

숙박업소 건물의 히트펌프 냉난방 시스템 적용을 위한 시뮬레이션 연구

최영돈[†], 한성호*, 조성환**, 김주성**, 엄철준***

고려대학교 기계공학과[†], 고려대학교 대학원 기계공학과*, 전주대학교 기계공학과**, (주)한미설비***

Study on the Simulation of Heat Pump Heating and Cooling Systems to Resident Building

Young Don Choi[†], Seong Ho Han*, Sung Hwan Cho**, Ju Sung Kim**, Chul Jun Um***

Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 120-700, Korea[†]*

Department of Mechanical Engineering, JeonJu University, JeonJu 560-759, Korea**

Hanmi C&E Company, Seoul 283-38, Korea***

ABSTRACT: Recently available heat pump system by using air heat-source is not efficient. Because the mean temperature of korean winter season is low, economy of air heat-source heat pump descend, and COP is below 3.0. This paper was practiced the simulation on evaluation criteria for heat pump heating and cooling systems to resident building. As a result, heating and cooling composition heat pump system apply to the building needed to be provided heat source for 24 hours.

Key words: Heat pump(히트펌프), Heating and Cooling(냉난방), Heat reservoir(축열조)

기 호 설 명

- C_p : 정압비열($kJ/K \cdot kg$)
- E_D : 직달일사량(W/m^2)
- Q : 침입공기량(m^3/hr)
- COP : Coefficient of Performance

1. 서론

에너지 부존자원이 부족한 국내 현실에서 에너지 절약과 에너지의 합리적 이용기술 개발은 국가 경제와 산업 발전에 중요한 요소를 차지하고 있다. 히트펌프 냉난방 시스템은 기존의 열원

시스템보다 에너지효율과 연간기기사용효율이 높아 가장 유망한 에너지절약 기술로 각광 받고 있어서 선진국에서는 널리 보급 확대되고 있다. 일본의 경우 신규 판매 냉난방 설비의 90% 이상이 히트펌프 시스템이며, 미국의 경우 60만대 이상의 히트펌프 냉난방 장치가 보급되어 있으며 매년 20% 이상 보급률이 확대되고 있다. 스웨덴의 수도 스톡홀름의 경우 하수·하천수 이용한 히트펌프 지역난방시스템이 전체 난방의 40%를 차지하고 있다.⁽¹⁾ 그러나 국내의 히트펌프 냉난방 시스템의 보급률은 극히 저조하다. 그 주 원인을 살펴보면 히트펌프 냉난방 시스템 적용 대상 건물에 대한 에너지 사용실태조사 연구와 다양한 히트펌프 냉난방 시스템 적용기술 연구의 부족을 들 수 있다. 따라서 히트펌프의 기술 개발과 보급 확대를 위해서는 히트펌프 냉난방 시스템의 적용 가능성이 가장 큰 숙박업소와 병원에 히트펌프 냉난방 시스템을 적용한 경우에 대

[†]Corresponding author

Tel.: +82-2-3590-3355; fax: +82-2-928-1067

E-mail address: ydchoi@korea.ac.kr

한 열성능 시뮬레이션의 연구가 필요하다.⁽²⁾

우리나라는 겨울철의 대기온도는 비교적 낮아서 공기 열원 히트펌프인 경우 COP가 3.0 이하로 떨어져 기존의 열원기기에 비해서 경제성이 떨어진다. 그러나 호텔·숙박업소·병원·의료시설과 같이 24시간 열원 공급이 필요하고 또 냉방·난방 부하, 냉방·급탕 부하가 동시에 일어나는 건물에서는 냉·난방 복합부하 히트펌프 시스템을 적용하면 COP를 크게 증진시킬 수 있어서 그 경제성이 기존의 열원기기보다 높아질 수 있다. 그동안 국내의 히트펌프 연구는 히트펌프 설치에 불리한 기후조건을 극복하지 못하고 다양한 히트펌프 가용 열원 발굴에 대한 연구에 소홀해왔다. 그 결과 히트펌프 시스템 적용 기술의 낙후를 초래하였다. 본 연구는 히트펌프 건물 냉·난방 시스템 기술혁신 방안 연구로 숙박업소에 대해서 여러 형태의 히트펌프 냉난방 시스템을 적용하는데 대한 열성능 시뮬레이션 연구를 수행한 후 그 에너지 경제성을 비교를 위한 기초 자료를 제공하기 위한 연구이다.

숙박업소에 설치된 히트펌프 냉난방 시스템의 열성능 시뮬레이션을 위해서는 건물 냉난방 부하의 동적해석이 선행되어야 한다. 건물 냉난방 부하의 동적해석 시뮬레이션 프로그램으로는 DOE, BLAST, NBSLD, TRANSYS 등 많이 있으나 이들 프로그램은 구성이 복잡하여 간편하게 건물 냉난방부하 계산에 적용하기 어렵고 계산시간도 많이 든다. 본 연구에서 건물 냉난방부하 계산을 위해서 열저항-열용량법(heat resistance capacitance method)를 확장 적용하였다. 이창선, 최영돈⁽³⁾은 열저항-열용량법을 사무실 건물의 소비에너지 해석에 적용한 결과 response factor 법을 적용한 동적해석 결과의 그 해의 정확도가 같고 건물 열부하 계산에서 TRACLOAD 코드와 5% 이내의 오차를 보여주었다. 특히 열저항-열용량법은 항공산업에 널리 사용하고 있다.[Sinda⁽⁴⁾, Mitas⁽⁵⁾]. 최영돈등⁽³⁾ 열저항-열용량법으로 모형온수온도를 해석하여 실험에 일치하는 열성능을 얻었고, 고층 아파트 연속난방 열공급제어 시뮬레이션을 수행한 바도 있다.

본 연구에서 열저항-열용량법에 의한 건물의

동적 열부하 계산으로 히트펌프 냉난방 시스템을 간단하게 해석할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 히트펌프 사이클 해석을 위해서는 이미 개발되어 사용되고 있는 EES 사이클 해석 코드를 도입하였다.

2. 히트펌프 냉난방 시스템을 적용한 숙박업소 건물의 선정

히트펌프 냉·난방 시스템을 적용한 숙박업소 건물의 소요에너지와 에너지비용 산정을 위한 시뮬레이션을 위해 다음의 표준건물을 선정하였다. 이 숙박업소 건물의 히트펌프 냉난방시스템 적용에 따른 경제성 분석을 위해서 건물을 규모 별로 500평, 2,000평, 5,000평, 10,000평의 확장 혹은 축소하여 시뮬레이션하였다. 건물의 냉·난방을 위한 열원시스템은 흡수식 냉온수기(ACH : Absorption Chiller & Heater), 공기열원 히트펌프(ASHP : Air Source Heat Pump), 수축열식 공기열원 히트펌프(AWHP : Air Source Heat Pump /Water Storage)의 3가지 시스템으로 분류하였다. 10,000평의 경우에는 수열원 히트펌프를 활용한 폐열회수 히트펌프 (HRHP : Heat Recovery Heat Pump)를 설치한 경우에 대해서도 시뮬레이션을 수행하였다.

- (1) 대상업소 : Oak Valley Resort
- (2) 위 치 : 강원도 원주시
- (3) 건물의 연면적 : 27,028m²(8,190평)
- (4) 객실 수 : 226실
- (5) 거주자 : 최고 2,260명

지역에 따른 소요에너지 변환과 경제성의 변화를 조사하기 위해서 대상 건물의 내용은 변하지 않고 원주, 대전, 부산에 위치한 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

3 건물의 냉방 부하 동적해석과 히트펌프 시스템 해석

3.1 표준 히트펌프 건물 냉난방 시스템 구성

본 연구에서 전산해석할 표준 히트펌프 건물 냉난방 시스템의 구성도는 Fig. 1과 같다. 표준 히트펌프 건물 냉난방 시스템은 수축열식 공기열원 히트펌프와 욕탕 폐열회수 수열원 히트펌프를 복합한 시스템이다. 그 구성을 살펴보면 난방의 경우 심야전력을 이용하여 공기열원 히트펌프로 대기 중의 열을 수축열조에 저장하여 난방에 사용하였고, 샤워나 욕탕에서 나온 폐수의 열을 수열원 히트펌프로 퍼올려서 급탕조에 저장하여 급탕 고온수를 저장한다. 냉방의 경우 수축열조의 열을 수열원 히트펌프로 퍼올려서 급탕 축열조에 저축함으로써 냉열과 온열을 동시에 사용하는 복합부하를 실현하여 시스템의 COP를 크게 상승시키고 있다.

이 표준 시스템과 비교할 히트펌프 시스템은 (1) 공기열원 히트펌프 시스템 (2) 수축열식 공기열원 히트펌프 시스템 (3) 흡수식 냉온수기 시스템이다.

이 시스템의 전산시뮬레이션을 위해서는 건물의 냉난방 부하 계산, 히트펌프의 용량 계산, 수열원 히트펌프와 공기열원 히트펌프의 에너지 시뮬레이션 부프로그램(subroutine)을 이용해서 전체 시스템의 에너지 평형방정식을 해석한다.

3.2 열저항-열용량법

본 연구에서 대상건물의 냉난방 부하의 동적 해석을 위해서 열저항-열용량법(thermal resistance-capacitance method)를 사용한다. 이 방법에서는 하나의 건물을 동(E), 서(W), 남(S), 북(N), 북동(NE), 남동(SE), 북서(NW), 북남(NS)의 8개 방향에 각각 창문과 벽체가 있고 상·하에 천장과 바닥이 있는 1실모형으로 대치한다. 각 벽체와 창문을 Fig. 2과 같이 각각 2개의 저항과 1개의 용량으로 구성된 전기회로로 대치한다. 열저항-열용량법에 의한 건물 동적부하 계산법은 다음과 같다.

- (1) 전체 건물은 1실(One Room)로 가정한다.
- (2) N, S, N, W, NE, SE, NW, SW 각 방향에 벽

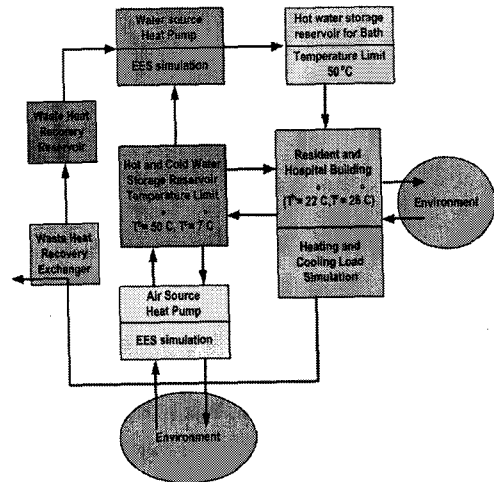


Fig. 1 Schematic diagram of combined heat pump system for heating and cooling of a building.

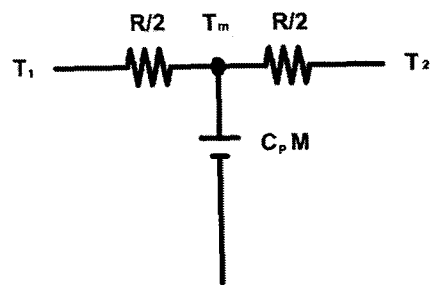


Fig. 2 Equivalent electrical circuit for a wall element.

- 체와 창문이 있는 것으로 가정한다.
- (3) 한 벽체와 창문을 2개 열저항과 1개 열용량으로 대치한다.
- (4) 각 요소의 열저항과 열용량을 연결해서 건물 전체를 등가전기회로로 전환시킨다.
- (5) 회로방정식을 풀어 비정상 열전달을 계산한다.
- (6) 열전달 해석 결과로부터 건물의 동적부하를 계산한다.

이 때 중심 m점의 온도 T_m 을 각 벽체의 대표 온도로 가정하고 대기와 실내조건의 변화에 따른 건물의 열부하 계산은 전기회로 해석법으로 계산하게 된다. Fig. 2에서 $C_p M$ 은 열용량으로

$C_p M = \rho_m C_{Pm} V_m$ 이다. 여기서 C_{Pm} 은 이 요소의 비열이며 V_m 는 부피, ρ_m 은 밀도이다. 이 요소에 대한 에너지 평형방정식은

$$C_{Pm} \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} = \sum_n \frac{T_n^i - T_m^i}{R_{mn}} + \dot{Q}_v \Delta V_m \quad (1)$$

식 (1)에서 상첨자 i 는 시간 step을 나타내고 \dot{Q}_v 은 시간 step i 에서 발열률을 나타내며, 하첨자 n 은 이웃요소점을 나타낸다.

문막 오크벨리 리조트 건물을 등가1실모델로 환산할 경우 각 방위 별 벽체의 면적, 열용량, 열저항은 Table 1과 같다.

Table 1 Wall areas and thermal properties of Ock-Valley resort building.

Wall positions	Area (m^2)	$C_p M$ (kcal/K)	R_w ($m^2 hrc/kcal$)
West wall	1,512	100,388	4.456
East wall	347	49,612	4.456
South wall	399	26,492	4.456
North West wall	1,036	1,953	4.456
North East wall	350	23,277	4.456
Ceiling	1,953	178,514	3.853
Floor	2,280	260,774	5.23

4. 리조트 건물의 냉난방부하 및 히트펌프 시스템 시뮬레이션 결과

가. 냉·난방 부하 계산

히트펌프 냉난방 시스템을 설치한 숙박업소의 냉난방 부하와 운전비 계산을 위한 전산 시뮬레이션의 표준모델로 문막 Oak Valley Resort를 설정하였다. 건물 총면적은 8,190평이다. 그러나 건물평수에 따른 경제성 분석을 위해서 이 건물을 500평, 2,000평, 5,000평, 10,000평으로 전환시켰으며 위치도 문막, 대전, 부산의 세곳에 있다고 가정하였고 각각에 대해서 전산시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 결과 10,000평 리조트에 대한 연간 중 냉난방 부하 도표는 Fig. 3이다. 이 그림을 보면 냉방부하인 경우 문막의 리조트가 가장 크고 대전, 부산 순이며 난방부하로 부산 리조트가 가장 크고 대전, 문막 리조트 순이다. 그런데 각 경우 히트펌프 용량은 냉·난방 부하 중일일피크부하에 의해서 결정된다. 따라서 냉방부하의 최고치가 큰 부산이 가장 큰 히트펌프 용량을 요구하게 된다. 그에 따라 전기요금의 기본료가 상승한다. 히트펌프는 그 용량의 면에서 냉방부하와 난방부하의 크기가 비슷한 경우에 가장 유리하다. 냉방부하나 난방부하의 어느 한 편이 상대적으로 크면 그 큰 값에 따라 히트펌프 용량이 증가되고

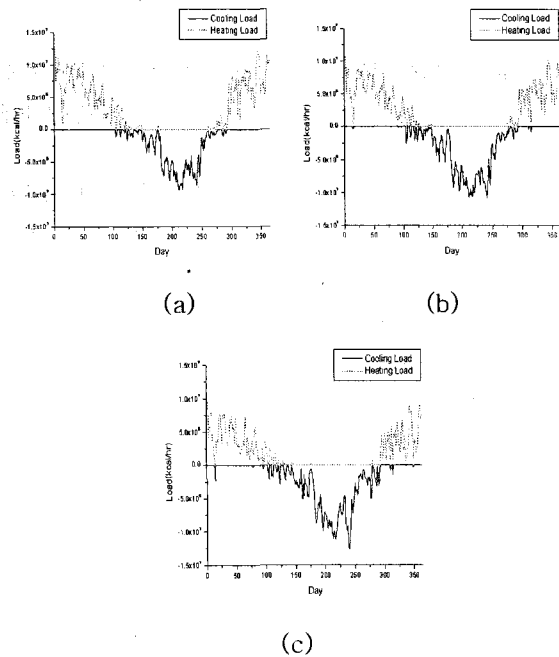


Fig. 3 Annual heating and cooling load variation of resort building.

(total floor area=33,000 m^2 , resort location (a) Munmack (b) Daejeon (c) Pusan)

축열조의 크기가 증가되어 초기 시설비 및 전기요금 기본요금이 증가하게 된다.

우리나라의 경우 북부지방은 난방부하의 일일 최고치가 냉방부하 일일 최고치보다 크고 남부지방은 냉방부하 일일 최고치가 난방부하 일일 최고치보다 큰데 이것은 히트펌프 시스템 적용에

불리한 요소로 작용한다.

Table 2는 리조트의 10,000평에 따른 히트펌프 냉·난방 시스템 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 리조트의 장소는 문막, 대전, 부산에 위치시켰으며 대중목욕탕이 있는 경우와 없는 경우에 대하여 계산하였다. 계산 내용은, 시간최대냉·난방부하와 연간냉·난방부하, 냉·난방히트펌프용량,

Table 2 Heat pump system simulation results for heating and cooling resort building (total floor area=33,000m²)

Location	Munmack		Deajeon		Pusan	
	Non-exist	Exist	Non-exist	Exist	Non-exist	Exist
hourly maximum cooling load (kcal/hr)	-112811 6	-112811 6	-12748 92	-127489 2	-15822 76	-15822 76
hourly maximum heating load (kcal/hr)	1352488	1352488	1141572	1141572	1005570	1005570
annually maximum cooling load (kcal/year)	-1.63×10 ⁹	-1.63×10 ⁹	-2.07×10 ⁹	-2.07×10 ⁹	-2.23×10 ⁹	-2.23×10 ⁹
annually maximum heating load (kcal/year)	1.75×10 ⁹	1.75×10 ⁹	1.33×10 ⁹	1.33×10 ⁹	9.2×10 ⁸	9.2×10 ⁸
heating and cooling heat pump capacity (RT)	341	341	379	379	431.6	431.6
bath heat pump capacity (RT)	128	268	127	127	127	268
total energy cost (ten thousand won)	26953	30176	27124	30354	27020	30285
COP(heating)	3.42	3.42	3.52	3.52	3.69	3.69
COP(cooling)	5.75	5.75	5.63	5.62	3.69	3.69
COP(bath)	5.06	5.08	5.07	5.09	5.07	5.09
thermal storage reservoir for bath(ton)	127	267	127	267	127	267
waste heat recovery storage reservoir(ton)	228	481	228	481	228	481
thermal storage reservoir for cooling and heating(ton)	1894	1894	2109	2109	2400	2400
pump power (heating and cooling)	43.6	43.6	41.3	41.3	51.3	51.3
pump power (bath)	5.19	6.15	5.19	6.15	5.19	6.15
fan power (ventilation)	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9

급탕히트펌프용량, 총에너지비용, COP, 급탕조, 폐열회수조, 축열조의 크기 펌프동력과 팬동력이 다. 냉·난방히트펌프의 용량은 시간최대냉·난방부하 중 절대치가 큰 값으로부터 계산한다.

나. COP 계산

문막, 대전, 부산의 공기열원 히트펌프의 년 중 COP 변화는 Fig. 4에 나타나 있다. 문막의 경우 겨울철에도 COP가 3.0정도이다가 봄철로 되면서 4.0정도까지 상승하고 냉방기간의 경우 5.0~6.0까지 상승한다. 부산의 경우는 겨울철 COP는 약간 상승하나 여름철 COP는 약간 하강한다. 따라서 전체적으로 보아 우리나라에서는 남부, 중부, 북부에서 COP의 평균치는 큰 차이가 있다. 따라서 우리나라는 냉난방 겸용으로 히트펌프를 설치하는데 있어서 지역에 따른 적합도는 비슷하다. 일반적으로 겨울철에 히트펌프 대신 보일러를 사용하고 여름에 냉동기를 사용하는 경우와 비교하면 히트펌프의 COP가 큰 남부지방이 북부지방

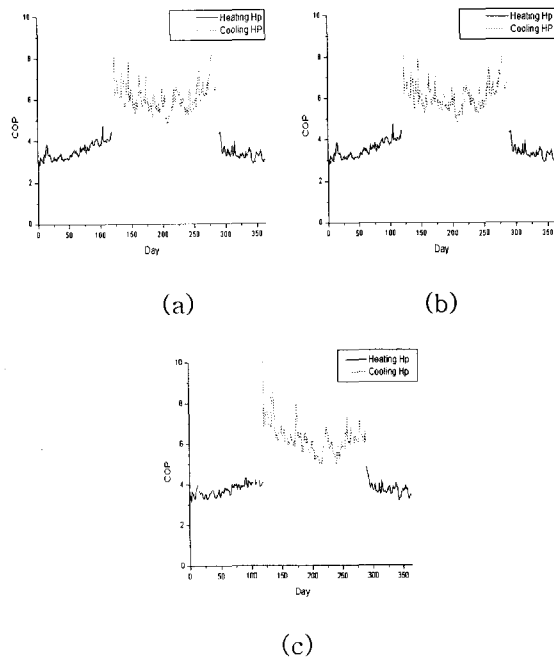


Fig. 4 Annual variation of COP of air heat source heat pump system (total floor area=33,000m², location (a) Munmack (b) Daejeon (c) Pusan)

보다 약간 유리하다 하겠다.

다. 에너지비용

히트펌프 건물 냉·난방 시스템의 에너지비용은 냉난방 히트펌프 동력, 급탕히트펌프 동력, 팬 동력, 펌프동력에 대한 전기요금의 합으로 계산한다. Table 3에는 히트펌프 시스템 대신 흡수식 냉온수기를 사용할 때 목욕탕 유무, 폐열회수 유무에 따라 전기세와 가스비 그리고 그 합을 나타낸다. 축열식 히트펌프시스템에서 총비용은 약간의 차이는 있으나 문막, 대전, 부산의 경우 위치 변화에 따른 총에너지 비용의 차이는 적다. 부산의 경우 냉방부하용 에너지 비용이 가장 크나 난방부하용 에너지 비용이 적고 문막인 경우 반대로 난방부하용 에너지 비용이 크고 냉방부하용 에너지 비용이 작아서 그 합은 서로 비슷해진 결과를 낳고 있다. 대중목욕탕이 있는 경우는 없는 경우보다 총에너지 비용이 약 10% 증가함을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서의 전산 시뮬레이션에 의한 리조트의 히트펌프 냉·난방 시스템 열성능 해석으로 다음의 결론을 얻었다

1. 우리나라 지역별로 북구·중부·남부에 대해서 히트펌프 보급환경에 큰 차이는 없으나 냉·난방 부하가 균형을 이루는 중부지방이 히트펌프 설치에 유리하다.
2. 단순 공기열원 히트펌프는 가스 흡수식 냉온수기에 비해서 운전비용의 면에서 큰 이득이 많다.
3. 수축열식 히트펌프는 숙박업소, 병원등의 가스흡수식 냉온수기에 비해 운전비용이 저렴하여 경제성이 있다.
4. 수축열식 히트펌프는 큰 축열조를 설치해야 된다. 따라서 축열조 크기를 감축시키는 기술이 수축열식 히트펌프 보급을 위한 최대의 기술과제이다.

Table 3 Energy cost of gas absorption cooler-heater system for a resort building (total floor area=16,500m²)

Location		Munmack		Daejeon		Pusan	
		Non-exist	Exist	Non-exist	Exist	Non-exist	Exist
Heat	absorption cooler-heater total cost(ten thousand won)	34,964	34,972	33,471	33,478	30,831	30,839
	absorption cooler-heater electric cost (ten thousand won)	13,651	13,658	13,635	13,641	13,707	13,714
	absorption cooler-heater gas cost (ten thousand won)	21,312	21,312	19,836	19,836	17,127	17,125
No Heat	absorption cooler-heater total cost(ten thousand won)	40,650	47,590	39,156	46,139	36,516	43,530
	absorption cooler-heater electric cost (ten thousand won)	12,874	11,965	12,857	11,990	12,927	12,092
	absorption cooler-heater gas cost(ten thousand won)	27,776	35,624	26,300	34,148	23,588	31,437

후 기

본 연구는 산업자원부(2003-E-BD01-P-01) 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 조성환, 이영수, 2004, 국외 열펌프 적용사례, 대한설비공학회 에너지관리부문 워크샵
2. 최영돈, 2004, 국내중대규모 숙박업소, 의료시설 최적 열펌프 냉난방시스템 추진방향, 대한설비공학회 에너지관리부문 워크샵
3. 이창선, 최영돈, 1997, 열저항-열용량법에 의한 사무실용 건물의 소비에너지 해석, 공기조화냉동공학논문집, Vol. 9, No. 1, pp.1-13
4. SINDA(Systems Improved Numerical Differencing Analysis), Lockheed Engineering and Management Services Company, Inc.
5. MITAS(Martin Marietta Interactive Thermal Analysis System), Martin Marietta Corporation.