시뮬레이션 프로그램을 이용한 Water Coil 능력계산

Water Coil Performance Calculation by Using Simulation Program

김 경 훈
K. H. Kim
대우캐리어 기술영업부

• 1951년생
• 냉동, 공조제품 Marketing 및 Application에 관심이 있다.

박 세 현
S. H. Park
대우캐리어 기술영업부

• 1965년생
• 냉동, 공조제품 Application 및 Engineering에 관심이 있다.

1. 머리말

현대 산업사회에서 컴퓨터의 활용도는 그 적용 분야와 파급효과를 고려해 볼 때 예측을 불허할 정도의 발전을 거듭하고 있다. 또 응용 분야로서 각종 설계 분야에서 기술계산을 위한 컴퓨터의 활용을 일반적으로 CAE (Computer Aided Engineering)라 하며, 나아가 CAD(Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing)이라는 설계를 포함한 도면작업 및 설계 내용을 생산에 직접 연결시키는 기능까지 부여하게 되었다.

이러한 컴퓨터의 발전에 힘입어 냉동, 공조 분야에도 유용한 도구로서 각종 컴퓨터응용 프로그램이 이미 활용되고 있으며, 향후 그 응용 및 발전 방향이란 예측하기 어려울 만큼 유용성을 더해가고 있다.

본고에서는 CAE의 한 부분으로서 냉동, 공조 분야의 핵심 부품중의 하나인 열교환기중 물대 공기 코일에 대한 성능시뮬레이션 프로그램인 RDCI6141을 소해하고자 한다.

2. 프로그램 개요

본 RDCI6141 프로그램은 휜 종류, 동관 치수에 관계없이 브라인 용액을 포함한 물을 열원으로 사용하는 공기대물 열교환기의 개발초기 단계 및 특수 프로젝트 수행에 유용하게 사용될 수 있으며, 실제로 국내 프로젝트에 적용 되어진 사례도 있다.

3. 프로그램 운영체계

RDCI6141 프로그램은 PRIME SYSTEM 환경에서 운영 되어지며 프로그램 언어는 FORTRAN77이 사용 되어졌다. 또, 자료의 입력은 특정 editor가 지정되어 있지는 않고 사용자의 편리에 의해 일반적인 editor를 선정 사용할 수 있다.

4. 프로그램의 구조

RDCI6141은 1) DATA BANK
2) DATA INPUT
3) DATA OUTPUT
등 크게 세가지로 구분할 수 있다.

1) DATA BANK

프로그램의 실행에 사용 되어지는 열교환기의 기본적인 자료의 내용은 미국 CARRIER사의 H/E group에서 시행 되어진 fin type별, tube size별, step pitch, row pitch 및 inch당 fin매수 등에 따른 prototype coil에 대한 실험 결과를 저장하고 있으며 prototype coil 각각에 대한 물성치는 curve NO.로서 관리되어 진다. 또, 이 NO.는 프로그램 수행 과정에서 source program과 자료를 주고 받으며 주어진 자료에 대해 계산이 수행되어 진다.

그러면 curve NO.에 대한 관리 list 몇몇을 소개하고자 한다.

(ENGLISH단위)

CURVE NO.	SOURCE	확관 후 TUBE OD	SETP PITCH	ROW PITCH	FIN TYPE	SURF. HT.	FPI	ROWS
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
3	TR-2	0.395	1.00	0.866	2CORR/ROW	0.051	13	3
4	TR-2	0.396	1.00	0.866	2CORR/ROW	0.56	13	3
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
50	MSD	0.524	1.25	1.083	3WAVES/ROW	0.056	13.8	2
51	RDC	0.397	1.00	0.625	2WAVES/ROW	0.050	13	3
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
100	XPF85-1	0.396	1.00	0.625	L-S-W	0.058	25	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
235	PF85-08	0.328	0.800	0.693	2CORR-ROW	0.024	16	3

* NOTE : 1. 상기 자료는 미국 CARRIER사 H/E GROUP 자료임.
2. -2CORR/ROW : 1열당 FIN이 2회 골을 형성한 형태.
-3WAVES/ROW : 1열당 FIN이 3회 물결모양을 형성한 형태.
-L-S-W : SINE WAVE FIN을 찢어놓은 형상.
3. SURF. HT. : 골진형상 FIN의 골깊이, FPI : INCH당 FIN 매수.

2) DATA INPUT

Data의 input은 FORTRAN 언어와 호환되어야 하는 관계로 정해진 형식에 의해 입력해야 하며 사용되어지는 단위는 English 단위계임에 유의해야 한다.

*입력예(하기 input sample 참조)

가. SAMPLE COIL SIMULATION(1/2" OD Cu TUBE, DOUBLE WAVY Al FIN)

나. 0 1 1

다. 0.00 .0045 128 196

라. 0.0461 0.0441 0.0106 0.0125 0.1417 0.1915 1.883

마. 82.29 0.524 .015 .45 .470 1.25 0.781 14.0

바. 550 80.0 67.0 29.92 45.0 0.0005 9 0

사. 1 4
Z
1
4
4 3 2 1

가. 실행예정 prototype coil에 대한 서술

나. data description : print option 및 cooling & heating mode option

다. air-side ht data : fluid data(하기참조), fin두께, fin의 열전도도, tube 열전도도.

@ TUBE-SIDE FLUID DATA : CODE NO.=A.B

A=FLUDE TYPE

0 FRESH WATER
1 SEA WATER
2 ETHYLENE GLYCOL
3 PROPYLENE GLYCOL
4 CALCIUM CHLORIDE
5 SODIUM CHLORIDE
6 DOWTHERM
7 METHANOL AND WATER
8 MOBILTHERM B03:CON(CB)=0
9 GILOTHERM D12:CON(CB)=0

B=용액의 농도(0~50%)

보기 0.0 : FRESH WATER
2.4 : 40% ETHYLENE GLYCOL AND WATER
6.35: 35% DOWTHERM AND WATER

FIN 두께, FIN 열전도도, TUBE 열전도도.

라. 60°F에서의 입구공기 및 출구공기의 건, 습구 열저항, 금속저항, 70°F에서의 공기측 압력강하, 1 ft당 fin 표면적.(본 data는 prototype 실험치에 근거함)

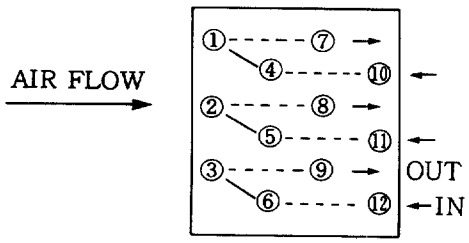
마. coil data :
coil face에서의 길이, tube의 두께, 확관후 tube의 diameter, return bend의 inside diameter, coil step pitch, row pitch, inch당 fin 매수.

바. operating condition :
coil 정면풍속, 입구공기에 대한 건구 및 습구온도, 입구공기 압력(통상 대기압), 입구수온, 물의 오염계수(통상 지하수 0.0005), 물의 입, 출구 온도차 또는 유량

사. circuit 구성
coil step, row, circuit code("Q"uarter, "H"alf, "F"ull, OR "D"ouble 여기서 circuit code는 CARRIER air handler model 39E AND 39L coil 배열방식 loading data를 사용함), 또는 비표준시 "Z".

-비표준 circuit에 대한 배열(표준 code 적용시 생략) :
circuit수, circuit당 tube수, circuit NO.

** circuit NO. 부여방식의 예 : (가정 4row-3step full circuit)



CIRCUIT 수 : 3
CIRCUIT 당 TUBE수 : 4
CIRCUIT NO. : 12,6,3,9,11,5,2,8,10,4,1,7

3) OUTPUT DATA

가. 실행과정에서의 반복 횟수

이는 PROTOTYPE 실험치와의 용량비에 대한 오차 0.05% 까지를 SUCCESS로 계산한 수치임.

* 실행 예(별첨 SHEET %1참조)
CIRCUIT ARRAY
4 3 2 1
ITER 1 QSUM=13248.
ITER 2 QSUM=12517.
ITER 3 QSUM=12384.
ITER 4 QSUM=12356.

나. CIRCUIT당 각 TUBE에 대한 DATA :

AIR-SIDE 표면조건(DRY OR WET), 출구공기에 대한 건구, 습구온도, 출구공기의 엔탈피, TUBE당 평균 표면온도, TUBE당 평균 수온, TUBE당 평균 열전달계수, TUBE당 총 열전달량

* 실행 예(별첨 SHEET %2참조)
CIRCUIT NUMBER 1

TUBE NO.	TUBE SURF COND	***** LEAVING AIR ***** TADB DEGF	TAWB DEGF	ENTHALPY BTU/LBM	AVG.EXT. SURF.TEMP. DEGF	AV.TEMP. FLUID DEGF	AVG.FLUID COEF,BTU/ HR-SQFT-DEGF	TUBE CAPACITY BTU/HR
4	WET	57.86	57.02	24.428	54.42	46.01	764.05	2783.
3	WET	61.24	59.45	26.027	56.84	48.09	778.66	2923.
2	WET	65.56	61.88	27.739	59.28	50.26	793.73	3039.
1	DRY	71.67	64.29	29.464	62.51	52.681	811.44	3606.

다. 각 CIRCUIT :

CIRCUIT당 유량, 수속, 압력강화, 평균 REYNOLDS NUMBER, CIRCUIT당 총 열전달량

* 실행 예(별첨 SHEET %3참조)
COIL SUMMARY

CIRCUIT NO.	FLUID FLOW LBM/HR	FLUID VELOCITY FT/SEC	FLUID PRES.DROP PSI	FLUID TEMP.RISE DEGF	AVERAGE REYNOLDS NUMBER	CIRCUIT CAPACITY BTU/HR
1	1373.	4.589	3.047	9.00	13274.	12351.

라. TOTAL COIL :

습구 & 건구 공기측 열저항, 금속저항, 오염계수, 공기측 압력강하, 출구 건구 및 습구 온도, 절대습도, 엔탈피, 그리고 응축수량, SHF, 총 유량, 총 열량, 열전달률 등.

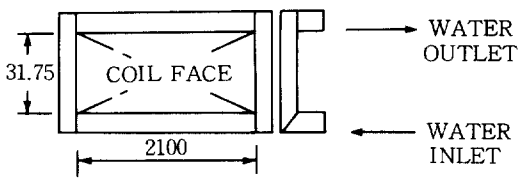
* 실행 예(별첨 SHEET %4 참조)

AIR TERMAL RESISTANCE(WET)	HR-SQFT-F/BTU	0.0441
AIR TERMAL RESISTANCE(DRY)	HR-SQFT-F/BTU	0.0461
METAL RESISTANCE(WET)	HR-SQFT-F/BTU	0.0125
METAL RESISTANCE(DRY)	HR-SQFT-F/BTU	0.0106
FOULING RESISTANCE	HR-SQFT-F/BTU	0.0005
AIR PRESSURE DROP	IN. FLUID	0.700
AVG LEAVING AIR DRY BULB TEMPERATURE	DEGF	57.86
AVG LEAVING AIR WET BULB TEMPERATURE	DEGF	57.02
AVG LEAVING AIR HUMIDITY	#H20/#DA	0.00971
AVG LEAVING AIR ENTHALPY	BTU/LBM	24.48
CONDENSATE FLOW LEAVING(0.0051 GPM)	LBM/HR	2.57
CONDENSATE HEAT	BTU/HR	62.
SENSIBLE HEAT FACTOR	***	0.775
TOTAL FLUID FLOW(2.739 GPM)	LBM/HR	1373
TOTAL COIL CAPACITY(FLUID SIDE)	BTU/HR	12351.
LOAD/UNIT AREA/ROW	BTU/HR-SQFT-ROW	4322.56

5. SAMPLE COIL에 대한 실행의 예

여기서 만약 우리가 특별한 PROJECT 수행에 아래와 같은 SIZE의 COIL 개발이 필요하다고 가정하자 이때 요구되는 출구공기의 물성치를 확인해보자.

1) GIVEN WATER COIL 사양
-COIL DIMENSION



-FIN : DOUBLE SINE WAVE/ROW
FIN, MATERIAL : Al-0.12t, 14FPI
-TUBE : 1/2"OD COPPER TUBE, 0.38t
-STEP PITCH : 31.75M/M,
ROW PITCH : 19.84M/M
-공기 입, 출구 온도 : 건구-26.7℃
습구-19.45℃
-입, 출구수온 : 7.2℃/12.2℃
-COIL ROW & STEP : 4 ROWS, 1 STEP

6. 맺음말

과거 냉동, 공조분야 초창기부터 근년에 이르기까지 미국, 일본등을 비롯한 냉동, 공조분야의 선진국으로 부터 수입된 자료에 의해 설계 및 계산과정이 수행됨에 따라 국내 실정에 적합한 설계요구시 그 결과에 대한 신뢰성이 떨어지는 경우가 빈번히 초래되곤 하였다. 따라서 설계자는 이 문제를 보완하기 위해 과다한 안전율을 적용하거나 더우기 시스템 전반이 이러한 과정으로 설계되어 졌다면, 최종 수요자가 부담해야 할 경제적 손실이 결코 간과할 수 없음은 주지의 사실이었다.

따라서 본고에서 소개한 컴퓨터 프로그램은 현재 공조기 coil 설계시 단순히 제작사 표준사양인 냉방 6 열, 난방 2 열 등 고정개념을 탈피하여 보다 경제적 coil을 선정을 할 수 있는 것으로서 냉동, 공조분야에서도 극히 일부

에 국한된 CAE의 사용 사례에 불과하나 이를 계기로 향후 보다 사용이 편리하고 효율적인 설계가 가능한 프로그램이 소개되기를 바란다.

#별첨 : 상기 SAMPLE COIL에 대한 PROGRAM INPUT 및 OUTPUT DATA.

#별첨

```
RDCI6141 INPUT
    SAMPLE COIL SIMULATION (1/2"OD Cu TUBE, DOUBLE WAVY Al FIN)
    0  1  1
    0.0 0 .0045 128 196
    0.0461 0.0441 0.0106 0.0125 0.1417 0.1915 1.883
    82.29 0.524 .015 .450 .470 1.25 0.781 14.0
    550 80.0 67.0 29.92 45.0 0.0005  9  0
    1 4
    Z
    1
    4
    4   3   2   1
        COOLING AND DEHUMIDIFYING COIL
     SAMPLE COIL SIMULATION (1/2"OD Cu TUBE, DOUBLE WAVY Al FIN)
     FLUID-FRESH WATER
     INPUT SPEC. IS WATER OR BRINE TEMP RISE =   9.000
 DIRECT INPUT OF RA
     V70=  550.0     RAD= 0.0461     RAW= 0.0441     DP70D= 0.1417     DP70W= 0.1915
                                                RMD = 0.0106      RMW = 0.0125
     OUT SURF PER FT TUBE= 1.8830  SURFACE RATIO   = 14.560
     TUBES/ROW=   1    NO OF ROWS=   4          DI = 0.4940
%1-CIRCUIT ARRAY
   4   3   2   1
  ITER  1   QSUM=    13248.
  ITER  2   QSUM=    12517.
  ITER  3   QSUM=    12384.
  ITER  4   QSUM=    12356.
                  CAPACITY OF COOLING COILS
 SAMPLE COIL SIMULATION (1/2"OD Cu TUBE, DOUBLE WAVY Al FIN)
 DATE:- 5-25-94
 FLUID-FRESH WATER
 COIL CURVE NUMBER              0  CIRCUIT TYPE            NON-STANDARD CIRCUIT
```

TUBE O.D.	INCHES	0.524	LENGTH BETWEEN TUBE SHEETS	INCHES	82.29
TUBE WALL THICKNESS	INCHES	0.015	EXTERNAL SURFACE/FT TUBE	SQFT/FT	1.88
FINS/INCH		14.00	SURFACE RATIO		14.56
FIN THICKNESS	INCHES	*****	TUBE THERMAL CONDUCTIVITY	BTU/HR-FT-F	*******
NUMBER OF TUBE ROWS		4	FIN THERMAL CONDUCTIVITY	BTU/HR-FT-F	*******
NUMBER OF TUBES IN FACE		1	BAROMETRIC PRESSURE	IN. HG.	29.92
COIL FACE AREA	SQFT	0.7	AIR FLOW RATE	CFM	392.9
RETURN BEND ID	INCHES	0.450	FACE VELOCITY (STD)	FT/MIN	550.0
HAIRPIN ID	INCHES	0.470	ENTERING DRY BULB TEMPERATURE	DEGF	80.0
TUBE FACE SPACING	INCHES	1.250	ENTERING WET BULB TEMPERATURE	DEGF	67.0
TUBE ROW SPACING	INCHES	0.781	ENTERING AIR HUMIDITY RATIO	#H2O/#DA	0.01116
			ENTERING AIR ENTHALPY	BTU/#DA	31.50
			FLUID TEMPERATURE RISE	DEGF	9.0
FIXED METAL RESISTANCE			ENTERING FLUID TEMPERATURE	DEGF	45.00

FLUID-SIDE COEFFICIENTS VIA SIEDER-TATE EQUATION

%2-CIRCUIT NUMBER 1

TUBE NO.	TUBE SURF COND	******LEAVING AIR****** TADB DEGF	TAWB DEGF	ENTHALPY BTU/LBM	AVG.EXT. SURF.TEMP. DEGF	AV.TEMP. FLUID DEGF	AVG.FLUID COEF,BTU/ HR-SQFT-DEGF	TUBE CAPACITY BTU/HR
4	WET	57.86	57.02	24.482	54.42	46.01	764.05	2783.
3	WET	61.24	59.45	26.072	56.84	48.09	778.66	2923.
2	WET	65.56	61.88	27.739	59.28	50.26	793.73	3039.
1	DRY	71.67	64.29	29.464	62.51	52.68	811.44	3606.

%3-COIL SUMMARY

CIRCUIT NO.	FLUID FLOW LBM/HR	FLUID VELOCITY FT/SEC	FLUID PRES.DROP PSI	FLUID TEMP.RISE DEGF	AVERAGE REYNOLDS NUMBER	CIRCUIT CAPACITY BTU/HR
1	1373.	4.589	3.047	9.00	13274.	12351.

%4-AIR THERMAL RESISTANCE (WET) HR-SQFT-F/BTU 0.0441

AIR THERMAL RESISTANCE (DRY)	HR-SQFT-F/BTU	0.0461
METAL RESISTANCE (WET)	HR-SQFT-F/BTU	0.0125
METAL RESISTANCE (DRY)	HR-SQFT-F/BTU	0.0106
FOULING RESISTANCE	HR-SQFT-F/BTU	0.0005
AIR PRESSURE DROP	IN. FLUID	0.700
AVG LEAVING DRY BULB TEMPERATURE	DEGF	57.86
AVG LEAVING WET BULB TEMPERATURE	DEGF	57.02
AVG LEAVING AIR HUMIDITY	#H2O/#DA	0.00971
AVG LEAVING AIR ENTHALPY	BTU/LBM	24.48

CONDENSATE FLOW LEAVING(0.0051 GPM)	LBM/HR	2.57
CONDENSATE HEAT	BTU/HR	62.
SENSIBLE HEAT FACTOR	***	0.775
TOTAL FLUID FLOW (2.739 GPM)	LBM/HR	1373.
TOTAL COIL CAPACITY(FLUID SIDE)	BTU/HR	12351.
LOAD/UNIT AREA/ROW	BTU/HR-SQFT-ROW	4322.56