

태양열 온수 및 난방 일체형 복합시스템의 성능예측

한유리*, 박윤철**

*제주대학교 대학원 기계공학과(chujac@paran.com), **제주대학교 기계공학과(ycpark@jejunu.ac.kr)

Performance Prediction of a Hot Water Supply and Panel Heating System with Solar Energy

Han, Yuri* Park, Youn Cheol**

*Dept. of Mechanical Eng., Graduate School, Jeju National University(chujac@paran.com)

**Dept. of Mechanical Eng., Jeju National University(ycpark@cheju.ac.kr)

Abstract

In this study, a simulation program was developed with heat transfer model in the thermal storage tank for a solar collector and burner combined heating and hot water supply system. Analysis was conducted with variation of operating condition and schedule to analyze performance of a hot water supply and panel heating system with a solar collector and burner combined thermal storage tank. The simulation program is divided two sections. One part is calculation of temperature variation of water which flows through the panel in the floor for heating of the residential house during 24 hours, and the other part is heat transfer calculation for the reaction time to get desired water temperature in the thermal storage tank.

As results, light oil consumption and system performance during operation period were analyzed with variation of climate condition and with or without solar collector. Most of the case, oil could be saved about from 24 to 41% with installing the solar collector. The performance of the system is more dependent on radiation time of the solar collector rather than the intensity of the solar radiation which was adopted for the climate analysis.

Keywords : 집열기(Solar collector), 축열조(Thermal storage tank), 해석적연구(Simulation), 난방(Heating), 온수공급(Hot water supply)

기 호 설 명

\dot{Q}_{cw}	: 집열기로부터 얻은 열량(kW)	\dot{Q}_j	: 연소기가 얻은 열량(kW)
\dot{Q}_f	: 연료연소로부터 얻은 열량(kW)	\dot{Q}_{sw}	: 난방 열량(kW)
\dot{Q}_{hx}	: 열교환기로부터 축열조가 얻은 열량(kW)	\dot{Q}_{sh}	: 온수 열량(kW)
		A	: 집열면적(m ²)

Submit date : 2012. 5. 23, Judgment date : 2012. 6. 13, Publication decide date : 2012. 9. 4

Communication author : Park, Youn Cheol(ycpark@jejunu.ac.kr)

- F_R : 집열 효율 수정 계수
- C_p : 열매체의 비열(kJ/kg $^{\circ}$ C)
- I_t : 집열면 일사량(kW/m 2)
- \dot{m} : 열매체 질량유량(kg/s)
- t_i : 열매체의 집열기 입구온도($^{\circ}$ C)
- t_o : 외기온도($^{\circ}$ C)
- $t_{c,i}$: 열매체 집열기 입구온도($^{\circ}$ C)
- $t_{c,o}$: 열매체 집열기 출구온도($^{\circ}$ C)
- U_L : 총괄열손실계수(kW/m 2 $^{\circ}$ C)
- α : 흡열판 흡수율(%)
- τ : 유리벽 투과율(%)

1. 서 론

오늘날 환경 및 에너지의 문제는 모든 나라가 공동으로 대체해야 할 문제가 되어 온실가스 거래제를 이미 시행하고 있고, 도쿄의정서에 따른 이산화탄소 배출저감에 대한 청정개발체제(CDM)도 단계적으로 진행되고 있다. 우리나라의 경우는 세계적인 에너지 자원의 지역적 편재로 인하여 총 에너지의 98% 이상을 수입에 의존하고 있다. 따라서 자원이 부족한 우리나라의 경우에는 에너지의 안정적인 공급과 수요를 이루고, 궁극적으로는 에너지의 독립을 달성하기 위하여 에너지 절약 시스템 개발 및 에너지 자원 개발이 필요하며, 그동안 정부를 중심으로 많은 노력을 기울여 왔다.

본 연구는 태양열을 이용하여 에너지 절약과 신재생에너지의 이용을 도모하기 위하여 개발 중인 주거건물용 온수공급과 바닥난방이 가능한 태양열 온수난방시스템의 개발을 위해 수행한 연구이다. 본 시스템의 열원은 경유와 태양열 집열기를 통하여 획득된 태양에너지이며, 태양열의 이용에 따른 열 획득과 이용의 시간차를 극복하기 위하여 부가적으로 축열조를 설치하였다.

이와 같은 기능을 갖진 시스템은 Ternoveanu[1]와 Beausoleil-Morrison[2]에 의해 연구된 바 있으며, 유럽에서는 이미 관련 제품이 개발되어 상용화되고 있는 실정이다.

우리나라는 지금까지 여러 가지 보급정책에 힘입어 태양열을 이용한 온수급탕기가 많이 보급되었으나[3], 난방분야는 기술적인 기반이 취약하여 아직 본격적인 상품화가 이루어지지 않은 분야이다[4]. 본 연구는 태양열의 이용효율을 온수급탕에서 난방까지 확대한 제품의 개발을 위하여 수행한 시뮬레이션 연구로써 온수의 공급온도 등의 변화에 따른 시스템의 성능을 해석하였다.

2. 해석모델 및 해석방법

2.1 해석모델

본 연구에서 개발한 성능해석프로그램의 각 모듈은 태양열 집열기, 보일러 및 축열조로 구성되어 있으며 그중에서 특징적인 것은 보일러의 버너를 축열조에 직접 삽입하여 연소배열까지 축열조에 공급하는 형태이다.

개발된 해석 프로그램을 통하여 태양열 온수급탕 및 난방기가 24시간 동안 운전될 때 시스템의 성능을 예측하였으며, 온수급탕을 하는 경우와 온수급탕 없이 난방만을 하는 경우로 나누어 해석하였다. 프로그램상에서 시스템이 24시간 운전되도록 하기 위하여 제어 변수로 온수펌프의 제어온도를 사용하였다. 온수펌프의 작동온도를 축열조의 온도보다 항상 낮게 설정하여 시스템에 연속운전을 부가하였다. 난방과 더불어 온수를 사용하는 경우에 온수사용시간은 오전과 오후에 각각 1시간 동안 온수공급을 하는 것으로 가정하였다.

Fig.1과 Fig. 2는 본 연구의 태양열 시스템을 가정용 주택에 설치한 개략도와 본 연구에서 설계한 축열조의 내부의 구조를 나타내었다. Fig. 2의 축열조는 축열조 내부에 온수용 축열탱크를 삽입하였으며, 보일러버너 및 태양열 전달용 열교환기를 축열조 내부에 삽입하여 열손실을 방지하였다. 이러한 구조를 통하여 기계실의 각 요소기들이 복잡하게 연결된 시스템의 내부 구조를 간략하게 하였다.

또한 축열조의 축열효율 및 온수사용의 효율성을 높이기 위하여 축열조내부에 난방수사용 후 축열조로 환수되는 환수관의 형태를 그림에 나타낸 바와 같이 수직으로 개선하여 축열조내의 난방수의 성층화를 개선하였다.

2.2 해석방법

본 연구의 보일러 해석모델의 에너지 흐름은 Fig. 3과 같으며, NIST에서 개발된 난방기의 보일러 모델[5]에 본 연구의 주요 특징 중의 하나인 축열조내의 보일러가 내장된 형태이며, 보일러의 배기열을 축열조에서 흡수할 수 있는 구조이다. Fig. 3은 보일러의 에너지흐름을 도식화 한 것이며, ①바닥 난방, ②온수사용, ③집열기의 축열에 대한 세부모듈로 나뉘어져 있으며 본 연구에서는 해석을 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

- (1) 축열조에서 난방을 위해 공급하는 물의 온도는 축열조내의 물의 온도와 같다.
- (2) 회수되는 물의 온도는 보일러 내부에서 균일하다.
- (3) 축열조 내부는 정상상태이고, 난방을 위한 물은 보일러와 난방을 위한 난방수로 온도조건이 맞으면 지속적으로 순환한다.

Fig. 4는 복합시스템의 성능해석 프로그램의 각 해석모델의 상호 연결관계를 나타내고 있다. 에너지평형식[6]은 식 (1)과 같으며, 열교환기 내부를 흐르는 유체의 입출구 온도차에 의한 열전달량은 LMTD(대수평균온도차)법을 사용하였다. 집열기의 성능은 식 (2)와 같으며[7], 식 (3)으로부터 집열기 출구의 온도를 구하였다.

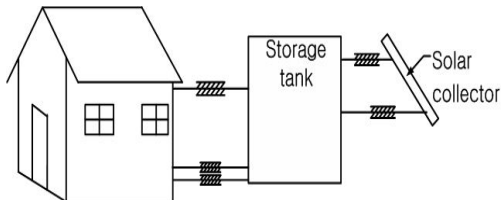


Fig. 1. Schematic diagram of the system connected to a house.

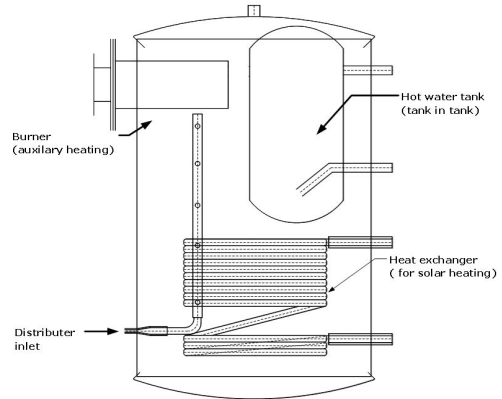


Fig. 2. Schematic diagram of the thermal storage tank inside.

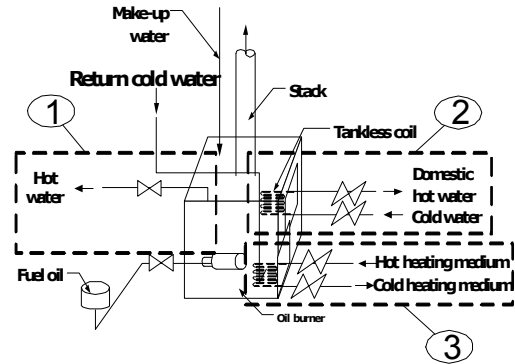


Fig 3. Energy flow diagram of the boiler.

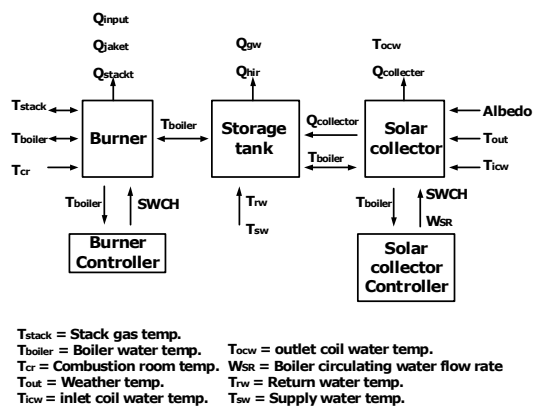


Fig. 4. Analytic model structure of the system simulation program.

집열기에서 태양열 흡열과 축열조의 열전달을 위한 열매체는 프로필렌 글리콜 (Propylene glycol)으로 비등점 187°C, 비열 2.51 (kJ/kg°C)의 40% 수용액이다. 열매체의 비열은 물과 10:4의 혼합비율을 적용하여 비열은 3.55 (kJ/kg°C)로 하였다.

축열조 내의 물의 초기온도는 30°C, 난방을 위해 주택의 상난방배관으로 공급되는 온수의 유량은 0.0286 (kg/s)이며, 집열기를 통하여 열을 획득하는 열매체의 유량은 0.1 (kg/s)로 설정하였다. 집열기에 의한 축열은 축열조 내의 온수의 온도보다 집열기의 열매체의 온도가 높을 때에만 축열이 가능하도록 하였다.

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_f + \dot{Q}_{hx} + \dot{Q}_{cw} - \dot{Q}_j - \dot{Q}_{sw} - \dot{Q}_{sh} \quad (1)$$

$$\eta = F_R(\pi\alpha) - F_R U_L \left(\frac{t_i - t_a}{I_t} \right) \quad (2)$$

$$\eta = \frac{C_p \dot{m} (t_{c,o} - t_{c,i})}{A I_t} \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 태양일사조건과 집열기 순환 펌프의 제어온도의 변화에 따른 성능을 살펴 보았으며, 24시간동안 난방만으로 운전되는 경우와 오전 혹은 오후에 온수사용을 동반하는 경우로 나누어 계산하였다.

또한, 집열기의 성능이 시스템에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 일사조건이 청명한 날씨, 맑은 날씨 및 흐린 날씨의 3가지 경우에 대하여 해석을 수행하였다[8].

3.1 시스템의 순환펌프 온도제어

모델링을 통하여 개발된 성능해석 프로그램을 이용하여 난방수를 공급하는 순환펌프의 제어온도 변화에 따른 시스템의 성능변화를 살펴보기 위하여 Table 1과 같이 보일러의 운전 및 정지온도, 펌프의 운전 및 정지온도를 변화시켰다. 이 해석조건은 순환펌프가

Table 1. Control temperature of the circulation pump and boiler.

Case	Boiler(°C)		Pump (°C)	
	on	off	on	off
1	60	80	70	50
2	60	80	65	45
3	65	85	75	55
4	65	85	70	50
5	65	85	65	45
6	70	90	80	60
7	70	90	75	55
8	70	90	70	50
9	70	90	65	45

축열조내의 물에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위한 것이며, 24시간동안 난방수가 계속 순환할 수 있도록 하기 위해 펌프의 작동 온도는 보일러의 작동온도보다 높게 설정하였다.

축열조에서의 에너지흐름은 Table 2와 같으며, Table 2의 계산은 태양일사가 가장 좋은 청명한 날씨의 경우로써, 평가의 편의를 위하여 온수사용은 없는 것으로 하였다. Table 2는 축열조내의 물이 30°C에서 시작하여 보일러 작동이 중지되는 온도까지 집열기의 집열량, 보일러의 보조열량 및 난방공급열량이다. 계산결과 축열조의 보일러제어온도를 가장 낮게 설정된 Case 1의 운전조건에서 경유의 사용열량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이것은 일사량이 높기 때문에 축열조의 온도가 높고 보일러의 동작율도 작기 때문이다.

Table 1의 각종 설정온도와 Table 2의 계산결과를 검토하면 보일러의 on-off 제어온도는 경유의 사용량에 많은 영향을 주지만 순환 펌프의 제어온도는 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 이것은 Case 1-2, Case 3-5 및 Case 6-9의 세 가지 그룹으로 경유소비량의 차이가 발생하며, 순환펌프의 제어온도에 대하여는 큰 변화가 없는 것으로 알 수 있다. Fig. 5는 집열기가 없을 경우와 여러 가지 일사량 조건에서 각 일사량과 온도설정조건

Table 2. Heat transfer rate during 24 hours of the system(unit : kW).

CASE	Storage tank	Solar collector	Heat supply for heating	Oil consumption (kg)
1	67.19	110.53	173.14	6.35
2	67.41	110.49	173.31	6.37
3	78.78	108.77	181.87	7.41
4	79.00	108.73	182.05	7.43
5	79.27	108.64	182.24	7.46
6	89.27	107.04	190.81	8.38
7	89.55	106.98	191.02	8.40
8	89.77	106.93	191.18	8.42
9	89.99	106.87	191.35	8.44

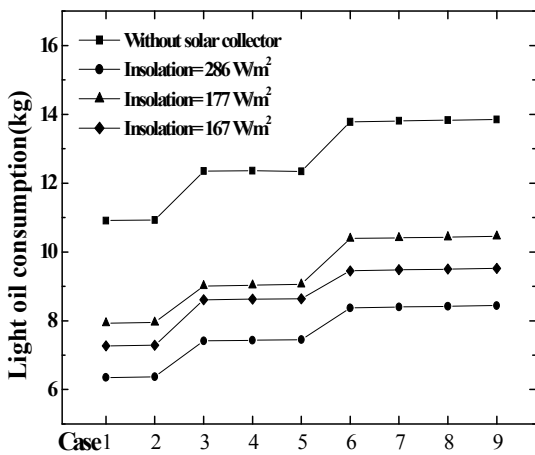


Fig. 5. Oil consumption with variation of solar insolation.

의 변화(9가지 경우)에 대하여 보일러의 경우 사용량의 변화를 나타낸 것이다. 태양열 집열기가 작동할 때의 경우사용량이 집열기가 없을 때와 비교하여 확실히 줄어든다는 것을 알 수 있다. 이때 일사량이 177 W/m²로써 168 W/m²보다 일사에너지가 많은데도 불구하고 경우사용량이 더 높은 것은 태양일사시간의 영향으로 나타났다. 즉, 177 W/m²의 평균일사량을 나타내는 날보다 168 W/m²의 평균일사량을 나타내는 날의 태양일사가 비치는 시간이 훨씬 더 높아서 나타난 결과이다.

이로부터 일사량의 강도보다는 일사가 발생하는 시간이 본 시스템의 성능에 더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

청명한 날씨중에서 하루 평균 태양일사량이 286 W/m²인 경우의 시간에 따른 집열기, 보일러 및 난방공급열량이 변화는 Fig. 6과 같다. 일사가 있는 낮 시간에는 집열기에 의해 축열된 열량만으로도 Table 1의 설정온도를 충분히 만족하여 보일러는 작동하지 않는다는 것을 알 수 있다.

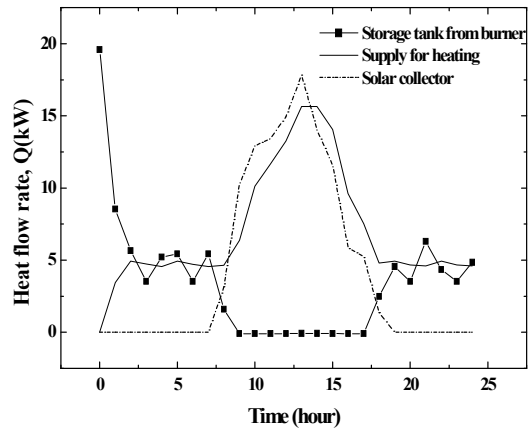


Fig. 6. Variation of heat transfer rate with time in a boiler, solar collector and panel heating.

3.2 시스템의 온수 온도제어

온수난방 및 급탕 시스템을 Table 1의 조건에서 오전과 오후를 나누어 각각 1시간씩 온수를 사용한다는 조건에서 시스템의 성능을 평가하였다. 오전의 온수 사용시간은 출근 전인 7-8시로 하였으며, 오후 온수 사용시간은 퇴근 후의 19-20시로 하였다. 보일러의 on-off온도는 Table 1의 보일러의 제어와 같으며, 집열기 순환펌프의 온도제어는 Case 2의 조건으로 65℃에서 가동되고, 45℃에서 정지하는 것으로 하였으며, 정유량 펌프의 온수 유량은 0.3(kg/sec)이다.

Fig. 7은 오후에만 온수를 사용하는 경우의 해석 결과로써, Case 1-4는 보일러의 on-off

Table 3. Control temperature for the system performance in a hot water utilization (unit : °C)

Case	Burner on (°C)	Burner off (°C)	Hot water (°C)
1	60	80	50
2	60	80	60
3	60	80	70
4	60	80	80
5	65	85	50
6	65	85	60
7	65	85	70
8	65	85	80
9	70	90	50
10	70	90	60
11	70	90	70
12	70	90	80

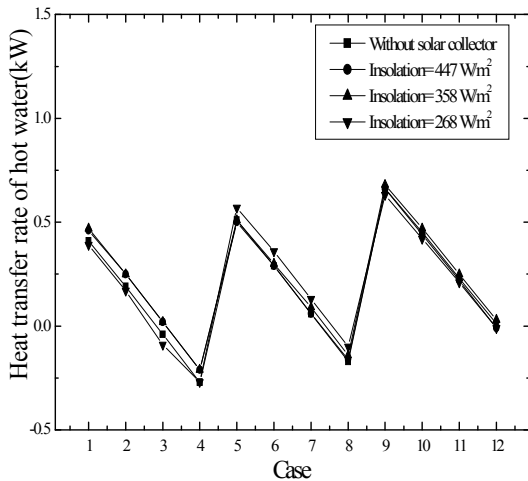


Fig. 7. Heat transfer rate of the hot water with respect to various control cases.

가 60°C 및 80°C일 경우, Case 5-8은 65°C 및 85°C 그리고 Case 9-12는 70°C 및 90°C로써, 같은 보일러의 on-off 설정온도에서 온수의 공급설정온도가 높을수록 온수의 사용에너지량은 거의 선형적으로 감소한다. 또한, 온수 공급설정온도가 같더라도 보일러의 on-off 설정온도가 높을수록 온수의 에너지량이 크다. Fig. 7에서 온수사용은 일사량이 없는 시간대로 주로 이루어짐으로써 일사량의 변화에 따른 열량의 차이는 거의 없음을 알 수 있

었다. 그 이유로는 온수 사용이 집중되는 오전에는 6시-7시 및 오후에는 19시-20시로 정하였으나, 이 시간에는 일사의 영향을 거의 받지 못하는 것이 원인으로 판단되며, 오전과 오후의 데이터는 큰 차이를 보이지 않았다. 특히, 오전에만 온수를 사용한 경우에는 새벽 시간대에는 모두 경유를 사용하여 얻은 열량이기 때문에 일사조건에 관계없이 모두 같은 결과가 얻어진다. 각종 열량의 경우도 난방만을 수행하는 경우와 큰 차이가 없으며, 이것은 온수사용 열량이 난방에 사용한 열량에 비하여 상대적으로 매우 작기 때문이다.

4. 결 론

본 연구에서는 태양열을 이용한 온수 및 난방일체형 복합시스템에 관하여 태양열 집열기를 사용할 경우와 집열기가 없이 보일러만을 사용할 경우, 난방 및 온수시스템을 운전하는데 있어 시스템의 성능 및 에너지 절감효과를 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 순환펌프의 온도제어에 관하여 계산한 결과에서 집열기를 사용할 경우와 집열기를 사용하지 않을 경우에 있어서 경유 사용량을 살펴보면, 집열기를 사용하였을 경우에 약 24%-41%까지 에너지 절감효과를 가져올 수 있음을 알 수 있다. 그러나 본 연구는 시스템이 24시간 동안 계속 운전하는 경우에 대한 결과로써 소비자가 원하는 난방 시간을 제어할 경우에는 경유사용량을 보다 많이 절감할 수 있을 것이다.
- (2) 집열기의 순환펌프의 온도제어에 있어서 연료의 사용량으로 시스템을 평가하였을 경우에 보일러의 제어온도를 60°C에서 운전하고 80°C에서 정지할 경우에 효율이 가장 높으나 펌프의 설정온도가 경유의 사용량에 미치는 영향은 보일러의 설

- 정온도가 경유사용량에 미치는 영향에 비하여 매우 낮다.
- (3) 온수의 온도제어에 관하여 시스템의 성능을 평가하였을 때, 온수열량이 축열조내로 축열되는 열량이 난방을 위해 방열되는 열량에 비해 상대적으로 작기 때문에 온수사용이 없는 난방전용 시스템과 성능 차이는 크지 않다.

- exchangers”, McGraw-Hill, 1984.
7. June-Ho Hyun, Won-Gee Chun, "A comparative analysis on the thermal performance of solar vacuum tubes", KSES, Journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 23, No. 3, pp. 15-22.
8. Korean Standard Association, "Solar Collectors", B 8203-1990.

참 고 문 헌

1. Andrei Ternoveanu, Philippe Ngendakumana, "Dynamic Model of a Hot Water Boiler", Proceedings of Clime 1997 Conference, Brussels, Belgium, 1997.
2. Ian Beausoleil-Morrison, Kamel Haddad, "Simulation Fuel-fired Combination Space and Domestic Water Heating Systems", IBPSA(International Building Performance Simulation Association), Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, pp. 93-100, 2003.
3. Min-Chul Cha, Myoung-Souk Yeo, Ho-Tae Seok, "A study on the performance evaluation of recirculation system for individual hot water supply system in residential buildings", SAREK Transactions, Vol. 19, No. 12, pp.857-864, 2007.
4. Sung-Hwan Cho, Seong-Su Kim, Yong-Bong Kim, Hee-Hyeong Na, "Application study of the predictive pulse control for floor heating system", SAREK, Winter Annual Conference pp.167~175, 2007.
5. Cheol Park, George E. Kelly, "A study on the performance of residential boilers for space and domestic hot water heating", National Institute of Standards and Technology, NISTIR 89-4104, 1989.
6. Kays, W.M., London, A.L., "Compact heat