【論 文】

벌집형구조 집열기의 실험연구

Experimental Study on the Honeycomb Structure Collector

李 鍾 鎬
Jong Ho Lee

ABSTRACT

Experiments on honeycomb structure collectors (HSC with/without cover) were performed and the experimental results showed good agreement with the preceding analytical results. The tendency of the efficiency of HSC was same with that of conventional air-type solar collector, even though there were some seasonal differences. Therefore, HSC, which can be itself utilized as a part of building structure, is applicable to space heating as well as preheating of industrial process and drying.

1. 서 론

태양에너지를 이용하기 위해서는 태양열을 흡수하는 집열장치가 필수적으로 필요하게 되므로 태양에너지 이용 시스템의 성능향상을 위하여 집열기의 개선에 관한 많은 연구가 계속되어져 왔다. 그러나 현재 이용되고 있는 태양열 집열시스템이라면 집열기를 주로 지붕에 설치하거나 건물과 별도로 분리하여 사용하는 것이 대부분이므로, 부수적으로 복잡한 제어 및 축열장치를 필요로 하였고, 그 결과 전체 시스템의 가격이 상승하며 유지관리가 어렵고 건물의 외관을 손상시키는 등의 여러 문제가 발생하였음이 사실이다. 따라서 보다 경제적이며 유지관리가 용이하고 건물과 일체감을 주면서 미관을 해치지 않는 집열시스템을 생각할 필요성이 생기게 되었고, 이러한 형태의 집열 시스템 중의 하나로써 벌집형 구조 집열기(Honey-

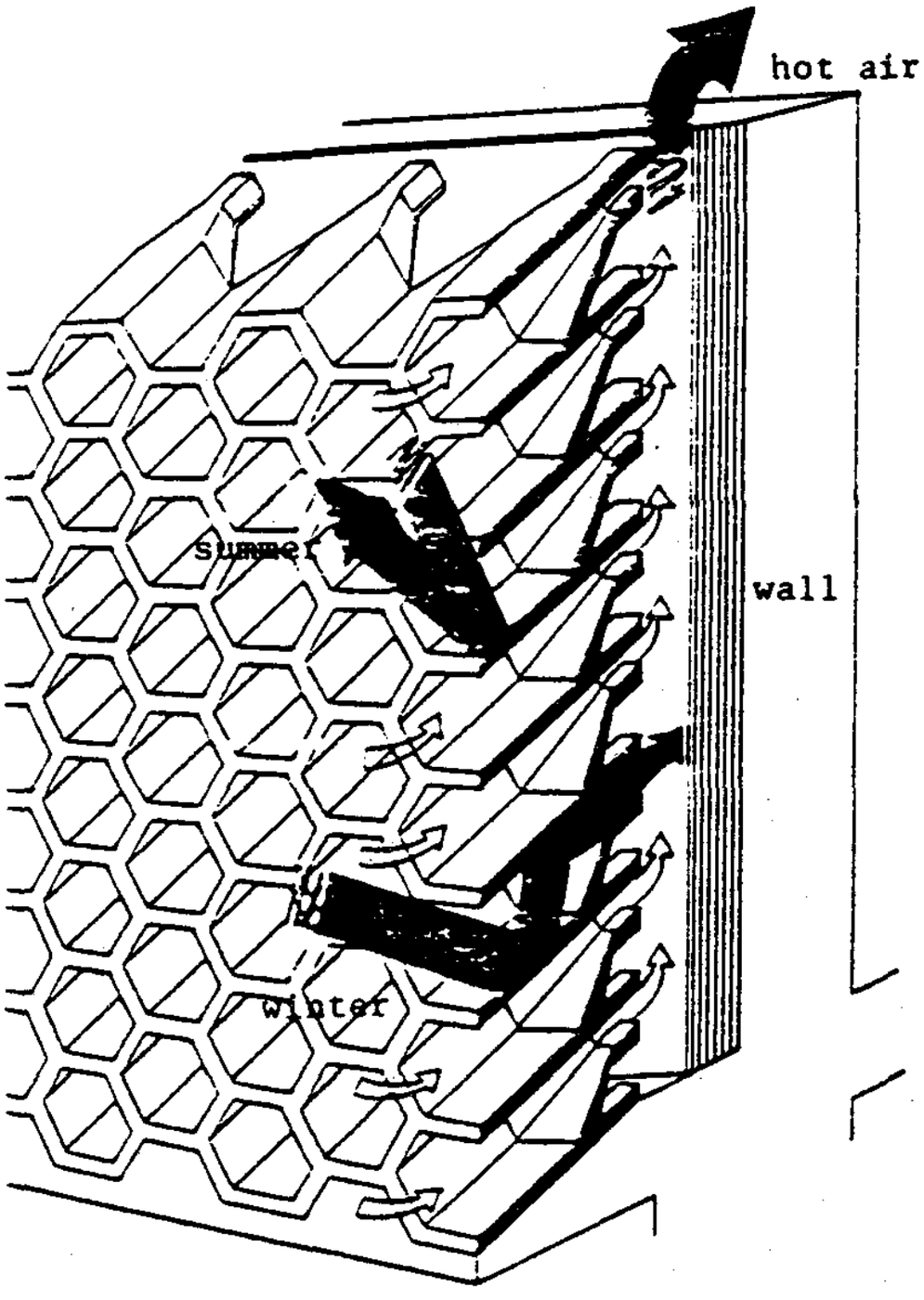


Fig. 1 Principle of the honeycomb structure Collector

*정회원 : 한국동력자원연구소

comb Structure Collector)가 있다. 벌집형 구조 집열기는 구조적인 면이나 미적인 면에서 건물의 벽체 대용으로 이용될 수 있는데, 일반 벽체의 단열구조가 실내의 열손실을 줄이는 효과뿐 아니라 태양열의 취득을 차단하는 역할을 하는데 반해, 이 집열기의 구조는 계절에 따라 태양에너지를 선택적으로 이용할 수 있어 실내 난방을 위한 공기식집열기로서의 역할을 할 수 있게 되어있다.

벌집형 구조 집열기의 특징을 열거하면 다음과 같다.

1. 벽면에 수직으로 설치되나 실제 집열면은 내부로 경사되어 있으므로 집열면적이 넓고 임의의 태양 각도에서도 태양에너지를 흡수할 수 있다.
2. 집열기의 후면을 전면보다 좁게 만들어 공기의 흐름이 원할하며 대류에 의한 공기의 역류도 방지할 수 있다.
3. 외적인 미관을 고려하여 집열부의 전면을 다각형으로 제작할 수 있다. (이 경우에는 6각형으로 설계되었다.)
4. 기존의 집열기보다 그 구조 및 장치가 단순하므로 시스템의 가격이 저렴하다.
5. 시공 설치 후 집열체가 부분적으로 파손 혹은 손상이 되더라도 효율에 큰 영향을 주지 않는다.
6. 건물 외벽으로서의 구조적인 역할을 할 수 있다.
7. 조립 및 해체가 간단하므로 시공시 별 문제점이 없다.
8. 집열기 뒷 면의 벽체를 투명 투과체를 사용할 경우(유리등), 실내에서 외부를 조망할 수 있고 자연 채광 효과도 얻을 수 있다.
9. 자연대류에 의한 집열기로써 이용할 수도 있으며 Fan을 설치할 경우 강제대류에 의해 보다 적극적인 의미의 공기식 집열기로써 이용할 수 있다.

위와같은 특징을 갖는 벌집형 구조 집열기에 대해서는 이론적인 연구가 참고문헌 (1)(2)에 이미 이루어져 있으므로, 본 연구에서는 이러한 이론적 연구를 바탕으로하여 집열기를 제작하고 실제 건물의 벽면에 설치 실험하므로써 집열기의 효율을 측정하였다. 이러한 실험결과를 이론분석의 결과와 비교하였으며, 이에 근거하여 여러 작동조건에 따른 집열기의 성능을 예측함과 더불어, 벌집형 구조 집열기를 실제 건물에 설치할때의 에너지 절감등 기대효과도 살펴보았다.

2. 이론해석

본 연구의 주된 목적은 벌집형 구조 집열기를 제작하여 실험 데이타를 얻고, 이를 토대로 집열기의 열적성능을 분석하는 것이므로, 이론분석에 관해서는 참고문헌 (1)(2)의 이론분석 결과를 그대로 참고하였다. 실제 이 이론분석에 이용되는 집열기의 모델은 본 연구에서 다루는

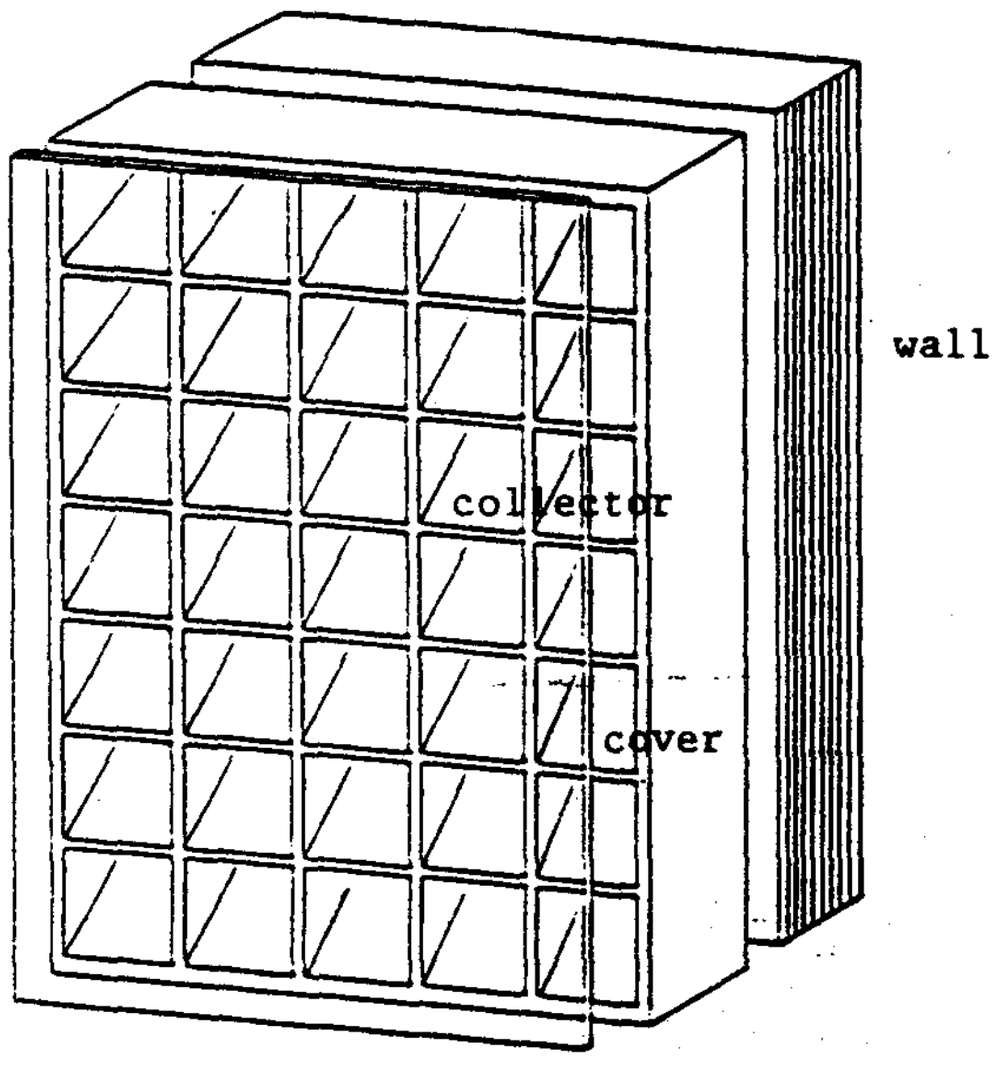


Fig. 2 Structure of the collector for theoretical study

벌집형 구조 집열기와는 형태가 약간 다른 4각단면 형상이며 (Fig. 2), 전면과 후면의 단면적이 일정한, 비교적 간단한 형태의 집열기에 관한 것이다. 따라서 실험에 사용되는 집열기에서와는 단면적인 변화에 따른 대류열전달 계수 및 복사열전달에 있어서의 형상계수등의 차이가 있을 수 있으나, 집열기 전도 효과에 의해 열전달이 주로 이루어지는 특성을 감안할 때, 이론결과를 참고로 하는 집열기 해석은 별 무리가 없을 것으로 생각된다.

이론분석은 집열기의 앞 면에 투과체의 덮개가 있는 경우와 없는 경우에 대해서 Fan에 의해 강제대류를 시킬때의 효율을 비교 분석하였다. 투과체가 있는 경우의 집열기에서는 공기가 집열기의 하단부로 들어가 집열판을 통과하면서 상단부로, 투과체가 없는 경우의 집열기에서는 외부의 공기가 각 기본 집열기를 통과하여 상단부로 흡입되는 것으로 해석이 되어 있다.

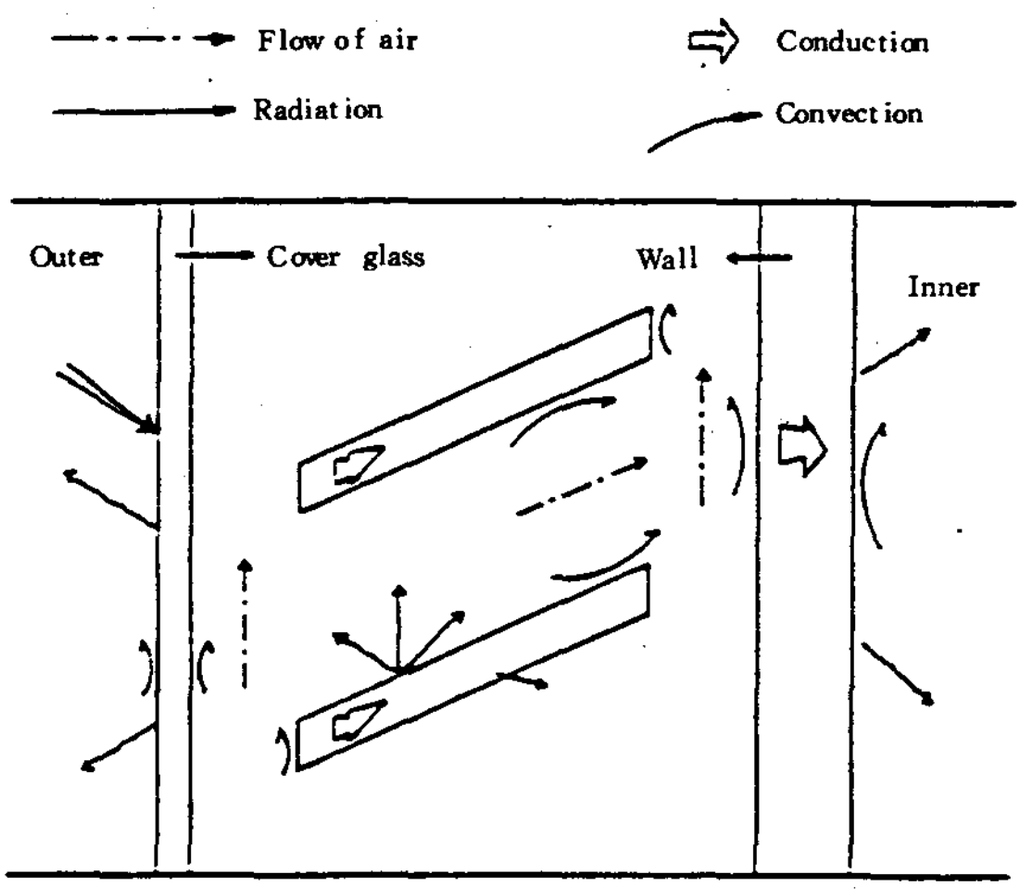


Fig. 3 Thermal heat tramsfers in the collector.

집열기 내에서의 열전달 모형을 나타낸 것이 Fig.3 이다. 이론해석을 위해서 투과체가 있는 경우 투과체와 흡수판사이의 공간 (1 지역), 금속 흡수판 (2 지역), 그리고 벽체와 집열판 사이의 공간 (3 지역) 으로 나누고 각 지역을 또 작은 마디로 분할하여 각각에서의 열전달 방정식을 생각하였다. 1 지역에서는 태양에너지의 흡수와 투과, 외기 와의 복사 및 대류에 의한 열교환 그리고 집열기 내를 흐르는 공기와 투과체 사이의 대류 열전달을 다루었으며, 2 지역에서는 투과체와 흡수판 사이의 복사, 단위 집열기 자체내의 전도, 대류 및 복사에 따른 열전달을 고려하였다. 끝으로 3 지역에서는 벽체와 집열기 사이의 복사 및 대류등을 고려하면서 열전달 방정식을 세워 그해를 구하였다. 한편 투과체가 없는 경우는 1 지역이 제외되고 외기온도가 바로 인입온도가 된다. 효율비교는 몇 가지 가정하에서 여러 실험변수 (단위 흡수판의 경사각, 재질, 유량, …) 에 대해 Simulation 되어 있는데, 흡수판의 경사각이 25° 정도에서 최적의 효율을 나타내며 재질의 두께가 얇을수록 열용량의 감소에 따른 효율의 증가를 보여주고 있다. 또 투과체와 집열기사이, 집열기와 벽체사이의 거리에 따른 효율변화는 거의 없고, 투과체가 있는 집열기가 투과체가 없는 집열기보다 효율이 더 높게 나타나고 있지만 큰 차이는 없음을 지적하였다. 그 이유는 이론해석의 가정에 있어서, 투과체가 없는 집열기의 경우 바람이 유량에 미치는 영향을 무시하였으므로, 두 집열기의 성능차이는 단순히 투과체가 대류 및 복사에 의한 열손실을 줄이는 역할에 의한다고 하였기 때문이다. 또 인입온도가 같다고 가정하여 해석하였으나 실제 실험의 경우에는 이와같은 조건을 만드는것이 불가능하기 때문이다.

3. 실험장치 및 방법

3-1. 실험장치

각 기본 집열기는 이론 분석의 결과에 따라 Fig.4 와 같이 열용량이 작은 2㎜의 동판을 이용하여 전면은 넓고 후면은 좁은 형태를 25°

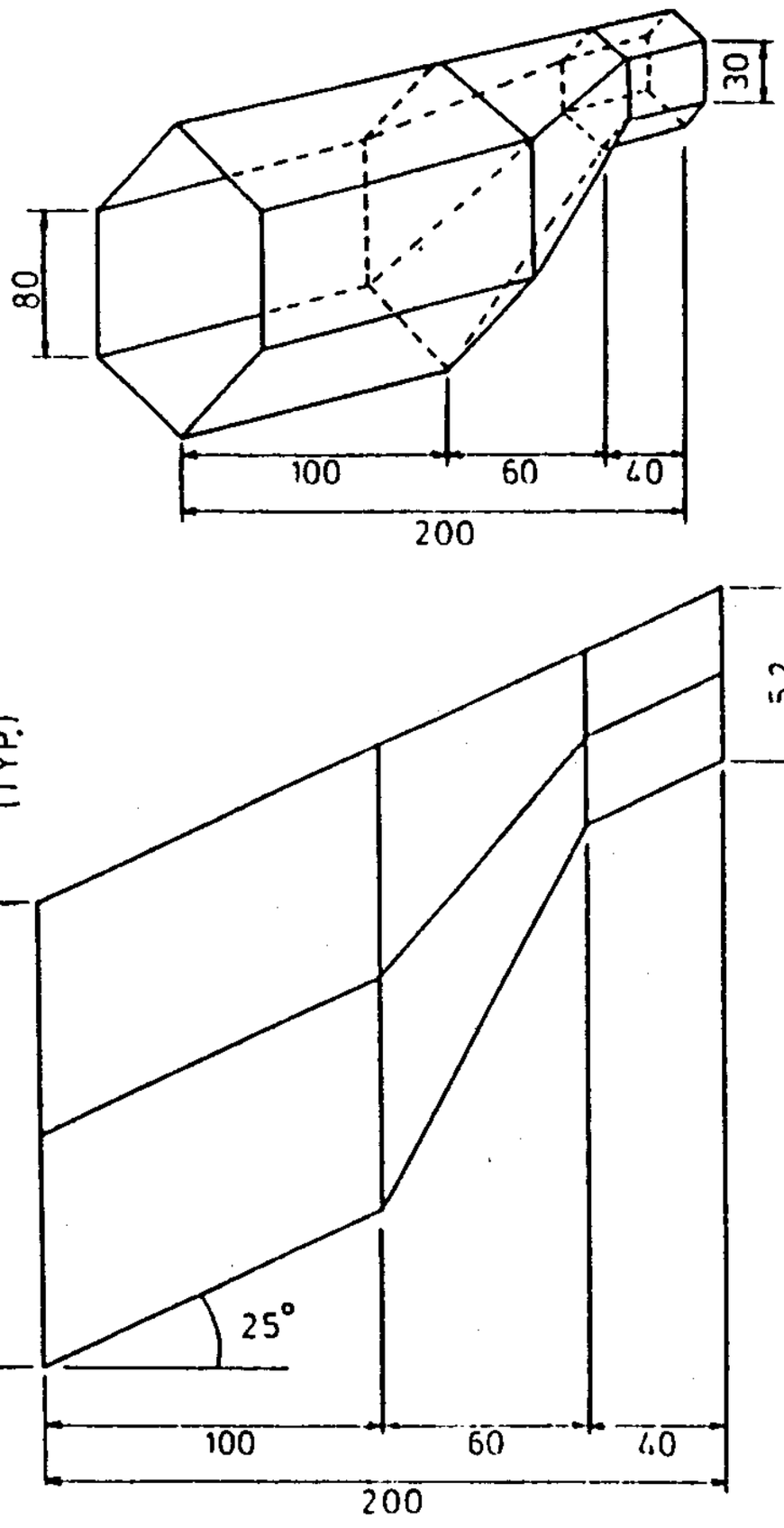


Fig. 4 Detail of the element

경사지게 설계되었으며, 이러한 기본 집열기를 연속적으로 접합하여 Fig.5와 같은 단위 집열기가 제작되었다. 각 단위 집열기는 서로 연결되어, 한 쪽의 집열기에는 투과체를 씌웠고 한쪽은 투과체가 없는 집열기가 되도록 하였다. 투과체가 있는 집열기의 경우에는 하단부에 2개의 실내공기 인입구를 설치하고 상단은 3개의 인출구를 설치하여 공기가 상단부로 올라가면서 가열되도록 하였으며, 투과체가 없는 집열기에는 상단부에만 인출구를 설치하였고 공기의 인입은 각 기본 집열기를 통하여 외기가 직접 흡입되도록 하였다. 또한 각 출구에는 밸브를 설치하여 공기가 집열기 표면을 균일하에 통과하도록 했으며 밸브를 지나 유량계와 Fan을 설치하였다.

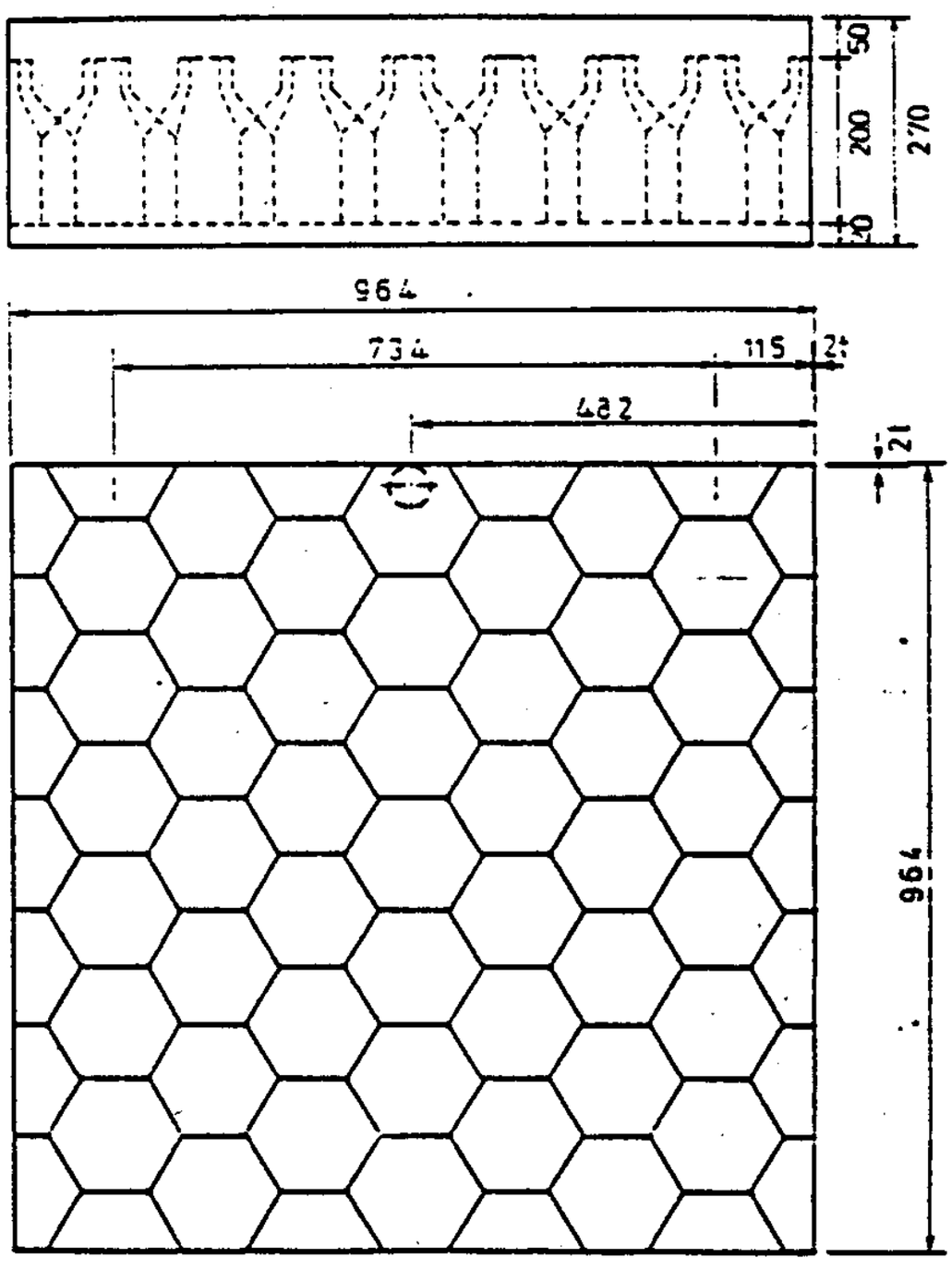
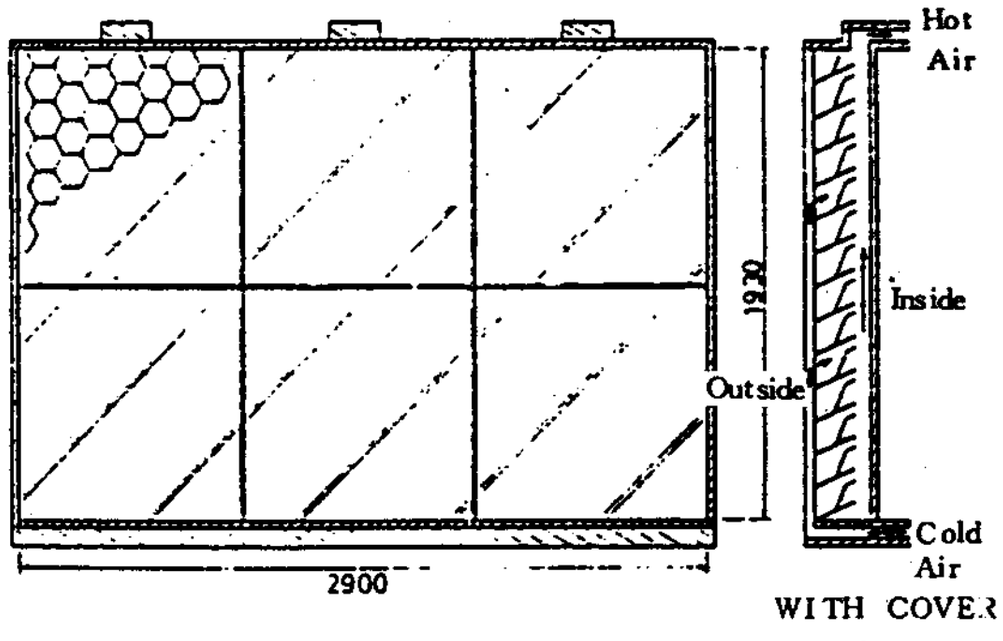


Fig. 5 Detail of the unit collector



ig. 6 Front and Cross section of the collector with cover

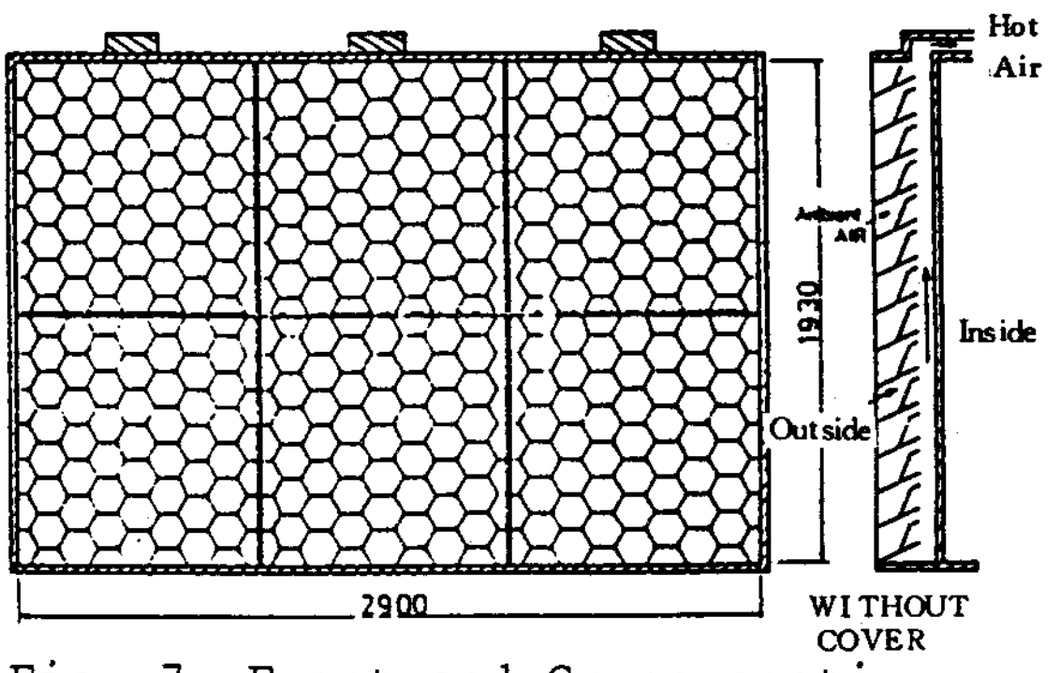


Fig. 7 Front and Cross section of the collector without cover

3-2 실험 및 측정방법

실험실의 남측 벽면에 투과체가 있는 집열기와 없는 집열기를 나란히 설치하여 일사량을 측정함과 동시에, 집열기로 일정한 유량 (300 Nm^3/hr) 을 통과시키면서 입구와 출구의 온도 및 집열판 각 부위별 온도를 측정하였다.

Table 1 Measurement Instrument and Method

	Instrument	Method
Inlet, Outlet, Cover glass, Absorber plate, and Ambient Temperature	Thermocouple (T-type) Measurement range : -50 - 200°C Error bounds : 0.5°C	Inlet, Outlet temperature : 2-3 points cover glass temperature : in front of unit collector B,C,D Absorber plate temperature : refer to Fig. 10 Ambient temperature : measure in the shade
Insolation	Pyranometer (PSP-Eppley) (Pyranometer) Measurement range: 0-1,400 w/M^2 Error bounds: 0.5 %	measure at inclined plate (25°) and vertical plate (90°)
Flow rate	Air type flow meter (FLG-N) Measurement range : 160-800 Nm^3/hr	installed between the control valve and the fan

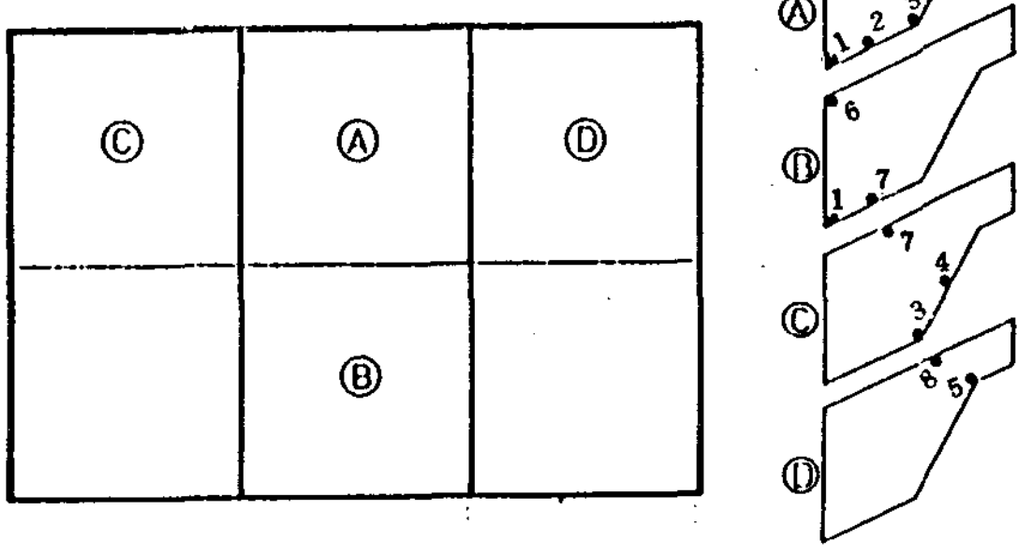


Fig. 8 Location of thermocouples

Table 1에 측정기기 및 방법을 나타내었으며 Fig.8 에 단위 집열기에 설치한 열전대의 위치를 표시하였다. 입·출구에서의 공기온도는 3 지점에서 측정하여 정확을 기했고, 전도의 영향을 알아보기 위해 기본 집열기의 길이별 온도를 측정하였으며 집열기의 상단과 하단사이의 온도분포 및 좌·우측의 온도분포를 조사하기 위해 기본집열기 A,B,C,D에 열전대를 각각 설치하였다. 이와같이 측정한 일사량, 유량, 온도등은 Data Acquisition System에 입력되어 분석된 후 Printer 에 기록되었다. 실험은 미리 수 십분전부터 fan을 가동시켜 집열기 자체의 열용량에 의한 영향을 없앤 후 측정을 시작하였는데, 측정은 6 초 간격으로 이루어져 매 측정값을 10 분간 누적하여 평균값을 얻기도 하였고 15초 간격으로 측정하여 2분마다 평균값을 기록하기도 하였다.

4. 측정결과 및 분석

4-1. 집열기의 특성

Table2는 특정한 날(6 월 21 일)의 집열기 온도분포를 대표적으로 나타낸 것이다. 먼저 상단 중앙에 있는 기본집열기(A) 의 온도분포를 보면 투과체의 유무에 관계없이 각 부

Table 2 Temperature distribution at each section

Thermocouple No.	Center of the upper portion (A)		Center of the lower portion (B)		Left of the upper portion (C)		Right of the upper portion (D)		Cover glass
1	37.7	35.0	32.2	33.2					
2	37.5	34.6	32.2	33.0					
3	36.9	34.1			38.9	34.4			
4		33.7			38.1	34.4			
5	35.3	33.3							
6	36.3	34.5	32.8	29.7			39.3	33.6	
7	36.0	33.4			38.3	34.3			
8	35.5	33.2					39.3	33.7	

Left: Collector with cover (℃)
Right: Collector without cover (℃)

위별 온도가 크게 차이나지 않고 있으며 이것은 집열기의 재질이 동으로써 열전도성이 좋은 때문이다. 하단 중앙의 기본 집열기(B)와 (A)를 비교하면 투과체가 있는 경우 상승하면서 온도가 증가하는 것을 볼 수 있고, 투과체가 없는 집열기에서는 공기가 각 기본 집열기에서 고루 흡입되는 이유로 온도의 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 또한 좌·우의 기본 집열기 (C), (D)와 (A)를 비교해 보면 같은 부위 에서의 온도가 좌·우측에서 더 높게 나타났다. 이것은 집열기 중앙으로 더욱 많은 양의 공기가 흐르는 것을 의미하는 것으로 출구에 유량조절 밸브를 설치하는 것만으로는 공기의 흐름을 고르게 하기 어렵기 때문이다. 그러나 이 때도 투과체가 없는 경우에는 각 기본 집열기에서 온도인 외기를 흡입하므로 위치에 따른 온도차이는 나타나지 않게 된다. Fig.9 은 7월 1일 오전 10 시경부터 오후 3시까지 측정한 일사량, 외기온 및 두 집열기에서의 입·출구 온도를 시간에 대해 기록한 그래프로, 투과체가 있는 집열기에서의 입구온도는 실내 공기 온도이므로 거의 일정하게 유지되고 있다.

이 실험은 일사량이 비교적 적을때, 출구온도의 변화가 일사량의 변화와 약간의 시간지연을 나타내고 있는 것으로 이것은 집열기의 열용량 효과 때문이라고 볼 수 있다. 이런 현상은 겨울철 ('87.1.29)에 측정한 온도변화의 그래

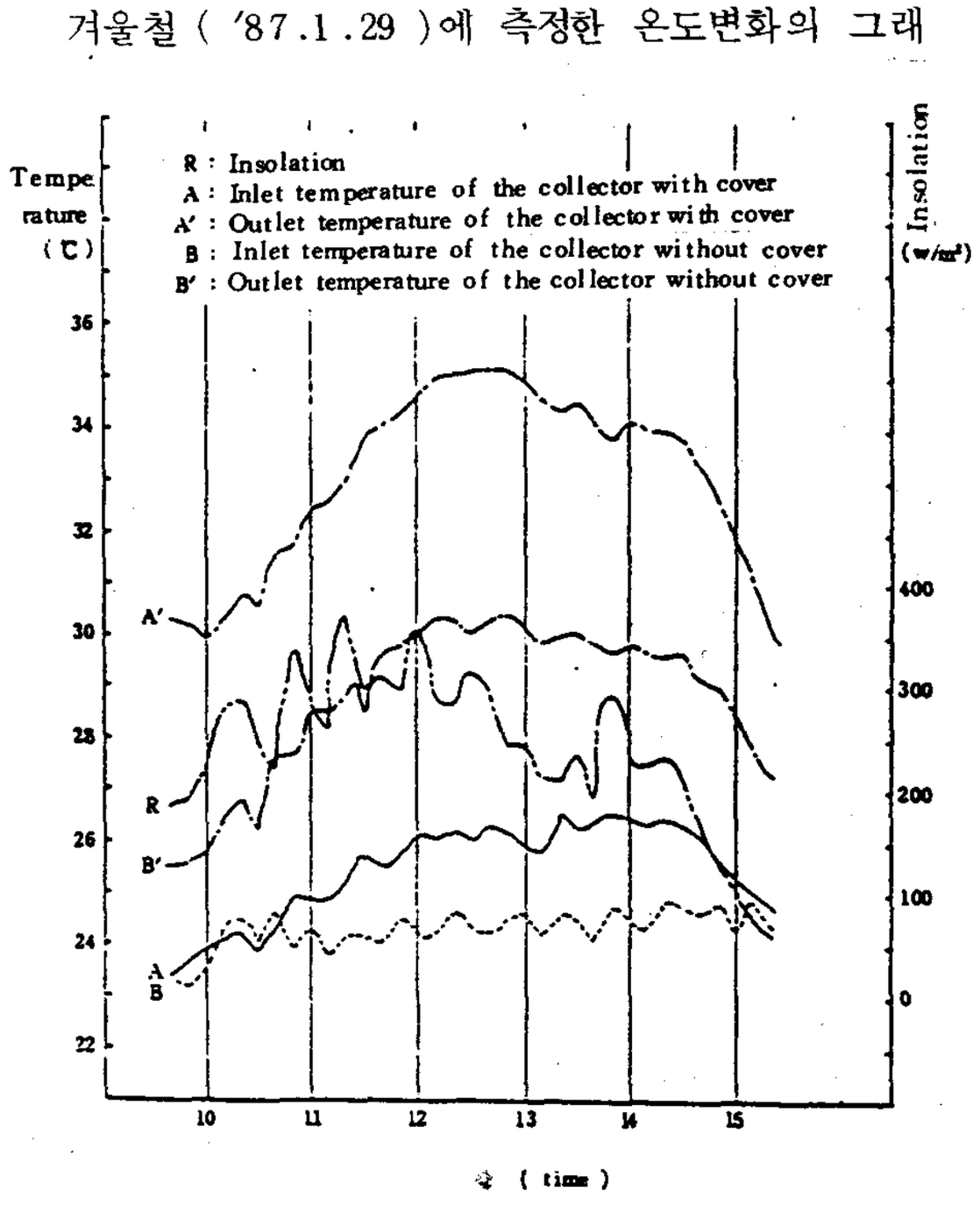


Fig. 9 Inlet, Outlet temperature distribution as function of the time (in summer)

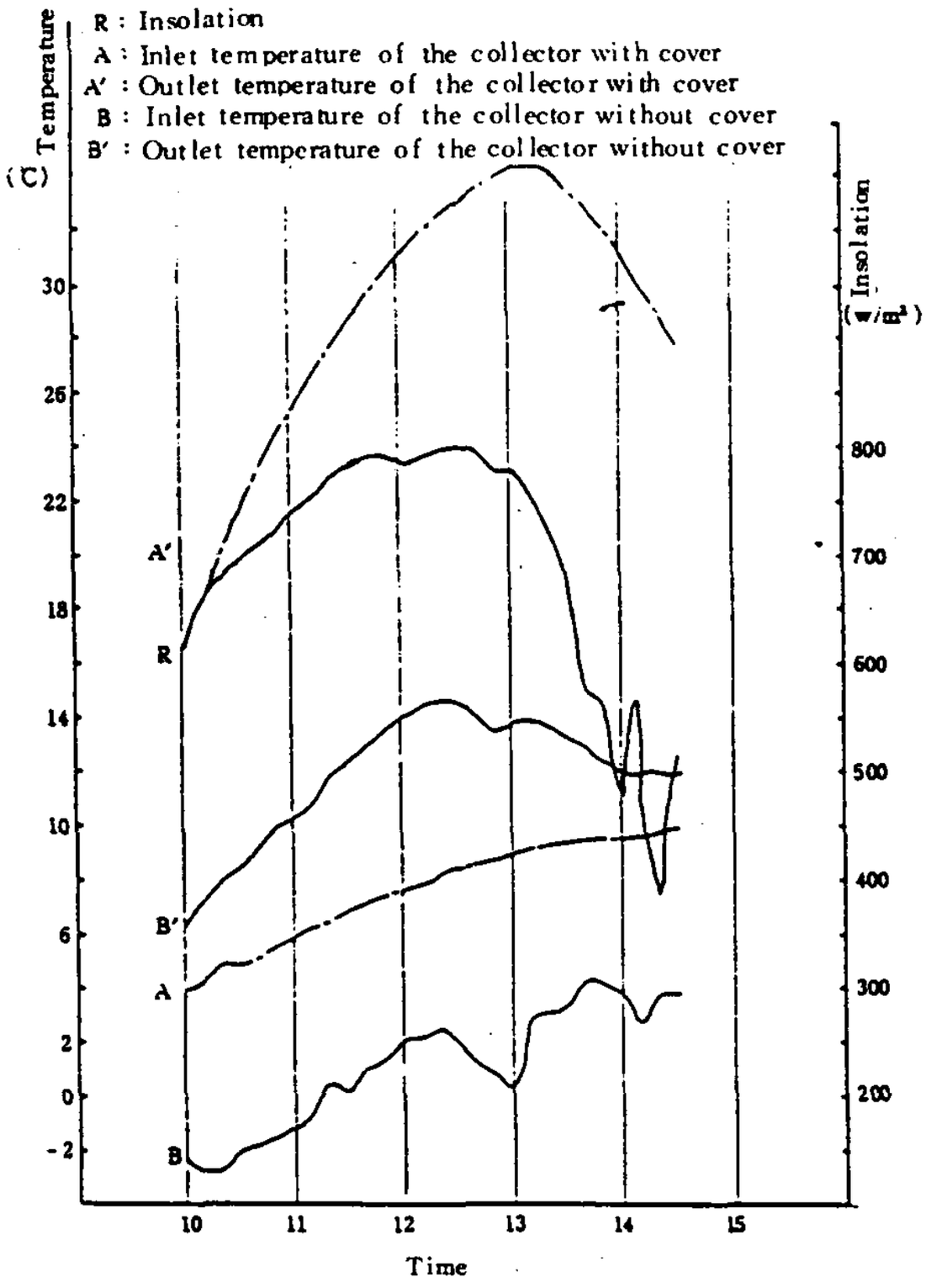


Fig. 10 Inlet, Outlet temperature distribution as function of the time (in winder)

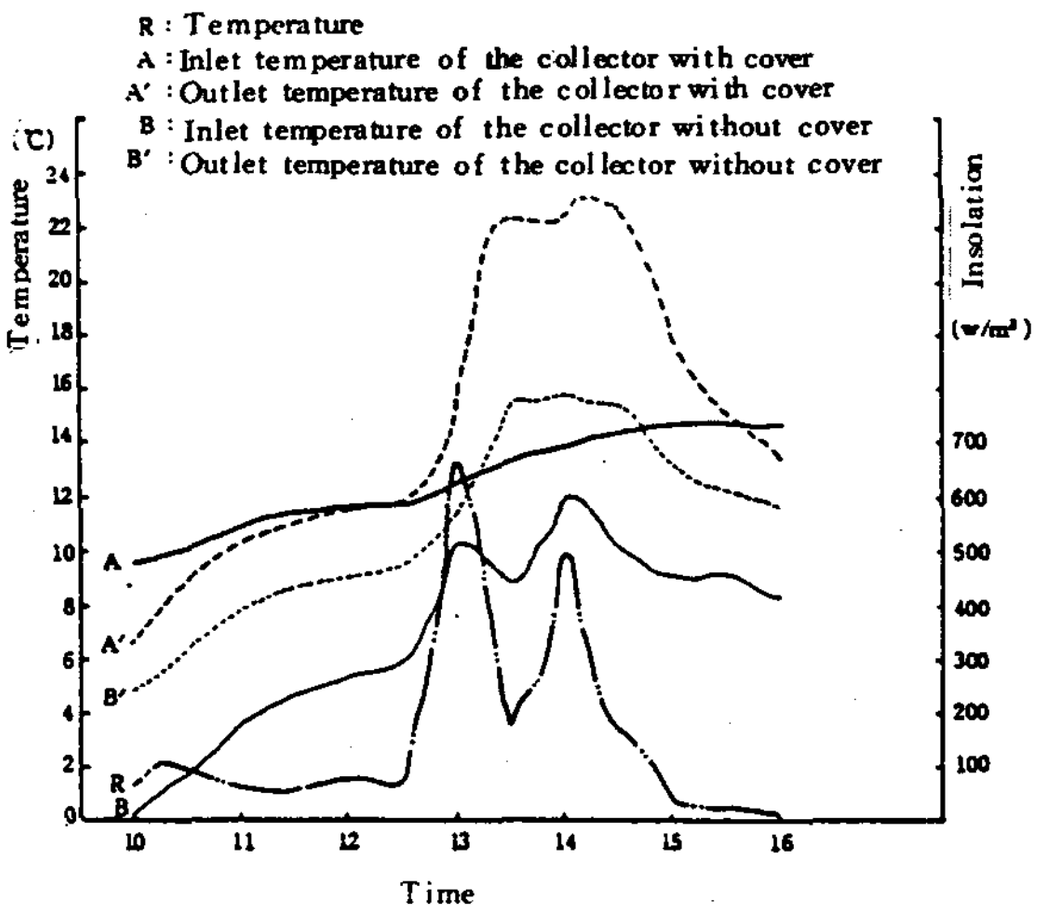


Fig. 11 Inlet, Outlet temperature distribwtion as function of the time (gray day)

프 Fig.10 에서도 나타나고 있다. Fig.11 은 비교적 흐린날('86. 12. 27)에 측정한 온도분포 그래프인데 일사량이 극히 낮은 경우 투과체가 있는 집열기에서는 입구의 공기가 집열기를 통과하면서 도리어 온도가 낮아지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 일사량에 의해 얻는 에너지보다 외부로의 열손실이 더 클 수도 있다는 것을 보여주는 것이다.

4-2. 집열기의 효율분석

집열기의 효율은 다음식에 의하여 구해진다.

$$Q_{in} = A\int_{t_i}^{t_f} I \, dt$$

$$Q_{out} = \int_{t_i}^{t_f} \rho \cdot \dot{Q} \cdot C_p \cdot \triangle T \cdot dt$$

$$\eta = (Q_{out} / Q_{in}) \times 100 (\%)$$

여기서

I : 일사량

t_i : 측정을 시작한 시간

A : 집열기의 단면적

C_p : 공기의 비열(at 15℃ 1 atm)

$\dot{Q}$: 공기의 유량

η : 집열기 효율

t_f : 측정을 끝마친 시간

ρ : 공기의 밀도(at 15℃ 1 atm)

$\triangle T$: 입·출구의 온도차

집열효율을 나타내는 방법에는 순간효율 또는 일중효율을 측정하는 방법등이 있으나, 본 실험에서는 최대 일사량을 보이는 12시~13시를 전후하여 측정하고 그적분평균을 구하는 방법을 취하였다. 이와같은 방법에 의해 측정 계산된 결과를 Table 3 에 나타냈으며, 같은 조건하에서의 일반 평판형 공기식 집열기의 효율과 비교하였다. 비교된 평판형 공기식 집열기의 집열면적은 구조 집열기와 같으며 실험에 의해 검증된 Simulation 을 통해 효율을 얻었다.

Table 3. Efficiency for each case

month, day	operation time	incident energy (kcal/m²)	collector with cover		collector without cover		efficiency of typical air-type collector
			gain energy	efficiency	gain energy	efficiency	
1986							
8.21	09:00 ~ 16:00	1,808	882	48.8	226	12.5	38.0
8.22	10:20 ~ 14:40	1,558	840	53.9	220	14.1	43.1
8.25	09:00 ~ 16:00	2,222	1,321	59.5	231	10.4	42.7
8.26	09:00 ~ 16:00	1,276	794	62.3	155	12.2	39.3
8.27	10:00 ~ 15:00	597	416	69.7	58	9.8	39.5
average				58.8		11.8	40.5
9. 1	09:30 ~ 15:30	1,564	916	58.6	263	16.8	47.5
9. 3	11:00 ~ 14:00	1,186	649	54.7	229	19.3	42.0
9. 5	11:20 ~ 13:40	653	405	62.0	107	16.3	41.0
9.24	11:30 ~ 13:30	1,043	569	54.6	251	24.1	43.3
9.26	11:30 ~ 13:50	958	467	48.7	210	21.9	39.5
9.29	11:10 ~ 13:50	1,385	727	52.5	317	22.9	42.0
9.30	11:00 ~ 14:00	813	482	59.2	222	27.3	30.5
average				55.8		21.2	40.8
1987							
1. 8	10:30 ~ 14:30	2,052	1,295	63.1	743	36.2	35.6
1. 9	10:30 ~ 14:30	2,297	1,383	60.2	597	26.0	40.8
1.19	10:30 ~ 14:30	2,481	1,439	58.0	697	28.1	42.6
1.20	10:30 ~ 14:30	2,253	1,302	57.8	653	29.0	41.7
1.21	10:30 ~ 14:30	1,564	699	45.0	539	34.7	38.0
1.22	10:30 ~ 14:30	1,460	868	59.5	550	37.7	25.6
average				57.3		32.0	37.4
2. 5	10:30 ~ 14:30	-2,314	1,168	50.5	810	35.0	44.9
2. 9	10:30 ~ 14:30	2,043	1,218	59.6	450	22.0	41.8
2.13	10:30 ~ 13:12	1,453	775	53.3	419	28.8	35.3
2.16	10:30 ~ 14:30	2,034	1,098	54.0	677	33.3	41.0
2.18	10:30 ~ 13:20	1,569	811	51.7	538	34.3	37.0
2.19	10:30 ~ 14:30	1,432	750	52.4	667	46.6	36.3
2.20	10:30 ~ 14:30	2,492	1,296	52.0	748	30.0	45.8
average				53.4		32.9	40.3

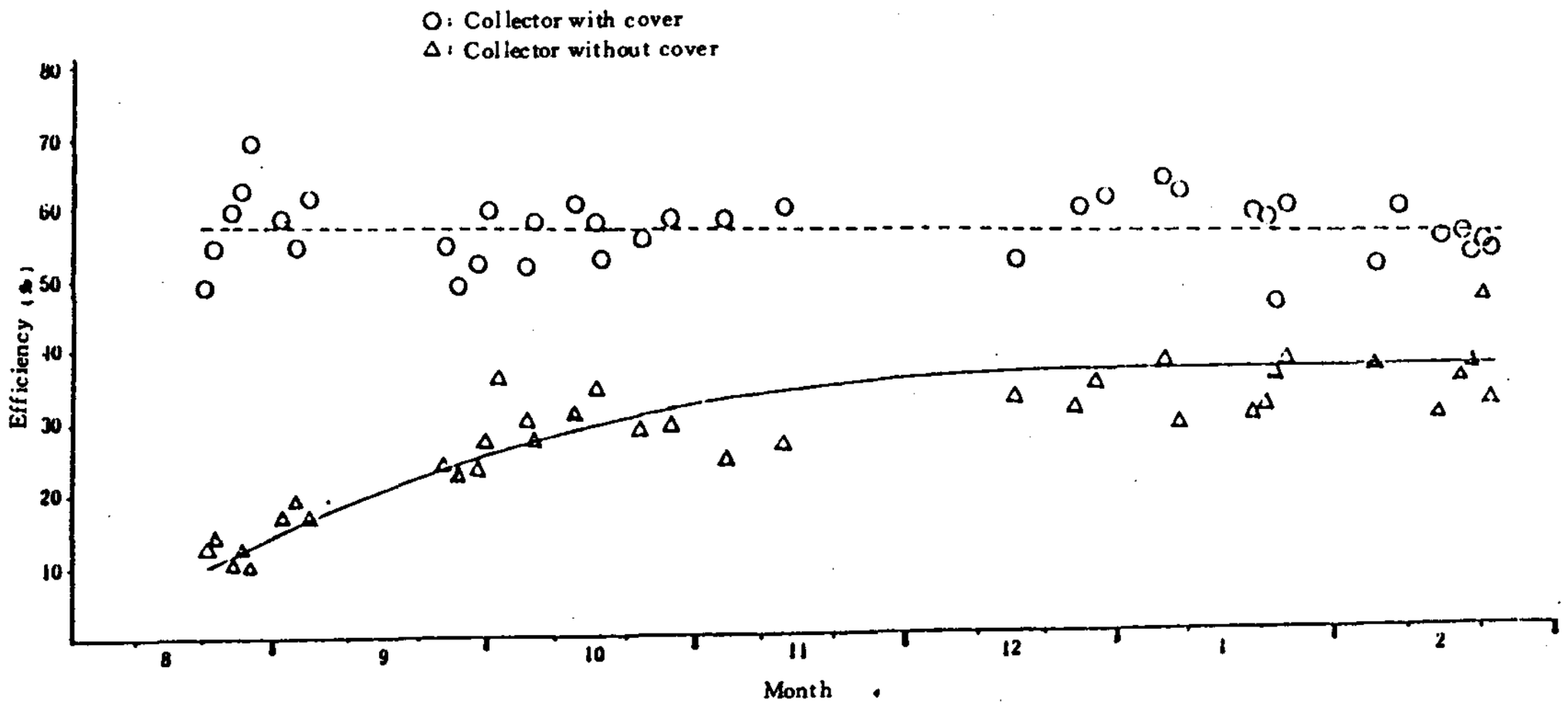


Fig. 12 Monthly efficiency of the collectors

실제로 구조 집열기는 일반 건물의 벽체에 직접 설치되어 이용되는 까닭에 일반 집열기에서와 같은 순간 효율보다는, 일중 또는 월중 평균 효율을 제시하는 것이 건물에서의 월간 에너지 절약량등을 계산하는 데 보다 유용하게 쓰일 수 있다. Fig.12 는 각 실험 데이타에 의해 계산된 월별 효율을 하나의 그래프에 나타낸 것이다. 투과체가 있는 집열기의 경우 계절에 따른 효율변화가 거의 없다고 할 수 있으나, 투과체가 없는 집열기에 있어서는 여름보다 겨울철에 더 높은 효율을 보여주고 있다. 이론분석에서와 같이 태양의 고도가 높은 여름철에는, 구조 집열기의 각 기본 집열기가 수평면에 대해 25° 기울어진 관계로, 집열면에 조사되는 각이 좁고 입사된 빛도 밖으로 반사되는 비율이 크므로 태양열의 이용상태가 불량하게 되기 때문이다. 또한 투과체가 있는 집열기는 여름에도 외기온보다 낮은 실내공기가 인입되므로 효율이 높게 나타나는 반면에 투과체가 없는 집열기에서는 고온의 외기를 직접 인입하므로 효율의 저하가 나타나게 된다.

반면에 겨울철 태양의 고도가 낮아지면 태양빛이 집열면에 조사되는 면적이 커지고 입사된 빛도 안으로 반사되어 태양열을 보다 효과적으로 흡수하게 되므로 투과체가 없는 집열기의 효율 상승을 기대할 수 있다. 그러나 투과체가 있는 집열기의 경우는 외기온보다 높은 입구온도로 인해 외부로의 열손실이 크므로 효율이 증가하지 않게 된다.

한편 청명한 날과 흐린날(단위 시간당 입사에너지가 많은 날과 적은 날)을 비교해 보면 투과체가 있는 경우에 있어서 여름철은 흐린 날의 효율이 비교적 높은 반면 겨울에는 그 반대임을 알 수 있는데, 이것은 여름의 대기온이 높아 대기로부터 에너지를 얻게되고, 겨울에는 반대로 외부로 열손실이 일어나기 때문으로 생각된다. 투과체가 없는 집열기의 경우는 여름에는 흐린 정도에 별 영향을 받지 않으나, 겨울철에는 집열기의 온도가 상대적으로 낮아져 외부로의 열손실이 줄어들기 때문에 흐린날의 효율이 보다 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 전체적으로 보아서 투과체가 있는 집열기는 일반 평판형 집열기에 비해 높은 효율을 보여주며 투과체가 없는 집열기는 보다 낮은 효율을 나타내는데, 일반 평판형 집열기는 공기의 경로가 길게 되어있어 공기의 온도상승

에 의한 열손실이 비교적 크기 대문에 약간 낮은 효율을 보여주고 있는 것이다.

이상의 모든 실험결과를 종합해 볼때 투과체가 있는 집열기의 효율은 이론분석의 결과와 대체적으로 근사하다고 할 수 있으며, 투과체가 없는 경우에 있어서는 이론해석에서 다룬 투과체에 의한 열손실뿐 아니라 바람에 의한 흡수판의 열손실때문에 어느정도의 차이를 발견할 수 있음을 알 수 있다. 여름철에 있어서는 각 집열기의 입구온도를 외기온으로 볼 때 이론해석에서 언급한 바와 같이 효율은 상당히 떨어지는 것을 알 수 있는데 이것은 집열기의 형태에 기인한 냉방효과로 간주할 수 있을 것이다. 그러므로 투과체가 없는 집열기의 경우 여름철에는 효율이 떨어지고 겨울철에는 효율이 30% 정도에 이르므로 냉·난방효과를 겸용할 수 있음을 감안하면 활용성은 매우 높을 것으로 보인다. 실험에서는 유량을 약 50N㎥/hr.㎡으로 고정된 상태에서 수행하였는데 이론결과에서 보면 유량이 30～100N㎥/hr㎡의 범위에서 약 10%의 효율변화를 보여주므로 적절한 출구온도에 맞는 유량선택이 가능할 것이다.

또한 흡수판의 두께가 얇을수록 높은 효율을 나타내므로 실제 집열기를 제작할 때는 벽체의 구조적 안정성만을 고려한다면 되도록 얇은 재료를 쓰는것이 바람직하다.

5. 결 론

실험에 의한 분석결과와 이론해석을 통한 결과를 종합하여, 구조 집열기의 열적성능에 관해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 투과체 있는 집열기의 효율은 계절에 거의 무관하게 55%이상의 효율을 보이며, 이것은 일반 평판형 공기식 집열기의 효율 37%와 비교할 수 있고 투과체가 없는 집열기의 경우는 계절에 따라 12～30%로써 태양의 고도가 낮은 겨울철에 더 높은 효율을 나타낸다.

Simulation결과에 따라 기본 집열기의 경사각은 25°가 바람직하며, 흡수판의 두께는 얇을 수록 효율의 상승을 기대할 수 있을 것이다.

- 유량에 따른 효율변화는 30N㎥/hr·㎡에서 100N㎥/hr·㎡로 유량이 변할 때 효율변화가 약 10%이므로, 실험결과로부터 유추하여 적절한 출구온도에 맞는 유량을 택할수 있다.
- 벽체 대용으로 본 구조집열기를 사용할 경우 실내측에도 투과체를 사용하면 자연 채광 효과를 얻을 수 있다.
- 투과체가 없는 집열기의 경우 여름철에는 자연 냉방효과를 얻고, 겨울철에는 난방용으로 사용할 수 있다.
- 건물의 용도 및 부하량 정도에 따라 투과체가 없는 집열기는 주간에 주로 사용되는 사무실, 체육관 등의 건물에 공기예열용으로 이용하면 효과적이고, 투과체가 있는 집열기는 열부하가 큰 건물 및 야간에도 사용하는 건물에 효과적이다. 특히 이밖에도 투과체가 있는 집열기는 농·수산물의 자연건조나 산업용 보일러의 예열등 일반 공기식 집열기가 적용될 수 있는 모든곳에 이용이 가능하여 벽체대용으로 쓸 수 있는 큰 장점을 갖고 있으므로 기존 건축 재료의 개념에서 탈피한 신 기자재로서 파급 효과가 클것으로 보인다.

REFERENCES

1. Jong Ho Lee et. al., "Theoretical study of Honeycomb Structure Collector for space Heating", Int. J. of Solar Energy, Vol. 32, No. 3, pp. 349-356, 1984.

2. Jong Ho Lee et. al., "Modelisation d'un Insolature alveolare destine all chauffage des locaux", Reve Generale de Thermique, No. 246-249, France, 1982.
3. 이종호외, "벌집형구조 집열기의 성능분 "'86 추계학술발표회, 태양에너지학회, 1986.
4. 이종호외, "벌집형구조 집열기의 실험적 연구," '87 춘계학술발표회, 제7편 제1호, pp.277 ~ 281. 건축학회. 1987.
5. Pince, "etude d'un economiseur Solaire", Thesis, Univ. de Perpignan, 1978.
6. Granier, "Les Insolateurs a air multipasses", Thesis, Univ. de Perfignan, 1980.
7. Duffie & Beckman, Solar Energy Thermal processes, Wiley & Sons., N.Y. 1974.