รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

บุญชัย เลิศนุวัฒน์. การพัฒนาโปรแกรมจำลองรูปแบบการใช้พลังงานสำหรับอาคารในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS. Chapter 33 ,1985.

American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS. Chapter 32 ,1993.

David K.Eads. Establishing a centrifugal-fan performance curve. Chemical Engineering (March 23,1981):201-208.

Derek Kongsawat. Investigation of Cooling Technology for Improvement of the Air Conditoning System for Office Buildings in Bangkok. Master's Thesis ,Graduate School ,AIT.

Englander,S.L. and Norford,L.K. Saving Fan Energy in VAV systems-Part 1:Analysis of a Variable-Speed-Drive retrofit. ASHRAE Transactions :research (1994):3-18.

Herb Wendes,P.E. Variable Air Volume Manual. America: The Fairmont Press,1994.

Jan,F.,Kreider and Ari Rabl. Heating and Cooling of Buildings :Design for Efficiency. Singapore:McGraw-Hill,1994.

Lack,C.W. Flow Modulation with good energy saving on centrifugal fans with inlet guide vanes. BHRA Fluid Engineering. K4(September,1982):501-514.

Spitler,J.D.; Pedersen,C.O.; Hittle,D.C.;and Johnson,D.L. Fan Electricity Consumption for Variable Air Volume. ASHRAE Transactions 1(1986):5-17.

Steve,Y.S.,Chen and Stanley,J.,Demster. Variable Air Volume Systems for Environmental Quality. New York:McGraw-Hill, 1996.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

Source code สำหรับโปรแกรม VAV-CAL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
*************************************************************************
*                                                                       *
*       COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING THE ELECTRICAL ENERGY          *
*       CONSUMPTION OF VARIABLE AIR VOLUME SYSTEM(VAV)THAT USE          *
*                1: Inlet Guide Vanes(IGV)                              *
*                2: Variable Speed Drives(VSD)                          *
*        IS THE AIR FLOW MODULATOR.                                     *
*                                                                       *
*        WRITTEN BY                                                     *
*                  CHARNNARONG    ASSAVATESANUPHAP                      *
*                                                                       *
*                           C816035                                     *
*************************************************************************

      SUBROUTINE VAV_CAL(TZONE,SENSIBLE,ENER,DELTA_P,CFM_MAX,CAP_MAX
     +           ,AREA,EMAX)

C=======================================================================
C=============== CALCULATION OF VARIABLE AIR VULUME SYSTEM =============
C=======================================================================
C
C     ASSIGN VARIABLES
C
C           AIR_DENSITY = DENSITY OF AIR,kg/m^3
C           AREA        = FLOOR AREA,m^2
C           AREA_ER     = RATIO OF FLOOR AREA TO COIL LOAD,m^2/Tons
C           CAP_MAX     = MAXIMUM CAPACITY OF SYSTEMS
C           CFM_MAX     = MAXIMUM CFM OF SYSTEMS
C           EFFM        = EFFICIENCY OF MOTOR
C           EMAX        = MAXIMUM FAN POWER CONSUMPTION,W
C           ENER        = FAN ELECTRICAL POWER CONSUMPTION,W
C           FLOW        = DISCHARGE AIR VOLUME FLOW RATE,cfm
C           MASS_FLOW   = MASS FLOW RATE OF DISCHARGE AIR,kg/s
C           PMAX        = MAXIMUM PRESSURE DROP IN DUCT SYSTEM,Pa
C           PS          = FAN SHAFT INPUT POWER,W
C           PSMAX       = MAXIMUM FAN SHAFT INPUT POWER,W
C           QMAX        = MAXIMUM AIR VOLUME FLOW RATE,cfm
C           RESIST      = PRESSURE DROP IN DUCT SYSTEM,Pa
C           SENSIBLE    = TOTAL SENSIBLE LOAD,W
C           TCOLD       = DISCHARGE AIR TEMPERATURE,C
C           TZONE       = ROOM AIR TEMPERATURE,C

      CHARACTER*20 SHAPE(50)
      COMMON /DUCT_S/ MODES,N,SHAPE,W(50),H(50),Q(50),L(50),C(50),M
     +,POSITION
      COMMON /FAN_S/ MODEF,M_TYPE,NUMBER,DF(20),WF(20),AF(20),NF(20)
     +,F(20),DP(50),P(50),D1,W1,A1
      COMMON /PROP/ ABE(9),ANT(9),PMAX,QMAX
      COMMON ICOUNT
      REAL L,MASS_FLOW,NF

C.....DISCHARGE AIR CONDITIONS
      TCOLD = 12.0

C.....CALCULATE DISCHARGE AIR MASS FLOW RATE,kg/s
      MASS_FLOW = SENSIBLE/((TZONE-TCOLD)*1000.)
      AIR_DENSITY = 101325./(287.*(273.15+TCOLD))

C.....CALCULATE DISCHARGE AIR VOLUME FLOW RATE,cfm
      FLOW = (MASS_FLOW/AIR_DENSITY)*2119.

C.....READ DATAS FROM DATA'S FILE
      CALL READ_DAT()

C.....CHECK MAXIMUM AIR FLOW RATE OF FAN OPERATION
      IF (FLOW.GT.CFM_MAX) FLOW = CFM_MAX

C.....CHECK FREQUENCY OF FAN'S PART LOAD OPERATING
      PERFLOW = FLOW/CFM_MAX
      IF (PERFLOW.GT.0.9) I1=I1+1
      IF ((PERFLOW.GT.0.8).AND.(PERFLOW.LE.0.9)) I2=I2+1
      IF ((PERFLOW.GT.0.7).AND.(PERFLOW.LE.0.8)) I3=I3+1
      IF ((PERFLOW.GT.0.6).AND.(PERFLOW.LE.0.7)) I4=I4+1
      IF ((PERFLOW.GT.0.5).AND.(PERFLOW.LE.0.6)) I5=I5+1
      IF ((PERFLOW.GT.0.4).AND.(PERFLOW.LE.0.5)) I6=I6+1
```

```
      IF ((PERFLOW.GT.0.).AND.(PERFLOW.LE.0.4))  I7=I7+1
      OPEN (789,FILE='FREQ.OUT')
      WRITE(789,10) I1,I2,I3,I4,I5,I6,I7
   10 FORMAT(7(2X,I4))

C.....SET VARIABLES
      PMAX = DELTA_P
      QMAX = CFM_MAX
      AREA_ER = AREA/(0.0002843*CAP_MAX)

C.....FIND RESISTANCE IN DUCT RUN WHEN SPECIFIED AIR FLOW THROUGH
C.....DUCT SYSTEM.

      CALL DUCT(FLOW,RESIST,QMAX,PMAX,AREA_ER)

C.....CONVERT UNIT OF RESIST FROM SI UNIT(Pa) TO ENGLISH UNIT(in WG.)
      RESIST = RESIST/997/9.81*100/2.54

C.....FIND FAN SHAFT INPUT POWER FOR OPERATING CONDITION.
      CALL FAN(FLOW,RESIST,PS,PSMAX)

C.....LET EFFM AS FAN MOTOR'S EFFICIENCY
      EFFM=0.90

C.....CALCULATE FAN ELECTRICAL POWER CONSUMPTION
C.....LET EMAX AS MAXIMUM POWER CONSUMPTION
      EMAX = PSMAX/0.90

      IF ((M_TYPE.EQ.1).OR.(M_TYPE.EQ.2)) THEN
         ENER = PS/EFFM
      ELSE
         WRITE(*,*) 'ERROR ON TYPE OF FLOW MODULATOR'
      ENDIF

      RETURN
      END


      SUBROUTINE READ_DAT()
C     ================================================================
C     |                                                              |
C     | THIS SUBROUTINE WILL READ AIR DUCT DATAS FROM INPUT DATA FILE.|
C     |                                                              |
C     ================================================================
C
C     ASSIGN VARIABLES
C
C           AF       = FAN HOUSING OUTLET AREA,ft^2
C           C        = LOCAL LOSS COEFFICIENT
C           DF       = FAN WHEEL DIAMETER,inch
C           DP       = STATIC PRESSURE GAIN,inch H2O
C           F        = VOLUMETRIC FLOWRATE,cfm
C           H        = HEIGHT OF RECTANGULAR DUCT,inch
C           L        = LENGTH OF DUCT,m
C           M        = NUMBER DUCT SECTIONS IN DOWNSTREAM OF FAN
C           MODEF    = FAN TYPE FOR USER'S SELECTION
C           MODES    = DUCT SYSTEM TYPE FOR USER'S SELECTION
C           M_TYPE   = TYPE OF AIR FLOW MODULATION'S METHODS
C           N        = NUMBER DUCT SECTIONS IN UPSTREAM OF FAN
C           NF       = FAN ROTATIONAL SPEED,rpm
C           NUMBER   = NUMBER OF DATA POINTS OF USER'S FAN DATA
C           P        = SHAFT INPUT POWER,hp
C           POSITION = POSITION OF STATIC PRESSURE SENSOR
C           Q        = AIR FLOW RATE,cfm
C           SHAPE    = SHAPE OF DUCT SECTION
C           W        = WIDTH OF RECTANGULAR DUCT,inch
C           WF       = FAN TIP WIDTH,inch

      CHARACTER*20 SHAPE(50)
      COMMON /DUCT_S/ MODES,N,SHAPE,W(50),H(50),Q(50),L(50),C(50),M
     +,POSITION
      COMMON /FAN_S/ MODEF,M_TYPE,NUMBER,DF(20),WF(20),AF(20),NF(20)
     +,F(20),DP(50),P(50),D1,W1,A1
      REAL L,NF
```

```
      OPEN(100,FILE='VAV.TMP')
C.....PART I. READ DUCT DATA FROM INPUT FILE
C.....READ MODE OF SYSTEM CHARACTERISTIC CURVE
C.....      MODE 1: DEFAULT SYSTEM CURVE
C.....      MODE 2: USER INPUT DATAS FOR GENERATE SYSTME CURVE

      READ(100,*) MODES
      IF(MODES.EQ.2) THEN
        READ(100,*) N
        DO 100 I=1,N
           READ(100,'(A)') SHAPE(I)
  100      READ(100,*) W(I),H(I),Q(I),L(I),C(I)
        READ(100,*) M
        DO 200 J=N+1,N+M
           READ(100,'(A)') SHAPE(J)
  200      READ(100,*) W(J),H(J),Q(J),L(J),C(J)
        READ(100,*) POSITION
        END IF

C.....PART II. READ FAN DATA FROM INPUT FILE
C.....READ MODE OF FAN PERFORMANCE CURVE
C.....      MODE 1: DEFAULT FAN CURVE
C.....      MODE 2: USER INPUT DATAS FOR GENERATE FAN CURVE
      READ(100,*) MODEF
      IF (MODEF.EQ.1) THEN
C.....READ TYPE OF FLOW MODULATOR
C.....      TYPE 1: INLET GUIDE VANES(IGV)
C.....      TYPE 2: VARIABLE SPEED DRIVE(VSD)
         READ(100,*) M_TYPE
      ELSE
         READ(100,*) NUMBER
         DO 300 I=1,NUMBER
  300       READ(100,*) DF(I),WF(I),AF(I),NF(I),F(I),DP(I),P(I)
C.....READ USER'S FAN SIZE
         READ(100,*) D1,W1,A1
C.....READ TYPE OF FLOW MODULATOR
         READ(100,*) M_TYPE
      END IF
      CLOSE(100)

      RETURN
      END

      SUBROUTINE DUCT(FLOW,RESIST,QMAX,PMAX,AREA_ER)
C=================================================================
C============================== PART I ===========================
C=================================================================
C     ESTABLISH SYSTEM CHARACTERISTIC CURVE IN VAV SYSTEM
C                        ( DP = C1*Q^2 + C2 )
C
C     ASSIGN VARIABLE
C
C           C  = LOCAL LOSS COEFFICIENT
C           C1 = COEFFICIENT OF SYSTEM CHARACTERISTIC CURVE
C           C2 = COEFFICIENT OF SYSTEM CHARACTERISTIC CURVE
C           DENS = AIR DENSITY,kg/m^3
C           Dh = HYDRALIC DIAMETER,mm
C           DP,RESIST = SYSTEM PRESSURE DROP,Pa
C           e  = ROUGHNESS,mm
C           f  = FRICTION FACTOR
C           H  = DUCT HEIGTH,in.
C           L  = DUCT LENGTH,m
C           M  = NUMBER OF SECTION OF SUPPLY DUCT
C           MA = MAJOR LOSS COEFFICIENT
C           MI = MINOR LOSS COEFFICIENT
C           N  = NUMBER OF SECTION OF RETURN DUCT
C           NUM_SEC = TOTAL NUMBERS OF DUCT SECTION
C           PV = DYNAMIC PRESSURE,Pa
C           RE = REYNOLDS NUMBER
C           SP = STATIC PRESSURE SETPOINT,Pa
C           V  = AIR VELOCITY,m/s
C           W  = DUCT WIDTH OR DUCT RADIUS,in.
      CHARACTER*20 SHAPE(50)
      COMMON /DUCT_S/ MODES,N,SHAPE,W(50),H(50),Q(50),L(50),C(50),M
     +,POSITION
```

```
      COMMON ICOUNT
      DIMENSION YI(0:6),X(0:6),Y(0:6)
      CHARACTER DMMY*6,CH
      REAL L,N_SP
      DIMENSION DP(50)

C.....SELECT SYSTEM RESISTANCE CURVE

      IF (MODES.EQ.1) THEN
         IF (ICOUNT.EQ.0) THEN
C.....MODE 1:DEFAULT SYSTEM RESISTANCE CURVE
C.....ACALCULATE COEFFICIENT(C1,C2) FOR DEFAULT SYSTEM RESISTANCE CURVE
C.....THAT EQUATION FORM AS:   DP = C1*Q^2+C2
            CALL DUCT_SYSTEM(PMAX,QMAX,C1,C2,AREA_ER)
            ICOUNT = 1
            END IF
      ELSE

         CALL DIVIDE()
C.....MODE 2:USER INPUT DATAS FOR ESTABLISHING SYSTEM CURVE
C.....CALCULATE PRESSURE DROP IN EACH DUCT SECTIONS
C.....NUM_SEC AS TOTAL NUMBER OF DUCT SECTION
         NUM_SEC = N+M
         CALL SECTION(DP,NUM_SEC)

C.....CALCULATE STATIC PRESSURE SETPOINT AT SUPPLY DUCT
         DMMY = 'SUPPLY'
         CALL GEN_DAT(DMMY,DP,QMAX,SP,N,M,X,Y)
         IF (ICOUNT.EQ.0) THEN

C.....ICOUNT IS USED TO SKIP FOLLOWING QUESTION FOR THE NEXT TIME.
            ICOUNT = 1
            WRITE(*,*) 'MAXIMUM STATIC PRESSURE SET POINT = ',SP,' Pa'
  660       WRITE(*,*) 'DO YOU WANT TO CHANGE THE SET POINT?[Y/N]'
            READ(*,'(A)') CH
            IF ((CH.EQ.'Y').OR.(CH.EQ.'y')) THEN

C.....DETERMINE NEW STATIC PROESSURE SET POINT
               WRITE(*,*) ' NEW STATIC PRESSURE SET POINT IS = '
               READ(*,*) N_SP
               SP = N_SP
            ELSE
               IF ((CH.EQ.'N').OR.(CH.EQ.'n')) GOTO 670
               GOTO 660
  670       ENDIF
         ENDIF

C.....CALCULATE COEFFICIENT(C1,C2) FOR USER SYSTEM RESISTANCE EQUATION
C.....THAT EQUATION FORM AS:   DP = C1*Q^2+C2

         DMMY ='RETURN'
         CALL GEN_DAT(DMMY,DP,QMAX,SP,N,M,X,Y)
         DO 25 I=0,6
   25       YI(I)=Y(I)+SP
         CALL L_SQUARE(C1,C2,X,YI)
         PMAX = DP_VAV(QMAX,C1,C2)

      ENDIF

C.....CALCULATE SYSTEM RESISTANCE IN DUCT SYSTEM
      RESIST = DP_VAV(FLOW,C1,C2)

      RETURN
      END


      SUBROUTINE FAN(FLOW,RESIST,PS,PSMAX)
C=======================================================================
C========================== PART II ====================================
C=======================================================================
C     ESTABLISH FAN PERFORMANCE CURVE IN VAV SYSTEM
C
C     CHOOSE 1:DEFAULT FAN CURVE (YORK, BI DWDI)
C
```

```
C     ASSIGN VARIABLES
C           ANT       = COEFFICIENTS OF TOTAL MECHANICAL EFFICIENCY OF
C                       FAN EQUATION
C           ABE       = COEFFICIENTS OF EQUATION OF MEAN ANGLE AT WHICH
C                       GAS EXITS FROM FAN WHEEL
C           CFM,FA    = AIR FLOW RATE,cfm
C           RPM       = FAN ROTATIONAL SPEED,rpm
C           MIN_FLOW  = MINIMUM ALLOWABLE AIR FLOW OF FAN,cfm
C           PEAK      = MAXIMUM AIR FLOW OF FAN,cfm
C           P_RISE    = STATIC PRESSURE GAIN,in H2O

      COMMON /PROP/ ABE(9),ANT(9),PMAX,QMAX
      COMMON /FAN_S/ MODEF,M_TYPE,NUMBER,DF(20),WF(20),AF(20),NF(20)
     +,F(20),DP(50),P(50),D1,W1,A1
      COMMON ICOUNT
      REAL NF,NT,LOGNT,LOGBETA,LORANGE
      DIMENSION CO(50,50),GM(20),NT(100),BETA(100)
      DIMENSION LOGNT(100),LOGBETA(100)

C.....CONVERT UNIT OF PMAX FROM SI UNIT(Pa) TO ENGLISH UNIT(in WG.)
      PMAX = PMAX/997./9.81*100./2.54

      IF (ICOUNT.EQ.1) THEN
         IF (MODEF.EQ.1) THEN

C.....FAN'S CHARACTERISTIC OF DEFAULT FAN CURVE
           ANT(1) = -1.1192
           ANT(2) = -0.5753
           ANT(3) = -0.1044
           ABE(1) =  4.2386
           ABE(2) =  0.1874
           ABE(3) =  0.0384

C.....SELECTION OF FAN'S SIZE
C.....CRITERIA : 1. LOW FAN'S POWER CONSUMPTION
C.....           2. OPERATING POINT IS OUT OF SURGE REGION.
       DO 100 I=1,3
           IF (I.EQ.1) THEN
              D1 = 30.0
              W1 = 6
              A1 = 9.31
C.....CHECK MINIMUM AIRFLOW LIMIT OF LARGE FAN SIZE
              IF (QMAX.LT.4900.) GOTO 100

           ELSE IF (I.EQ.2) THEN
              D1 = 24.5
              W1 = 4.9
              A1 = 6.21
C.....CHECK MINIMUM AIRFLOW LIMIT OF MIDDLE FAN SIZE
              IF (QMAX.LT.4200.) GOTO 100

           ELSE IF (I.EQ.3) THEN
              D1 = 18.25
              W1 = 3.65
              A1 = 3.45
C.....CHECK MINIMUM AIRFLOW LIMIT OF SMALL FAN SIZE
           END IF

C.....FIND RPM OF FAN SPEED FROM SUBROUTINE [VSD]
           CALL VSD(D1,W1,A1,QMAX,PMAX,RPM,PS,PSMAX)

C.....FIND MAXIMUM OF AIR FLOW RATE (RANGE) THAT SPECIFIED FAN'S SIZE
C.....CAN BE OPERATING
C.....LET PEAK AS MAXIMUM AIR FLOW RATE OF FAN,CFM
           IM=1
  200      FR = QMAX+200*IM
           CALL ESTABLSH(D1,W1,A1,FR,RPM,P_RISE)
           IF (P_RISE.GT.0.25) THEN
              IM=IM+1
              GOTO 200
           END IF
           PEAK = FR*0.8

C.....DETERMINE FAN'S OPERATING RANGE FOR HIGH FAN MECHANICAL EFFICIENCY
           LORANGE = PEAK*0.6
```

```
          UPRANGE = PEAK*0.8

          IF ((QMAX.GT.LORANGE).AND.(QMAX.LT.UPRANGE)) GOTO 300
  100     CONTINUE
  300   CONTINUE

      ELSE

C     CHOOSE 2:FAN CURVE BY USER INPUT DATAS
C
C     ASSIGN VARIABLES
C
C           BETA = MEAN ANGLE AT WHICH GAS EXITS FROM FAN WHEEL,rad.
C           EK   = KINETIC ENERGY GAIN/UNIT MASS,ft-lb-f/lb-m
C           EP   = POTENTIAL ENERGY GAIN/UNIT MASS,ft-lb-f/lb-m
C           ET   = TOTAL ENERGY GAIN PER UNIT MASS OF GAS,ft-lb-f/lb-m
C           GM   = EK/ET RATIO
C           NT   = TOTAL MECHANICAL EFFICIENCY,%
C           WSI  = SHAFT INPUT POWER,ft-lb-f/lb-m

C.....FIND TOTAL MECHANICAL EFFICIENCY AND MEAN ANGLE AT WHICH GAS
C.....EXITS FROM FAN WHEEL FROM USER'S INPUT FAN DATA SETS
          DO 500 I=1,NUMBER
             V = 13.3
             EK = (F(I)/AF(I))**2/231624.
             EP = 5.204*V*DP(I)
             ET = EP+EK
             EO = (DF(I)*NF(I))**2/1698726.
             EB = (F(I)*NF(I)/WF(I))/9650.
             GM(I) = EK/ET
             WSI = 33000.*(P(I)*V/F(I))
             NT(I) = ET/WSI
             LOGNT(I) = LOG(NT(I))
             BETA(I) = (ATAN(EB/(EO-WSI))*180./(22./7.))
             LOGBETA(I) = LOG(ATAN(EB/(EO-WSI))*180./(22./7.))
             CO(I,1) = LOG(GM(I))
             CO(I,2) = LOG(GM(I))**2
  500        CONTINUE
          K=2
          CALL MREGRESS(NUMBER,K,CO,ANT,LOGNT)
          CALL MREGRESS(NUMBER,K,CO,ABE,LOGBETA)
        ENDIF

      ENDIF

C.....METHODS OF FLOW MODULATION CAN BE DIVIDED TO
      IF (M_TYPE.EQ.1) THEN
C.....METHOD 1: Inlet Guide Vanes(IGV)
         CALL IGV(D1,W1,A1,FLOW,PS,PSMAX)
         ICOUNT = 2
      ELSE IF (M_TYPE.EQ.2) THEN
C.....METHOD 2: Variable Speed Drive(VSD)
         CALL VSD(D1,W1,A1,FLOW,RESIST,RPM,PS,PSMAX)
         ICOUNT = 2
      ELSE
         WRITE(*,*) 'ERROR ON CHOOSING FLOW MODULATION METHOD'
      ENDIF

      RETURN
      END


      SUBROUTINE DIVIDE()
C     ================================================================
C     |  THIS SUBROUTINE WILL DIVIDE PRESSURE DROP IN THE SYSTEM TO   |
C     |  TWO PARTS:                                                   |
C     |                                                               |
C     |       1.CONSTANT PRESSURE DROP ACROSS THE FLOW VARIATOR.      |
C     |                                                               |
C     |       2.PRESSURE DROP IN THE AIR HANDLING UNIT AND THE DUCT   |
C     |        ,WHICH VARIES BASICALLY AS THE SQUARE OF THE AIR FLOW. |
C     |                                                               |
C     ================================================================
      CHARACTER*20 SHAPE(50)
      COMMON /DUCT_S/ MODES,N,SHAPE,W(50),H(50),Q(50),L(50),C(50),M
```

```
     +,POSITION
      DIMENSION L_DUMMY(50)
      REAL L,L_DUMMY,L_1,L_2

      T_LENGTH = 0
      INIT = N+1
      IFINL = N+M
      DO 100 I=INIT,IFINL
  100    T_LENGTH = T_LENGTH+L(I)
      IF (POSITION.EQ.1) THEN
         GOTO 7000
      ELSE
         IF (POSITION.EQ.2) THEN
            CHECK_POS = 2./3.*T_LENGTH
            L_DUMMY(N) = 0.
            ICOUNT = 0
            DO 200 I=INIT,IFINL
               L_DUMMY(I) = L_DUMMY(I-1)+L(I)
               ICOUNT = ICOUNT+1
               IF (L_DUMMY(I).LT.CHECK_POS) THEN
                  GOTO 200
               ELSE
                  L_1 = L_DUMMY(I)-CHECK_POS
                  L_2 = CHECK_POS-L_DUMMY(I-1)
                  GOTO 300
               ENDIF
  200          CONTINUE
  300       N = N+ICOUNT
            M = M-ICOUNT+1
            SHAPE(N+M) = SHAPE(N)
            Q(N+M) = Q(N)
            W(N+M) = W(N)
            H(N+M) = H(N)
            L(N+M) = L_1
            C(N+M) = C(N)
            L(N) = L_2
            C(N) = 0.
         ELSE
            WRITE(*,*) 'OUT OF MODE OF SENSOR LOCATION'
         ENDIF
      ENDIF

 7000 RETURN
      END


      SUBROUTINE DUCT_SYSTEM(PMAX,QMAX,C1,C2,AREA_ER)
C.....THIS SUBROUTINE WILL ESTABLISH SYSTEM CURVE FOR VAV DUCT SYSTEM.
C.....SYSTEM CURVE FORM:
C.....                    DP  =  C1*Q^2 + C2
C.....
C.....SELECT PRESURE DROP IN VAV TERMINAL FROM AREA_ER RATIO.
C.....
C.....CRITERIAS FOR DUCT DESIGN
C.....  -  RANGE OF AIRFLOW IS BETWEEN 10,000-20,000 CFM
C.....  -  LINEAR SLOT DIFFUSER
C.....  -  PRESSURE DROP OF DIFFUSER+VAV TERMINAL AT MAXIMUM AIRFLOW
C.....     ABOUT 125 Pa.
C.....  -  ASPECT RATIO OF DUCT SIZE AS 1:2(H:W)

C.....CLASS 1. HIGH DENSITY LOAD
      IF ((AREA_ER.GT.10.).AND.(AREA_ER.LE.15.)) THEN
         TERMINAL = 275.

C.....CLASS 2. MEDIUM DENSITY LOAD
      ELSE IF ((AREA_ER.GT.15.).AND.(AREA_ER.LE.20.)) THEN
         TERMINAL = 194.

C.....CLASS 3. LOW DENSITY LOAD
      ELSE IF (AREA_ER.GT.20.)THEN
         TERMINAL = 152.

      ENDIF

C.....CALCULATE COEFFICIENT'S SYSTEM CURVE
```

```
      Q  = QMAX/2119.
      C2 = TERMINAL
      C1 = (PMAX-C2)/(Q**2)

      RETURN
      END

      SUBROUTINE SECTION(DP,NUM_SEC)
C     ==============================================================
C     |                                                            |
C     | THIS SUBROUTINE WILL CALCULATE PRESSURE LOSS IN DUCT SECTIONS.|
C     |                                                            |
C     ==============================================================
C
C     ASSIGN VARIABLES
C
C            AREA    = CROSS SECTION AREA OF DUCT,m^2
C            DENS    = AIR DENSITY,kg/m^3
C            Dh      = HYDRAULIC DIAMETER,m
C            DP      = DUCT PRESSURE LOSS,Pa
C            e       = ROUGHTNESS,mm
C            f       = FRICTION FACTOR
C            MA      = MAJOR DUCT LOSS
C            MI      = MINOR DUCT LOSS
C            NUM_SEC = NUMBERS OF DUCT SECTION
C            PV      = DYNAMICS PRESSURE,Pa
C            SHAPE   = DUCT SHAPE
C            V       = MEAN AIR VELOCITY,m/s

      CHARACTER*20 SHAPE(50)
      COMMON /DUCT_S/ MODES,N,SHAPE,W(50),H(50),Q(50),L(50),C(50),M
     +,POSITION
      DIMENSION V(50),DP(50),Dh(50),MA(50),MI(50),PV(50)
      REAL L,MA,MI
      DATA DENS,e /1.21,0.09/

      DO 100 I=1,NUM_SEC
         IF ((SHAPE(I).EQ.'R').OR.(SHAPE(I).EQ.'r')) THEN
            AREA  = (W(I)*H(I))/144
            Dh(I) = HYD(W(I),H(I))
            V(I)  = (Q(I)/AREA)*0.00508
         ELSE
            AREA  = ((22./7)/4*W(I)**2)/144
            Dh(I) = W(I)*25.4
            V(I)  = (Q(I)/AREA)*0.00508
         ENDIF
  100    CONTINUE
      DO 200 I=1,NUM_SEC
         f  = FACTOR(e,Dh(I),V(I))
         MA(I) = F*L(I)/(Dh(I)/1000)
         MI(I) = C(I)
         PV(I) = 0.5*DENS*V(I)*V(I)
         DP(I) = (MA(I)+MI(I))*PV(I)
  200    CONTINUE
      RETURN
      END

      SUBROUTINE GEN_DAT(DMMY,DP,QMAX,SP,N,M,X,Y)
C     ==============================================================
C     |                                                            |
C     |  THIS SUBROUTINE WILL CALCULATE STATICS PRESSURE SETPOINT AND |
C     |  AND DATAS THAT ARE USED FORE ESTABLISH THE VAV SYSTEM CURVE. |
C     |                                                            |
C     ==============================================================
C     @ ---- EQUATION FORM:                                        @
C     @                 =>    DP = C1*Q^2+C2                     @
C
      DIMENSION X(0:6),Y(0:6),DP(50)
      CHARACTER DMMY*6

      DO 50 I=0,6
         PER = (1.-(I/10.))
```

```
          IF ((DMMY.EQ.'SUPPLY').AND.(PER.EQ.1.)) THEN
             IS=N+1
             IE=N+M
             SUM=0.
             DO 100 J=IS,IE
  100           SUM=SUM+DP(J)*(PER*PER)
             SP=SUM
             FLOW=QMAX*PER
             GOTO 300
          ELSE
             IS=0
             IE=N
             SUM=0.
             DO 200 J=IS,IE
  200           SUM=SUM+DP(J)*(PER*PER)
             FLOW=QMAX*PER
             Y(I)=SUM
             X(I)=FLOW*FLOW/(2119.*2119.)
          ENDIF
   50     CONTINUE

  300 RETURN
      END


      SUBROUTINE L_SQUARE(C1,C2,X,Y)
C     ==============================================================
C     |                                                            |
C     |     THIS SUBRDUTINE WILL FIND VAV SYSTEM EQUATION BY CURVE |
C     |     FITTING METHOD OF LEAST SQUARES.                       |
C     |                                                            |
C     ==============================================================
      DIMENSION X(0:6),Y(0:6)

      SUMX=0.
      SUMY=0.
      SUMXX=0.
      SUMXY=0.
      DO 100 I=0,6
         SUMX=SUMX+X(I)
         SUMY=SUMY+Y(I)
         SUMXX=SUMXX+X(I)*X(I)
  100    SUMXY=SUMXY+X(I)*Y(I)
      DET=7*SUMXX-SUMX*SUMX
      C2=(SUMY*SUMXX-SUMXY*SUMX)/DET
      C1=(7*SUMXY-SUMX*SUMY)/DET

      RETURN
      END


      SUBROUTINE MREGRESS(N,K,CK,XX,CN)
C     ==============================================================
C     |                                                            |
C     |   THIS SUBROUTINE WILL BE USED TO FIND OUT COEFFICIENTS OF |
C     |   LINEAR EQUATION BY MULTIPLE LINEAR REGRESSION METHOD.    |
C     |                                                            |
C     ==============================================================
      DIMENSION X(100,10),Y(100),CN(100),CK(50,50)
      DIMENSION A(10,10),B(10),XX(9)

C.....READ NUMBER OF DATA SETS N,
C.....NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES K,
C.....AND DATA OF X(I,K) AND Y(I):
      DO 100 I=1,N
         DO 200 J=1,K
  200       X(I,J)=CK(I,J)
            Y(I)=CN(I)
  100    CONTINUE
      DO 300 IR=1,10
         B(IR) = 0.
         DO 300 IC=1,10
            A(IR,IC) = 0.
  300       CONTINUE
```

```
C.....COMPUTE SQUARE MATRIX ON LHS AND VECTOR ON RHS OF SYSTEM
C.....EQUATIONS:
C.....CALL SUBROUTINE FOR SOLVING SYSTEM EQS:
      DO 400 I=1,N
         DO 500 IR=1,K+1
            IF (IR.EQ.1) FR = 1.
            IF (IR.GT.1) FR = X(I,IR-1)
            DO 600 IC=1,K+1
               IF (IC.EQ.1) FC = 1.
               IF (IC.GT.1) FC = X(I,IC-1)
               A(IR,IC) = A(IR,IC)+FR*FC
  600          CONTINUE
             B(IR) = B(IR)+FR*Y(I)
  500        CONTINUE
  400     CONTINUE
      KP1=K+1
      CALL GAUSS(KP1,A,B,XX)

      RETURN
      END


      SUBROUTINE GAUSS(N,A,B,XX)
C     ==========================================================
C     |                                                        |
C     |   THIS SUBROUTINE WILL BE USED TO SOLVE LINEAR EQUATION|
C     |   SYSTEM BY GAUSS ELIMINATION METHOD.                  |
C     |                                                        |
C     ==========================================================
      DIMENSION A(10,10),B(10),XX(9)

C.....FORWARD ELIMINATION: PERFORM ACCORDING TO THE ORDER OF 'PRIME'
C.....FROM 1 TO N-1:
      DO 100 IP=1,N-1
C.....LOOP OVER EACH EQUATION STARTING FROM THE ONE THAT CORRESPONDS
C.....WITH THE ORDER OF 'PRIME' PLUS ONE:
         DO 200 IE=IP+1,N
            RATIO = A(IE,IP)/A(IP,IP)
C.....COMPUTE NEW COEFF. OF THE EQ. CONSIDERED:
            DO 300 IC=IP+1,N
               A(IE,IC) = A(IE,IC)-RATIO*A(IP,IC)
  300          CONTINUE
            B(IE) = B(IE)-RATIO*B(IP)
  200       CONTINUE
C.....SET COEFF. ON LOWER LEFT PORTION TO ZERO:
         DO 400 IE=IP+1,N
            A(IE,IP) = 0.
  400       CONTINUE
  100    CONTINUE
C.....BACK SUBSTITUTION:
C.....COMPUTE SOLUTION OF THE LAST EQUATION:
      XX(N) = B(N)/A(N,N)
C.....COMPUTE SOLUTIONS FROM EQUATION N-1 TO 1:
      DO 500 IE=N-1,1,-1
         SUM = 0.
         DO 600 IC=IE+1,N
            SUM = SUM + A(IE,IC)*XX(IC)
  600       CONTINUE
         XX(IE) = (B(IE)-SUM)/A(IE,IE)
  500    CONTINUE

      RETURN
      END

      SUBROUTINE ESTABLSH(D,W,A,F,RPM,P_RISE)
C     ==========================================================
C     |      THIS SUBROUTINE WILL BE USED TO CALCULATE DATA POINT|
C     |      ON A FAN CURVE.                                     |
C     |                                                          |
C     |       GIVEN DATAS :D(inch)     W(inch)    A(inch)       |
C     |                    V(ft^3/lb)  N(rpm)                   |
C     |                                                          |
C     ==========================================================
C
C     ASSIGN VARIABLES
```

```
C
C              EB  = DEFINED AS (F*RPM/W)
C              EO  = DEFINED AS (3.1428*D*RPM)^2/gc
C              RPM = FAN ROTATIONAL SPEED,rpm

      COMMON /PROP/ ABE(9),ANT(9),PMAX,QMAX

      V = 13.3
      EO = (D*RPM)**2/1698726.
      EB = (F*RPM/W)/9650.
      EK = (F/A)**2/231624.
C.....ASSUME AN INITIAL GM ,SAY GMA
      GMA = 0.05178
      DO 100 I=1,800
         GMAOLD = GMA
         BETA = ANGLE(GMA)
         WSI = EO-EB/TAN(BETA)
         EFF = EFFT(GMA)
         ET = WSI*EFF
         GMA = EK/ET
         ERR = ABS((GMA-GMAOLD)/GMAOLD*100)
         IF (ERR.LT.0.5) GOTO 200
  100    CONTINUE
  200 CONTINUE
      P_RISE = (ET-EK)/(5.204*V)
      BHP = WSI*F/33000/V*745

      RETURN
      END


      SUBROUTINE IGV(D,W,A,FLOW,PS,PSMAX)
C     ================================================================
C     |                                                              |
C     |    THIS SUBROUTINE WILL CALCULATE FAN ELECTRICAL POWER WHEN  |
C     |    USE INLET GUIDE VANES IB FLOW MODULATOR.                  |
C     |                                                              |
C     ================================================================
C
C     ASSIGN VARIABLES
C
C             BETA = MEAN ANGLE AT WHICH GAS EXITS FROM FAN WHEEL
C             EK   = KINETIC ENERGY GAIN PER UNIT MASS OF GAS,ft-lb-f/lb-m
C             EP   = PRESSURE ENERGY GAIN PER UNIT MASS OF GAS,ft-lb-f/lb-m
C             ET   = TOTAL ENERGY GAIN PER UNIT MASS OF GAS,ft-lb-f/lb-m
C             DPG  = FAN'S STATIC PRESSURE GAIN,in H2O,in H2O
C             F    = VOLUMETRIC FLOWRATE,ft^3/min
C             GM   = NORMALIZEDL VARIABLE,DEFINED AS EK/(EK+EP)
C             N    = FAN ROTIONAL SPEED,rpm
C             NT   = TOTAL MECHANICAL EFFICIENCY OF FAN
C             WSI  = SHAFT INPUT POWER,ft-lb-f/lb-m

      COMMON /PROP/ ABE(9),ANT(9),PMAX,QMAX
      REAL N,NT

      IF (FLOW.EQ.0.) THEN
         PS=0.
         GOTO 700
      ELSE
C.....V AS AIR DENSITY lb/ft^3
C.....CONVERT UNIT OF PRESSURE DROP FROM Pa TO in. wg
      V = 13.3
      DPG = PMAX
      F = QMAX
      EP = 5.204*V*DPG
      EK = (F/A)**2/231624
      ET = EP+EK
      GM = EK/ET
      NT = EFFT(GM)
      BETA = ANGLE(GM)
      WSI = ET/NT
      Q = D**2/1689726
      R = F/(9650*W*TAN(BETA))
      N = (R+SQRT(R**2+4*Q*WSI))/(2*Q)
      PSMAX = (F*WSI/(33000*V))*745.
```

```
C.....DETEMINE CORRECTION FACTOR FOR FAN SHAFT POWER WHEN OPERATE WITH
C.....INLET GUIDE VANES.
C.....LET PS AS FAN SHAFT INPUT POWER,watt
C.....    PLR AS PART LOAD RATIO OF AIR FLOW RATE
C.....    PWR AS RATIO OF POWER ON PART LOAD TO POWER ON FULL LOAD

      PLR = FLOW/QMAX
      PWR =  1.7868*PLR**3-2.6639*PLR**2+1.5067*PLR+0.3705

C.....LET PS AS FAN SHAFT INPUT POWER,watt
      PS = PWR*PSMAX
      END IF

  700 RETURN
      END


      SUBROUTINE VSD(D,W,A,FLOW,RESIST,RPM,PS,PSMAX)
C     ================================================================
C     |                                                              |
C     |    THIS SUBROUTINE WILL CALCULATE FAN ELECTRICAL POWER WHEN  |
C     |    USE VARIABLE SPEED DRIVE IS FLOW MODULATOR.               |
C     |                                                              |
C     ================================================================
C
C     ASSIGN VARIABLES
C           DUMMY =  A VARIABLE THAT USED TO INDICE THE FIRST CALCULATION
C                    FOR FINDING PSMAX VALUE

      COMMON /PROP/ ABE(9),ANT(9),PMAX,QMAX
      COMMON ICOUNT
      REAL N,NT
      DUMMY = 0.
      V = 13.3
      IF (ICOUNT.EQ.1) THEN
         DPG = PMAX
         F = QMAX
         DUMMY = 1.
         GOTO 100
      END IF

  200 CONTINUE

      DPG = RESIST
      F = FLOW
  100 EP = 5.204*V*DPG
      EK = (F/A)**2/231624
      ET = EP+EK
      GM = EK/ET
      NT = EFFT(GM)
      BETA = ANGLE(GM)
      WSI = ET/NT
      Q = D**2/1689726
      R = F/(9650*W*TAN(BETA))
      N = (R+SQRT(R**2+4*Q*WSI))/(2*Q)
      DUMMY = DUMMY-1.
      IF (DUMMY.EQ.0.) THEN
         PSMAX = (F*WSI/(33000.*V))*745.
         RPM = N
         GOTO 200
      END IF

      IF (FLOW.EQ.0.) THEN
         PS=0.
         GOTO 300
      ELSE

C.....LET PS AS FAN SHAFT INPUT POWER,watt
         PS = (F*WSI/(33000.*V))*745.
      END IF
  300 RETURN
      END
```

```
      FUNCTION ANGLE(GM1)
C.....FUNCTION FOR CALCULATING MEAN ANGLE AT WHICH GAS EXITS FROM
C.....FAN WHEEL
      COMMON /PROP/ ABE(9),ANT(9),PMAX,QMAX
      BETA = EXP(ABE(1)+ABE(2)*LOG(GM1)+ABE(3)*(LOG(GM1))**2)
      ANGLE = BETA*(22./7.)/180.
      RETURN
      END


      FUNCTION DP_VAV(FLOW,C1,C2)
C.....FUNCTION FOR CALCULATING SYSTEM PRESSURE DROP IN A VAV SYSTEM
C.....EQUATION: DP = C1*Q^2+C2 (C2=STATIC PRESSURE SETPOINT)
      RATE = FLOW/2119.
      DP_VAV = C1*RATE**2+C2
      RETURN
      END


      FUNCTION EFFT(GM1)
C.....FUNCTION FOR CALCULATING TOTAL MECHANICAL EFFICIENCY OF FAN
      COMMON /PROP/ ABE(9),ANT(9),PMAX,QMAX
      EFFT = EXP(ANT(1)+ANT(2)*LOG(GM1)+ANT(3)*(LOG(GM1))**2)
      RETURN
      END


      FUNCTION FACTOR(e,DIA,VEL)
C.....FUNCTION FOR CALCULATING FRICTION FACTOR
C.....A SIMPLIFIED FORMULA DEVELOPED BY ALTSHUL(1975)
      Re = REYNOLDS(DIA,VEL)
      FX = 0.11*(e/DIA + 68/Re)**0.25
      IF ((FX.GT.0.018).OR.(FX.EQ.0.018)) THEN
         FACTOR=FX
      ELSE
         FACTOR=0.85*FX+0.0028
      ENDIF
      RETURN
      END


      FUNCTION HYD(WIDTH,HEIGTH)
C.....FUNCTION FOR CALCULATING HYDRALIC DIAMETER(Dh) OF RECTANGULAR DUCT
      a = WIDTH*2.54/100
      b = HEIGTH*2.54/100
      PERIMETER = (2*a+2*b)
      AREA = (a*b)
      HYD = 4*AREA/PERIMETER*1000
      RETURN
      END


      FUNCTION REYNOLDS(DIA,VEL)
C.....FUNCTION FOR CALCULATING REYNOLDS NUMBER
C.....FOR STANDARD AIR
      REYNOLDS = 66.4*DIA*VEL
      RETURN
      END
```

ภาคผนวก ข

Input File สำหรับโปรแกรม BLN-ESP1 และ โปรแกรม VAV-CAL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Input File สำหรับคำนวณค่า Heat Extraction rate ของโปรแกรม BLN-ESP1

```
<                  Building's geometry data file

        Project : Siam Cement Co.Ltd
        Date    : Jan 1 - Dec 31
        Comment : This input file is used as an example in thesis,

                  named A Study on energy saving of the Variable Air Volume
                  system in office buildings
>
< Input Mode of computation (1,2,3)
        1:for computation on a day
        2:for computation on a period
        3:for computation in whole a year
>
3
< Exterior wall construction:
        Number of WALL
        Cp1          Cp2          Cp3          Cp4          ...Cp8
        K1           K2           K3           K4           ...K8
        Density1     Density2     Density3     Density4     ...Density8
        Thickness1   Thickness2   Thickness3   Thickness4   ...Thickness8
        Absorbsitivity

        Cp1          Cp2          Cp3          Cp4          ...Cp8
        K1           K2           K3           K4           ...K8
        Density1     Density2     Density3     Density4     ...Density8
        Thickness1   Thickness2   Thickness3   Thickness4   ...Thickness8
        Absorbsitivity

        (Note: Layers of material are arranged from outside to inside)
>
2
879.    840     879.    000.0   000.0   000.0   000.0   000.0
0.721   1.731   0.721   000.0   000.0   000.0   000.0   000.0
1858.   2243    1858.   000.0   000.0   000.0   000.0   000.0
0.01    0.1     0.01    000.0   000.0   000.0   000.0   000.0
0.90
879.    840     879.    000.0   000.0   000.0   000.0   000.0
0.721   1.731   0.721   000.0   000.0   000.0   000.0   000.0
1858.   2243    1853.   000.0   000.0   000.0   000.0   000.0
0.01    0.2     0.01    000.0   000.0   000.0   000.0   000.0
0.90
< Window construction:
        Number of window
        Cp1          Cp2          Cp3          Cp4          ...Cp8
        K1           K2           K3           K4           ...K8
        Density1     Density2     Density3     Density4     ...Density8
        Thickness1   Thickness2   Thickness3   Thickness4   ...Thickness8
        Shadding_Factor  Absorbsitivity

        Cp1          Cp2          Cp3          Cp4          ...Cp8
        K1           K2           K3           K4           ...K8
        Density1     Density2     Density3     Density4     ...Density8
        Thickness1   Thickness2   Thickness3   Thickness4   ...Thickness8
        Shadding_Factor  Absorbsitivity

        (Note: Layers of material are arranged from outside to inside)
>
1
0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
9.17    0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
0.6     0.0
< Partition construction:
        Number of Partition
        Cp1          Cp2          Cp3          Cp4          ...Cp8
        K1           K2           K3           K4           ...K8
        Density1     Density2     Density3     Density4     ...Density8
        Thickness1   Thickness2   Thickness3   Thickness4   ...Thickness8
        Absorbsitivity
```

```
        Cp1          Cp2          Cp3          Cp4          ...Cp8
        K1           K2           K3           K4           ...K8
        Density1     Density2     Density3     Density4     ...Density8
        Thickness1   Thickness2   Thickness3   Thickness4   ...Thickness8
        Absorbsitivity

        (Note: Layers of material are arranged from outside to inside)
>
1
1090    840     1090.0  0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
0.415   1.731   0.415   0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
1249    2243    1249    0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
0.01    0.2     0.01    0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
0.90
< List of Schedule library:
        Number of Schedule
        A1      A2      A3      A4      A5      ...A24
        B1      B2      B3      B4      B5      ...B24
        .                                       .
        .                                       .
        .                                       .
>
11

0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     1.43E5
1.43E5  1.43E5  1.43E5  1.43E5  1.43E5  1.43E5  1.43E5  1.43E5
1.43E5  0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0

0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0

25.0    25.0    25.0    25.0    25.0    25.0    25.0    25.0
25.0    25.0    25.0    25.0    25.0    25.0    25.0    25.0
25.0    25.0    25.0    25.0    25.0    25.0    25.0    25.0

0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.6
1.0     1.0     1.0     0.8     0.4     0.8     1.0     1.0
1.0     0.2     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0

0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
0.3     0.5     0.5     0.3     0.2     0.3     0.3     0.3
0.1     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0

0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.3     0.9
0.9     0.9     0.9     0.9     0.7     0.9     0.9     0.9
0.9     0.6     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0

0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.2
0.5     0.5     0.5     0.5     0.3     0.5     0.5     0.5
0.2     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0

0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.6
0.8     0.8     0.8     0.8     0.4     0.8     0.8     0.8
0.6     0.2     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0

0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
0.2     0.4     0.4     0.4     0.2     0.2     0.2     0.2
0.1     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0

0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     1.0     1.0
1.0     1.0     1.0     1.0     1.0     1.0     1.0     1.0
1.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0     0.0

0.1     0.1     0.2     0.3     0.3     0.3     0.4     0.4
0.5     0.6     0.8     0.9     0.8     0.6     0.5     0.4
0.3     0.2     0.1     0.2     0.3     0.4     0.3     0.2

< Orentation of the building
  (in degree refer to North (cw(+) , cww(-)):
>
210.0
< Number of Zone
  Name of Zone 1 (20 character limitation)
```

```
  Name of Zone 2
  Name of Zone 3
>
2
Uncondition Zone
Office Zone
< Zone 1
        Thermo properties of zone :

        V_solar1        V_solar2        V_solar3
        V_conduction1   V_conduction2   V_conduction3
        V_lighting1     V_lighting2     V_lighting3
        w1              w2
        KT(14.082)              perimeter
        G1          G2              G3              P1              P2
        Floor_area
        Constat_room_temp
        Throttling_range
>
0.197   -0.147  0.0
0.681   -0.631  0.0
0.45    -0.40   0.0     -0.95   0.0
14.08   74.6
10.28   -10.73  0.45    1.0     -0.87
251.2
28.0    1.0
< Number_of_schedule
  Starting_day  Starting_month  Endding_day  Endding_month
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(ER max)
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(ER min)
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(thermostat)

  Starting_day  Starting_month  Endding_day  Endding_month
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(ER max)
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(ER min)
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(thermostat)
>
1
1 01 31 12  2 2 2 2 2 2 2 2
            2 2 2 2 2 2 2 2
            3 3 3 3 3 3 3 3
< Number of wall (in this zone)
  Azimuth of wall_1   Tilt of wall_1
  Wall ref No.        Area
  Co-orinate X      Co-ordinate Y       Co-ordinate Z     Width     Height
  Wall type (1=external wall  2=unsunlit wall  3=partition)
  Adjacent room (in case of wall type=3, or else Adjacent room=0)
  Number of window (on this wall)
        Azimuth of window_1   Tilt of window_1
        Window ref No.        Area
        Co-ordinate X         Co-ordinate Y        Co-ordinate Z      Width
Height
        Fin offtset to win    Overhang offset to win
        Fin prolong           Overhang prolong
        Fin flange            Overhang flange
        Recess of window

        Azimuth of window_2   Tilt of window_2
        Window ref No.        Area
        Co-ordinate X         Co-ordinate Y        Co-ordinate Z      Width
Height
        Fin offtset to win    Overhang offset to win
        Fin prolong           Overhang prolong
        Fin flange            Overhang flange
        Recess of window


  Azimuth of wall_2   Tilt of wall_2
  Wall ref No.        Area
        .
        .
        .
>
4
000.  090.
```

```
2     21.24
00.0  00.0  24.4  7.2  2.95
1
0
0

090.  0090.
1     120.36
7.2   00.0  24.4  40.8  2.95
3
2
0

180.  090.
2     21.24
7.2   30.6  24.4  7.2  2.95
1
0
0

270.  090.
2     120.36
00.0  30.6  24.4  40.8  2.95
1
0
0

< Number of people    Sensible factor     Radiation factor     Latent factor
  Number of Schedule
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol
>
12  065.  0.33  055. 1
1 01  31 12  2 4 4 4 4 4 5 2
< Max kilowatt of lighting   Radiaton factor
  Number of schedule
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol
>
0.6  0.5  1
1 01  31 12  2 6 6 6 6 6 7 2
< Max cubic meter per second of ventilation
  Number of schedule
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol
>
0.0    1
1 01  31 12  2 2 2 2 2 2 2 2
< Max cubicmeter pre second of infiltration
  Number of schedule
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol
>
0.0    1
1 01  31 12  2 11 11 11 11 11 11 2
< Sensible watt of appliances        Radiation factor
  Latent watt of appliances
  Number of schedule
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol
>
00.0  0.33  000.  1
1 01  31 12  2 8 8 8 8 8 9 2
< Zone 2
        Thermo properties of zone :

        V_solar1          V_solar2          V_solar3
        V_conduction1     V_conduction2     V_conduction3
        V_lighting1       V_lighting2       V_lighting3
        w1                w2
        KT                perimeter
        G1             G2             G3             P1             P2
        Floor_area
        Constat_room_temp
        Throttling_range
>
0.197   -0.147  0.0
0.681   -0.631  0.0
0.45    -0.40   0.0     -0.95   0.0
32.0    120.6
```

```
10.28   -10.73  0.45    1.0     -0.87
908.8
25.0    1.0
< Number_of_schedule
  Starting_day  Starting_month  Endding_day  Endding_month
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(ER max)
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(ER min)
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(thermostat)

  Starting_day  Starting_month  Endding_day  Endding_month
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(ER max)
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(ER min)
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol(thermostat)
>
1
1 01  31 12 2 1 1 1 1 1 1 2
            2 2 2 2 2 2 2 2
            2 3 3 3 3 3 3 2
< Number of wall (in this zone)
  Azimuth of wall_1   Tilt of wall_1
  Wall ref No.        Area
  Co-orinate X       Co-ordinate Y       Co-ordinate Z     Width     Height
  Wall type (1=external wall  2=unsunlit wall  3=partition)
  Adjacent room (in case of wall type=3, or else Adjacent room=0)
  Number of window (on this wall)
        Azimuth of window_1   Tilt of window_1
        Window ref No.        Area
        Co-ordinate X         Co-ordinate Y        Co-ordinate Z      Width
Height
        Fin offtset to win    Overhang offset to win
        Fin prolong           Overhang prolong
        Fin flange            Overhang flange
        Recess of window

        Azimuth of window_2   Tilt of window_2
        Window ref No.        Area
        Co-ordinate X         Co-ordinate Y        Co-ordinate Z      Width
Height
        Fin offtset to win    Overhang offset to win
        Fin prolong           Overhang prolong
        Fin flange            Overhang flange
        Recess of window


  Azimuth of wall_2   Tilt of wall_2
  Wall ref No.        Area
        .
        .
        .
>
4
000.    90.
1       87.6
7.2     0.0     24.4    29.7    2.95
1
0
1
1       53.4
7.2     0.0     25.4    29.7    1.8
0.0     0.2     0.0     1.2     0.0     0.0     0.0

90.     90.
1       90.3
36.9    0.0     24.4    30.6    2.95
1
0
1
1       55.08
36.9    0.0     25.4    30.6    1.8
0.0     0.2     0.0     1.2     0.0     0.0     0.0

180.    90.
1       87.6
36.9    30.5    24.4    29.7    2.95
1
```

```
0
1
1       53.4
36.9    30.6    25.4    29.7    1.8
0.0     0.2     0.0     1.2     0.0     0.0     0.0

270.    90.
1       90.3
7.2     30.6    24.4    30.6    2.95
3
1
0
< Number of people    Sensible factor     Radiation factor     Latent factor
  Number of Schedule
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol
>
160  065.  0.33  055. 1
1 01  31 12  2 4 4 4 4 4 5 2
< Max kilowatt of lighting   Radiaton factor
  Number of schedule
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol
>
3.45  0.33  1
1 01  31 12  2 6 6 6 6 6 7 2
< Max cubic meter per second of ventilation(1.41)
  Number of schedule
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol
>
0.38   1
1 01  31 12  2 10 10 10 10 10 10 2
< Max cubicmeter per second of infiltration
  Number of schedule
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol
>
0.56    1
1 01  31 12  2 11 11 11 11 11 11 2
< Sensible watt of appliances        Radiation factor
  Latent watt of appliances
  Number of schedule
  Sch_No._of_sun  Sch_No._of_mon ...  Sch_No._of_sat  Sch_No._of_hol
>
41600   0.33    000.  1
1 01  31 12  2 8 8 8 8 8 9 2
< Zone 3
        Thermo properties of zone :

        V_solar1        V_solar2        V_solar3
        V_conduction1   V_conduction2   V_conduction3
        V_lighting1     V_lighting2     V_lighting3
        w1              w2
        KT              perimeter
        G1              G2              G3              P1              P2
        Floor_area
        Constat_room_temp
        Throttling_range
>
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Input File สำหรับคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์จ่ายลมเย็นในระบบปรับอากาศแปรผัน ของโปรแกรม VAV-CAL

```
<                          SYSTEM & PLANT DATA FILE

        Project  : Siam Cement Building
        Input by : Mr. Charnnarong Assavatesanuphap
        Date     : January 1 - December 31 1998
        Comment  :

>
< Input list of library schedule :
  NUMBER_OF_SCHEDULE (specified in this file)
        HOUR1   HOUR2   HOUR3   ... HOUR24     (schedule No.1)
        HOUR1   HOUR2   HOUR3   ... HOUR24     (schedule No.2)
          .
          .
>
5
1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0

< NUMBER_OF_SYSTEM
  NAME_OF_SYSTEM_1
  NAME_OF_SYSTEM_2
          .
          .
          .

>
1
AHU-01

< Input details of systems :
  TYPE_OF_SYSTEM
  MAX_CAPACITY(watt)    MAX_CFM    PRESSURE_DROP_OF_AIRFLOW_IN_SYSTEM(Pa)
  NUMBER_SCHDULE
     STARTING_DAY    STARTING_MONTH    ENDDING_DAY    ENDDING_MONTH    SCHED_OF_SUN
SCHED_OF_MON ... SCHED_OF_HOL
            .
            .
            .
  NUMBER_OF_SERVED_ZONE
     SERVED_ZONE_NUMBER
              .
              .
              .

*************************************************************************
*            FORMAT OF COMMENTS AND INPUT FOR VAV SYSTEM:               *
*************************************************************************
  SYSTEM INPUT DATA FILE FOR CALCULATING ELECTRICAL POWER CONSUMPTION
  OF VARIABLE AIR VOLUME SYSTEM THAT USE ADJUSTABLE INLET GUIDE VANES
  OR VARIABLE SPEED DRIVE IS AIR FLOW MODULATOR.

      System Characteristic Curve:
      *-------------------------------------------------------*
      |    System Resistance Curve of Variable Air Volume(VAV)  |
      |                                                       |
      |    can be written in form:                            |
      |                                                       |
      |              =>      P = C1*Q^2 + C2                  |
      *-------------------------------------------------------*

      Input MODE of System Characteristic Curve [1,2]
            Choose 1: Default System Curve
            Choose 2: User input datas for establishing system curve

      Input POSITION of Static pressure sensor in supply duct line [1,2]
```

```
            Choose 1: Start point of supply duct line
            Choose 2: 2/3 of supply duct line

format:

MODE:[1,2]

      [below input datas for MODE 2 only]

      Number of Duct section in longest run of return duct
      Type1   Width1  Heigth1  Flow_rate1  Length1  Minor_loss_coeff1
      Type2   Width2  Heigth2  Flow_rate5  Length2  Minor_loss_coeff2
      Type3   Width3  Heigth3  Flow_rate3  Length3  Minor_loss_coeff3
        .       .                                        .
        .       .                                        .
        .       .                                        .

      Number of Duct section in longest run of supply duct
      Type1   Width1  Heigth1  Flow_rate1  Length1  Minor_loss_coeff1
      Type2   Width2  Heigth2  Flow_rate5  Length2  Minor_loss_coeff2
      Type3   Width3  Heigth3  Flow_rate3  Length3  Minor_loss_coeff3
        .       .                                        .
        .       .                                        .
        .       .                                        .

        NOTE: supply duct sections are arranged from FAN to OUTLET
              return duct sections are arranged from FAN to INLET
              Rectangular Duct type assign as 'R'
              Circular Duct type assign as 'C'

POSITION:[1,2]

      Fan Characteristic Curve:

      Input MODE of Fan Performance Curve
            Choose 1 : Default fan curve
            Choose 2 : User input datas for establish fan curve

      Input METHOD of Flow Modulation
            Choose 1 : Adjustable inlet guide vanes(IGV)
            Choose 2 : Variable speed drive(VSD)

format:

MODE:[1,2]

      [below input datas for MODE 2 only]

      Number of fan's data points       (in case of MODE=2)
      D1       W1      A1      N1      F1      DP1     P1
      D2       W2      A2      N2      F2      DP2     P2
      .        .       .       .       .       .       .
      .        .       .       .       .       .       .
      .        .       .       .       .       .       .
      Dn       Wn      An      Nn      Fn      DPn     Pn
      D,sel     W,sel   A,sel           (Sel = Selected size)

       (at least 3 data points)

        note: D = Fan wheel dia,in.          F = Volumetric flowrate,cfm
              W = Fan tip width,in.          Dp = Static pressure gain,in.WG
              A = Discharge area,ft^2        P = Shaft input power,hp
              N = Fan rotational speed,rpm

METHOD:[1,2]
>
VAV
143000.0   10480.   994
1
01 01 31 12 5 3 3 3 3 3 4 5
1
2
2
7
'R'     100     45      10480   0       44
```

```
'R'     64      19      10480   2.5     1.22
'R'     40      19      6986    5.2     1.21
'R'     34      12      3492    8.8     1.86
'R'     26      10      2329    6       0.30
'R'     18      10      1163    10.7    1.32
'R'     14      8       580     2.4     1.87
6
'R'     40      16      10480   2.4     0.12
'R'     24      12      4075    15.6    0.94
'R'     19      12      2912    8.4     0.08
'R'     15      12      1746    8.9     0.19
'C'     8       0       580     3.9     0.38
'C'     8       0       580     0.0     10.27
1
2
8
22.25   7       5.12    1199    8400    2.5     4.98
22.25   7       5.12    1347    11200   2.5     7.35
22.25   7       5.12    1305    9000    3       6.37
22.25   7       5.12    1471    12200   3       9.6
22.25   7       5.12    1336    7800    3.5     6.46
22.25   7       5.12    1481    11200   3.5     9.57
22.25   7       5.12    1431    8400    4       7.95
22.25   7       5.12    1544    11200   4       10.74
22.25   7       5.12
1
<
  NUMBER_OF_PLANT
  NAME_OF_PLANT_1
  NAME_OF_PLANT_2
        .
        .
        .

>
1
CHILLER PLANT

< Input details of plant :
  TYPE_OF_PLANT
  MAX_CAPACITY
  NUMBER_SCHDULE
     STARTING_DAY   STARTING_MONTH   ENDDING_DAY   ENDDING_MONTH   SCHED_OF_SUN
SCHED_OF_MON ... SCHED_OF_HOL
           .
           .
           .
  NUMBER_OF_SERVED_SYSTEM
     SERVED_SYSTEM_NUMBER
              .
              .
              .

>
WATER COOLED CHILLER
6540000.00
1
01 01 31 12 1 1 1 1 1 1 1 1
1
1
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 1 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 22 กรกฎาคม 2540

เวลา	ปริมาณลมเย็น ณ VAV terminal (cfm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.00	753	710	579	810	300	590	700	220	273	328	262	794	701	659	803	791	685	620
8.00	758	706	588	801	292	595	701	218	275	341	271	802	714	650	812	816	687	634
9.00	631	759	573	816	304	607	714	212	276	342	270	809	678	668	812	798	698	534
.0.00	563	785	579	806	304	615	732	219	279	347	252	770	630	675	798	773	695	381
11.00	477	709	598	813	300	618	753	222	282	345	278	598	802	693	797	642	694	232
12.00	480	547	592	820	282	615	748	222	279	355	280	748	649	680	750	683	732	382
13.00	516	648	598	798	293	618	682	222	282	369	308	539	547	511	637	640	528	306
14.00	477	648	580	800	302	631	674	219	266	350	317	705	572	605	701	615	592	334
15.00	458	682	592	820	308	619	594	218	276	346	278	716	585	620	715	582	608	345
16.00	527	630	600	794	292	597	597	212	283	341	297	675	544	608	712	602	618	311
17.00	521	640	595	763	300	606	573	212	291	353	292	685	555	594	723	631	618	332

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 2 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 23 กรกฎาคม 2540

เวลา	ปริมาณลมเย็น ณ VAV terminal (cfm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.00	565	662	642	830	321	650	792	248	295	356	330	680	592	645	750	632	714	380
8.00	548	654	604	804	299	643	775	222	284	345	305	668	574	633	708	616	707	360
9.00	532	582	598	787	302	630	572	222	283	326	288	717	576	635	722	624	606	268
10.00	508	615	589	822	285	615	632	219	284	336	293	604	652	615	722	578	621	305
11.00	436	618	580	819	291	635	660	222	278	341	295	593	768	615	735	577	607	277
12.00	432	638	610	807	311	595	643	222	284	352	287	638	549	540	655	526	606	292
13.00	427	555	601	514	319	592	595	0	356	448	345	618	618	418	605	496	469	273
14.00	502	641	608	655	294	578	636	115	314	382	285	639	645	555	673	589	632	314
15.00	485	652	602	643	299	572	619	0	345	429	335	551	780	566	698	592	602	300
16.00	461	625	638	555	312	498	515	88	347	426	336	555	766	536	743	545	585	188
17.00	502	560	615	511	315	375	533	235	298	366	292	555	728	497	681	516	518	148

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 3 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540

เวลา	ปริมาณลมเย็น ณ VAV terminal (cfm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.00	481	539	622	808	295	630	660	224	284	353	300	658	572	558	696	613	670	284
8.00	476	572	624	808	313	593	542	231	292	349	308	582	685	565	636	542	599	275
9.00	332	667	603	809	299	655	628	222	284	360	301	585	770	502	693	522	616	388
10.00	345	643	603	745	301	635	657	222	279	343	299	582	742	575	692	542	608	367
11.00	378	616	605	669	301	632	609	185	308	394	313	692	717	528	708	537	622	324
12.00	432	602	628	609	304	631	595	67	341	435	338	726	622	468	638	539	579	306
13.00	353	515	635	488	332	448	488	0	362	456	364	646	486	345	612	415	437	165
14.00	413	608	616	585	293	498	568	75	334	415	311	560	554	519	630	512	580	226
15.00	418	568	603	569	306	504	522	0	353	445	345	545	682	531	645	538	581	313
16.00	458	565	628	562	316	459	469	130	316	398	302	552	663	507	682	465	539	315
17.00	679	447	585	720	306	488	500	0	351	416	301	759	737	625	754	464	557	436

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 4 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 25 กรกฎาคม 2540

เวลา	ปริมาณลมเย็น ณ VAV terminal (cfm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.00	518	576	659	845	332	667	697	261	321	390	337	695	609	595	733	650	707	321
8.00	498	585	588	812	300	623	659	231	289	345	310	678	607	574	596	597	661	425
9.00	765	508	587	803	306	624	623	222	282	349	289	652	635	587	567	608	624	399
10.00	818	526	607	819	301	615	655	219	276	341	295	645	635	646	700	586	662	473
11.00	723	505	624	707	299	622	607	222	284	348	295	666	537	557	640	615	646	405
12.00	730	554	615	534	294	578	559	261	285	350	301	710	585	449	656	505	596	347
13.00	453	577	568	405	321	448	475	0	358	450	351	520	500	421	532	447	438	307
14.00	681	555	598	602	309	604	615	93	334	393	303	665	609	522	632	552	596	363
15.00	612	601	601	564	298	561	534	98	342	437	350	659	575	548	645	534	608	362
16.00	596	530	597	778	285	582	561	1	341	421	326	649	574	507	675	561	586	332
17.00	598	542	605	631	306	555	536	92	353	447	324	646	584	520	646	555	569	388

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 5 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 20 มกราคม 2541

เวลา	ปริมาณลมเย็น ณ VAV terminal (cfm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.00	156	450	606	813	294	632	760	201	292	356	282	792	589	668	808	816	777	0
8.00	163	495	566	655	284	367	532	231	293	368	314	459	636	480	621	585	542	628
9.00	162	365	468	698	298	307	689	241	300	371	310	563	385	458	609	528	568	640
10.00	153	418	467	631	305	301	526	0	372	465	365	496	698	420	606	485	519	652
11.00	150	445	486	642	304	271	505	0	364	452	337	492	696	452	635	492	515	636
12.00	150	418	506	460	321	325	445	0	366	456	365	462	617	392	552	529	515	675
13.00	146	419	435	351	314	267	401	0	372	462	353	399	584	268	542	312	417	656
14.00	135	432	449	558	298	283	557	0	347	426	328	426	638	342	485	401	444	614
15.00	133	386	418	571	301	253	404	0	350	437	335	490	735	409	597	502	497	615
16.00	143	427	464	585	293	284	495	0	355	451	334	478	755	381	566	452	465	623
17.00	135	442	483	551	295	335	395	202	304	371	294	495	722	478	653	533	590	630

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 6 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 21 มกราคม 2541

เวลา	ปริมาณลมเย็น ณ VAV terminal (cfm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.00	135	459	583	803	253	593	724	206	290	320	267	679	546	644	815	810	678	623
8.00	162	345	456	358	301	233	774	0	388	481	382	473	565	363	503	411	472	671
9.00	150	389	414	565	310	231	558	0	366	456	345	482	596	325	610	355	432	636
10.00	145	370	482	556	300	268	530	0	356	440	329	492	603	354	579	421	455	629
11.00	137	458	555	424	306	278	428	0	366	458	343	513	655	275	572	421	450	644
12.00	135	407	469	335	306	281	420	0	366	465	356	490	648	195	548	495	428	652
13.00	121	401	420	260	248	260	371	0	352	453	313	422	575	132	480	352	380	560
14.00	143	427	485	562	306	283	377	0	351	448	345	550	718	348	534	518	488	635
15.00	135	454	434	562	318	285	395	0	355	455	342	550	787	402	568	442	491	639
16.00	134	412	480	470	312	272	401	0	357	442	341	488	754	442	632	515	499	628
17.00	135	482	566	456	297	308	492	236	294	362	278	602	702	495	713	586	632	634

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 7 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 22 มกราคม 2541

เวลา	ปริมาณลมเย็น ณ VAV terminal (cfm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.00	162	445	639	772	271	697	544	205	292	348	292	509	586	472	655	645	732	667
8.00	162	392	532	391	305	252	692	67	365	455	363	528	564	241	575	435	425	636
9.00	151	435	518	502	338	233	782	0	398	496	362	458	545	469	549	295	429	637
10.00	150	341	444	472	311	253	608	0	360	450	358	438	610	192	475	275	372	648
11.00	148	392	422	470	292	240	566	0	358	457	362	429	563	293	509	299	355	642
12.00	145	336	444	396	323	232	449	0	366	465	347	559	606	316	423	372	427	660
13.00	133	415	435	238	299	242	463	0	352	453	365	482	675	132	480	352	424	648
14.00	133	425	420	562	300	277	385	0	361	458	347	516	577	365	582	499	504	662
15.00	136	447	492	584	308	262	448	0	366	462	343	538	739	543	567	514	540	635
16.00	132	464	436	601	305	282	378	0	360	452	341	542	726	554	562	520	592	635
17.00	135	509	532	472	292	310	494	95	351	408	315	548	723	549	613	578	640	617

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 8 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal ณ วันที่ 23 มกราคม 2541

เวลา	ปริมาณลมเย็น ณ VAV terminal (cfm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.00	148	348	642	578	298	482	399	222	306	365	295	635	523	484	415	487	462	675
8.00	150	357	334	318	365	199	514	0	361	455	342	423	558	242	518	233	372	634
9.00	150	352	323	477	309	278	664	0	368	458	368	497	590	260	515	356	370	644
10.00	148	405	222	545	302	276	732	0	372	463	342	425	675	397	566	403	465	650
11.00	133	401	371	465	300	235	475	0	366	458	347	478	685	199	520	278	434	636
12.00	135	376	441	480	306	263	557	0	363	472	345	555	725	383	515	372	453	649
13.00	135	333	339	331	305	255	496	0	362	463	349	412	666	341	518	340	442	644
14.00	133	352	474	302	297	258	455	0	357	444	339	592	598	442	595	455	472	633
15.00	135	443	468	439	305	248	405	0	361	445	338	579	696	499	638	453	522	638
16.00	135	431	422	456	308	254	407	0	362	446	345	565	735	456	575	479	518	636
17.00	133	435	475	502	272	282	475	0	357	445	336	519	727	505	573	518	589	629

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 9 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 22 กรกฎาคม 2540

Time	T_{room}	Air side					Water side			Heat Extraction Rate		Fan Power
		Flow rate	coil,in		coil,out		Flow rate	T_{wi}	T_{wo}	Sens. Heat	Total Heat	Consumption
	°C	m^3/s	T (°C)	RH(%)	T (°C)	RH(%)	m^3/s	°C	°C	kW	kW	W
7.00	26.7	4.98	27.4	55.7	14.1	80.4	0.0089	10.7	15.0	82.1	155.5	7566.0
8.00	26.5	5.03	27.1	53.1	13.9	79.9	0.0089	11.0	14.9	82.0	143.3	7624.0
9.00	26.5	4.96	26.9	51.9	13.7	85.5	0.0091	11.0	14.4	80.7	128.2	7597.0
10.00	26.4	4.82	26.9	51.1	12.6	89.9	0.0107	9.7	12.7	85.6	132.4	7508.0
11.00	26.1	4.65	26.9	49.7	12.1	90.6	0.0110	9.5	12.2	85.3	125.4	7058.0
12.00	25.9	4.65	26.8	49.4	12.8	90.7	0.0100	10.4	13.1	80.5	113.6	6986.0
13.00	25.5	4.27	26.3	48.2	12.6	87.5	0.0099	10.3	12.8	72.5	102.4	6551.0
14.00	25.7	4.42	26.4	50.0	12.7	87.1	0.0099	10.2	12.9	75.0	111.6	6668.0
15.00	25.8	4.43	26.5	50.4	12.8	87.5	0.0097	10.2	13.0	75.1	112.8	6660.0
16.00	25.7	4.36	26.5	49.6	12.6	85.0	0.0099	10.2	13.0	75.1	114.7	6665.0
17.00	25.5	4.39	25.7	50.1	12.9	88.0	0.0098	10.3	12.8	69.6	100.1	6658.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 10 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 23 กรกฎาคม 2540

Time	T_{room}	Air side					Water side			Heat Extraction Rate		Fan Power
		Flow rate	coil,in		coil,out		Flow rate	T_{wi}	T_{wo}	Sens. Heat	Total Heat	Consumption
	°C	m^3/s	T (°C)	RH(%)	T (°C)	RH(%)	m^3/s	°C	°C	kW	kW	W
7.00	26.0	4.76	26.8	56.2	13.7	78.4	0.00899	11.0	14.7	77.3	141.3	7571
8.00	25.7	4.60	26.5	53.8	13.0	80.0	0.00967	10.7	14.0	77.3	133.7	6849
9.00	25.6	4.37	26.4	51.4	12.5	88.7	0.00973	10.4	13.3	75.2	117.0	6638
10.00	25.6	4.39	26.5	51.2	12.5	87.8	0.00991	10.2	13.2	76.1	119.4	6580
11.00	25.6	4.41	26.4	51.8	12.3	88.6	0.00999	10.2	13.0	76.6	116.0	6642
12.00	25.4	4.24	26.5	50.5	12.3	86.4	0.01000	10.2	13.0	74.7	114.4	6377
13.00	25.1	3.89	25.9	49.8	12.0	85.8	0.01002	10.1	12.6	67.0	102.3	6137
14.00	25.3	4.27	26.6	49.6	12.3	87.2	0.00984	10.4	13.2	75.4	114.6	6512
15.00	25.4	4.28	26.5	50.8	12.6	87.2	0.00977	10.4	13.2	74.1	113.5	6578
16.00	25.4	4.11	26.3	50.7	12.1	88.2	0.01027	10.2	12.9	72.6	112.1	6180
17.00	25.3	3.89	26.5	50.6	12.3	86.7	0.00984	10.6	13.1	68.3	103.9	6122

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 11 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540

Time	T_{room}	Air side					Water side			Heat Extraction Rate		Fan Power
		Flow rate	coil,in		coil,out		Flow rate	T_{wi}	T_{wo}	Sens. Heat	Total Heat	Consumption
	°C	m^3/s	T (°C)	RH(%)	T (°C)	RH(%)	m^3/s	°C	°C	kW	kW	W
7.00	25.6	4.36	26.3	54.9	12.8	78.5	0.0099	10.5	13.8	72.9	134.1	6590
8.00	25.4	4.24	26.3	54.0	12.5	80.8	0.0102	10.5	13.5	72.7	126.9	6444
9.00	25.4	4.36	26.3	50.7	12.3	83.7	0.0101	10.3	13.1	75.6	118.4	6451
10.00	25.4	4.37	26.3	50.2	12.5	83.5	0.0100	10.3	13.1	74.6	116.0	6446
11.00	25.4	4.35	26.3	49.3	12.2	83.5	0.0105	10.3	13.1	75.9	119.3	6348
12.00	25.3	4.18	26.4	49.2	12.2	83.0	0.0102	10.1	12.9	73.3	116.0	6319
13.00	24.9	3.56	25.8	49.4	11.6	81.7	0.0105	9.8	12.2	62.7	101.1	5787
14.00	25.1	3.92	26.3	50.5	12.1	82.8	0.0101	10.2	13.0	68.9	113.9	6073
15.00	25.2	4.00	26.2	50.2	12.2	84.8	0.0102	10.2	12.8	69.4	107.8	6058
16.00	25.2	3.93	26.1	49.7	12.1	88.9	0.0103	10.3	12.8	68.0	102.0	6084
17.00	25.5	4.31	26.1	55.5	15.1	91.2	0.0088	13.0	15.3	58.5	83.6	6257

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 12 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 25 กรกฎาคม 2540

Time	T_{room}	Air side					Water side			Heat Extraction Rate		Fan Power Consumption
		Flow rate	coil,in		coil,out		Flow rate	T_{wi}	T_{wo}	Sens. Heat	Total Heat	
	°C	m^3/s	T (°C)	RH(%)	T (°C)	RH(%)	m^3/s	°C	°C	kW	kW	W
7.00	25.6	4.68	26.8	56.3	13.8	93.5	0.0089	11.1	14.5	75.2	121.6	6980
8.00	25.4	4.43	26.5	53.8	13.3	90.6	0.0094	10.7	13.6	72.6	114.2	6697
9.00	25.3	4.45	26.3	52.0	13.1	86.9	0.0097	10.6	13.4	72.9	112.6	6794
10.00	25.4	4.63	26.5	54.8	13.4	88.5	0.0097	10.6	13.6	75.4	121.8	6987
11.00	25.4	4.39	26.3	51.5	13.0	88.3	0.0097	10.6	13.4	72.3	110.8	6592
12.00	25.1	4.20	26.4	51.4	13.1	86.7	0.0102	10.2	12.7	69.0	105.9	6396
13.00	24.7	3.57	25.4	52.2	12.6	86.2	0.0101	10.2	12.3	56.5	85.2	5842
14.00	25.1	4.26	26.1	52.6	13.1	86.2	0.0100	10.4	13.1	68.5	107.2	6421
15.00	25.2	4.21	25.9	53.0	13.1	85.5	0.0097	10.4	13.2	67.0	107.5	6294
16.00	25.1	4.20	26.0	51.8	13.1	84.6	0.0096	10.3	13.1	67.3	106.3	6296
17.00	25.0	4.21	25.8	50.8	14.7	88.0	0.0086	13.0	15.2	57.9	76.1	6031

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 13 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 20 มกราคม 2541

Time	T_{room}	Air side					Water side			Heat Extraction Rate		Fan Power
		Flow rate	coil,in		coil,out		Flow rate	T_{wi}	T_{wo}	Sens. Heat	Total Heat	Consumption
	°C	m^3/s	T (°C)	RH(%)	T (°C)	RH(%)	m^3/s	°C	°C	kW	kW	W
7.00	26.6	4.39	26.7	62.4	12.0	82.9	0.0093	10.4	14.8	79.6	167.2	6267
8.00	25.6	3.88	26.6	54.9	12.8	84.9	0.0087	11.6	14.6	66.5	111.5	5805
9.00	25.7	3.76	26.5	53.1	11.6	81.2	0.0096	10.3	13.5	69.5	124.6	5741
10.00	25.7	3.72	26.5	50.8	11.4	84.6	0.0099	10.0	12.8	69.7	114.3	5715
11.00	25.6	3.72	26.2	49.5	11.3	85.5	0.0097	10.3	13.0	68.6	107.6	5652
12.00	25.6	3.57	26.4	50.3	11.6	84.5	0.0090	10.3	13.0	65.3	102.6	5637
13.00	25.1	3.16	25.8	51.9	11.4	84.6	0.0093	10.3	12.7	56.4	92.0	5290
14.00	25.4	3.38	26.0	50.3	11.3	85.3	0.0097	10.2	12.7	61.6	98.6	5381
15.00	25.4	3.51	26.2	49.4	11.3	85.5	0.0102	10.2	12.6	65.1	101.3	5422
16.00	25.5	3.56	26.2	49.8	11.5	84.8	0.0099	10.3	12.9	64.7	103.8	5530
17.00	25.6	3.73	26.4	51.9	13.6	88.4	0.0076	12.6	15.4	59.1	87.8	5690

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 14 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 21 มกราคม 2541

Time	T_{room}	Air side					Water side			Heat Extraction Rate		Fan Power Consumption
		Flow rate	coil,in		coil,out		Flow rate	T_{wi}	T_{wo}	Sens. Heat	Total Heat	
	°C	m^3/s	T (°C)	RH(%)	T (°C)	RH(%)	m^3/s	°C	°C	kW	kW	W
7.00	26.2	4.45	26.7	66.3	11.0	82.8	0.0106	9.2	13.4	86.2	188.6	6412
8.00	25.1	3.46	26.2	53.2	11.8	82.5	0.0093	10.8	13.6	61.7	107.5	5520
9.00	25.3	3.42	26.2	51.6	11.3	82.9	0.0094	10.3	13.0	62.9	105.7	5465
10.00	25.4	3.45	26.2	50.9	11.3	83.2	0.0096	10.2	12.8	63.7	105.7	5489
11.00	25.3	3.44	26.2	51.6	11.3	83.0	0.0094	10.3	13.0	63.3	106.3	5469
12.00	25.2	3.30	26.3	51.3	11.7	83.3	0.0090	10.6	13.2	59.6	98.4	5482
13.00	25.1	2.82	26.2	52.0	11.7	83.3	0.0094	10.4	12.4	50.7	81.8	5050
14.00	25.3	3.55	26.2	51.2	11.3	83.7	0.0096	10.4	13.2	65.5	110.3	5473
15.00	25.4	3.59	26.4	50.4	11.1	83.2	0.0098	10.2	13.0	68.2	113.7	5481
16.00	25.4	3.58	26.4	52.0	11.6	83.9	0.0096	10.4	13.2	65.8	111.5	5601
17.00	25.5	3.90	26.4	55.5	15.7	87.5	0.0074	14.6	17.0	51.7	76.2	5766

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 15 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 22 มกราคม 2541

Time	T_{room}	Air side					Water side			Heat Extraction Rate		Fan Power
		Flow rate	coil,in		coil,out		Flow rate	T_{wi}	T_{wo}	Sens. Heat	Total Heat	Consumption
	°C	m^3/s	T (°C)	RH(%)	T (°C)	RH(%)	m^3/s	°C	°C	kW	kW	W
7.00	25.6	4.22	26.6	63.8	12.2	83.5	0.0104	10.7	14.1	75.4	152.2	5935
8.00	25.0	3.48	26.5	59.0	14.0	85.2	0.0083	12.6	15.3	53.9	95.6	5476
9.00	25.2	3.59	26.5	58.4	12.7	84.0	0.0087	11.6	14.6	61.1	111.0	6025
10.00	25.1	3.19	26.2	56.3	12.0	83.3	0.0092	10.9	13.5	55.9	100.2	5373
11.00	25.1	3.21	26.2	54.3	11.6	83.7	0.0098	10.5	13.0	58.1	101.3	5320
12.00	25.1	3.24	26.2	54.9	12.3	85.5	0.0085	11.3	14.0	55.6	94.8	5426
13.00	24.8	3.11	25.9	55.9	12.1	84.7	0.0090	11.2	13.6	53.2	91.4	5295
14.00	25.2	3.48	26.1	53.3	12.1	85.0	0.0089	11.0	13.9	60.5	103.4	5508
15.00	25.3	3.74	26.2	54.3	12.3	83.9	0.0091	11.0	14.0	64.3	111.9	5673
16.00	25.3	3.72	26.3	53.4	12.2	84.4	0.0090	10.9	14.0	65.1	112.6	5646
17.00	25.5	3.86	26.2	57.4	15.8	88.7	0.0071	14.8	17.3	49.7	74.5	5850

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค. 16 แสดงผลการวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 23 มกราคม 2541

Time	T_{room}	Air side					Water side			Heat Extraction Rate		Fan Power
		Flow rate	coil,in		coil,out		Flow rate	T_{wi}	T_{wo}	Sens. Heat	Total Heat	Consumption
	°C	m^3/s	T (°C)	RH(%)	T (°C)	RH(%)	m^3/s	°C	°C	kW	kW	W
7.00	25.5	3.66	26.7	67.4	10.8	82.9	0.0095	9.4	13.5	72.3	162.2	5815
8.00	24.7	3.01	25.8	57.8	11.7	83.1	0.0096	10.6	13.0	52.6	96.1	5188
9.00	25.1	3.29	26.2	53.7	11.3	82.0	0.0099	10.3	13.0	60.9	108.5	5394
10.00	25.3	3.49	26.2	53.5	11.4	84.0	0.0099	10.3	13.1	64.0	112.2	5526
11.00	25.2	3.20	26.6	51.8	11.3	84.0	0.0100	10.2	12.7	60.7	102.6	5393
12.00	25.2	3.49	26.6	50.1	11.5	83.2	0.0094	10.4	13.1	65.3	105.6	5530
13.00	24.8	3.18	26.2	50.3	11.4	83.0	0.0096	10.4	12.7	58.3	93.0	5287
14.00	25.1	3.40	26.6	49.3	11.1	83.2	0.0100	9.8	12.3	65.3	104.2	5414
15.00	25.1	3.59	26.8	48.9	11.5	83.7	0.0098	10.5	13.2	68.2	108.6	5547
16.00	25.2	3.55	26.9	49.1	11.1	83.1	0.0104	10.2	12.8	69.7	112.4	5562
17.00	25.3	3.67	26.8	50.9	14.4	86.7	0.0070	13.9	16.6	56.3	80.9	5545

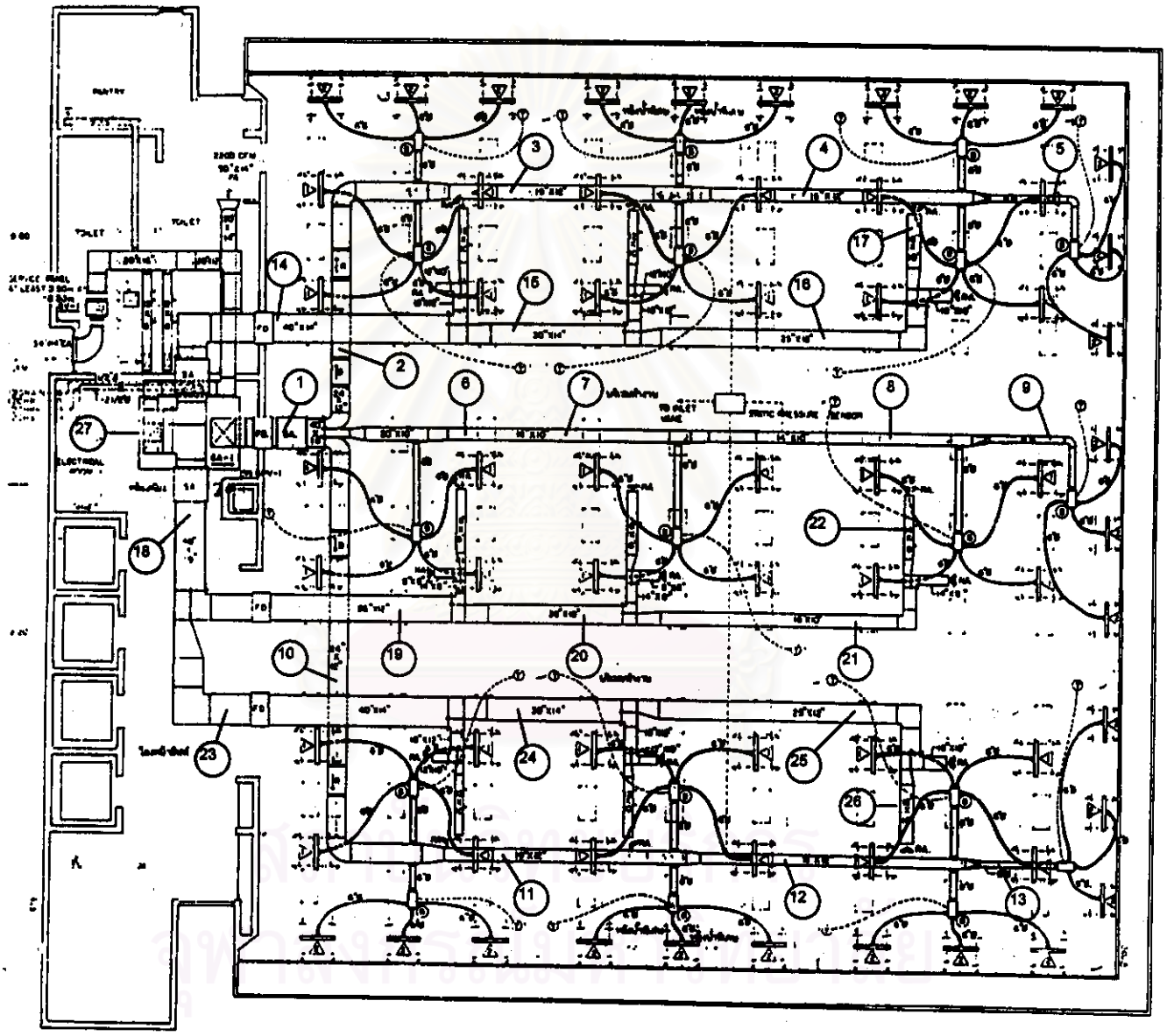
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

ตัวอย่างการคำนวณหา System Characteristic curve ของระบบท่อลม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบท่อลมที่ใช้เป็นตัวอย่างในการคำนวณหา System characteristic curve สำหรับระบบปรับอากาศแบบปริมาตรอากาศแปรผันในที่นี้ จะเป็นแบบท่อลมของอาคารสำนักงานตัวอย่าง ในชั้นที่ 8 ซึ่งแสดงแผนผังทางเดินของท่อลมดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 แสดงแผนผังทางเดินของท่อลม

การคำนวณสมการแสดงคุณลักษณะระบบท่อลม

ในการคำนวณหาสมการแสดงคุณลักษณะระบบท่อลม สำหรับท่อลมในระบบปริมาตรอากาศแปรผัน สามารถแทน สมการแสดงคุณลักษณะระบบท่อลมด้วยสมการในหัวข้อที่ 2.1.4 ดังต่อไปนี้

$$\Delta P_T = \Delta P_a + \Delta P_b + \Delta P_c = C_1 \cdot Q^2 + C_2$$

โดย ΔP_a และ ΔP_b เป็นความดันสูญเสียในระบบท่อลมซึ่งแปรผันยกกำลังสองกับอัตราการไหลของอากาศ และ ΔP_c เป็นความดันสูญเสียคงที่ตกคร่อมอุปกรณ์ปรับปริมาณอากาศปลายทาง

- การคำนวณค่า ΔP_c

การคำนวณค่า ΔP_c จะเป็นการคำนวณหาค่าความดันสูญเสียคงที่ ซึ่งเป็นค่าความดันสำหรับใช้ในการกำหนดค่า Static pressure set-point ของชุดควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลม โดยค่าความดันสูญเสียคงที่นี้จะไม่แปรผันตามอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง สำหรับการคำนวณค่า ΔP_c ในที่นี้จะเป็นการคำนวณค่าความดันสูญเสียคงที่ในการทำงานที่อัตราการไหลของอากาศสูงสุด โดยแสดงผลการคำนวณดังตารางที่ ง.1 - ง.2

- การคำนวณค่า ΔP_a และ ΔP_b

ในการคำนวณค่า ΔP_a และ ΔP_b จะเป็นการคำนวณหาค่าความดันสูญเสียซึ่งแปรผันยกกำลังสองกับอัตราการไหลของอากาศสามารถคำนวณตามแนวทางการคำนวณดังหัวข้อที่ 2.1.6 โดยแสดงผลการคำนวณค่าความดันสูญเสีย ดังในตารางที่ ง.3 - ง.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 แสดงสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฉพาะที่ของข้อต่อต่าง ๆ สำหรับคำนวณ ΔP_c

Duct section	Fitting Number	Type of Fitting	Parameters	Loss Coefficient C
1	1	Fire Damper[2]		0.120
2	2	Wye[2]	$A_s/A_c = 0.65$, $A_b/A_c = 0.35$, $Q_b/Q_c = 0.4$	0.375
	3	Elbow[1]	H / W = 0.5 , r/W = 0.75	0.520
	4	Diverging Tee[1]	$\theta = 90$, $V_s / V_c = 0.71$	0.040
3	5	Transition[2]	$\theta = 30$, $A_0 / A1 = 0.8$	0.020
	6	Diverging Tee[1]	$\theta = 90$, $V_s / V_c = 0.6$	0.060
4	7	Transition[2]	$\theta = 30$, $A_0 / A_1 = 0.8$	0.020
	8	Diverging Tee[1]	$\theta = 90$, $V_s / V_c = 0.3$	0.170
5	9	Transition[2]	$\theta = 15$, $A_0 / A_1 = 0.28$	0.051
	10	Elbow[1]	r/D=0.75	0.330
6	11	Wye[2]	$A_s/A_c = 0.5$, $A_b/A_c = 0.5$, $Q_b/Q_c = 0.5$	0.050
	12	Transition[2]	$\theta = 30$, $A_0 / A_1 = 1.66$	0.924
	13	Wye[3]	$\theta = 90$, $V_s / V_c = 0.75$	0.030
7	14	Transition[2]	$\theta = 30$, $A_0 / A_1 = 0.8$	0.024
	15	Wye[3]	$\theta = 90$, $V_s / V_c = 0.5$	0.100
8	16	Transition[2]	$\theta = 30$, $A_0 / A_1 = 0.875$	0.015
	17	Wye[3]	$\theta = 90$, $V_s / V_c = 0.25$	0.230
9	18	Transition[2]	$\theta = 15$, $A_0 / A_1 = 0.28$	0.051
	19	Elbow[1]	r/D=0.75	0.330
10	20	Wye[2]	$A_s/A_c = 0.65$, $A_b/A_c = 0.35$, $Q_b/Q_c = 0.4$	0.375
	21	Elbow[1]	H / W = 0.5 , r/W = 0.75	0.520
	22	Wye[3]	$\theta = 90$, $V_s / V_c = 0.71$	0.040
11	23	Transition[2]	$\theta = 30$, $A_0 / A1 = 0.8$	0.020
	24	Diverging Tee[1]	$\theta = 90$, $V_s / V_c = 0.6$	0.060
12	25	Transition[2]	$\theta = 30$, $A_0 / A_1 = 0.8$	0.020
	26	Diverging Tee[1]	$\theta = 90$, $V_s / V_c = 0.3$	0.170
13	27	Transition[2]	$\theta = 15$, $A_0 / A_1 = 0.28$	0.051
	28	Elbow[1]	r/D=0.75	0.330
		VAV terminal(Audit)		10.270

[1] ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS. 1985
[2] ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS. 1993
[3] Heating and Cooling of Buildings:Design for efficiency.

ตารางที่ ง.2 แสดงค่าความดันสูญเสียในท่อลมย่อย สำหรับคำนวณ ΔP_c

Duct Section	Duct Element	Airflow m^3/s	Duct Size ,inch W	Duct Size ,inch H	Equivalent Diameter,m	Velocity m/s	Velocity Press. Pa	Duct length m	Summary of Loss coeff.	Total Losss , Pa	Section Press. Pa
1	Duct	4.947	40	16	0.685	12.0	87.20	2.4	0.05	4.47	
	Fittings	4.947			-	12.0	87.20	-	0.12	10.46	14.93
2	Duct	1.923	24	12	0.464	10.4	65.10	9.7	0.34	21.87	
	Fittings	1.923	-		-	10.4	65.10	-	0.94	60.86	82.73
3	Duct	1.374	19	12	0.417	9.3	52.98	8.4	0.34	17.77	
	Fittings	1.374	-		-	9.3	52.98	-	0.08	4.24	22.01
4	Duct	0.824	15	12	0.372	7.1	30.59	8.9	0.42	12.89	
	Fittings	0.824	-		-	7.1	30.59	-	0.19	5.81	18.71
5	Duct	0.274	-		0.203	8.5	43.73	3.9	0.38	16.59	
	Fittings	0.274	-		-	8.5	43.73	-	0.38	16.66	33.25
6	Duct	1.099	20	10	0.387	8.5	44.09	2.2	0.10	4.28	
	Fittings	1.099	-		-	8.5	44.1	-	1.00	44.27	48.55
7	Duct	0.824	16	10	0.349	8.0	38.72	8.4	0.42	16.40	
	Fittings	0.824	-		-	8.0	38.72	-	0.12	4.80	21.20

ตารางที่ ง.2 แสดงค่าความดันสูญเสียในท่อลมย่อย สำหรับคำนวณ ΔP_c (ต่อ)

Duct Section	Duct Element	Airflow m^3/s	Duct Size ,inch W	Duct Size ,inch H	Equivalent Diameter,m	Velocity m/s	Velocity Press. Pa	Duct length m	Summary of Loss coeff.	Total Losss , Pa	Section Press. Pa
8	Duct	0.550	14	10	0.327	6.1	22.50	8.9	0.50	11.27	
	Fittings	0.550	-		-	6.1	22.50	-	0.25	5.51	16.79
9	Duct	0.274	-		0.203	8.5	43.73	3.9	0.38	16.59	
	Fittings	0.274	-		-	8.5	43.73	-	0.38	16.66	33.25
10	Duct	1.923	24	12	0.464	10.4	65.10	15.6	0.54	35.17	
	Fittings	1.923	-		-	10.4	65.10	-	0.94	60.86	96.03
11	Duct	1.374	19	12	0.417	9.3	52.98	8.4	0.34	17.77	
	Fittings	1.374	-		-	9.3	52.98	-	0.08	4.24	22.01
12	Duct	0.824	15	12	0.372	7.1	30.59	8.9	0.42	12.89	
	Fittings	0.824	-		-	7.1	30.59	-	0.19	5.81	18.71
13	Duct	0.274	-		0.203	8.5	43.73	3.9	0.38	16.59	
	Fittings	0.274	-		-	8.5	43.73	-	0.38	16.66	33.25
	VAV	0.274	-		-	8.5	43.73	-	10.27	447.60	447.60

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3 แสดงสัมประสิทธิ์ความสูญเสียเฉพาะที่ของข้อต่อต่าง ๆ สำหรับคำนวณ ΔP_a และ ΔP_b

Duct section	Fitting Number	Type of Fitting	Parameters	Loss Coefficient C
14	29	Elbow[2]	$H / W_0 = 0.35$, $W_1/W_0 = 0.6$	1.752
	30	Elbow[2]	$H / W_0 = 0.35$, $W_1/W_0 = 1$	1.222
	31	Fire Damper[2]		0.120
15	32	Converging Wye,Rec[1]	$A_a/A_c = 0.75$ $A_b/A_c = 0.5$ $Q_b/Q_c = 0.33$	0.300
16	33	Converging Wye,Rec[1]	$A_a/A_c = 0.75$ $A_b/A_c = 0.5$ $Q_b/Q_c = 0.5$	0.120
	34	Transition[1]	$\theta = 15$, $A_0 / A_1 = 1.19$	0.043
	35	Elbow[2]	$H / W_0 = 0.48$, $W_1/W_0 = 1$	1.210
17	36	Converging Wye,Rec[1]	$A_a/A_c = 0.5$ $A_b/A_c = 0.5$ $Q_b/Q_c = 0.5$	0.350
	37	Transition[1]	$\theta = 15$, $A_0 / A_1 = 0.93$	0.018
	38	Entry[1]		1.440
18	39	Elbow[2]	$H / W_0 = 0.48$, $W_1/W_0 = 1$	1.210
19	40	Elbow[2]	$H / W_0 = 0.55$, $W_1/W_0 = 0.6$	1.736
	41	Fire Damper[2]		0.120
20	42	Converging Wye,Rec[1]	$A_a/A_c = 0.75$ $A_b/A_c = 0.5$ $Q_b/Q_c = 0.33$	0.300
21	43	Converging Wye,Rec[1]	$A_a/A_c = 0.75$ $A_b/A_c = 0.5$ $Q_b/Q_c = 0.5$	0.120
	44	Elbow[2]	$H / W_0 = 0.55$, $W_1/W_0 = 1$	1.204
22	45	Converging Wye,Rec[1]	$A_a/A_c = 0.5$ $A_b/A_c = 0.5$ $Q_b/Q_c = 0.5$	0.350
	46	Transition[1]	$\theta = 15$, $A_0 / A_1 = 1.4$	0.08
	47	Entry[1]		1.440
23	48	Transition[1]	$\theta = 20$, $A_0 / A_1 = 2.1$	0.200
	49	Elbow[2]	$H / W_0 = 0.35$, $W_1/W_0 = 1$	1.222
	50	Fire Damper[2]		0.120
24	51	Converging Wye,Rec[1]	$A_a/A_c = 0.75$ $A_b/A_c = 0.5$ $Q_b/Q_c = 0.33$	0.300
25	52	Converging Wye,Rec[1]	$A_a/A_c = 0.75$ $A_b/A_c = 0.5$ $Q_b/Q_c = 0.5$	0.120
	53	Transition[1]	$\theta = 15$, $A_0 / A_1 = 1.19$	0.043
	54	Elbow[2]	$H / W_0 = 0.48$, $W_1/W_0 = 1$	1.210
26	55	Converging Wye,Rec[1]	$A_a/A_c = 0.5$ $A_b/A_c = 0.5$ $Q_b/Q_c = 0.5$	0.350
	56	Transition[1]	$\theta = 15$, $A_0 / A_1 = 0.93$	0.018
	57	Entry[1]		1.440
27	58	Elbow		1.220

ตารางที่ ง.4 แสดงค่าความดันสูญเสียในท่อลมย่อย สำหรับคำนวณ ΔP_a และ ΔP_b

Duct Section	Duct Element	Airflow m^3/s	Duct Size ,inch W	Duct Size ,inch H	Equivalent Diameter,m	Velocity m/s	Velocity Press. Pa	Duct length m	Summary of Loss coeff.	Total Losss , Pa	Section Press. Pa
14	Duct	1.648	40	14	0.527	4.6	12.65	12	0.40	5.00	
	Fittings	1.648	-		-	4.6	12.65	-	3.09	39.13	44.13
15	Duct	1.099	30	14	0.485	4.1	9.99	6	0.22	2.23	
	Fittings	1.099	-		-	4.1	9.99	-	0.30	-	2.23
16	Duct	0.549	25	12	0.412	2.8	4.90	10.9	0.52	2.56	
	Fittings	0.549	-		-	2.8	4.90	-	1.37	6.72	9.28
17	Duct	0.275	18	10	0.327	2.4	3.40	2.2	0.15	0.49	
	Fittings	0.275	-		-	2.4	3.40	-	1.81	6.15	6.64
18	Duct	3.297	40	19	0.654	6.7	27.46	5.2	0.13	3.44	
	Fittings	3.297	-		-	6.7	27.46	-	1.21	33.23	36.67
19	Duct	1.648	34	12	0.451	6.3	23.82	8.8	0.34	7.99	
	Fittings	1.648	-		-	6.3	23.82	-	1.86	44.31	52.31
20	Duct	1.099	26	10	0.367	6.6	26.07	6	0.29	7.61	
	Fittings	1.099	-		-	6.6	26.07	-	0.30	-	7.61

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.4 แสดงค่าความดันสูญเสียในท่อลมย่อย สำหรับคำนวณ ΔP_a และ ΔP_b (ต่อ)

Duct Section	Duct Element	Airflow m^3/s	Duct Size ,inch W	Duct Size ,inch H	Equivalent Diameter,m	Velocity m/s	Velocity Press. Pa	Duct length m	Summary of Loss coeff.	Total Losss , Pa	Section Press. Pa
21	Duct	0.549	18	10	0.327	4.7	13.60	10.7	0.63	8.55	
	Fittings	0.549	-		-	4.7	13.60	-	1.32	18.01	26.55
22	Duct	0.274	14	8	0.259	3.8	8.76	2.4	0.19	1.70	
	Fittings	0.274	-		-	3.8	8.77	-	1.87	16.40	18.11
23	Duct	1.648	40	14	0.527	4.6	12.65	9.4	0.31	3.92	
	Fittings	1.648	-		-	4.6	12.65	-	1.54	19.50	23.42
24	Duct	1.099	30	14	0.485	4.1	9.99	6	0.22	2.23	
	Fittings	1.099	-		-	4.1	9.99	-	0.30	-	2.23
25	Duct	0.549	25	12	0.412	2.8	4.90	10.9	0.52	2.56	
	Fittings	0.549	-		-	2.8	4.90	-	1.37	6.72	9.28
26	Duct	0.275	18	10	0.327	2.4	3.40	2.2	0.15	0.49	
	Fittings	0.275	-		-	2.4	3.40	-	1.81	6.15	6.64
27	Duct	4.947	64	19	0.744	6.3	24.16	1.0	0.02	0.50	
	Fittings	4.947	-		-	6.3	24.16	-	1.22	29.47	29.97
	Cooling Coil & Filter	4.947	-		-	1.7	1.69	-	44.00	74.27	74.27

ตารางที่ ง.5 แสดงค่าความดันสูญเสียในทางเดินท่อลมแต่ละเส้น สำหรับคำนวณ ΔP_c

ΔP_c	Section						Total loss,Pa
Path-1	1	2	3	4	5	VAV terminal	1-2-3-4-5
Pressure loss,Pa	14.9	82.7	22.0	18.7	33.2	447.6	619.2
Path-2	1	6	7	8	9	VAV terminal	1-6-7-8-9
Pressure loss,Pa	14.9	48.5	21.2	16.8	33.2	447.6	582.3
Path-3	1	10	11	12	13	VAV terminal	1-10-11-12-13
Pressure loss,Pa	14.9	96.0	22.0	18.7	33.2	447.6	632.5

ตารางที่ ง.6 แสดงค่าความดันสูญเสียในทางเดินท่อลมแต่ละเส้น สำหรับคำนวณ ΔP_a และ ΔP_b

ΔP_a และ ΔP_b	Section							Total loss,Pa
Path-1	Cooling Coil	14	15	16	17	-	27	14-15-16-17-27
Pressure loss,Pa	74.3	44.1	2.2	9.3	6.6	-	29.9	166.5
Path-2	Cooling Coil	18	19	20	21	22	27	18-19-20-21-22-27
Pressure loss,Pa	74.3	36.7	52.3	7.6	26.6	18.1	29.9	245.5
Path-3	Cooling Coil	18	23	24	25	26	27	18-23-24-25-26-27
Pressure loss,Pa	74.3	36.7	23.4	2.2	9.3	6.6	29.9	182.5

จากตารางที่ ง.5 และ ตารางที่ ง.6 จะเลือกเอาทางเดินท่อลมที่มีค่าความดันสูญเสียมากที่สุดเป็นตัวแทน เพื่อใช้ในการสร้างสมการแสดงคุณลักษณะท่อลม (System characteristic curve) โดยในส่วนของท่อลมส่งจะเลือกเอาท่อลมตามเส้นทางเดินที่ 3 และสำหรับท่อลมกลับจะเลือกเอาท่อลมตามเส้นทางเดินที่ 2 เป็นตัวแทนตามลำดับ จากนั้นจะทำการคำนวณหาสมการแสดงคุณลักษณะของท่อลมตามสมการซึ่งแสดงไว้ข้างต้น โดยในส่วนของการคำนวณค่า ΔP_a และ ΔP_b จะทำการคำนวณค่าความดันสูญเสียที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ กัน ดังนั้นผลการคำนวณค่าความดันสูญเสียรวมของระบบท่อลมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ ง.7

ตารางที่ ง.7 แสดงค่าความดันสูญเสียรวมในระบบท่อลม ณ อัตราการไหลต่าง ๆ

Q m^3/s	$\Delta P_a+\Delta P_b$ Pa	ΔP_c Pa	ΔP_T Pa
4.95	245.50	632.50	878.00
3.96	163.60	632.50	796.10
2.97	99.70	632.50	732.20
1.98	53.80	632.50	686.30
0.99	26.00	632.50	658.50
0.58	19.80	632.50	652.30

จากชุดข้อมูลค่าความดันสูญเสียรวมของระบบท่อลม ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ดังตารางที่ ง.7 ข้างต้น สามารถนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ C_1 และ C_2 ของสมการแสดงคุณลักษณะระบบท่อลมได้โดยวิธี Least -squares Method ดังนี้

$$\Delta P_T = C_1 Q^2 + C_2$$

โดยที่ n = จำนวนชุดข้อมูล

$$\sum_{i=1}^{n} (C_2 + C_1 Q_i^{\,2} - \Delta P_{T,i})^2 \rightarrow \text{minimum}$$

และหาอนุพันธ์ย่อยของสมการข้างต้นเทียบกับค่า C_1 และ C_2 เท่ากับ ศูนย์ เพื่อหาค่าน้อยที่สุดของสมการ

$$\frac{\partial\sum_{i=1}^{n}(C_2 + C_1Q^2{}_i - \Delta P_{T,i})^2}{\partial C_2} = \sum 2(C_2 + C_1 Q^2{}_i - \Delta P_{T,i}) = 0$$

$$\frac{\partial\sum_{i=1}^{n}(C_2 + C_1Q^2{}_i - \Delta P_{T,i})^2}{\partial C_1} = \sum 2(C_2 + C_1 Q^2{}_i - \Delta P_{T,i})Q^2{}_i = 0$$

หารสมการข้างต้นด้วย 2 แล้วจัดรูปแบบของสมการใหม่ได้เป็น

$$n \cdot C_2 + C_1 \sum Q^2{}_i = \sum \Delta P_{T,i}$$

$$C_2 \sum Q^2{}_i + C_1 \sum Q^4{}_i = \sum Q^2{}_i \Delta P_{T,i}$$

$Q^2{}_i$	$\Delta P_{T,i}$	$Q^4{}_i$	$Q^2{}_i\ \Delta P_{T,i}$
24.5	878.0	600.4	21513.2
15.7	796.1	245.9	12484.1
8.8	732.2	77.8	6458.7
3.9	686.3	15.4	2690.6
1.0	658.5	1.0	645.4
0.3	652.3	0.1	219.4
54.2	4403.4	940.5	44044.1

และ $n = 6$

$$6 \cdot C_2 + 54.2 \cdot C_1 = 4403.4$$

$$54.2 \cdot C_2 + 940.5 \cdot C_1 = 44044.1$$

แก้ระบบสมการข้างต้นจะได้ค่า $C_1 = 9.46$ และ $C_2 = 648.42$ ดังนั้น

$$\Delta P_T = 9.46 \cdot Q^2 + 648.42$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period) เป็นค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เป็นตัวบ่งชี้ความคุ้มค่าของการลงทุนของระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรอากาศแปรผัน(VAV) เปรียบเทียบกับระบบแบบปริมาตรอากาศคงที่(CAV) โดยขั้นตอนในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{รายจ่ายจากการลงทุนระบบ(incremental initial cost)}}{\text{รายรับสุทธิประจำปี(incremental operating cost)}}$$

- รายจ่ายจากการลงทุนระบบ (incremental initial cost)

ค่าการลงทุนของระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบระบบปริมาตรอากาศแปรผัน สำหรับอาคารกรณีศึกษา แทนระบบปริมาตรอากาศคงที่ สามารถพิจารณารายจ่ายในการลงทุนเนื่องจากอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับการเปลี่ยนแปลงระบบ ซึ่งในที่นี้พิจารณาระบบออกเป็น 3 ระบบ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่าความคุ้มค่าของการลงทุน สำหรับกรณีการเลือกใช้ระบบปริมาตรอากาศแปรผันแทนระบบปริมาตรอากาศคงที่

ระบบแบบที่ 1 เป็นระบบจริง สำหรับระบบส่งจ่ายลมเย็นของอาคารกรณีศึกษา โดยเป็นระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรอากาศแปรผัน ซึ่งใช้อุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลมของพัดลม (flow modulator) แบบ Inlet Guide Vanes(IGV) , อุปกรณ์ปรับปริมาตรอากาศปลายทาง(VAV terminal) เป็นแบบ pressure independent และมีระบบควบคุมแบบ Direct Digital Control (DDC)

ระบบแบบที่ 2 เป็นระบบจำลองแบบที่ 1 โดยการใช้อุปกรณ์ปรับปริมาตรอากาศปลายทาง (VAV terminal) เป็นแบบ pressure dependent ซึ่งมีระบบควบคุมเป็นแบบ Electronic Control โดยที่อุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลมของพัดลม (flow modulator) ยังคงเป็นแบบ Inlet Guide Vanes(IGV)

ระบบแบบที่ 3 เป็นระบบจำลองแบบที่ 2 โดยการใช้ Inverter เป็นอุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลมของพัดลม (flow modulator) ,อุปกรณ์ปรับปริมาตรอากาศปลายทาง(VAV terminal) เป็นแบบ pressure independent ซึ่งมีระบบควบคุมเป็นแบบ Direct Digital Control(DDC)

โดยข้อดีและข้อเสียของระบบทั้ง 3 สามารถแสดงในตารางดังนี้

	ข้อดี	ข้อเสีย
ระบบแบบที่ 1	- สามารถติดต่อกับเครือข่ายของ BAS ทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบและเปลี่ยนแปลงการทำงาน - ความถูกต้องแม่นยำในการทำงานสูง	- ศักยภาพการประหยัดพลังงานของ flow modulator แบบ IGV ต่ำ - VAV terminal มีราคาแพง
ระบบแบบที่ 2	- ค่าใช้จ่ายการลงทุนระบบต่ำ	- ไม่สามารถติดต่อกับเครือข่ายของ BAS - ความแม่นยำในการทำงานต่ำ - ศักยภาพการประหยัดพลังงานของ flow modulator แบบ IGV ต่ำ
ระบบแบบที่ 3	- สามารถติดต่อกับเครือข่ายของ BAS ทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบและเปลี่ยนแปลงการทำงาน - ความถูกต้องแม่นยำในการทำงานสูง - ศักยภาพการประหยัดพลังงานของ flow modulator แบบ Inverter สูง	- ค่าใช้จ่ายการลงทุนระบบสูง

รายจ่ายจากการลงทุนระบบในส่วนของอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับการเปลี่ยนระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบระบบปริมาตรอากาศแปรผัน แทนระบบปริมาตรอากาศคงที่ สำหรับระบบทั้งสามสามารถสรุปได้ดังตาราง

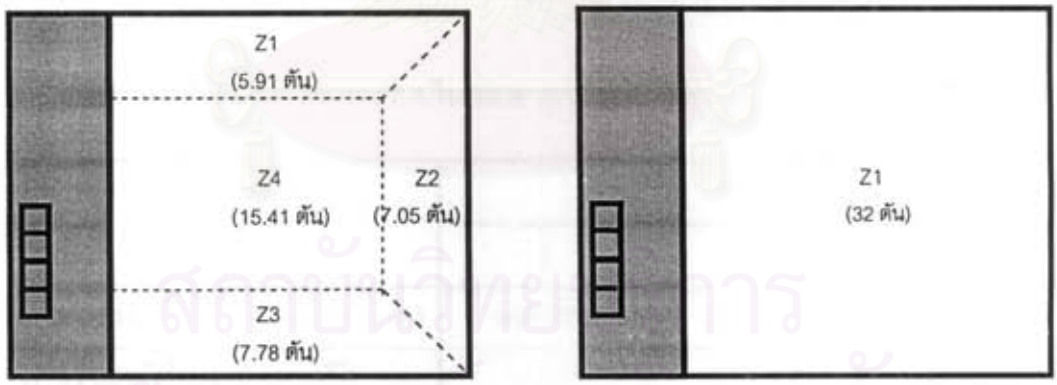
รายการ	ระบบ		
	1	2	3
อุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลม (บาท)	20,4000	20,400	50,000
ตัวตรวจรู้ความดันสถิต (บาท)	8,000	8,000	8,000
อุปกรณ์ปรับปริมาตรอากาศปลายทาง (บาท)	281,700	214,200	281,700
ค่าติดตั้ง (บาท)	36,000	36,000	36,000
รวม	346,100	278,600	375,700

- รายรับสุทธิประจำปี(incremental operating cost)

คือรายจ่ายประจำปีสำหรับระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรอากาศคงที่ ลบด้วยรายจ่ายประจำปีสำหรับระบบแบบปริมาตรอากาศแปรผัน สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาการใช้พลังงานเฉพาะในส่วนของระบบส่งจ่ายลมเย็นซึ่งสามารถแสดงค่าได้ดังต่อไปนี้

รายจ่ายประจำปีสำหรับระบบปริมาตรอากาศคงที่

- กรณีออกแบบขนาดของระบบ CAV สำหรับอาคารกรณีศึกษาซึ่งแบ่งโซนการปรับอากาศออกเป็น 4 โซนดังรูป และคำนวณหาค่าภาระความร้อนสูงสุดในแต่ละโซนโดยโปรแกรม BLN-ESP1 เมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบขนาดของระบบ VAV ซึ่งเป็นการคำนวณแบบ Block Load อัตราการส่งจ่ายลมเย็นของระบบจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2,000 cfm ทำให้การทำงานที่ full load ของระบบ CAV สูงกว่าระบบ VAV ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของพัดลมสำหรับระบบปริมาตรอากาศคงที่เมื่อทำงานที่ full load จะเท่ากับ 8,040 W เมื่อพิจารณาชั่วโมงในการทำงานตลอดทั้งปีเท่ากับ 2,908 ชั่วโมง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีจะเท่ากับ 24,309 kW-h และเมื่อคิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ยเท่ากับ 2.7 บาท/kW-h รายจ่ายประจำปีสำหรับระบบปริมาตรอากาศคงที่จะเท่ากับ 65,634 บาท



(ก) ระบบ CAV (ข) ระบบ VAV

รูปที่ จ. 1 แสดงการแบ่งโซนการปรับอากาศเพื่อหาขนาดของระบบส่งจ่ายลมเย็น

รายจ่ายประจำปีสำหรับระบบปริมาตรอากาศแปรผัน

- พิจารณากำลังไฟฟ้าสูงสุดของพัดลมสำหรับระบบปริมาตรอากาศคงที่เท่ากับ 7,454 W จำนวนชั่วโมงในการทำงาน 2,908 ชั่วโมง

กรณีใช้ Inlet Guide Vanes เป็นอุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลม ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเท่ากับ 18,006 kW-h , คิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ยเท่ากับ 2.7 บาท / kW-h ดังนั้นรายจ่ายประจำปีเท่ากับ 48,616 บาท

กรณีใช้ Inverter เป็นอุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลม ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีเท่ากับ 16,430 kW-h ,คิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ยเท่ากับ 2.7 บาท / kW-h ดังนั้นรายจ่ายประจำปีเท่ากับ 44,361 บาท

ดังนั้นรายรับสุทธิประจำปีสำหรับการใช้ระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรอากาศแปรผันสามารถแสดงได้ดังตาราง

	กรณีใช้ IGV	กรณีใช้ Inverter
รายจ่ายประจำปีสำหรับระบบ CAV (บาท)	65,634	65,634
รายจ่ายประจำปีสำหรับระบบ VAV (บาท)	48,616	44,361
รายรับสุทธิประจำปี (บาท)	17,018	21,273

ระยะเวลาคืนทุนของระบบแบบปริมาตรอากาศแปรผันสามารถแสดงได้ดังตาราง

	ระบบ		
	1	2	3
รายจ่ายจากการลงทุนระบบ (บาท)	346,100	278,600	375,700
รายรับสุทธิประจำปี (บาท/ปี)	17,018	17,018	21,273
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	20.3	16.4	17.6

ประวัติผู้เขียน

นายชาญณรงค์ อัศวเทศานุภาพ เกิดวันที่ 2 สิงหาคม 2515 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร ฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย