

모듈화된 신형저가 고효율 평판형 태양열 집열기 개발

이동원(한국에너지기술연구원)

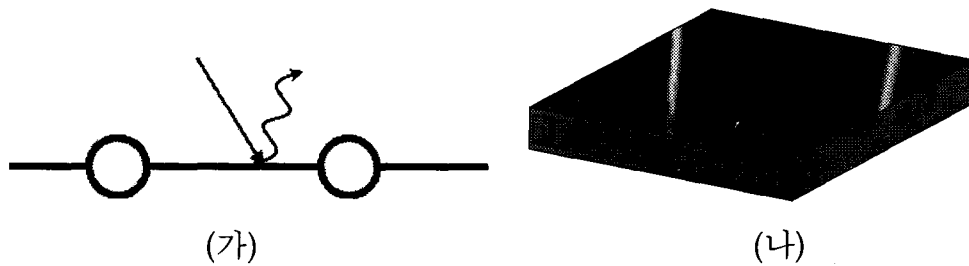
요 약

알루미늄 재질의 채널을 흡열판으로 이용하는 평판형 태양열 집열기를 개발하였다. 이러한 흡열판은 채널 내부 전체로 전열매체가 흐르기 때문에 집열기의 열적성능을 향상시킬 것으로 예상되며, 모듈화되어 있어 제작 및 설치가 기존 흡열판보다 용이하다는 장점이 있다. 제작된 채널형 평판형 태양열 집열기에 대한 집열효율 시험을 수차례 수행하면서 성능을 개선시키고 있으며, 그 결과 기존 상용화된 집열기 수준의 우수한 열적성능을 갖는 것으로 나타났다. 알루미늄 재질 흡열판 외에 플라스틱 재질의 채널형 흡열판도 적용하였으며, 기타 실용화 및 성능 향상에 필요한 요소들에 대해 연구하였다.

1. 서 론

태양열 집열기의 흡열판은 블랙코팅된 동판에 동관인 지관이 8~10개 정도 설치되어 있는 형태로써, 동판에 입사된 태양에너지는 열전도에 의해 지관으로 전달되고 다시 지관 내 전열매체로 열이 전달되는 단계를 거치게 된다. 태양열 집열기의 효율이 흡열판에서 외부로 손실되는 에너지에 의해 크게 영향 받는다는 점을 고려하면, 동판에서 지관으로의 열전도 과정에서 열손실이 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다는 점을 알 수 있다. 즉, 기존의 집열기에서는 지관으로 열전도가 이루어지는 과정에서 흡열판으로부터 외기로의 열손실이 크게 나타날 수 있고, 또한 지관이 흡열판과 확실한 접착이 되어 있지 않을 경우 접촉 열저항에 의해 열적성능이 저하되는 문제점이 있다.

본 연구에서는 기존 집열기의 이러한 단점을 보완하기 위하여 흡열판 전구간이 유로로 형성된 채널형 흡열판을 고안하였다. 채널형 흡열판은 [그림 1]과 같은 형태로써 흡열판 전체에 전열매체가 흐르는 구조를 갖고 있으므로, 외부로의 열손실을 최소화하면서 흡수된 열을 전열매체로 전달할 수 있다. 또한 흡열판과 지관이 일체형이기 때문에 용접에 따른 접촉 열저항이 나타나지 않으며, 용접이 불량하거나 시간경과에 따른 수축팽창으로 인해 용접부위가 손상되는 등의 부정적 현상은 발생하지 않게 된다.



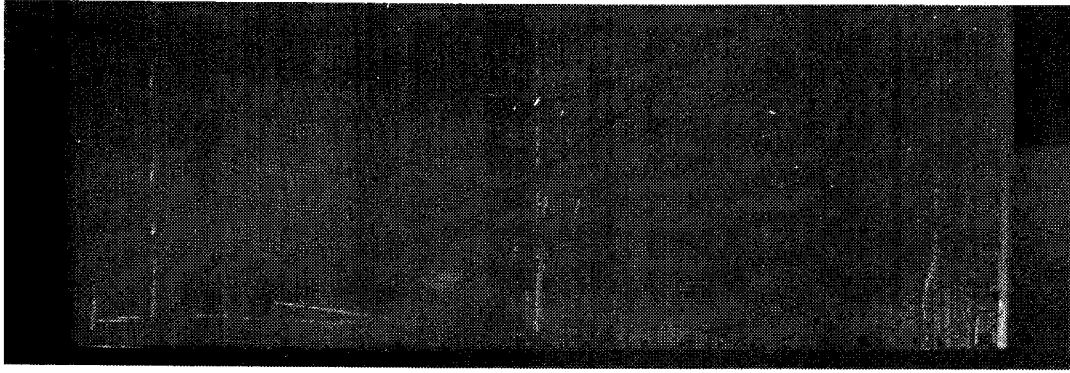
[그림 1 : 기존 흡열판(가)과 채널형 흡열판(나)의 형태]

한편 이러한 채널 형태의 흡열판을 알루미늄 재질 외에 플라스틱으로도 제작하여 이용하고자 하였다. 최근 플라스틱에 금속분말을 혼합하여 열전도성을 향상시킨 열전도성 플라스틱이 개발되어 특수 용도의 열교환기로 이용되고 있는바, 이를 이용하여 집열기의 저가화를 이루고자 한 것이다. 미국이나 노르웨이 등에서는 이미 플라스틱 집열기가 상용화되어 수영장 등 저온의 열원을 필요로 하는 곳에 사용되고 있는 점을 고려한 것이다. 또한 외기로의 열손실을 줄이기 위해 투명단열재(Transparent Insulation Material ; TIM)를 흡열판과 투과체 사이에 설치하는데 따른 문제점을 실험적으로 알아보았다.

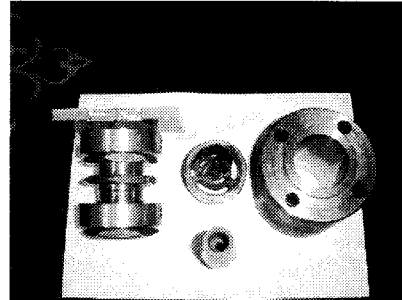
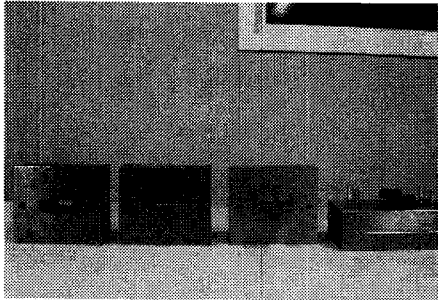
2. 본 론

가. 흡열판에 이용된 채널

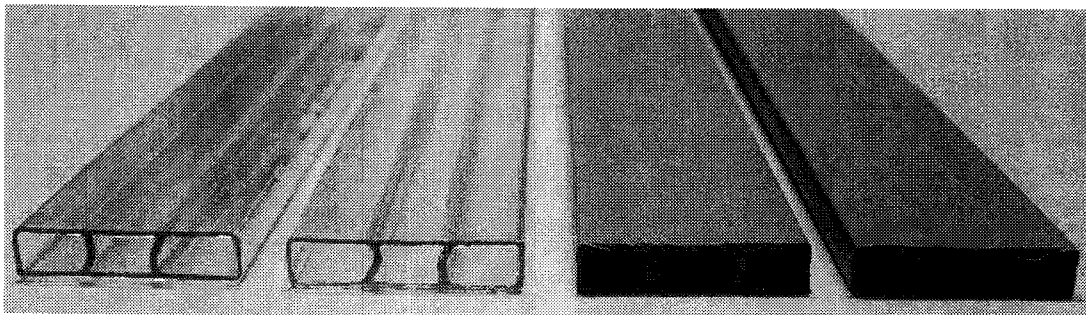
채널 형태의 흡열판을 적용하면, 흡열판 전 영역에 전열매체가 흐르게 되고 지관과 흡열판 사이의 접촉 열저항이 나타나지 않음으로써, 태양열 집열기의 열적 성능을 향상시킬 것으로 기대되었다. 사전 시뮬레이션을 통해 채널의 형태와 간격 등은 집열기의 효율에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었으며, 따라서 기존 상용화되어 있는 채널 형태의 판을 흡열판으로 선택하기로 결정하였다. 시장조사를 통해 가공이 비교적 용이하고 열전도성이 좋은 알루미늄 재질의 [그림 2]와 같은 흡열판을 선정할 수 있었으며, 이러한 판을 몇 개 연결함으로써 흡열판 제작이 가능할 것으로 판단되었다. 그러나 열전도성 플라스틱은 채널 형태의 판을 구할 수 없어 [그림 3]과 같은 금형을 만들었고, 원재료와 이 금형을 이용하여 [그림 4]와 같은 열전도성 플라스틱 흡열판을 제작할 수 있었다. 흡열판으로 이용된 열전도성 플라스틱은 제작시 염료를 이용하여 검은색으로 제작함으로써, 별도의 코팅없이 흡수율이 높도록 하였다.



[그림 2 : 알루미늄 재질 흡열판 모듈]



[그림 3 : 플라스틱 흡열판 및 주관의 금형]



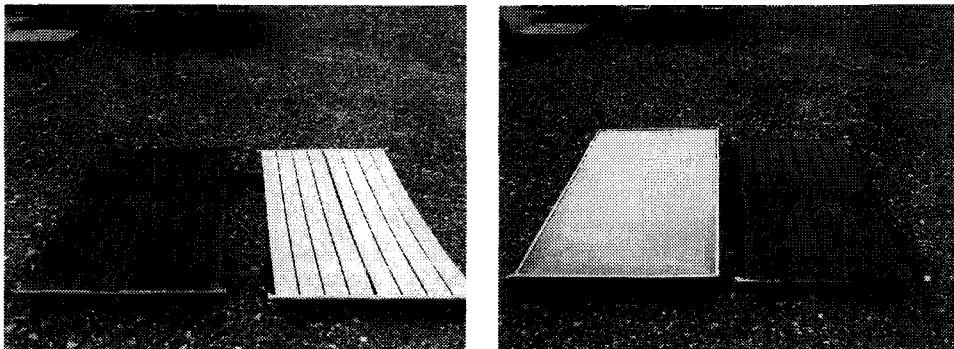
[그림 4: 플라스틱 재질 흡열판 모듈(불투명: 열전도성 플라스틱)]

나. 집열기의 제작

알루미늄 재질 흡열판에 대해서는 그 내부를 흐르는 브라인 수용액으로부터의 부식을 방지하기 위하여 흡열판 내부 부식방지 코팅과, 태양열 흡수율을 높이고 방사율을 낮추기 위한 흡열판 표면의 코팅이 필요하였다. 흡열판 내부 부식방지를 위한 코팅은 일반적으로 이용되는 크롬도금 방법이 이용되었으며, 흡열판 표면 코팅은 블랙크롬 선택 코팅, 아노다이징, 경화 아노다이징, 테프론 코팅, 100% 실리콘 폴리머 스프레이(Solkote) 등 다양한 방법을 시도하였다. 각 방법으로 표면 코팅된 시료에 대해서 흡수율과 방사율을 측정하였으며, 그 결과 100% 실리콘 폴리머 스프레이를 이용하는 것이 다소 우수한 특성을 갖는다는 것을 확인하였다. 따라서 제작된 알루미늄 재질 채널형 흡열판 내외부에 부식방지 코팅을 한 후, 그 표면에 스프레이 코팅을 한 태양열 흡열판 모듈(858×1,854mm)을 제작할 수 있었다. 제작된 흡열판 모듈을 기존 상용화된 집열기 프레임에 삽입하여 알루미늄 재질 집열기를 완성하였다.

열전도 플라스틱 집열기는 채널형 모듈과 주관의 재질이 다를 경우 열팽창계수의 차이에 따른 파손이 우려되었으므로, 같은 재질의 열전도 플라스틱을 이용하여 흡열판과 주관을 제작하였다. 원재료는 최근 개발된 열전도 플라스틱 펠렛(LG화학 제공)을 이용하였으며, 제작의 편의성과 열변형을 최소화하기 위하여 ABS 수지를 40% 첨가하였다. 흡열판은 상용화된 집열기 프레임에 설치가 가능하도록 944×1854mm의 크기로 제작되었다.

투명 단열재의 효과와 문제점을 파악하기 위하여 기존 상용화된 집열기의 흡열판과 투과체 사이에 투명 단열재를 설치하고 재조립함으로써 시험용 집열기를 제작하였다. 투명 단열재가 흡열판이나 투과체에 직접 닿지 않도록 유의하였고, 이를 위해 몇 군데에 지지대를 이용하였다.



[그림 5 : 코팅된 알루미늄 흡열판과 이를 이용한 집열기]

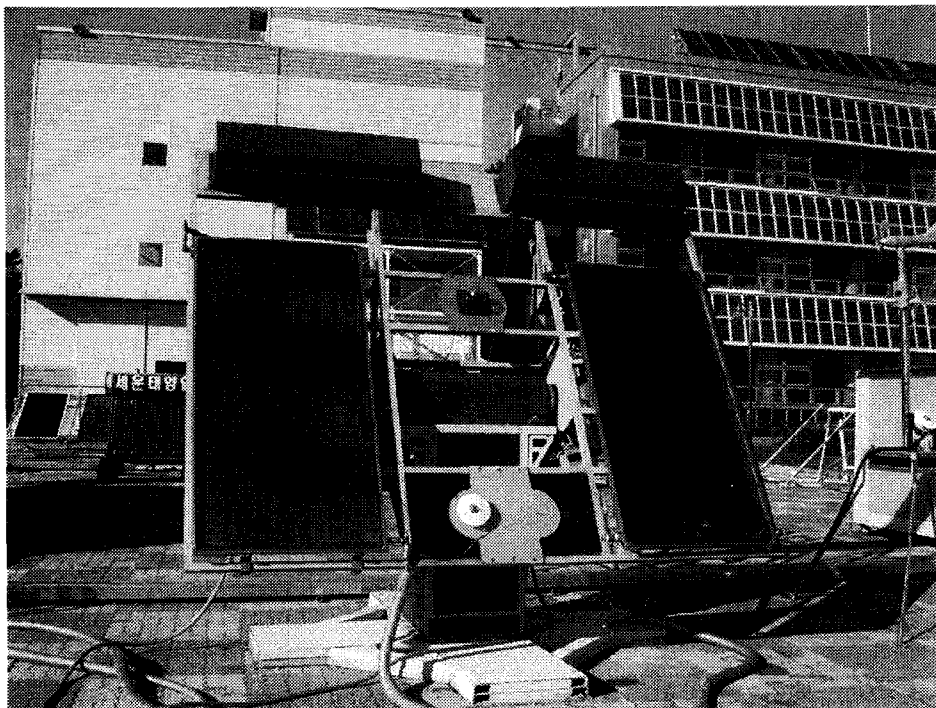
다. 알루미늄 재질 집열기의 성능시험

제작된 알루미늄 재질 집열기에 대한 성능시험은 수차례 이루어졌으며, 그 과정에서 다양한 보완이 이루어졌다. 특히 흡열판과 집열기 프레임과의 직접접촉이 없도록 유의하였고, 마감 및 일반배관과의 접속부분에 대한 개선 등도 이루어졌다. 초기에는 주관과 채널형 흡열판과의 연결부분이 정확하지 않아 전열매체의 흐름 또한 불균일했으며, 이로 인한 효율저하가 상당히 컸기 때문에 이를 보완하는 것도 중요하였다. 이러한 보완 작업을 거치면서 시제품에 대한 성능시험이 이루어졌고, 초기 시제품과 최종 시제품의 집열효율을 다음과 같이 얻을 수 있었다.

$$\eta = Fr(\tau\alpha)_{en} - Fr U_L(T_{f,i} - T_a)/I_t = 0.6677 - 6.1708(T_{f,i} - T_a)/I_t \quad (\text{초기})$$

$$\eta = Fr(\tau\alpha)_{en} - Fr U_L(T_{f,i} - T_a)/I_t = 0.7402 - 5.3561(T_{f,i} - T_a)/I_t \quad (\text{최종})$$

최고효율만을 보았을 때 초기 시제품이 약 67%인데 비해 최종 시제품은 약 74%로써 크게 향상되었음을 알 수 있으며, 열손실계수 또한 많이 감소되었음을 확인할 수 있다. 한편 장기간에 걸친 성능시험을 통해 여름철 가혹조건 하에서도 집열기 성능은 거의 변화가 없음을 알 수 있었다.



[그림 6 : 성능시험 중인 알루미늄 집열기(좌)와 플라스틱 집열기(우)]

라. 플라스틱 재질 집열기의 성능시험

초기에 제작된 플라스틱 집열기는 성능시험 전에 수행되는 빈쑤이기 상태에서 변형되기 시작하여 파손이 발생하였으며, 이에 따라 집열효율 측정을 위한 성능시험 자체를 수행할 수 없었다. 특히 열팽창이 예상외로 심하여 [그림 7]과 같이 흡열판 형태 자체를 유지하는 것이 불가능하였으며, 집열기내 주관과 플라스틱 모듈(지관)과의 연결부위가 파손되는 현상이 나타났다. 이와 함께 플라스틱제 흡열판이 하단의 단열재 형태를 변형시킴은 물론, 투과체가 있는 상부로 튀어나와 투과체에도 과도한 힘을 가하고 있는 것이 발견되었다.

이를 개선하기 위하여 새로 개발된 열전도 플라스틱을 이용하였으며, 제작편의 및 변형의 최소화를 위하여 주관 제작에는 40% ABS를 혼합하였다. 그 결과 보다 안정된 플라스틱 집열기를 제작할 수 있었고, 이에 대한 집열효율 시험을 수행할 수 있었다. 여러 차례 걸쳐 수행된 성능시험을 통해 플라스틱 집열기의 집열효율은

$$\eta = Fr(\pi\alpha)_{en} - FrU_L(T_{f,i} - T_a)/I_t = 0.7077 - 7.0586(T_{f,i} - T_a)/I_t$$

으로 나타났는데, 최대효율은 예상외로 높는데 반해 열손실 계수는 다른 일반적인 집열기에 비해 무척 크다는 것을 확인할 수 있다.

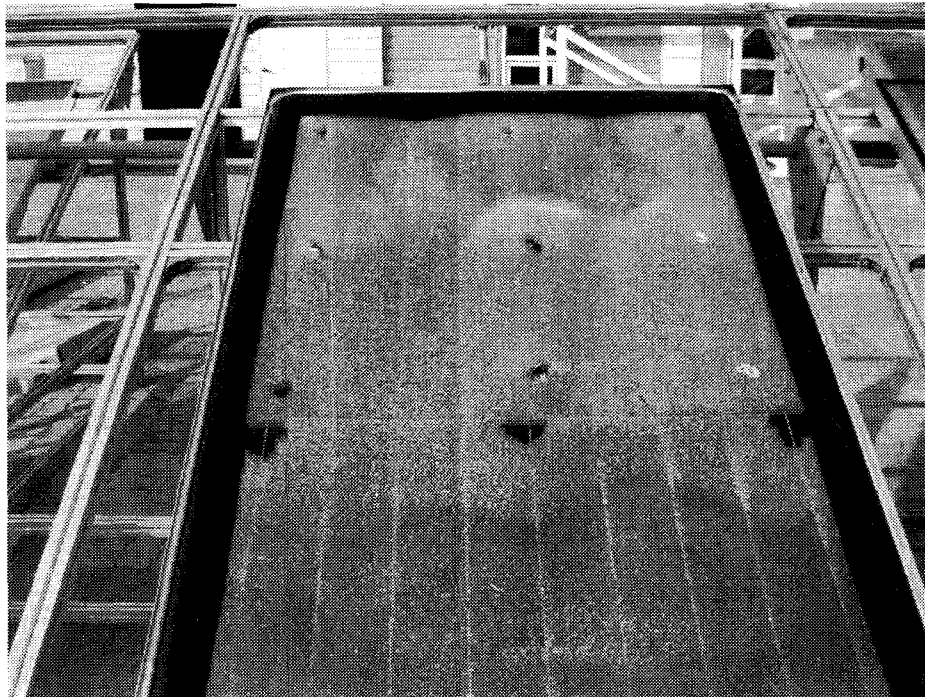


[그림 7 : 변형/파손된 열전도 플라스틱 집열기]

열전도 플라스틱 흡열판은 제작시 염료를 첨가하여 무광 흑색으로 제작될 수 있기 때문에, 별도의 코팅이 필요하지 않은 장점은 있다. 그러나 제작된 흡열판을 집열기 프레임에 장착할 때 변형을 감안해야 했기 때문에 외부로의 열손실이 증가할 수밖에 없는 구조를 갖게 되었다. 이러한 이유 때문에 집열효율이 전반적으로 낮게 나타나며, 이러한 플라스틱 집열기는 저온의 열원을 필요로 하는 경우에는 유용하지만 난방 등 고온의 열원을 필요로 하는 경우에는 적절하지 않다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 집열효율 시험이 종료될 시점에 흡열판 모듈(지판)과 주관사이의 연결부위가 이탈하는 현상이 나타나기도 하는 등 불안정한 요소가 상대적으로 많이 발견되었다.

마. 투명 단열재(TIM) 설치에 따른 효과 및 문제점

흡열판과 투과체 사이에 설치하려고 하는 TIM이 집열효율에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 같은 회사에서 출고된 동일한 두 집열기에 대하여 하나의 집열기에는 TIM을 삽입하고 다른 하나의 집열기에는 TIM을 삽입하지 않은 상태에서 비교실험을 수행하였다. 실험은 간헐적으로 계속되었으며, 이 과정에서 집열기의 열적성능 변화 또는 TIM의 변형이 나타나는지 여부를 파악하였다. 성능시험이 진행되면서 TIM 집열기에서 문제가 발생하기 시작했으며, 성능시험이 종료된 후 투과체를 제거한 결과 [그림 8]과 같이 TIM이 변형된 것을 확인할 수 있었다.



[그림 8] 변형된 TIM 집열기

TIM 설치 집열기가 손상되지 않았을 때의 성능시험 결과는 다음과 같았는데,

$$\eta = Fr(\tau\alpha)_{en} - FrU_L(T_{f,i} - T_a)/I_t = 0.6721 - 3.9429(T_{f,i} - T_a)/I_t$$

일반 집열기보다 낮은 효율을 나타내는 것을 볼 수 있으며, 특히 투과율에서 매우 낮은 값을 나타내어 전체적인 집열효율 저하를 유발하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 TIM 설치가 당초 예상대로 열손실을 크게 감소시키는 것을 알 수 있었는데, 이 결과는 만약 투과율 향상이 이루어진다면 집열효율을 향상시키는데 기여할 수도 있다는 것을 의미한다. 그러나 TIM이 고온에 노출되는 경우 가스가 발생하여 집열기 내부가 뿌옇게 흐려지며, TIM 자체의 변형이 발생하기 때문에 신뢰성 측면에서 그 설치는 매우 신중해야 한다고 판단되었다.

3. 결론

본 연구에서는 태양열 집열기의 핵심부품인 흡열판을 유로의 면적을 최대화한 모듈화된 채널형으로 설계하여 제작함으로써, 효율 향상과 함께 대량생산시 제조공정의 자동화에 의한 저가화가 가능하도록 하였다. 채널 형태의 흡열판은 알루미늄과 플라스틱으로 제조하였으며, 이 외에 TIM 설치에 따른 효과와 문제점 등도 파악하였다.

<표 1>은 각각의 집열기에 대한 성능시험을 통해 얻은 대표적인 집열효율로써, 알루미늄 재질 채널형 집열기의 경우 기존 집열기와 유사한 성능을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 플라스틱 집열기의 경우 효율이 낮고 열팽창에 따른 변형이 발생하는 것을 알 수 있었는데, 저온의 열을 얻고자 하는 경우에 프레임 없이 이용하면 경제성은 확보할 수 있는 것으로 판단되었다. 한편 TIM의 설치는 열손실을 크게 줄여주는 효과는 있지만, 투과율을 크게 저하시키고 변형이 발생하기 때문에 그 이용이 현실적으로 어렵다는 것을 알 수 있었다.

<표 1 : 열효율 곡선 비교>

집열기 구분	$F_R(\tau\alpha)_{en}$	$-F_RU_L(T_{fi} - T_a) / I_t$
일반 집열기(국내 인증사 제품 평균)	0.7400	- 5.3452
TIM 집열기	0.6721	- 3.9429
알루미늄 집열기	0.6677	- 6.1708
개선된 알루미늄 집열기	0.7402	- 5.3561
플라스틱 집열기	0.7077	- 7.0586