเทศไทยและตัวอย่างกังหันลมแกนนอนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในต่างประเทศ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า NASA รุ่น Mod-2

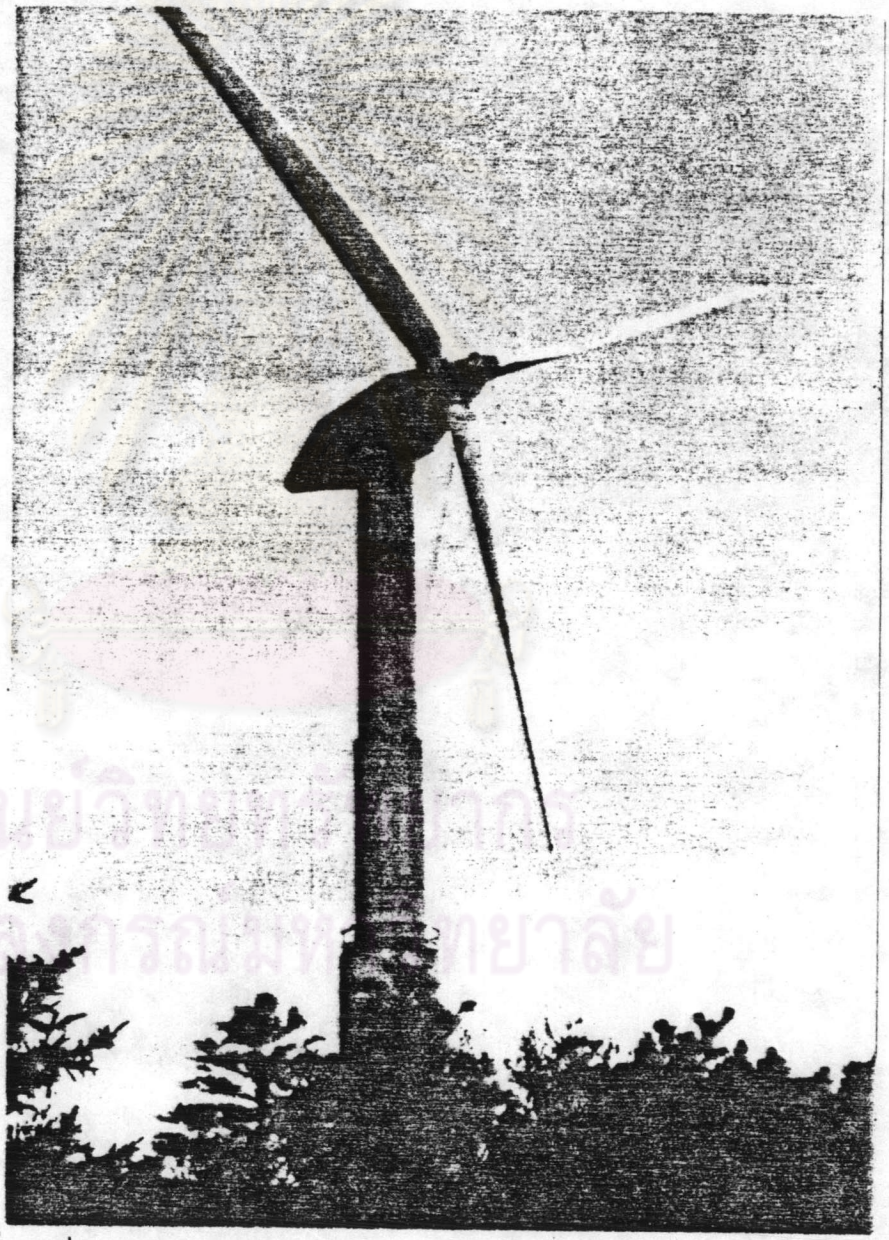
เป็นกังหันแกนนอนชนิด 12 ใบ สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า [14] ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา ขนาด 2500 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วลม 12.5 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 ฟุต กังหันลมมีความเร็วรอบ 17.5 รอบต่อนาที เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ ฉ-1



รูปที่ ฉ-1 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า NASA รุ่น Mod-2

2. กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า Tvind

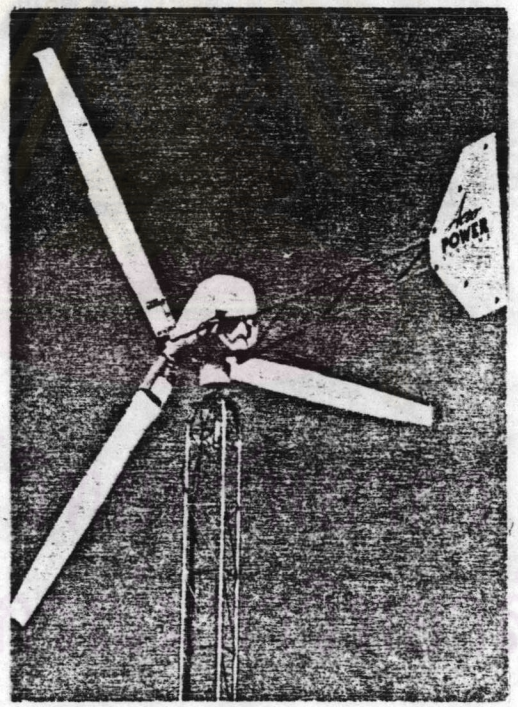
เป็นกังหันลมแกนนอนชนิด 3 ใบ สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า [14] ผลิตในประเทศเดนมาร์ค ขนาด 2 เมกกะวัตต์ ที่ความเร็วลม 14 เมตรต่อวินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 เมตร และหอกังหันลมสูง 53 เมตร ดังแสดงในรูปที่ ฉ-2



รูปที่ ฉ-2 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า Tvind

3. กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า Aero Power รุ่น SL 1500

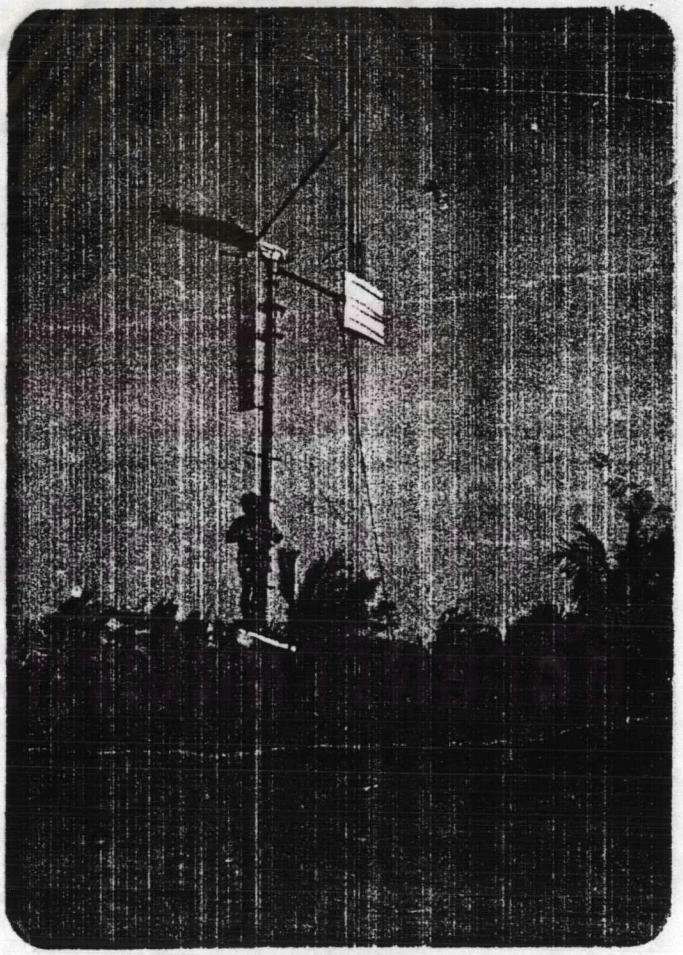
เป็นกังหันลมแกนนอนชนิด 3 ใบ สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า [15] ผลิตจากประเทศอังกฤษ ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วลม 1.05 เมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ ฉ-3



รูปที่ ฉ-3 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า Aero Power รุ่น SL 1500

4 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าชนิด 3 ใบ ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กังหันลมผลิตไฟฟ้าแกนนอนชนิด 3 ใบ [12] เพื่อประจุแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของรถยนต์ (Alternater) ขนาด 12 โวลท์ 30 แอมป์ และเป็นกังหันลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหัน 4.3 เมตร ใบกังหันทำด้วยสังกะสี ดังแสดงในรูปที่ 1.5 มีอัตราส่วนความเร็วปลายใบ 5.75 มีอุปกรณ์ทางกลเพื่อควบคุมความเร็วรอบของกังหัน ส่งกำลังด้วยระบบเฟืองทดโดยใช้อัตราทด 12.25 : 1 สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 113.6 วัตต์ ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 5.5 เมตรต่อวินาที



รูปที่ ฉ-4 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

5 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าชนิด 3 ใบ ของ ม.สงขลานครินทร์

กังหันลมผลิตไฟฟ้าแนวแกนนอนชนิด 3 ใบ [13] ใบกังหันเป็นรูปแพนอากาศหมายเลข 4421 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบ 6.3 เมตร ทำด้วยไฟเบอร์กลาสหุ้มโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 1.6 และอัตราส่วนความเร็วปลายใบ 6.25 มีอุปกรณ์ทางกลควบคุมความเร็วรอบของกังหันลม ส่งกำลังด้วยระบบเฟืองทดโดยใช้อัตราทด 12:1 ใช้ระบบเกียรทดความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเป็น 1200 รอบต่อนาที สำหรับการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วลม 6.25 เมตรต่อวินาที ในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้นั้น อาจใช้โดยตรงจากแบตเตอรี่ในรูปไฟฟ้ากระแสตรง หรือจากอินเวอร์เตอร์ (inverter) ในรูปไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้

รูปที่ ฉ-5 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าของ ม.สงขลานครินทร์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายปรีชา บุบผาชาติ
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2498
	เกิดที่ อำเภอท่าช้าง จังหวัดสิงห์บุรี
วุฒิการศึกษา	สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
ปีที่สำเร็จ	พ.ศ. 2524
การทำงาน	วิศวกร 5 ระดับ 5
	ฝ่ายต้นแบบและทดสอบ
	กองค้นคว้าและพัฒนาพลังงาน
	สำนักงานพลังงานแห่งชาติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย