

공기식 집열시스템에 의한 실내 난방 연구

천 원 기 · 임 상 훈 · 전 명 석 · 윤 종 호

한국에너지기술연구소

A Study on the Air System for Space Heating

Chun, Won-gee · Lim, Sang-Hoon · Jeon, Myung-Seok · Yoon, Jong-Ho

Korea Institute of Energy Research

요 약

본 연구에서는 f-chart method를 이용하여 대전지방에서 공기식 시스템을 적용하였을 경우의 난방효과에 대한 성능 분석을 수행하였다. 공기의 유량, 집열판 덮개의 수, 페블 베드의 축열 용량 그리고 집열판의 코팅 등에 따른 공기식 시스템의 난방 효과를 분석하였으며 아울러 액체식 시스템을 이용한 난방 시스템과도 동일 조건하에서 그 성능을 비교 분석하였다.

ABSTRACT

The present study has carried out thermal performance evaluation of air systems for space heating in Daejeon by the f-chart method. The various effects with the change in air flow rate, number of glazings, storage capacity of pebble bed, and coating materials of absorber plate are analyzed with regard to the effectiveness of air systems for space heating. A comparison is also made with liquid systems under the same operating conditions.

1. 서 론

공기식 집열기는 1944년 Lof가 그 개념을 도입한 이래 미국 등에서는 pebble bed를 이용한 축열방법의 개발과 더불어 이미 상당한 실용화가

이루어졌다. Pebble bed를 축열수단(Unit)으로 이용한 공기식 시스템은 액체식 시스템의 효율과 거의 대동소이하나 대개는 상당히 차이가 나는 것으로 잘못 알려져 있다. 공기식 집열기에서 데워진 공기를 축열시키는 방법에는 pebble bed를 이용한 방법 외에 탱크에 물 또는 액체를 채운

축열조나 상변화 물질을 이용한 방법등이 있으나, 아직까지는 pebble bed를 축열조로 이용하는 방법이 기술적으로나 경제적으로 제일 타당성이 큰 것으로 평가되고 있다. 물 또는 액체를 축열 매체로 이용할 경우에는 별도의 열교환기를 설치, 실내와의 열교환을 이루어야 하므로 초기투자비와 액체 순환 펌프등의 작동에 필요한 전력사용경비가 추가되고 또한 이중 열교환으로 인한 효율 감소의 단점이 있다.

미국은 이미 1970년대 중반에 콜로라도주의 CSU Solar Village등에 대형 공기식 집열 및 축열 시스템을 설치, 공기식 시스템의 보급과 병행하여 이에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다.

2. 태양열을 이용한 공기식 및 액체식 난방 시스템의 개요

태양열을 열원으로 하고 pebble bed를 축열 unit으로 이용하여 실내에 난방을 공급하는 공기식 집열 난방 시스템의 전형적인 개략도는 Fig. 1과 같다. 이와같은 공기식 시스템은 열교환기(공기-물)를 사용하여 가정의 온수급탕시스템에 적용할 수도 있다.

공기식 시스템은 액체식 시스템과 유사한 점이 많으나 몇가지의 전혀 다른 특성도 아울러 지니고 있다. 우선 공기식 시스템은 액체식 시스템의 파이프라인에 비해 훨씬 큰 단면적을 지닌 공기 덕트(duct)로 연결되어 있으며 송풍기(blower) 또한 액체순환식 펌프에 비해 대체로 많은 전력 소모량이 요구된다. 공기식 시스템의 가장 큰 특징중의 하나는 데워진 공기를 패블베드에 넣어 축열시킬 때와 축열된 패블 베드로 부터 축열된 열을 실내의 난방에 이용할 때의 공기의 흐름이 정반대 방향인 점이며 이를 위하여 별도의 공기단속장치(air handlers)와 제어장치(control systems)가 설치되어 있다. 공기식 시스템이 액체식 시스템에 비해 운영상 유리한 점은 작동시 밀폐되어 있지 않더라도 액체식 시스템의 작동 유체 누수와 같은 큰 문제점을 야기하지 않는다는 것이다.

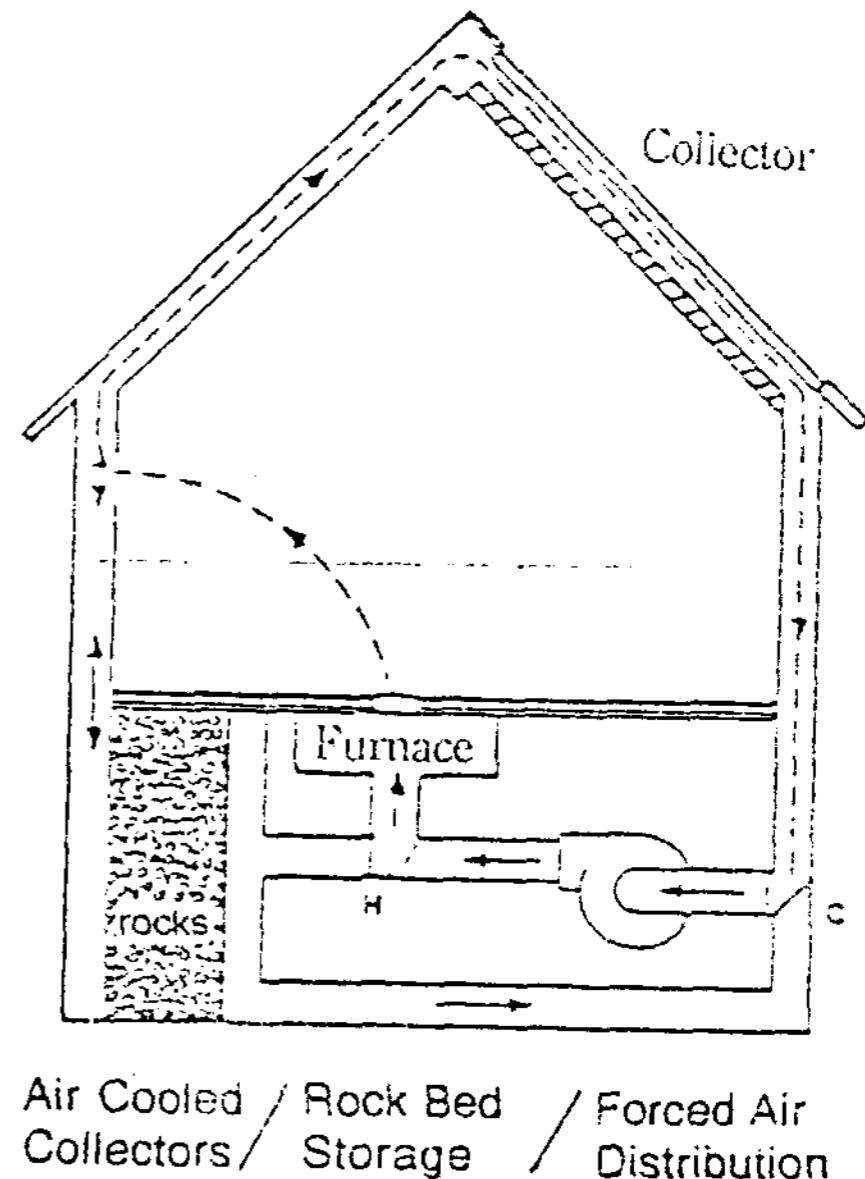


Fig.1 Schematic of air system for space heating

공기식 집열기의 형태는 액체식 시스템의 그것과 비슷하며, 블랙 페인트 혹은 선택흡수성을 지닌 블랙 크롬(black chrome) 도금이 된 집열판(absorber)위에 하나 또는 그 이상의 유리덮개가 씌워져 있다. 공기식 집열기와 액체식 집열기의 가장 큰 차이점은 액체식 집열기의 경우 작동 유체가 집열판에 부착되어 있는 튜브안을 따라서 흐르는데 반하여 공기식 집열기의 경우는 강제 대류 등에 의한 열 손실을 줄이기 위해 공기가 집열판 후면을 따라 흐른다는 것이다.

한편, 공기식 시스템과 액체식 집열 시스템의 작동상 가장 큰 차이점은 집열기를 통과하기 전 후의 유체의 온도상승 폭에 있다. 액체식 집열기의 경우 유량은 대체로 유체의 온도 상승폭이 5~7°C정도 유지되도록 운용되는 반면 공기식 집열기의 경우는 그 온도 상승폭이 25~45°C나 되며 이때의 공기식 유량은 집열기 단위 면적당(m²) 약 0.6m³/min 정도 된다. 공기식 집열 시스템의 경우 이와같은 작동 유체의 높은 온도 상승은 시스템의 열 효율을 떨어 뜨릴 염려가 있으나 패블 베드를 통한 성층축열효과로 이를 상쇄시키고 있다. 데워진 공기는 일반적으로 위

에서 아래로 흐르도록 유도되는데 자갈(pebble) 그 자체가 좋은 열 교환기로서 공기로 부터 패블베드의 상층 부분에서 부터 단 시간내에 열을 빼앗아 버린다. 시간이 흐름에 따라 패블 베드의 축열 부분(공기로 부터 열을 빼앗아 뜨거워진 부분)은 점차 아래로 내려가며 대개 패블 베드 출구의 온도는 실내의 기온과 거의 비슷하다. 한편 패블 베드로 부터 열을 빼앗아 실내를 난방할 때에는 공기의 흐름은 역방향으로 유도되어야 하며(패블 베드의 성층화와 반대 방향) 이는 시스템의 전체 난방 효율에 매우 중요한 영향을 미친다.

액체식 집열기를 적용한 태양열 난방 시스템의 전형적인 개략도는 Fig.2와 같으며 이 시스템은 일반적으로 가정용 급탕 시스템과 병행하여 고려되고 있다.

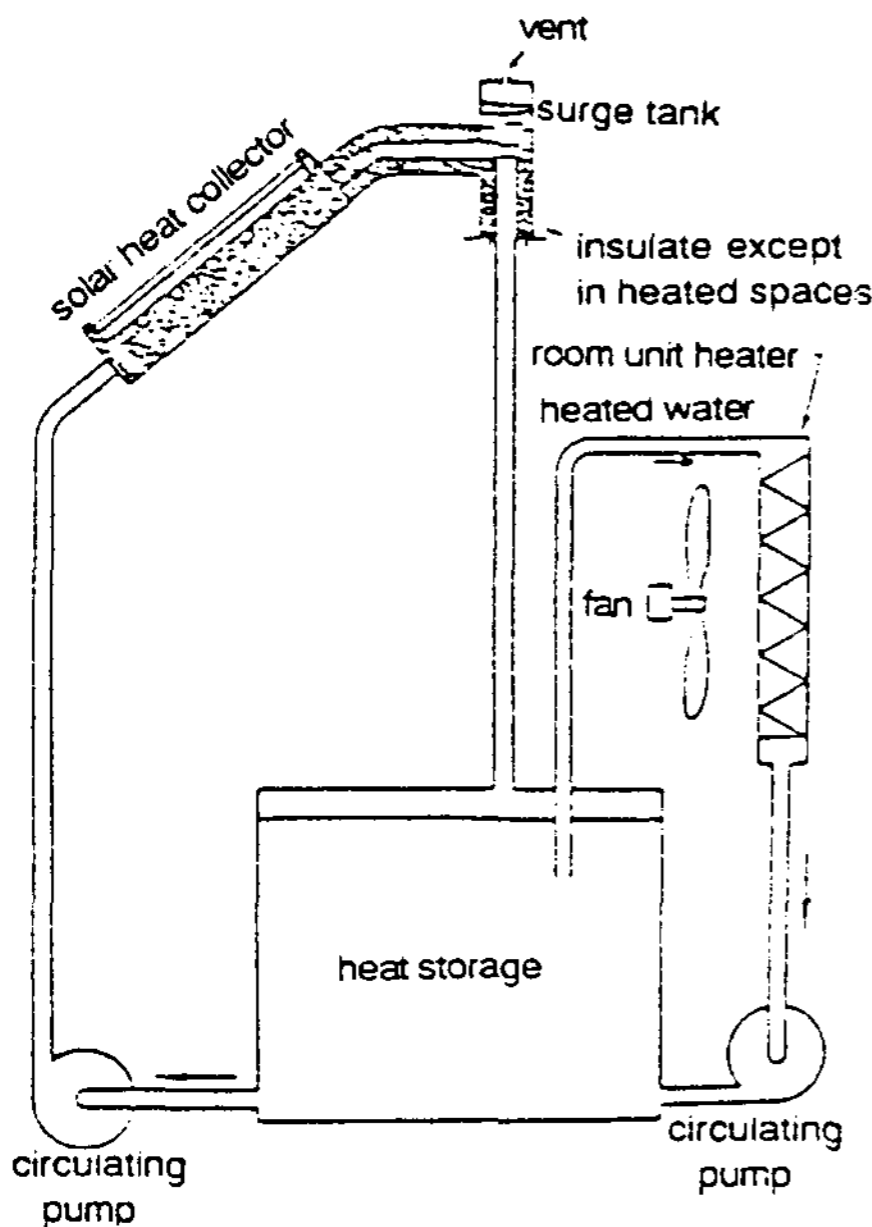


Fig.2. Minimum heating system, showing relationship of collector storage, and room unit heater.

3. 열해석

본 연구에서는 대전지방의 기후 데이터와 함께

f-chart method를 이용하여 공기의 유량, 집열판 덩개의 수, 패블베드의 축열용량, 그리고 집열판의 코팅 종류 등에 따른 공기식 시스템의 난방 효과를 분석하였으며, 아울러, 액체식 시스템을 이용한 난방 시스템과도 동일 조건하에서 그 성능을 비교·분석하였다.

f-chart method는 자연형과 설비형 태양열 시스템의 설계와 해석에 유용한 프로그램으로써 관련 에너지 분야에 널리 쓰이고 있으며 1977년 개발된 이래 Wisconsin대학의 태양에너지 연구팀에서 계속해서 new version을 발표하고 있다. f-chart method는 다음의 시스템의 장기 평균 성능을 평가할 수 있으며 또한 life-cycle 경제성 분석도 가능하다.

- 1) 패블 베드 축열 및 가정용 온수 급탕 시스템
- 2) 액체(물) 축열식 난방 및 온수 급탕 시스템
- 3) 설비형 건물 난방 시스템
- 4) 직접 획득형 자연형 시스템
- 5) 축열벽형 자연형 시스템
- 6) 태양열 수영장 시스템
- 7) 공정열 이용 시스템

본 연구와 관련되어 수행된 f-chart 프로그램은 첫번째와 두번째 category로써 집열기의 형태와 함께 각각 입력된다(공기식 및 액체식).

3.1 액체식 시스템

액체식 태양열 시스템의 경우 시스템 유형은 액체(물) 축열식 난방 및 온수 급탕 시스템을 선택하였으며 집열판의 유형은 집열판의 구성 형태에 따른 태양열 집열 효율의 연관성을 알아보기 위해 Table 1과 같이 여러가지 유형에 대해서 계산을 실시하였다. 즉 투과체로 단층유리나 복층유리의 사용, 유리나 플라스틱의 사용, 흡열판(집열판)의 흑색페인트나 선택 흡수막 처리(black chrome painting) 그리고 특수한 형태의 집열판 즉, open flow(trickle type) receiver나 고성능을 위해 진공을 이용한 형태에 대해 비교하였다.

열교환기가 있는 경우 전체 시스템 효율은 열교환기의 크기에 영향을 받으므로 열교환기의 크기에 따른 시스템 효율의 변화를 검토해 보았다. 실내 난방의 경우 고려된 시스템의 축열 용량은 집열기 단위 면적당 73.2kg이고 흑색페인트의 흡열판에 이중유리로 제작된 집열기로 구성되었다. 한편 집열기의 기울기, 축열탱크의 크기 등이 미치는 영향도 고려하였으며 실내 난방 및 온수급탕이 동시에 공급 가능한 시스템에 대해서도 조사하였다.

Table.1. Liquid System Collector Descriptions

Collector Type	$F_{R\tau\alpha}$	$F_{RU_L}(W/sq\ m^{\circ}C)$
A. Two glass covers, black painted receiver	0.73	4.03
B. One glass cover, black painted receiver	0.82	6.64
C. One glass cover, black chrome selective surface receiver	0.81	5.39
D. One glass cover, trickle type black painted receiver	0.74	10.0
E. Ideal collector	1	0

3.2 공기식 시스템

본 연구에서는 두개의 유리 덮개에 흑색 페인트 칠이 된 집열기를 고려하였으며, 직렬로 배열된 두개의 집열기 각쌍을 통해 공기가 집열기 단위 면적당 $0.6m^3/min$ 의 유량으로 순환된다고 가정하였다. 패블베드(약 2.5cm의 직경을 가진 자갈로 구성)의 축열 용량은 집열기 단위 면적당 244kg이며 축열 용량의 변화에 따른 영향을 살펴보기 위해 집열기 단위 면적당의 패블베드의 크기가 각각 132kg, 244kg, 그리고 360kg 등의 시스템에 대해서도 계산을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 3은 전형적인 공기식 시스템(Fig.1 참조)에 있어서 집열 면적의 증가에 따른 태양의존율의 변화를 보여 주고 있다. 고려된 공기식 시스템은 3.2에서 언급한 바와같이 단순 흑색 페인트를 칠한 집열판에 이중의 유리 덮개를 씌운(double glazing) 공기식 집열기와 집열기 단위 면적당 244kg의 자갈(자갈의 직경은 약 2.5cm)을 사용한 패블베드로 구성되었으며 공기의 유량은 집열기 단위 면적당 $0.6m^3/min$ 그리고, 집열기 설치 각도는 45° 라 가정하였다.

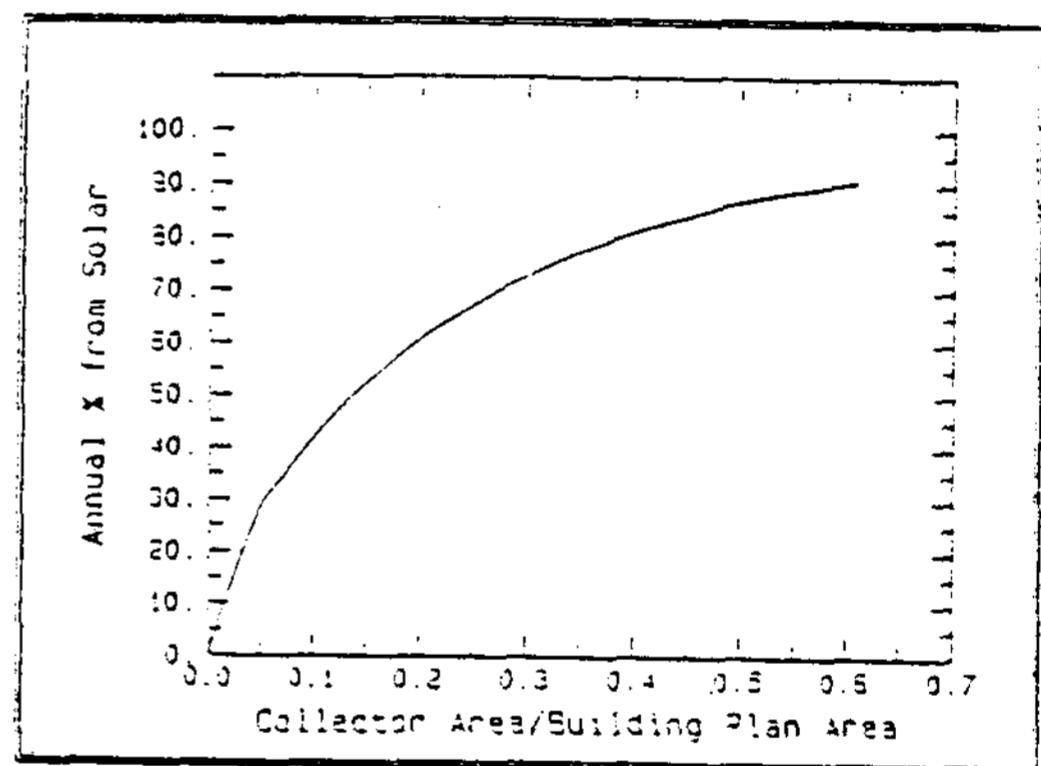


Fig.3 Annual performance of a 'space heating system(air).

공기식 시스템은 동일 조건하에서 액체식 시스템과 거의 비슷한 난방성능을 보여 준다. Fig.4는 흑색 페인트를 칠한 흡열판에 이중의 유리 덮개를 씌운 액체식 및 공기식 집열 시스템의 성능을 비교한 것으로써 공기식 집열기의 제반 사양은 Fig.3의 경우와 같으며, 액체식 시스템은 집열기 단위 면적당(m^2) 48.8kg의 축열 용량과 열교환기 단위 면적당(m^2) 약 $1.115m^2$ 의 집열면적을 가정하였다(액체식 집열기 설치 각도 역시 45°).

공기식 시스템에 있어서 패블 베드의 축열용량은 패블베드의 성능과 밀접한 관계가 있다. Fig.

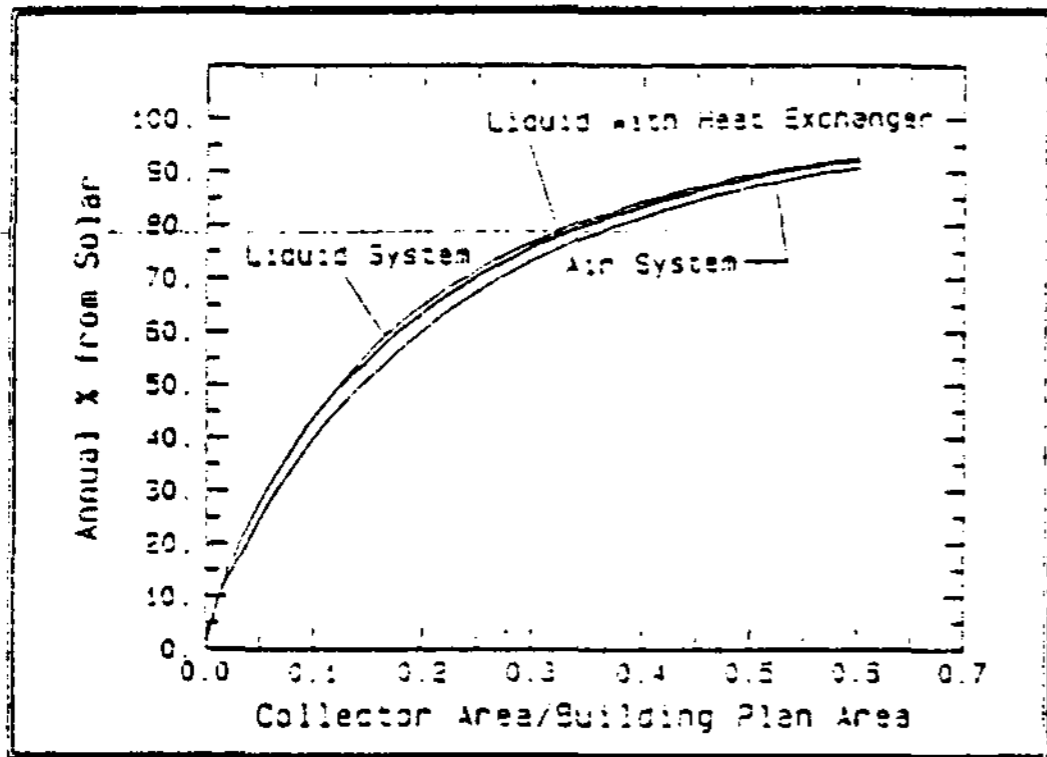


Fig.4 Comparison of air liquid system for space heating

5는 패블베드의 축열용량이 집열기 단위 면적당 (m²) 각각 366kg(A), 244kg(B), 122kg(C)인 세 경우에 있어서 그 성능을 비교한 것으로 A와 B는 별로 큰 차이를 안 보이나 C의 경우는 시스템 효율의 전체적인 하락을 보여주고 있다(공기의 유량, 집열기 형태 그리고 설치 사양등은 Fig.3의 경우와 동일)

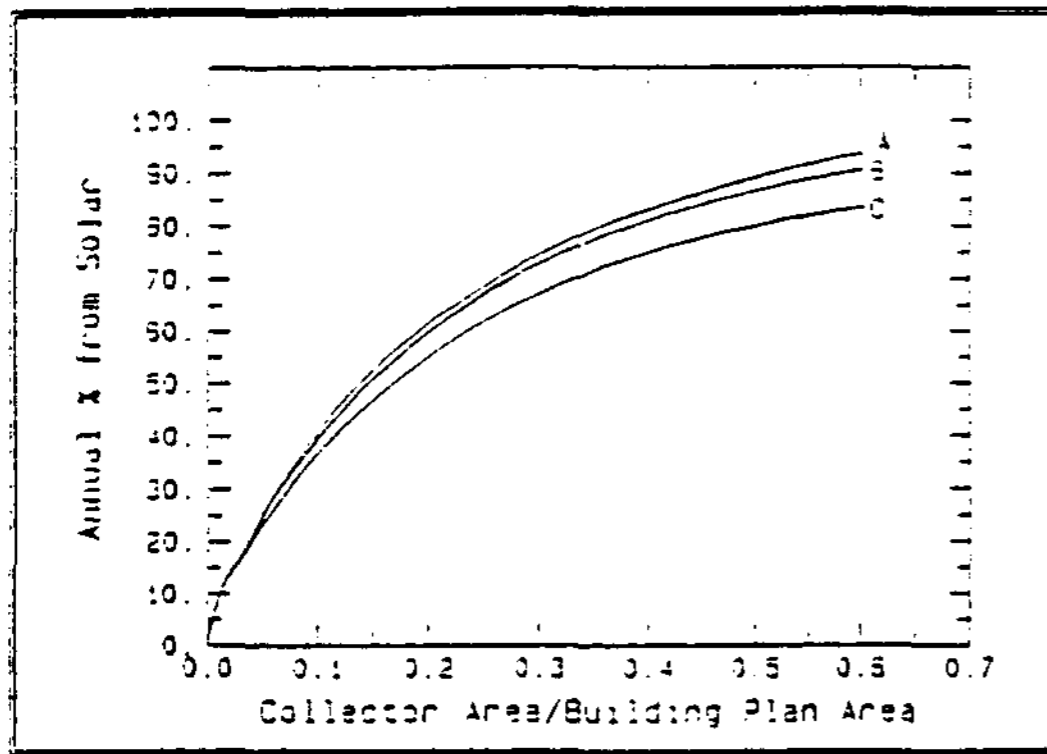


Fig.5 Effect of storage size in space heating systems(air).

Fig.6은 공기의 유량이 각각 집열기 단위 면적당 (m²), 0.15(A), 0.3(B), 0.6(C) 및 0.9(D)일 경우의 시스템 효율을 비교한 것으로서(그밖의 제반사양은 Fig.3의 경우와 같음), 공기 유량 변화에 따라 시스템의 성능도 영향을 받는 것을 알 수 있다.

대체로 시스템의 성능은 유량의 변화에 비례하나 유량의 변화가 패블베드의 온도 성층화와 밀접한 관계에 있기 때문에 유량이 크다고 반드시 시스템 효율이 높아지는 것이 아님을 알 수 있다(D).

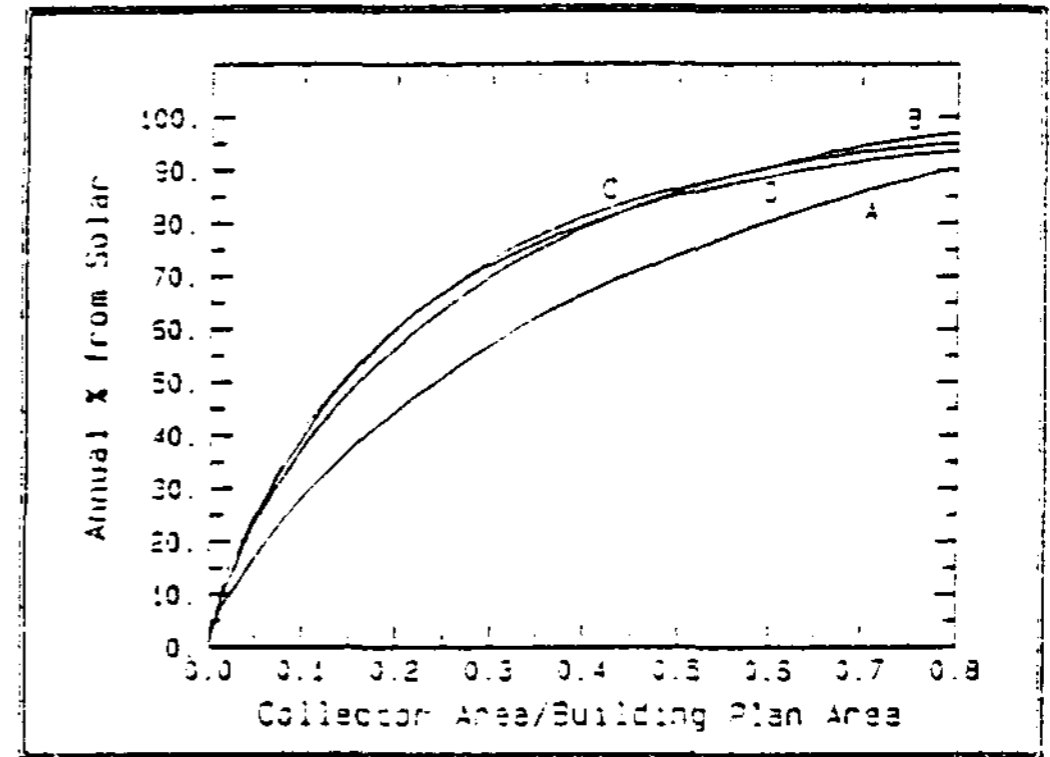


Fig.6 Effect of air Flow rate in space heating systems(air).

집열기의 형태는 시스템의 성능과 밀접한 관계가 있으며, 집열기에서의 열손실이 줄어든다면 시스템 효율은 그 만큼 상승할 것이다. Fig.7은 네가지 경우의 집열기 형태에 대한 시스템의 성능을 나타내고 있다. A와 C는 흑색 페인트를 칠한 흡열판의 각각 이중유리 그리고 하나의 유리 덮개가 씌워진 경우이며, B는 하나의 유리 덮개에 블랙크롬 선택 흡수막으로 집열판을 처리한 경우를 나타낸다. 한편, D는 이상적인 경우로서 집열기에서의 열손실이 없고 투과흡수율이 100%인 경우로서 효율의 현저한 상승을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 대전 지역의 공기식 시스템 적용에 대하여 f-chart를 이용, 성능 분석을 수행하므로써 다음의 중요한 결론을 얻을 수 있었다.

공기식 시스템은 동일 조건하에서 액체식 시스템과 거의 대등한 난방성능을 보여주며, 패블베드의 축열용량, 공기의 유량, 그리고, 집열기의 형태와 밀접한 관계가 있다. 대전지역 이남에서는

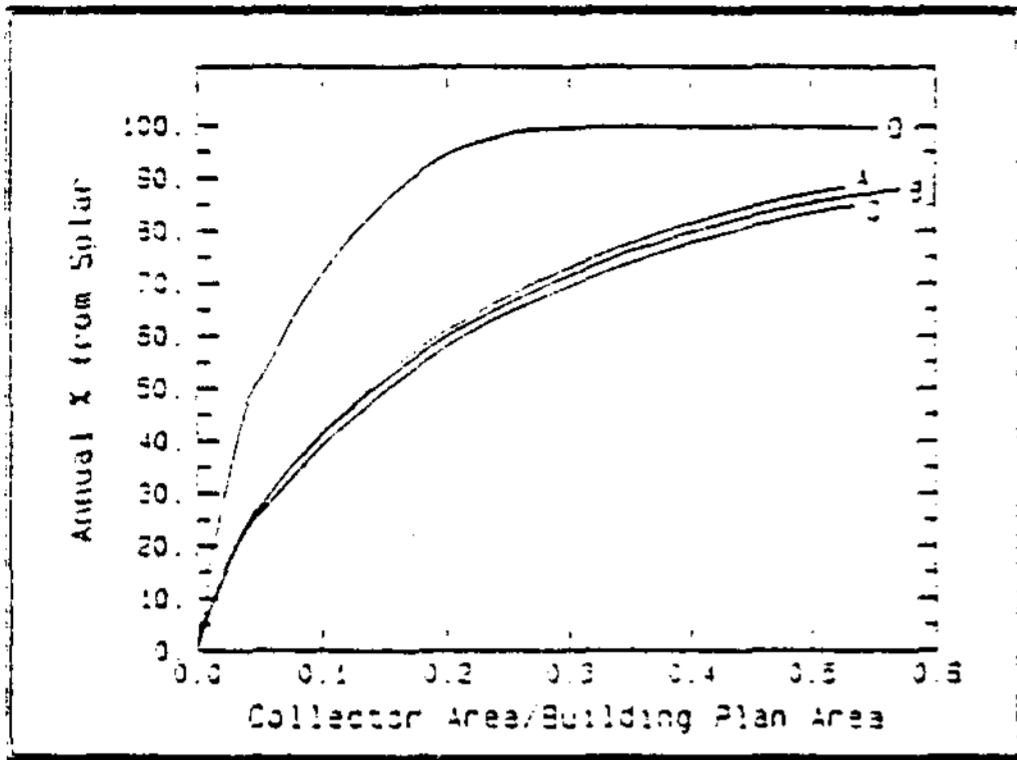


Fig.7 Effect of Collector type in space heating systems(air).

패블베드를 이용한 공기식 시스템은 상당한 적용 타당성이 있으며 기존의 다른 자연형 시스템과 연계하여 시스템을 구성하다면 상당한 건물 에너지의 절감을 꾀할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구를 수행하는데 있어서 많은 기술적 지원 및 충고를 해주신 미국 네바다 주립대의 Boehm 교수에게 깊은 감사를 드린다.

참 고 문 헌

1. 태양에너지 핸드북, 태림문화사, 1991.
2. J.A.Duffie and W.A.Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley-Interscience, 1980.
3. A.B.Meinel and M.P.Meonel, Applied Solar Energy, Addison-Wesley Publishing Company, 1977.
4. A.A.M. Sayigh, Solar Energy Engineering, Academic Press, 1977.
5. S.A.Klein and W.A.Beckman, F-Chart User's Manual(Microcomputer Version), 1983.
6. ASHRAE Handbook, ASHRAE, 1985.

Department of Mechanical Engineering, Dong-A Univ

Laminar natural convection heat transfer from a hot body in a square enclosure has been studied for various inclination angles at $Gr=1.5 \times 10^5$, $Pr=0.71$ and $k_s/k_f=14710$. The area of a hot body is 1/25 of the enclosure and the aspect ratio is 1.0. The total mean Nusselt number decreases as the inclination angle increases and in case of $\theta=90^\circ$ is 14% lower than that of $\theta=0^\circ$.

A Study on the Air System for Space Heating

Chun, Won-gee · Lim, Sang-Hoon · Jeon, Myung-Seok · Yoon, Jong-Ho

Korea Institute of Energy Research

The present study has carried out thermal performance evaluation of air systems for space heating in Daejeon by the f-chart method. The various effects with the change in air flow rate, number of glazings, storage capacity of pebble bed, and coating materials of absorber plate are analyzed with regard to the effectiveness of air systems for space heating. A comparison is also made with liquid systems under the same operating conditions.

Design of Telecommunications Office Building with Passive Solar Schemes

Korean Solar Energy Society

The present study has been carried out to investigate various passive solar technologies for their possible application to telecommunications office buildings. HVAC systems utilizing the solar energy are analyzed in this regard to elicit the most feasible design. The proposed design is unique, for it has been devised to promote the working spirit with an efficient space planning as well.

Experimental Study on Inward Melting of Phase Change Material in Inclined Circular Tube

Yim, Chang-Soon, Song, Ha-Jin

Inha University, Graduate School, Inha University