

溫突의 구들장과 땅바닥의 非定常 熱傳導 解析

裴 洵 勳* · 金 斗 千*

Transient Heat Conduction Through the Ondol Floor and Heat Loss to the Ground

Soonhoon Bae and Doo Chun Kim

Abstract

For a periodic variation of the flue gas temperature the heat conduction through the Ondol floor was analyzed. Also the heat loss to the ground was estimated. The floor thermal capacity, as a function of the floor thickness, has strong influence on the time lag of the temperature variation. It is an important design parameter for intermittent heating. Even for the steady periodic variation, there was significant heat loss to the ground below the Ondol floor.

序 論

溫突의 各 部分에서의 熱傳達은 外氣溫도의 變化와 周期的인 燃料 投入으로 定常狀態에 도달하지 못하고 계속 주기적인 非定常熱傳導이기 때문에 그 次析이 매우 複雜하다. 특히 아랫목과 웃목의 溫度가 均一하지 않고 壁 近處에서 熱損失이 커서 溫度의 급격한 變化가 있으므로 3次元非定常 熱傳導이므로 解析的인 方法으로는 解를 求할 수 없고 有限差分法으로 數值解를 求하려 해도 많은 計算時間을 要한다. 그러나 구들장에서 水平方向의 熱傳導 抵投은 垂直方向의 抵抗에 比해서 매우 크므로 簡單한 一次元 解析을 통해서 구들장의 下面이 周期的인 溫度로 變할때 上面의 溫度 變化는 얼마나 時間이 지연되어 나타나는지를 計算하였다. 이때의 房안으로 傳達되는 熱量의 時間에 대한 變化量도 同時에 計算하였다.

數 值 解

Stephenson과 Mitalas [1]의 Response factor 方法에서와 같이 溫突에서의 溫度 impulse는 다음과 같다.

$$\text{구들장의 上面溫度 } TR = TRM + A_R \sin(\omega t - \alpha)$$

$$\text{구들장 下面溫度 } TF = TFM + A_F \sin \omega t$$

$$\text{地表面의 溫度 } TB = TBM + A_B \sin \omega t$$

여기서 TRM , TFM , TBM 은 各 各 周期平均溫度를 나타낸다. 하루에 煙突을 3장 燃燒한다고 하면 한周期는 8時間이고 $\omega = 2\pi/T$ 가 된다. 이때 지연각 α 는 구들장의 두께 l_v 와 熱擴散率 a_v 에 의하여

$$\alpha = \frac{2\pi}{T} \sum_{v=1}^n \frac{l_v^2}{6a_v} \quad (1)$$

으로 주어진다. 이 response factor 方法에서 特性方程式 $B(p) = 0$ 의 根 β_k 는 陰의 實數이므로 比較的 간단한 超越函數의 根을 求하는 問題가 된

* 正會員, 韓國科學院

表 1. $B(p)=0$ 의 根, $p=-\beta_k$

구들장 형태	β_1	β_2	β_3
① 콘크리트 4cm	15.42126	61.68503	—
② 콘크리트 6cm	6.85389	27.41557	—
③ 콘크리트 8cm	3.85531	15.42126	34.69783
④ 콘크리트 4cm+물탈 2cm	6.27849	25.54760	—
⑤ 콘크리트 6cm+탈몰 2cm	3.58886	14.57597	32.87384
⑥ 콘크리트 8cm+물탈 2cm	2.32365	9.39526	21.27299

다. 本 論文에서는 Newton-Raphson 方法에 依하여 電算機를 利用하여 數值解를 求하였다. 그 電算機 program을 附錄에 添附하였다.

구들장에서 數值計算 結果

구들장을 4cm, 6cm, 8cm 두께의 콘크리트와 이 콘크리트에 물탈두께 2cm를 첨가한 경우 등 總 6가지의 形態에 대하여 同一한 溫度 impulse를 주었을때 그 response를 附錄에 첨가한 program에 依하여 計算하였다. 이때 콘크리트의 熱的 性質은 參考文獻 [2]에 記載된 것을 使用하였다.

熱傳導特性方程式 $B(p)=0$ 의 根은 表 1에 나타내었는데 구들장의 두께가 두꺼워질수록 根 β_k 는 그 간격이 줄어들며 따라서 response factor의 수렴정도가 완만해진다. 表 1에서 β_k 의 값이 20을 초과하면 그 첫째 값만 구했다. 이때 $\exp(-\beta_k)$ 의 값은 零에 가깝기 때문에 response factor에 는 아무런 영향도 미치지 못한다.

구들장 두께에 따라서 response factor가 變化하는 모양을 그림 1에 나타내었다. 여기서 response factor X系列은 임의의 면에서 같은 면에 溫度 impulse 1도가 適用되었을 때 그 면을 통과하는 熱束이고 Y系列은 反對面의 單位 impulse에 依한 response를 나타낸다. 그림 1에서 X系列은 두께가 두꺼워질수록 순간 熱束 X_0 는 작아지는 것을 알 수 있다. Y系列은 두께가 두꺼워질수록 감소하여 두께가 큰 壁에서는 Y_0 는 零에 接近하게 된다. 煙炭을 燃燒시키는 경우와 같이 連續的인 加熱에서는 고래 内部의 溫度 impulse에 대하여 窓 목에서는 房바닥의 response가 클 수록 좋으므로

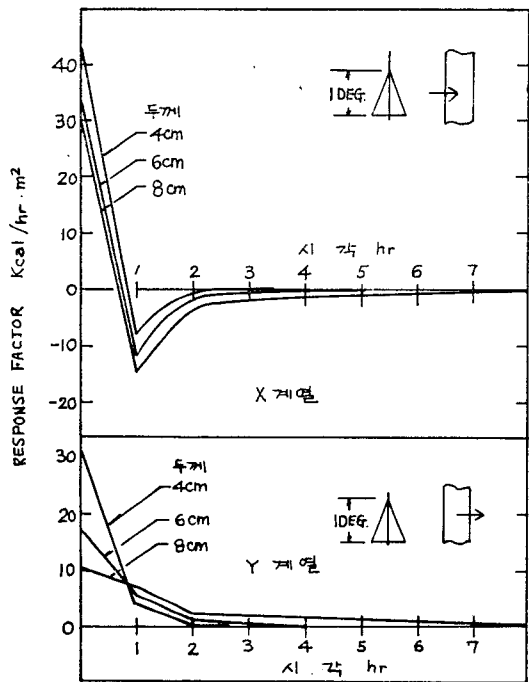


그림 1. Response factor의 變化

구들장의 두께는 얇을 수록 좋고 아랫목에서는 溫度가 너무 높아 response가 작은 것이 좋으므로 두께가 어느 정도 되어야 한다.

구들장 下面의 溫度 變化에 따른 上面의 溫度 變化가 그림 2에 표시되어 있다. 여기서 最高 溫度가 나타나는 時刻은 下面의 impulse의 最高 溫度 時刻에서 약간 지연되어 나타나는데 구들장의 두께에 따라 지연시간이 달라진다. 콘크리트의 경우 두께가 4cm, 6cm 및 8cm 일때 지연시간은 各各 0.107시간, 0.240시간, 및 0.427시간이다.

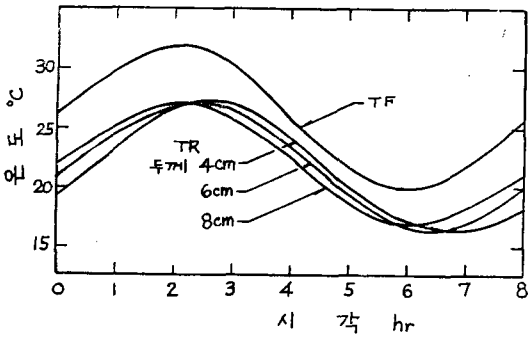


그림 2. 시간에 따른 온도변화

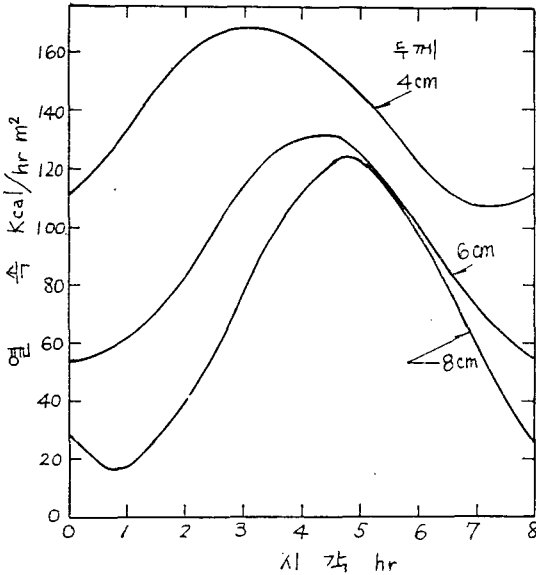


그림 3. 시간에 따른 熱束의 변화

또 이때의 熱束의 變化를 그림 3에 나타내었는데 最大 熱束은 最高溫度時刻에서 약 1시간 내지 2.5시간의 지연시간을 가지고 나타난다. 특히 두께가 두꺼울 때 지연시간이 길므로 연탄을 갈아 넣는 시간을 적절히 조절하면 最大 暖房 負荷가 걸리는時刻과 最大 熱束 時刻를 一致 시키면 燃料를 有效하게 使用할 수 있다.

위에 계산에서 TRM과 TFM을 input data로 任意로 주었으므로 절대적인 數値는 별로 意味가 없다. 단지 時間에 따른 相對的인 變化만을 고찰

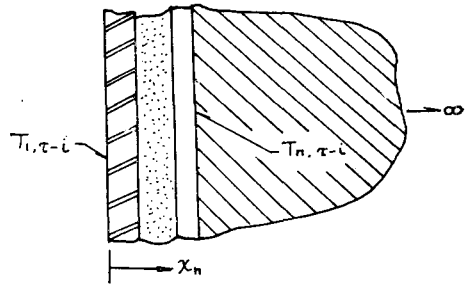


그림 4. 組合半無限體

하기 위한것이다.

땅속으로의 熱損失

땅속으로의 熱損失은 定常狀態損失과 非定常狀態損失로 나누어 考慮할 수 있다. 定常狀態의 熱傳導만을 考慮하면 熱損失은 일단 땅속으로 들어간 열이 다시 주택의 周圍로 傳導되는 것으로 이에 대한 解析은 次後에 發表하기로 [3] 本論文에서는 非定常狀態 때문에 생기는 熱損失을 response factor 計算 方法을 利用하여 풀었다. 非定常 熱傳導에서는 一次元的인 모델을 使用하였다.

多層半無限體의 response factor를 구하는 한 方法은 半無限體와 表面層에 對한 各各의 response factor를 求하고 그 接觸面에서 溫度 및 熱束이 連續的이라는 境界條件으로 부터 斷熱되지 않은 半無限體의 response factor를 Z_i' ($i=0, 1, \dots$), 表面層의 response factor를 X_i, Y_i, Z_i 라고 하면 다음 관계가 성립한다. (그림 4)

$$F_{n, \tau} = \sum_{i=0}^{\infty} Z_i' T_{n, \tau-i}$$

$$= \sum_{i=0}^{\infty} Y_i T_{1, \tau-i} - \sum_{i=0}^{\infty} Z_i T_{n, \tau-i} \quad (2)$$

이 式에서 $T_{n, \tau-i}$ 를 소거하고 $x=x_1$ 에서 熱束은

$$F_{1, \tau} = \sum_{i=0}^{\infty} Z_i T_{1, \tau-i} \quad (3)$$

이다. 여기서 組合半無限體의 response factor

표 2. 粘土質의 土壤에서 response factor

Response factor	斷熱하지 않을때	斷熱層이 있을때 (GLASSWOOL ———)	
		2.54cm 두께	5.08cm 두께
\bar{z}_0	20.68695	1.53483	1.18017
\bar{z}_1	-12.118136	-0.26031	-0.50895
\bar{z}_2	-1.99373	-0.00000	-0.00459
\bar{z}_3	-1.03203	-0.00000	-0.00007
\bar{z}_4	-0.65952	0.00000	-0.000001
\bar{z}_5	-0.46848	"	-0.00000
\bar{z}_6	-0.36499	"	"
\bar{z}_7	-0.28105	"	"
\bar{z}_8	-0.22969	"	0.00000
\bar{z}_9	-0.19229	"	"
\bar{z}_{10}	-0.16406	"	"

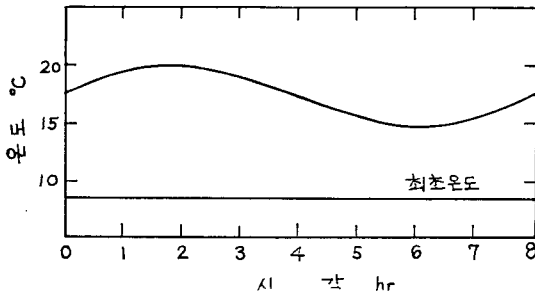


그림 5. 表面 溫度變化

$\bar{Z}_i (i=0, 1, 2, \dots)$ 는

$$\bar{Z}_i = X_i - \frac{Y_i^2}{Z_i + Z_i'}$$

半無限體의 response factor는

$$Z_0' = 2\lambda_n / \sqrt{\pi a_n \delta}$$

$$Z_1' = Z_0' (\sqrt{2} - 2)$$

$$Z_i' = Z_0' (\sqrt{i+1} - 2\sqrt{i} + \sqrt{i-1})$$

$$i=2, 3, \dots$$

따라서 response factor Z_i 는 땅의 熱傳導率 λ_n 과 熱擴散率 λ_n 에 의하여 決定된다. 粘土質인 경우 $a_n/\sqrt{a_n} = 366$ 이며 모래質인 경우 $\lambda_n/\sqrt{a_n} = 395$ 다. 땅 表面에 斷熱을 한 경우 response factor는 表 2와 같이 計算된다. 이때 表面 溫度가 그림 5

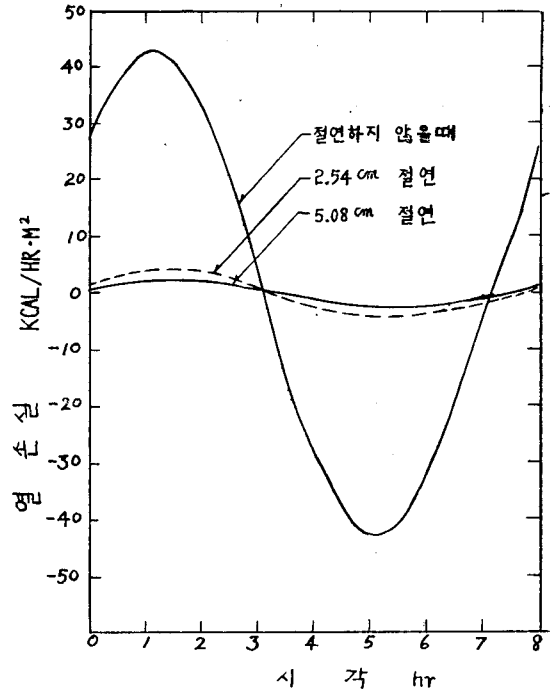


그림 6. 熱束의 變化

과 같이 變化하면 熱傳導量은 그림 6과 같이 變化한다. 그림 6이 보여주는 것은 週期的인 一次元 모델에서 오랜시간 平均한 熱損失은 斷熱을 하거나 안하거나 零인데 斷熱을 했을때 그 最大值가 적어서 負荷가 最大일때 熱損失이 적고 또 負荷가 적을때 熱取得도 없는 셈이나 斷熱을 하지 않으면 理論的인 全熱量은 같더라도 暖房 負荷가 걸릴때 熱損失이 크고 暖房에 熱이 필요 없을때 熱을 取得하는 結果이어서 實際的으로 熱損失이 크다.

結 論

非定常 熱傳導 解析은 定常狀態에서 說明하기 힘든 問題에 解答을 준다.

첫째로 아랫목에서 지면시간을 길게 하고저 구들장의 두께를 크게 하는 것이 바람직하고 두께로 땅속으로의 熱損失을 막기 위하여 斷熱을 하는 것이 좋다. 땅속으로의 熱損失은 濕氣에 依한 것 외에 非定常狀態로 인한 損失도 크다.

参 考 文 献

1. D.G. Stephenson and G.P. Mitalas, "Cooling Load Calculations by Thermal Response Factor Method", ASHRAE Trans. Part I, 1967
2. 배순훈, "은돌개량설계에 관한 연구," 과거처 연구 보고서 R-74-50 (1974)
3. 강신형, 한국과학기술원 석사논문 1975년 5월 제출예정

< 附 錄 >

Response Factor Computation Program

```

PROGRAM ONDOL (INPUT, OUTPUT)
C HEAT FLUX TO ROOM(QR), TO ONDOL(QF) AND TO GROUND(QG) FROM FLUE GAS
COMMON/XX/X(72), Y(72), Z(72)
COMMON /YY/ZPRI(72)
COMMON /ZZ/ BETA(20), XCOM(3,20), COE1(3), COE2(3), N
COMMON /AA/ C(15), D(15,15)
COMM /BB/ ZBAR(72)
DIMENSION TR(96), TF(96), TB(96), QR(24), QF(24), QG(24)
C TEMPERATURES DURING A DAY - ROOM(TR), FLUE GAS(TF), CHANNEL BOTTOM(TB) AND
C GROUND(TG)
READ 101, PRD, AMPR, AMPF, AMPB, TRM, TFM, TBM
101 FORMAT(7F6.2)
READ 102, DLAY
102 FORMAT(F8.4)
PHI=3.1415926535
OMEGA=2.*PHI/PRD
DLAG=OMEGA *DLAY
DO 10 I=1,8
TR(I)=AMPR*SIN(OMEGA*I-DLAG) +TRM
TF(I)=AMPF*SIN(OMEGA*I) +TFM
10 TB(I)=AMPB*SIN(OMEGA*I) +TBM
DO 11 L=1, 11
DO 11 J=1,8
LM=L*8+J
TR(LM)=TR(J)
TF(LM)=TF(J)
11 TB(LM)=TB(J)
C HEAT FLUX TO ROOM(QR) AND TO ONDOL FLOOR(QF)
CALL RESFL
DO 13 J=1,24
QROOM=0.
QFLOR=0.
DO 14 I=1,72
JK=J-I+73
    
```

```

        QROOM=QROOM+X(I)*TR(JK)-Y(I)*TF(JK)
14  QFLOR=QFLOR+Y(I)*TR(JK)-Z(I)*TF(JK)
        QR(J)=QROOM
13  QF(J)=QFLOR
C    HEAT FLUX TO GROUND WITH INITIAL GROUND TEMPERATURE(TG)
        READ 104, NPATH
104  FORMAT(I2)
        TG=7.5
        IF(NPATH. EQ. 0) GO TO 1001
        CALL RESGRM
        DO 15 J=1,24
        QGRM=0.
        DO 16 I=1,72
        JK=J-I+73
16  QGRM=QGRM+ZBAR(I)*(TF(JK)-TG)
15  QG(J)=QGRM
        GO TO 1002
1001 CONTINUE
        CALL RESGRN
        DO 17 J=1,24
        QGRN=0.
        DO 18 I=1,72
        JK=J-73
18  QGRN=QGRN+ZPI(I)*(TB(JK)-TG)
17  QG(J)=QGRN
1002 DONTINUE
        PRINT 149, PRD, DLAY
149  FORMAT(/////, 1H, 4X, 13 HPERIOD(HOUR)=, F6.1, /1H, 4X, 15HTIME LAG(HOUR)=
        1F8. 4)
        PRINT 150, AMPR, AMPF, AMPB, TRM, TFM, TBM
150  FORMAT (//, 1H, 4X, 5HAMPR=, F6.2, 4X, 5HAMPF=, F6.2, 4X, 5HAMPB=, F6.2, 4X
        14HTRM=, F6.2, 4X, 4HTFM=, F6.2, 4X, 4HTBM=, F6.2)
        PRINT 151
151  FORMAT(/////, 1H, 41HTEMPERATURES AND HEAT FLUXES DURING A DAY, ///, 1H
        14HHOUR, 11X, 2HTR, 13X, 2HTF, 13X, 2HTB, 13X, 2HQR, 13X, 2HQF, 13X, 2HOG)
        PRINT 152, ((K, TR(K), TF(K), TB(K), QR(K), QF(K), QG(K)), K=1,24)
152  FORMAT(1H, I4, 6F15.4)
        STOP
        END

SUBROUTINE RESFL
C    RESPONSE FACTORS FOR ONDOL FLOOR
        COMMON /XX/ X(72), Y(72) Z(72)
        COMMON /ZZ/ BETA(20), XCOM(3,20), COF1(3), COE2(3), N

```

```

COMMON /AA/ C(15), D(15, 15)
CALL ROOTS
DO 21 I=1, N
IF(BETA(I). GT. 25.) GO TO 1111
C(I)=EXP(-1.0*BETA(I))
GO TO 21
1111 C(I)=0.
21 CONTINUE
DO 22 I=1, N
22 D(3, I)=1.
DO 23 J=4, 15
DO 24 I=1, N
IF((J-3)*BETA(I). GT. 25.) GO TO 1112
D(J, I)=EXP(-1.0*(J-3)*BETA(I))
GO TO 24
1112 D(J, I)=0.
24 CONTINUE
23 CONTINUE
DO 25 J=1, 15
25 X(J)=0.
KIM=3
1113 CONTINUE
DO 26 I=1, N
CN=C(I) -2.0
CM=XCOM(KIM, I)*C(I)
X(1)=X(1)+CM
26 X(2)=X(2)+CM*CN
X(1)=X(1)+COE1(KIM)
X(2)=X(2)+COE2(KIM)
DO 27 J=3, 15
DO 28 I=1, N
CM=XCOM(KIM, I)*C(I)
X(J)=X(J)+CM*(C(I)**2-2.0*C(I)+1.0)*(J, I)
28 CONTINUE
27 CONTINUE
C COMMON RATIO CMR WHEN TIME SERIES IS GREATER THAN 16
CMR=C(1)
DO 29 J=15, 71
29 X(J+1)=X(J)*CMR
GO TO (1, 2, 3), KIM
3 CONTINUE
DO 30 J=1, 72
30 Z(J)=X(J)

```

```

1114 CONTINUE
      DO 31 J=1, 15
31  X(J)=0.
      KIM=KIM-1
      GO TO 1113
2  CONTINUE
      DO 32J=1, 72
32  Y(J(=X(J)
      GO TO 1114
1  CONTINUE
      PRINT 251
251  FORMAT (/////, 1H, 32HRESPONSE FACTORS FORONDOL FLOOR,/, 1H, 1X, 1H1, 14X,
      14HX(I), 11X, 4HY(I), 11X, 4HZ(I))
      PRINT 252, (((I-1), X(I), Y(I), Z(I)), I=1, 15)
252  FORMAT(1H, I2, 3X, 3F 15. 7)
      PRINT 253, CMR
253  FORMAT (1H, 22X, 4HCMR=, F15.7)
      PRINT 254, (((I-1), X(I), Y(I), Z(I)), I=22, 72, 10)
254  FORMAT(1H, I2, 3X, 3F 15.7)
      RETRN
      END

```

SUBROUTINE RESGRM

```

C  RESPONSE FACTORS FOR MULTI-LAYER SEMI-INFINITE GROUND
      COMMON /XX/ X(72), Y(72), Z(72)
      COMMON /YY/ BETA(20), XCOM(3, 20), COE1(3), COE2(3), N
      COMMON /AA/ C(15), D(15, 15)
      COMMON /BB/ ZBAR(72)
      CALL RESFL
      CALL RESGRN
      DO 41 J=1, 72
41  ZBAR(J)=X(J)-Y(J)**2/(Z(J)+ZPRI(J)
      PRINT 351
351  FORMAT (/////, 1H, 39HRESPONSE FACTORS POR MULTI-LAYER GROUND,/, 1H, 8X
      14HHOUR, 10X, 4HZBAR)
      PRINT 352, (((I-1), ZBAR(I)), I=1, 22)
352  FORMAT (1H, 10X, I2, F15.7)
      RETURN
      END

```

SUBROUTINE RESGRN

```

C  RESPONSE FACTOR FOR NAKED SEMI-INFINITE GROUND
      COMMON/YY/ZPRI(72)
      READ 401, COND, DIFU
401  FORMAT (2F 10.5)

```


PHI=3.1415926535

ZPRI(1)=(2. COND* (1./(PHI*DIFU)**0.5

ZPRI(2)=ZPRI(1)*(SQRT(2.)-2.)

DO 51 J=3,72

51 ZPRI(J)=ZPRI(1)*(SQRT(FLOAT(J))-2. *SQRT(FLUT(J-1))+SQRT(FLOAT(J-21)))

PRINT 449

449 FORMAT(/////, 1H, 28HTHERMAL PROPERTIES OF GROUND)

PRINT 450, COND, DIFU

450 FORMAT (1H, 4X, 5HCOND=, F6,2,8X, 5HDIFU=, F8.4)

PRINT 451

451 FORMAT(/////, 1H, 33HRESPONSE FACTORS FOR NAKED GROUND,/, 1H, 8X, H HOUR
110X, 4HZPRI)

PRINT 452, ((I-1), ZPRI(I)), I=1,22)

452 FORMAT(1H, 10X, I2, F15. 7)

RETURN

END

SUBROUTINE ROOTS

C ROOTS OF CHARACTERISTIC EQUATION $B(P)=0$ BY NEWTON-RAPHSON METHOD

COMMON /ZZ/ BETA(21), XCOM(3,20), COE1(3), COE2(3), N

DIMENSION R(10, 6), A(20,3), B(20,3), F(10,3), FD(10,3), FF(10,4), FFD(10,4), W1(10),
1W2(10), W3(10), W4(10), W5(10)

READ 501, LN, BLDG1, BLDG2, BLDG3, BLDG4, BLDG5

501 FORMAT(I5, 45X, 5A4)

C MATERIAL NAME, THICKNESS, CONDUCTIVITY AND THERMAL DIFFUSIVITY

READ 502, ((W1(K), W2(K), W3(K), W4(K), W5(K), R(K,4), R(K,5), R(K,6)), K=11, LN)

512 FORMAT(5A4, 3F10.6)

RL=0.

DO 61 K=1, LN

RL=RL+R(K,4)

IF(R(K,6). EQ.0.) GO TO 1131

R(K,1)=R(K,4)/R(K,5)

R(K,2)=R(K,4)*R(K,5)/R(K,6)

GO TO 61

1131 R(K,1)=1./R(K,5)

R(K,2)=0.

61 CONTINUE

RT=0.

CT=0.

DO 62 K=1, LN

RT=RT+R(K,1)

CT=CT+R(K,2)

62 R(K,3)=R(K,1)*R(K,2)

```

U/1./RT
I=0
1138 P=0.
C   MATRIX ELEMENTS F AND ITS DERIVATIVES FD OF EACH LAYER WHEN P=0
      DO 63 K=1, LN
      F(K, 1)=1.
      F(K, 2)=R(K, 1)
      F(K, 3)=0.
      FD(K, 1)=0.5*R(K, 3)
      FD(K, 2)=R(K, 1)*R(K, 3)/6.
63   FD(K, 3)=R(K, 2)
1136 FF(1, 1)=F(1, 1)
      FF(1, 2)=F(1, 2)
      FF(1, 3)=F(1, 3)
      FF(1, 4)=F(1, 1)
      FFD(1, 1)=FD(1, 1)
      FFD(1, 2)=FD(1, 2)
      FFD(1, 3)=FD(1, 3)
      FFD(1, 4)=FD(1, 1)
C   OVERALL MATRIX ELEMENTS FF AND ITS DERIVATIVES FFD
      DO 64 K=2, LN
      FF(K, 1)=FF(K-1, 1)*F(K, 1)+FF(K-1, 2)*F(K, 3)
      FF(K, 2)=FF(K-1, 1)*F(K, 2)+FF(K-1, 2)*F(K, 1)
      FF(K, 3)=FF(K-1, 3)*F(K, 1)+FF(K-1, 4)*F(K, 3)
      FF(K, 4)=FF(K-1, 3)*F(K, 2)+FF(K-1, 4)*F(K, 1)
      FFD(K, 1)=FF(K-1, 1)*FD(K, 1)+FFD(K-1, 1)*F(K, 1)+FF(K-1, 2)*FD(K, 3)+FFD(K-1, 2)*F(K, 3)
      FFD(K, 2)=FF(K-1, 1)*FD(K, 2)+FFD(K-1, 1)*F(K, 2)+FF(K-1, 2)*FD(K, 1)+FFD(K-1, 2)*F(K, 1)
      FFD(K, 3)=FF(K-1, 3)*FD(K, 1)+FFD(K-1, 3)*F(K, 1)+FF(K-1, 4)*FD(K, 3)+FFD(K-1, 4)*F(K, 3)
      FFD(K, 4)=FF(K-1, 3)*FD(K, 2)+FFD(K-1, 3)*F(K, 2)+FF(K-1, 4)*FD(K, 1)+FFD(K-1, 4)*F(K, 1)
64   CONTINUE
      IF(I.EQ. D. AND. P. EQ. D.) GO TO 1132
1137 BP=FF(LN, 2)
      BPD=FFD(LN, 2)
      IF(I.EQ. D) GO TO 1133
      Q1=0.
      Q2=1.
      DO 65 II=1, I
      Q3=P+BETA(II)
      Q1=Q1+1./Q3
65   Q2=Q2*Q3
      BPD=(BPD-BP*Q1)/Q2
      BP=BP/Q2
1133 P1=P-BP/BPD

```

```

IF (P1. GE. P) GO TO 1134
P=P1
DO 66 K=1, LN
IF (R(K, 2). EQ. D.) GO TO 1135
Q1=SQRT(-P*R(K, 3))
Q2=COS(Q1)
Q3=SIN(Q1)
F(K, 1)=Q2
F(K, 2)=R(K, 1)*Q3/Q1
F(K, 3)=-Q1*Q3/R(K, 1)
FD(K, 1)=0.5*R(K, 3)*Q3/Q1
FD(K, 2)=0.5*R(K, 1)*R(K, 3)*(Q3/O1-Q2)/Q1**2
FD(K, 3)=0.5*R(K, 2)*(Q3/Q1+Q2)
GO TO 66
1135 F(K, 1)=1.
      F(K, 2)=R(K, 1)
      F(K, 3)=0.
      FD(K, 1)=0.
      FD(K, 2)=0.
      FD(K, 3)=0.
66 CONTINUE
GO TO 1136
C COEFFICIENTS (RESIDUE AT POLE ZERO)
1132 V=FFD(LN, 2)*U**2
      COE2(1)=V-FFD(LN, 4)*U
      COE2(2)=V
      COE2(3)=V-FFD(LN, 1)*U
      COE1(1)=U-COE2(1)
      COE1(2)=U-COE2(2)
      COE1(3)=U-COE2(3)
      GO TO 1137
1134 I=I+1
      BETA(I)=-P1
      B(I, 1)=FF(LN, 4)/FFD(LN, 2)
      B(I, 2)=1./FFD(LN, 2)
      B(I, 3)=FF(LN, 1)/FFD(LN, 2)
      A(I, 1)=B(I, 1)/P1**2
      A(I, 2)=B(I, 2)/P1**2
      A(I, 3)=B(I, 3)/P1**2
      IF (I. LE. 9. AND. BETA(I). LE. 20.) GO TO 1138
      N=I
C ROOTS AND COEFFICIENTS RELOCATED (RESIDUE AT POLE BETA(I))
DO 67 J=1, N

```

```

BETA(J)=ABS(BETA(J))
XCOM(1,J)=A(J,1)
XCOM(2,J)=A(J,2)
67 XCOM(3,J)=A(J,3)
C   OUTPUT (GIVEN DATA, ROOTS AND COEFFICIENTS)
    PRINT 551, LN, BLDG1, BLDG2, BLDG3, BLDG4, BLDG5
551 FORMAT(1H1, /1H, 3HLN=, I2, 80X, 5A4)
    PRINT 552
552 FORMAT (1H, 19HWALL COMPOSITION, //, 1H, 5HNO, '10HMATERIAL, 10X, 85HTHICKNESS
    1L CONDUCTIVITY K DIFFUSIVITY A RESISTANCE R CAPACITY C, /, 1H, 27X, 7H(METER),
    17X, 15H(KCAL/M-HR-DEG), 33X, 13H(SQ-METER/HR), 3X, 16H(SM-HR-DEG/KCAL), 3X, 13H
    2(KCAL/SM-DEG))
    PRINT 553, ((W1(K), W2(K), W3(K), W4(K), W5(K), R(K, 4), R(K,5), R(K,6), R(K,1),
    1R(K,2)), K=1, LN)
553 FORMAT (1H, 5A4, 10Y, F8.4, 10X, F8.4, 7X, F9.6, 11X, F8.4, 8X, F8.4)
    PRINT 554, RL, U, RT, CT
554 FORMAT(1H, 3X, 5HTOAL, 20X, 2HL=, F8.4, 8X, 2HU=, F8.4, 25X, 2HR=, F8.4, 6X,
    12HC=, F8.4, ///)
    PRINT 555
555 FORMAT (1H, 15HROOTS OF B(P)=0, 10X, 32 HCOEFFICIENTSAT POLES OF BETA (I), 23X,
    121HRESIDUES AT POLE ZERO, /, 1H, 1X, 1H1, 9X, 4HBETA, 10X, 10HAX(KANRYU), 5X,
    210HAY (HUBYOL), 5X, 10HAZ (REJECT))
    PRINT 556, COE1(1), COEL(2), COE1(3)
556 FORMAT (1H, 77X, 3HXD=, F10.5, 2X, 3HYD=, F10.5, 2X, 3HZD=, F10.5)
    PRINT 557, COE2(1), COE2(2), COE2(3)
557 FORMAT(1H, 77X, 3HX1=, F10.5, 2X, 3HY1=, F10.5, 2X, 3HZ1=, F10.5)
    PRINT 558, (J, BETA(J), (A(J, M), M=1, 3), J=1, 1)
558 FORMAT(1H, I2, 3X, F10.5, 10X, F10.5, 5X, F10.5, 5X, F10.5)
    RETURN
    END

```