

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 22, No. 1, 2002

태양열 시스템의 활용성 제고를 위한 축열 장치 개발에 관한 실험적 연구

천원기* · 이재영**

* 제주대학교 공과대학 에너지공학과(첨단기술연구소)

** 한동대학교 기계제어시스템 공학부

A Study on the Development of Thermal Storage Units for Efficient Utilization of Solar Systems

Wongee Chun*, Jae Young Lee**

* *Dept. of Nuclear & Energy Engineering, Cheju National University
(Research Institute of Advanced Technology)*

** *Department of Mechanical & Control System Engineering Handong University*

Abstract

This study has been carried out to design a number of storage units which could improve the utilizability of solar energy by offering convenient means to store it. The proposed units are systematically tested to establish their reliability in actual operations. One of the prominent features of the present storage units is that each design is meant to drastically improve the thermal response of solar systems which would definitely offer extreme convenience to whoever uses it. Also sought in the present study is to elicit ideal operating conditions during the storage and extraction phases of solar energy once it is delivered to the storage unit. The present study has confirmed the potential use of the proposed units with their applicability in capitalizing the sun's energy.

1. 서론

우리의 삶과 생활의 질을 보다 쾌적하게 발전시

키기 위해서는 지구의 생태환경을 유지시키면서 생활과 자연이 조화를 이루도록 하면서 자연에너지의 이용을 적극적으로 극대화시켜야 한다. 이러

한 자연에너지의 이용에 관한 이슈는 지난 세기말부터 국내 뿐만 아니라 전세계적으로 환경문제와 우리 삶의 질을 연관시키면서 모든 분야에서 가장 근본적인 문제로 인식하기 시작하였다. 무엇보다 국내 환경오염의 심각성이 우려할 수준에 이른 우리로서는 그 어느 때보다도 무한한 청정에너지인 태양에너지의 이용에 대한 관심은 제일 고조되어 있다고 해도 과언이 아닐 것이다. 태양에너지는 상당한 가능성이 있는 에너지 자원이지만 현재 이를 이용하는 지상의 기술은 아직 여러 가지 풀어야 할 난제들이 산적해 있다고 할 수 있다.

태양으로부터 지구에 도달하는 태양에너지량은 태양에너지 전체의 22억분의 1이지만 이것은 연간 1.304×10^{21} kcal로 막대한 양이다. 지구에 도달한 태양에너지의 30%는 우주에 반사되고, 23%는 증발, 강우 등 자연계의 순환에 이용되고 47%는 육지와 해양에 흡수된다. 태양에너지는 비, 바람, 해류 등 자연계의 순환을 발생시킬 뿐 아니라 광합성을 일으켜 지구상에 살아있는 생물의 에너지원이다. 과거에는 태양에너지를 자연형태 그대로 소극적 이용에 머물렀으나, 최근 20여년 동안 에너지 전환 및 직접이용을 위한 연구가 활발히 진행되어 적극적 이용이 급속히 확대되고 있다. 특히, 시간에 따라 가변적으로 그리고 주기적으로 변화하는 태양에너지를 효율적으로 포집하여 이용하기 위하여 여러 분야에 걸쳐 활발한 기초 및 응용 연구가 상당 기간 동안 진행되어 왔으며, 그 결과 태양열 분야는 태양광 분야와 함께 조금씩 더 태양에너지의 광범위한 실용화에 접근할 수 있었다.

태양열 축열 장치는 태양에너지를 열적으로 이용함에 있어 그 공급과 수요 사이의 시간적 불일치를 필요에 따라 부분적으로 혹은 전체적으로 해결하거나 태양열 활용의 효율성을 증진시키는 역할을 한다. Fig. 1은 태양열 이용에 있어 축열장치 활용의 기본 개념을 나타내고 있다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 태양 복사 에너지는 하루를 주기

로 매일 그 에너지밀도가 계절에 따라 편차를 나타내긴 하지만 주간과 야간의 경계가 뚜렷하며 일년 365일의 태양의 움직임에 따른 예측이 가능하다. 태양에너지 밀도는 태양이 남중하는 정오를 정점으로 오전 10시부터 오후 2시까지의 4시간 동안 최대의 값을 나타내며 태양에너지 이용의 효율성을 기하기 위해서는 이 시간 동안에 태양열의 활용은 물론 유용한 태양에너지의 대부분을 축열시키는 것이 아주 중요한 과제라 할 수 있다.

축열 기술은 집열 기술과 함께 태양에너지의 이용에 있어 아주 중요한 요소 기술의 하나로써 태양열에너지의 보급 확대를 위하여 지속적으로 연구 개발이 추진되어야 할 기술 분야이다. 기존의 태양열 축열에 관한 연구가 상변화물질의 물성치(응축열 또는 상변화온도)의 분석과 이의 개선에 초점이 맞추어졌다면 향후 이 분야의 기술 개발의 핵심은 상온에서 기화열 등 상변화에너지를 이용하면서도 그 시간적 열응답성이 탁월한 가변 열컨덴서 기술 등 새로운 기술의 개발과 이의 태양열 등 저온 활용 에너지 시스템에의 적용을 목표로 추진되어질 것으로 전망된다.

국내에서는 1980년대 중반부터 국공립 연구기관 및 대학을 중심으로 태양열 시스템의 효율성을 극대화하기 위하여 태양열의 축열에 대한 연구가 태양열 집열시스템에 대한 연구와 병행하여 꾸준히 진행되어 왔으며, 1990년대에 들어서는 민간 연구소도 이에 대한 연구 투자를 본격적으로 시작하였다. 그 일례로 한국에너지기술연구원(KIER)은 1990년대 중반부터 다년간에 걸쳐 대체에너지 기술개발 사업의 일환으로 LG 중앙연구소와 공동으로 미세캡슐을 이용한 태양열의 축열시스템의 개발에 관하여 연구를 수행하였으며 그 결과 미세캡슐을 이용한 난방용 축열보드를 개발하기에 이르렀다. 이에 앞서 한국과학기술원(KAIST), 한국과학기술연구원(KIST), 충북대, 인하대 등에서는 1980년대 후반부터 Glauber Salt 등 응축열을 이용하는 기존의 상변화물질의 축열 기능

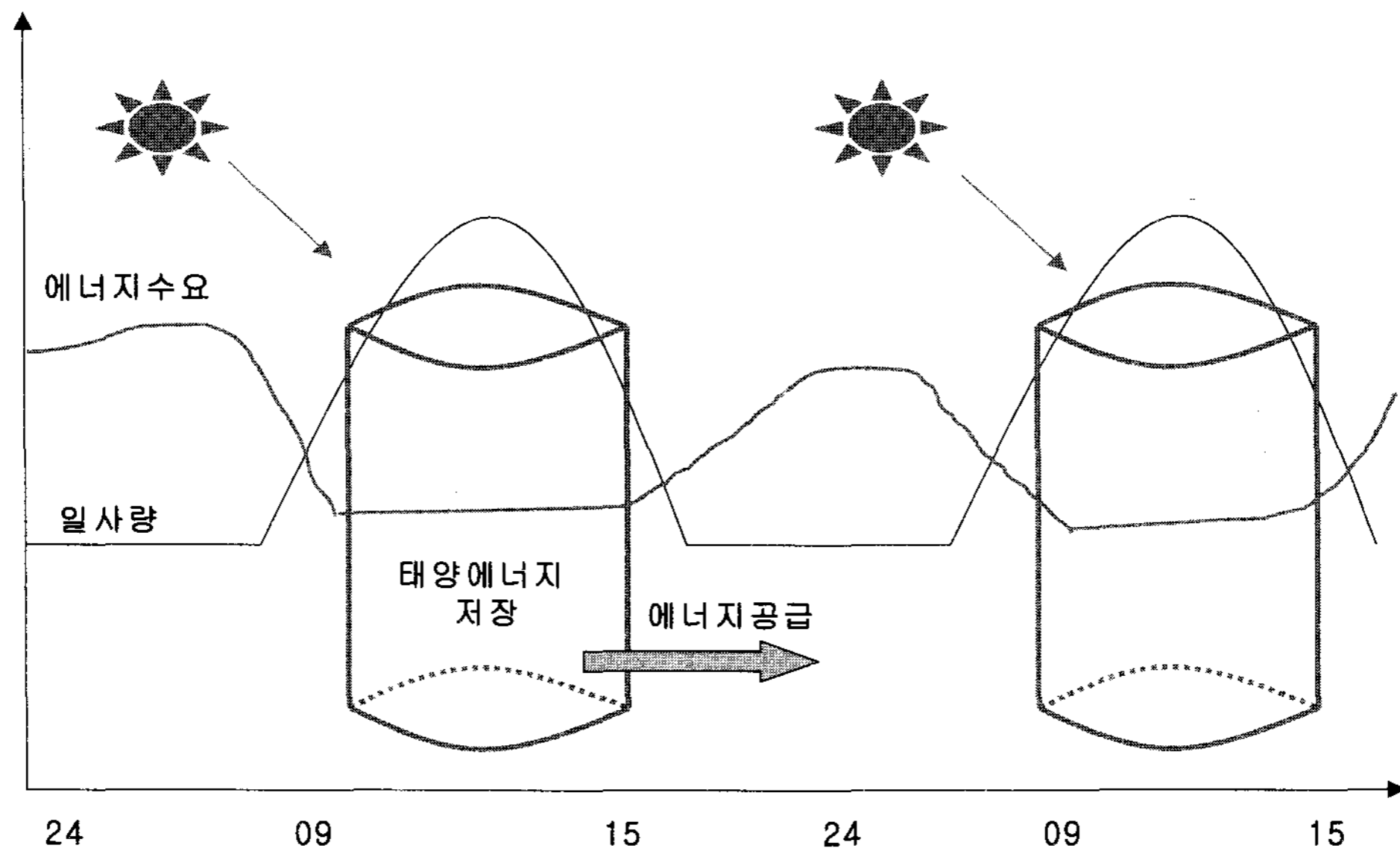


Fig. 1 태양에너지의 공급과 수요의 시간에 따른 변화

개선 및 신물질의 개발에 대하여 연구를 10여년간 수행해 이 분야에서 상당한 성과를 이루었다. 본 연구에서 개발하고자 하는 축열 유닛은 이와 같은 그 동안의 연구 개발 결과 개발된 주요 요소 기술을 근간으로 태양열을 좀 더 적극적으로 활용하기 위하여 설계·제작된 것이라 할 수 있다. 물론, 본 연구에서 제안한 시스템은 기존의 연구 결과를 다른 각도에서 적용하여 연구 개발된 것으로 현재 활발히 추진되고 있는 중·고온형 태양열 이용시스템에 적용하면 시스템의 효율 향상과 함께 그 내구성도 증진시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 축열 방법 및 효율성

2.1 현열 축열

현열을 이용한 열저장은 태양열 냉난방에 가장 보편적으로 적용되는 방법의 하나이며, 이는 축열 매체의 온도 변화에 따른 열의 저장 및 방열 능력을 이용한 것으로 다음의 식으로 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \int_{T_1}^{T_2} C \cdot dT \\ &= V \cdot \int_{T_1}^{T_2} \rho C \cdot dT \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 ΔQ 는 저장(또는 방열)된 열량이고, C 는 비열, m 은 중량, T 는 온도이며, 1은 초기 상태, 2는 최종 상태를 가르키며, V 는 용적, ρ 는 밀도이다. 축열 매체의 밀도(ρ)와 비열(C)은 온도에 따라 약간 변하기는 하나 현열을 이용한 대부분의 축열 매체의 경우에는 무시할 정도의 변화이기 때문에 상수로 가정한다면 식(1)은 다음과 같이 된다.

$$\Delta Q = m \cdot C \cdot \Delta T = \rho V C \cdot \Delta T \quad (2)$$

또한 단위 용적당 축열량, Δq 는

$$\Delta q = \Delta Q / V = \rho C \cdot \Delta T \quad (3)$$

이 된다. 식(3)에서 보듯이 단위 용적, 단위 온도 차당의 축열량($\Delta q/\Delta T$)을 증가시키기 위해서는 용적 열 용량이 커야 한다.

2.2 잠열 축열

잠열이란 물질의 상(phase)이 변화할 때 등온에서 흡수, 방출되는 열로서, 얼음이 녹을 때 흡수하는 80cal/g의 용해열이나 물이 증발할 때 흡수하는 540cal/g의 증발열등을 대표적인 예로서 들 수 있다. 일정한 온도를 유지하기 위하여 상변화 물질(phase change material; PCM)을 사용하기 시작한 간단한 예로서 ice box를 들 수 있겠으나, 상변화 물질을 이용하여 열을 저장 추출하여 사용하고자 하는 시도로는 Maria Telkes의 망초(Glauber's salt) 이용에 관한 보고가 가장 선구적이라고 할 수 있다. 현재까지 태양 에너지 응용분야에서 사용하고 있는 PCM은 크게 파라핀 왁스 같은 유기물과, 망초나 염화칼슘6수화물 등의 무기수화염으로 나눌 수 있다. 좀 더 고온을 요구하는 경우에는 불화물(fluoride)이나 금속의 합금 등을 이용할 수도 있으며 현재 활발하게 응용 연구와 함께 실용화가 추진 중이다.

2.3 축열 효율

열에너지는 현열 또는 잠열 등의 형태로 저장된 후 필요할 때 다시 사용될 수 있다. 따라서 축열 효율은 개념적으로는 저장된 후에 재사용 될 수 있는 열량의 저장한 열량에 대한 비로서 정의된다. 이는 열역학 제 1법칙의 효율이며 다음의 식으로 표시된다.

$$\eta_1 = \frac{Q_{out} - Q_{loss}}{Q_{in}} \quad (4)$$

여기서 Q_{in} 은 저장된 열량, Q_{out} 은 재사용을 위하여 회수된 열량이며 Q_{loss} 는 축열조에서의 열 손실이나 축열을 하기 위하여 추가로 요구되는 에

너지, 즉 펌프의 전기 사용량 등이 포함될 수 있다. 식(4)로 정의된 효율은 단지 열량만으로 계산되는 양적 평가(quantitative evaluation)이며 가용 온도의 개념을 도입한 열역학 제 2법칙의 효율은 질적 평가(qualitative evaluation)라 할 수 있다. 태양 에너지를 이용한 축열 시스템이 기계 에너지나 전기 에너지의 발생 장치에 사용되었다면 열역학 제 2법칙 효율은

$$\eta_2 = \frac{T_{in} (T_{out} - T_{sink})}{T_{out} (T_{in} - T_{sink})} \quad (5)$$

로 표시될 수 있으며¹⁾, 여기서 T_{in} , T_{out} 과 T_{sink} 는 절대 온도이며 각각 축열 장치 입구의 온도, 출구의 온도 그리고 열침원(외기온 등)의 온도를 가르키며 상수라고 가정하였다.

3. 가변 축열 기술

본 연구에서 개발하고자 하는 축열 기술은 태양열 등 저온 활용 분야에 적용될 수 있는 기술로서 고상 혹은 액상의 물질이 상변화를 수반할 때 열 에너지를 흡수 또는 방열하는 것을 이용하므로 상기의 경우 중 잠열을 이용하는 경우에 해당한다고 할 수 있다. 그러나 이 기술은 기존의 축열 기술에 비해 그 시간 응답성과 시스템 이용의 편리성을 제고하여 보다 더 효율적으로 태양열을 이용할 수 있도록 하는 것이다. 이 기술의 특징은 가변 열 콘덴서 축열 유닛(Unit)의 개발을 통하여 태양열의 집열과 축열 그리고 방열의 최적화를 이룰 수 있는 데에 있다. 즉, 이 기술의 가장 핵심적인 사항은 그 축열 및 방열 조절이 가능한 열콘덴서(Thermal Condenser) 기술의 개발 및 이의 성공적 적용이다. Fig. 2는 피스톤과 실린더로 구성된 장치 안에 기상의 축열 매체가 충전되었을 때 집열된 태양열이 집열판과 열수송기구(액체식 열다이오드 혹은 히이트 파이프)를 거쳐 축열되는 경우를 개념적으로 나타낸 것인데 실린더 내의

압력을 조절함으로써 상변화온도(액상 \leftrightarrow 기상)를 조절하고 아울러 방열 혹은 축열 모드를 조절할 수 있다.

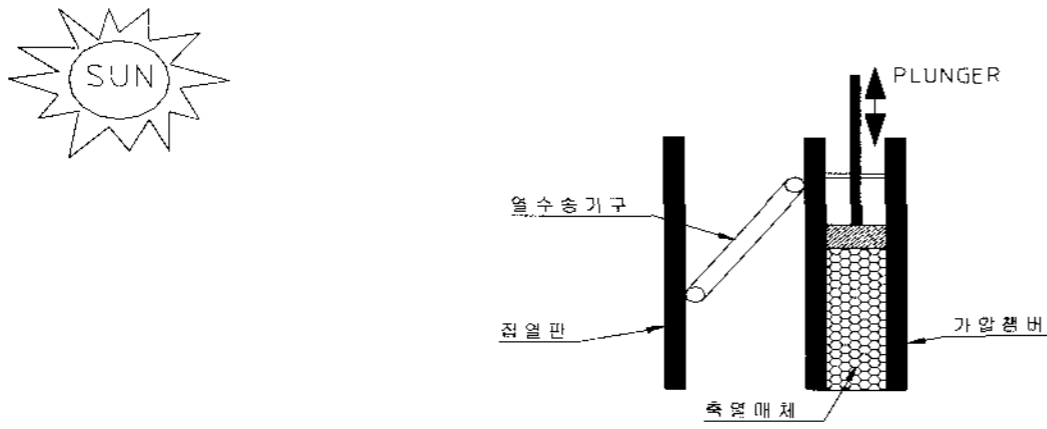


Fig. 2 가변 축열 장치의 개념도

4. 가변 축열 장치의 설계를 위한 기초 실험

4.1 사각단면의 축열 장치를 이용한 기초 실험

본 연구에서는 가변 축열 장치의 설계를 위하여 상변화 물질 그리고 축열 시스템에 관한 기초 실험을 수행하였다. 이 실험에서는 초산나트

륨($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)과 파라핀 왁스 등 100°C 이하에서 상변화를 일으키는 상변화물질(Phase Changing Material)을 이용하여 가변 축열 장치에서의 적용성을 연구하였다. 축열 장치는 유리 와 나무 그리고 구리 등으로 제작되었으며 가열부의 위치가 상변화에 미치는 영향을 체계적으로 분석할 수 있도록 설계에 반영하였다. 제작된 실험 장치에 대한 상세는 Fig. 3에 잘 나타나 있으며 이 실험으로부터 얻은 결과는 바로 축열 장치의 설계에 필요한 기초적 데이터를 제공하였다. 그림에서 상단의 세 단면도는 전·후면의 가열부(열전도판이 설치된 것과 제거한 것)와 PCM 충전부를 나타내고 있다. 한편, 400 mm의 길이 방향으로 그 상부의 중량을 따라 일정 간격으로 열전대가 설치되었으며 이는 가열부의 열에너지가 PCM을 따라 전달되는 과정을 관찰하기 위함으로 축열 장치가 태양열에 의해 하부로부터 수직으로 혹은 일정 경사각을 가지고 가열되는 경우 PCM의 용융과정과 온도 변화를 일차적으로 파악할 수 있다.

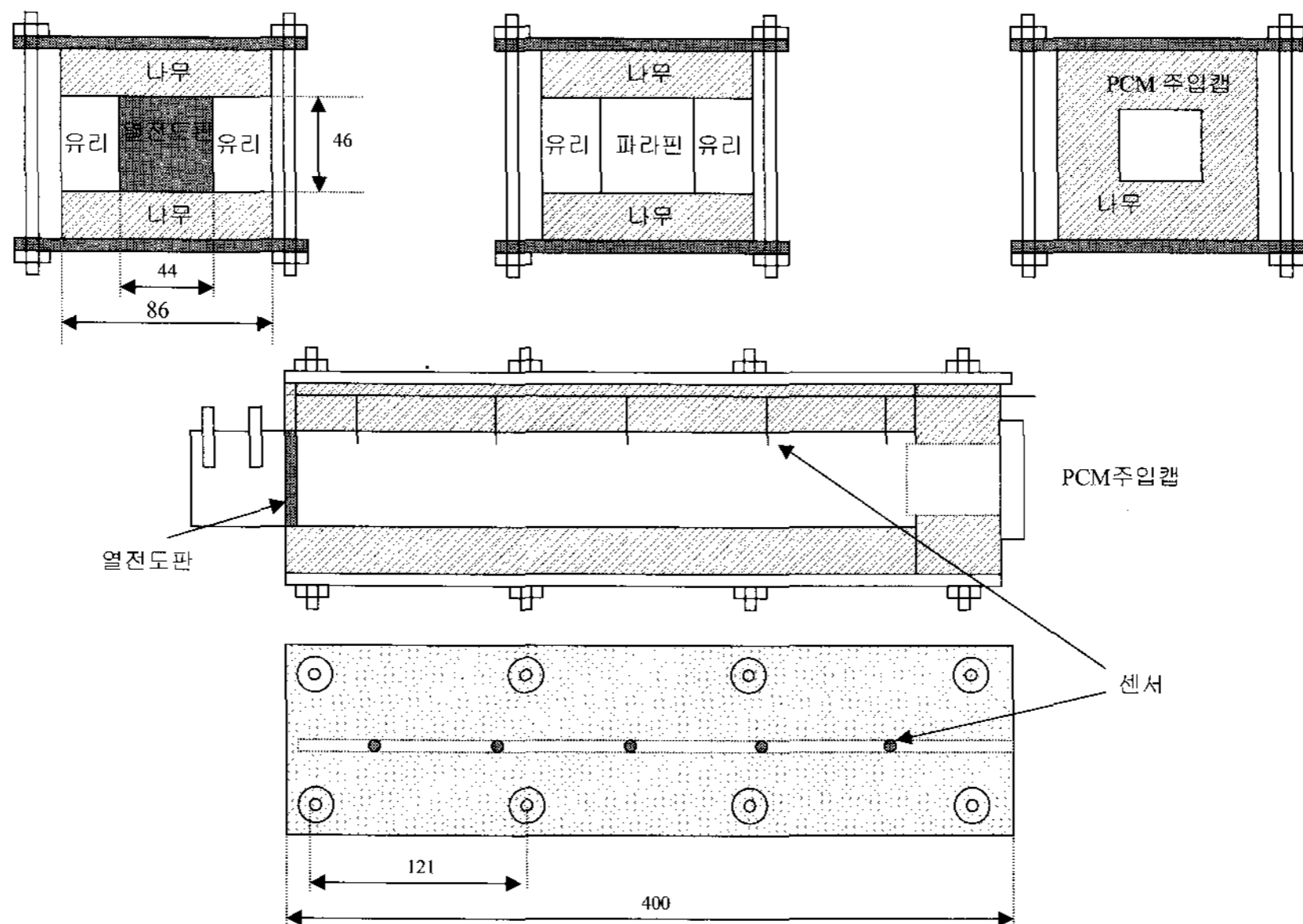


Fig. 3 기초 실험 장치 설계도

Fig. 3에서 보듯이, 본 실험 장치는 상변화 과정을 육안으로 알아볼 수 있도록 유리막을 설치하였고, 이중의 유리막(3mm)을 사용하여 외부로의 열손실을 최소화하였다. 또한, 항온조에서 설정된 온도를 거의 일정하게 열원의 온도로써 근접시키기 위해 상변화물질의 하부에 정육면체형의 물자킷(water jacket)을 열전도성이 우수한 구리판으로 제작하였다. 또한, 일정 간격(50mm)으로 온도 센서(Thermocouple)를 부착하여 각 부위의 온도를 측정하고, 시간과 온도에 따른 상변화 모습을 보면서 최적의 온도와 상 변화에 필요한 시간을 알아볼 수 있도록 하였다. 그리고, 실험장치의 각도를 0°, 45°, 90°로 변화를 주면서 각도에 따른 상변화 과정을 살펴보고 최적의 설치각을 찾아 진공 복사관식(All Glass Evacuated Tube) 태양열 집열기의 흡수각과 연계하여 최적의 가변 축열 장치가 설계될 수 있도록 하였다. 물론, 본 실험 장치는 이중의 유리로 제작되었지만 그 사이가 완전 유리식 태양열 진공 복사관처럼 진공으로 처리가 되지 않아 이를 통한 열손실이 발생되므로 이에 대한 보정이 필요하다.

Fig. 4는 상기의 축열 장치와 항온조 그리고 Data Acquisition이 연결된 실험 장치의 전체 구성을 보여 주고 있다.

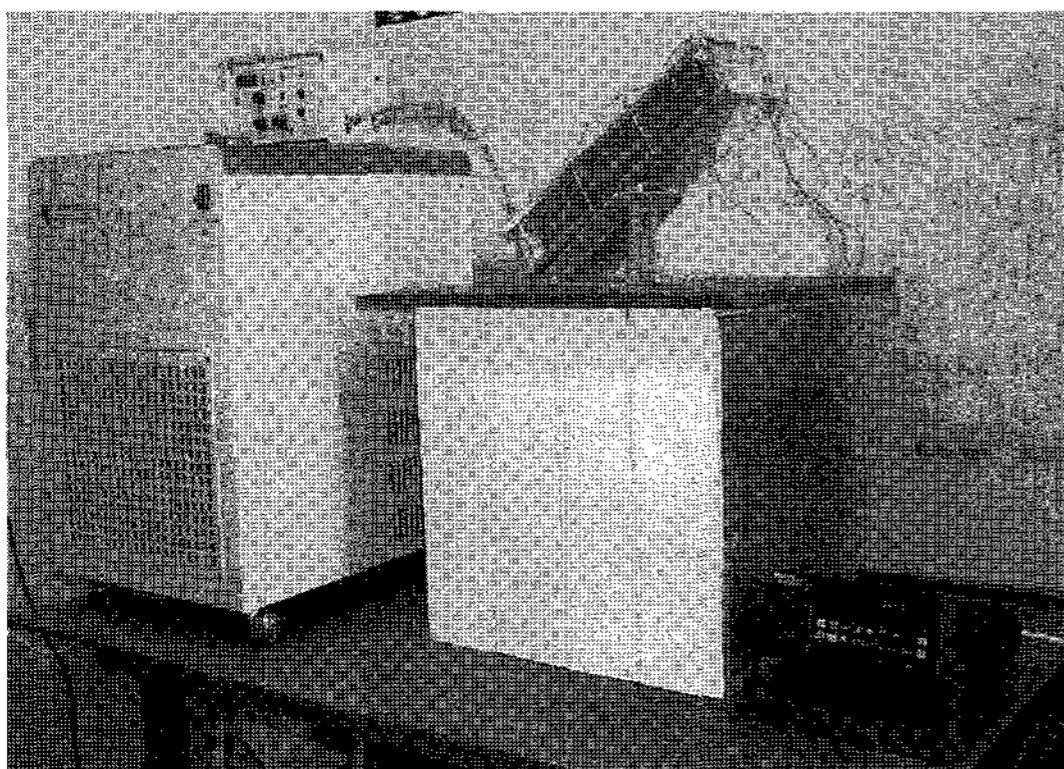


Fig. 4 실험 장치의 실물도

4.1.1 실험 방법

축열 장치의 열원으로 이용되는 물자킷에 공급되는 물의 온도는 충전된 PCM의 용융점(60°C 이하)과 대기압 하에서 진공관식 집열기를 이용하여 축열을 하는 경우를 고려하여 90°C로 설정하였다. 실제로 물자킷에 유입되는 물의 온도가 항상 항온조의 수온과 같게 일정하게 유지되도록 물자킷으로부터 항온조까지의 순환이 원활히 이루어지도록 하였다. 그리고, 각 부위에 연결된 열전대(Thermo Couple : k-type)는 온도 측정 장치와 연결되어 시간에 따른 온도분포를 실시간으로 모니터링할 수 있게 설치되었으며, 유리막을 통하여 상변화가 진행되는 과정(thermal penetration)을 아울러 확인할 수 있도록 구성되었다.

4.1.2 온도 제어

본 연구에서 사용된 항온조는 물자킷의 일정 온도의 유지를 위해 열매체(증류수 및 혼합물 사용)를 순환시키는데 있어서 항온조를 통과한 열매체의 순환 이동거리를 될수록 짧게하기 위하여(7m 이내) 축열 장치와 항온조는 근접 거리에 설치하였다. 또한, 순환 루프도 가급적 보온이 가능하도록 실리콘 튜브의 외부를 단열재로 처리하였다. 상기한 바와 같이 항온조의 설정 온도는 90°C에 맞추었는데, Bath 내의 열매체의 온도를 직접 제어하여 이용하였다, 이와는 달리 외부 물체를 가열하여 실제 그 물체의 온도를 직접 제어하고자 할 때에는 외부 센서(External Sensor)를 별도로 설치하여 제어하였다.

4.1.3 상변화과정

상변화 물질로 시험된 초산나트륨이나 파라핀 왁스 등이 물 자킷(water jacket)에 유입된 열매체로부터 열을 빼앗아 상변화를 일으키기 시작하면 이는 곧 유리판으로 제작된 측면의 관찰부를 이용하여 쉽게 파악할 수 있다. 이 때 그 변화가

어떤 모습으로 진행되는지를 살펴보고 아울러 상 변화와 수반하여 일어나는 여러 물리적 현상들에 대한 분석과 이론적 규명을 수행할 수 있다. 이러한 과정은 시간에 따라 서서히 진행되는데 처음 상변화가 일어나기 시작한 시점부터 상변화가 완결될 때까지 순차적으로 전 과정을 살펴볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 방법으로 상변화 과정을 축열 장치의 각도를 변화시키면서 다양한 상변화 물질의 축열 장치 내의 온도 변화 및 상변화 과정을 관찰하였다. Fig. 5는 한 쪽 가열부에서

200mm 떨어진 부분이 66°C까지 상승한 후의 냉각되는 과정을 나타낸 것인데 캡슐이 유동층을 형성한 경우(캡슐 mix)가 초산 나트륨의 경우보다 더 뚜렷한 상변화 진행 과정을 보여주며 초산 나트륨의 경우 과냉각된 액상의 존재로 인해 뚜렷한 상변화 과정을 보여주지 못하고 있다. 아울러 이는 전자의 경우, 캡슐 형태로 PCM이 존재할 때 그 열전달 면적의 증가가 전체적으로 축열 장치의 열적 성능에 미치는 영향을 다시 한번 확인시켜 주고 있다.

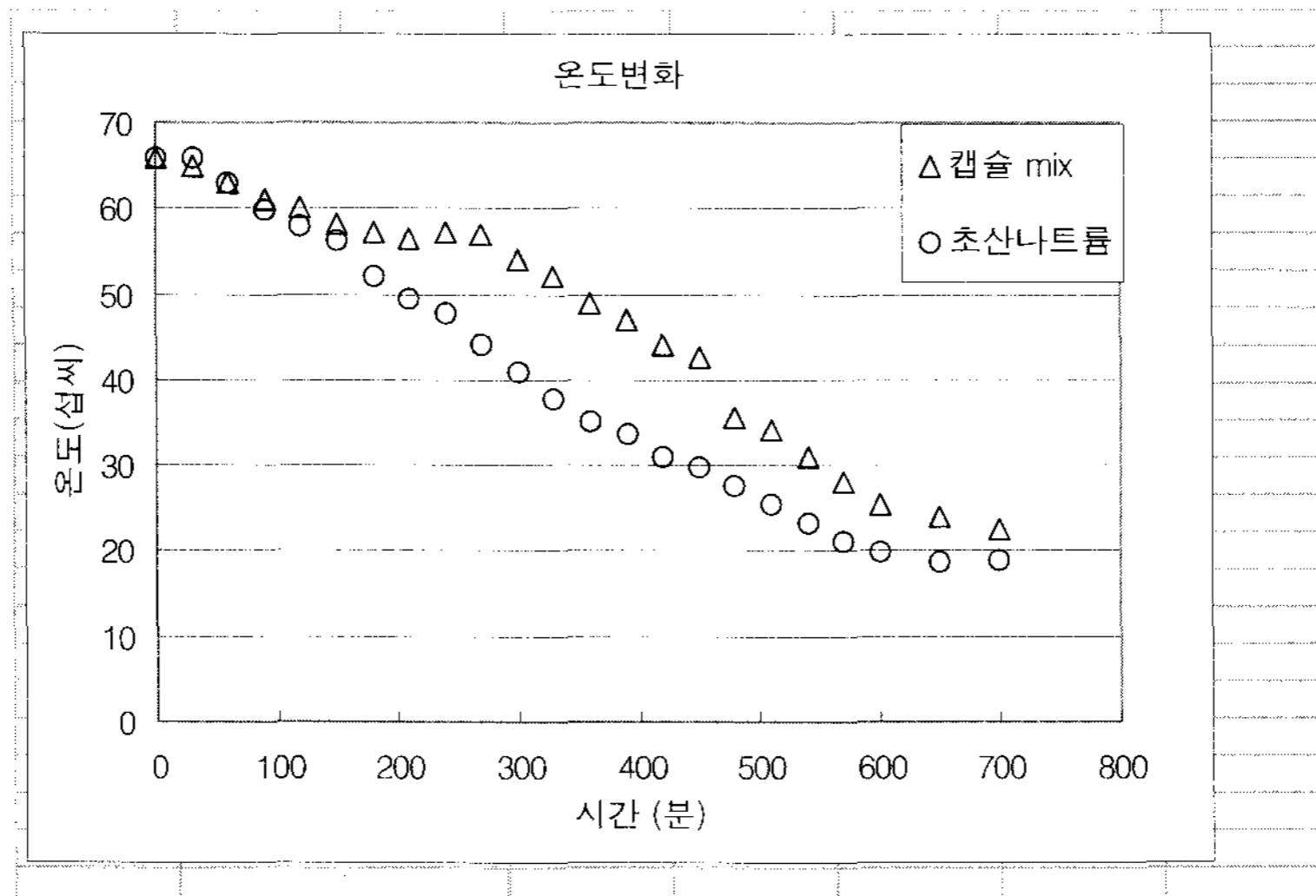


Fig. 5 시간에 따른 축열 장치내의 PCM의 온도 변화

4.2 원형단면의 축열 장치를 이용한 기초 실험

본 연구에서는 가변 축열 장치의 설계를 위하여 사각단면 뿐만 아니라 원형 단면의 축열 장치를 설계·제작하여 가변 축열 장치에 대한 기초 실험을 수행하였다. Fig. 6은 진공 복사관식 태양열 집열 장치에서 내부에 설치된 축열 유닛의 가열 상태를 시뮬레이션 할 수 있도록 설계된 실험 장치의 크기와 작동 조건을 보여주고 있다. 한편, Fig. 7은 STAR CD 프로그램을 이용하여 Fig. 6에 있어서 PCM(Paraffin wax)만이 존재할 때의 3차원 열유동 현상에 대한 수치해석 결과(수평 상태에서

한 쪽 측면이 가열되는 경우)를 나타내고 있다. 이 경우에 있어서 열전달은 두 개의 상(고상 및 액상)에서 같이 일어나므로 그 결과치는 각각의 상에 대한 지배방정식을 풀어 구하게 된다. 고상과 액상의 경계면은 열평형에 대한 미분방정식을 풀어서 그 위치를 추정하였으며, 열유동은 고상에서는 전도만을 고려하고, 액상에서는 전도뿐만 아니라 고체와 액화 되어가는 과정에서 발생하는 밀도 차에 의한 자연대류 현상을 아울러 계산에 반영하였다. 그림의 경우는 3차원 결과 중 가열이 시작하여 10,000sec가 경과한 후의 phase front

의 상태를 나타내고 있다. 이 결과는 가장 단순한 형태의 축열 장치 내의 열유동과 상변화 진행 과정을 보여주는 한 예로 이 경우 뿐만 아니라 다른 복잡한 경계 조건 하에서도 다양한 결과를 예측할 수 있는데 실측을 위한 예비적 기술 자료로 활용될 수 있을 것이다.⁹⁾ 본 연구에서는 수치해석 결과를 바탕으로 진행한 기초 실증 실험에 대한 내용을 다루고 있으며 아울러 이들 결과를 근간으로 설계한 가변 축열 장치를 소개하고자 한다.

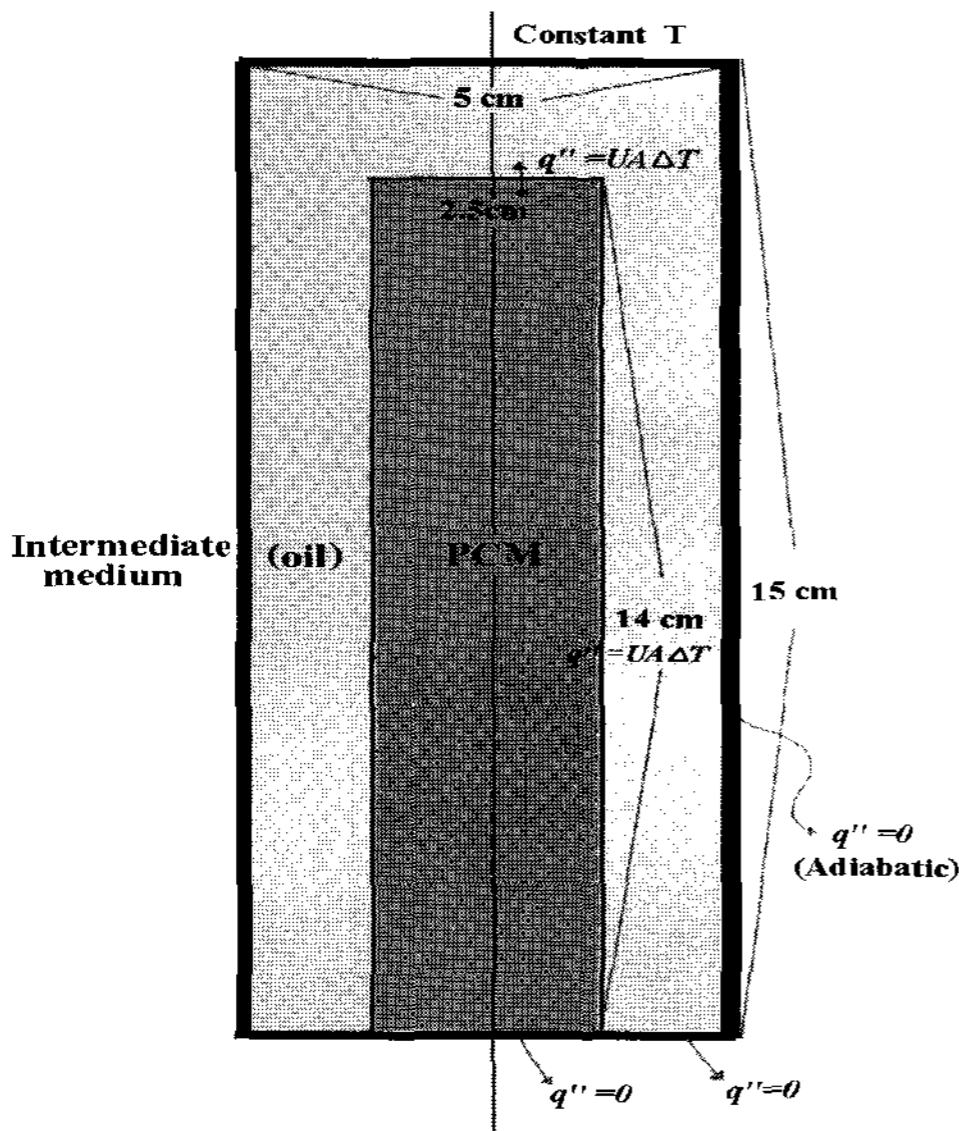


Fig. 6 진공관식 태양열 집열튜브에 의한 축열 유닛의 가열 시뮬레이션

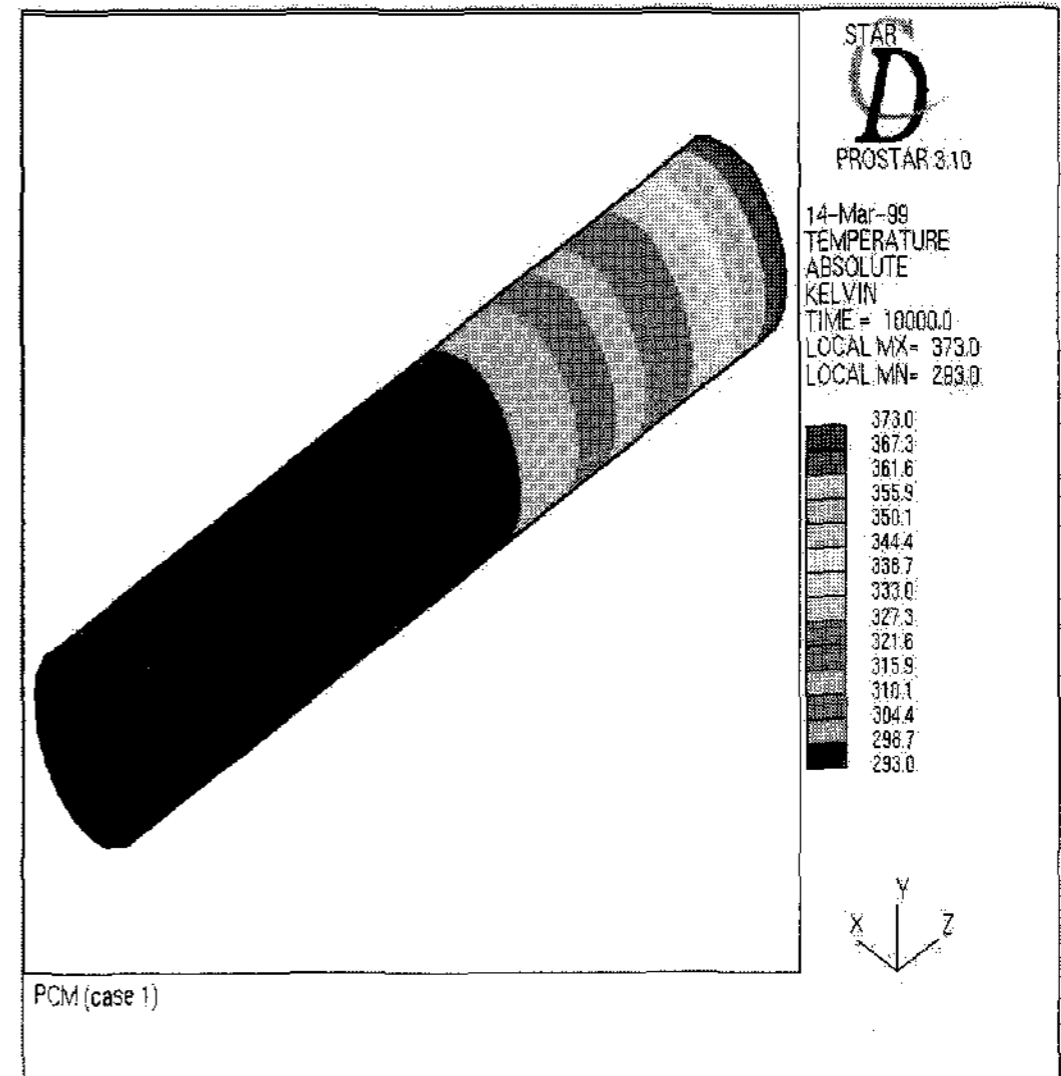


Fig. 7 통속에 wax만이 존재할 경우의 시뮬레이션 결과(STAR CD 프로그램 이용)

Fig. 8은 Fig. 6을 바탕으로 스테인레스 스틸 (stainless steel)로 제작된 축열 유닛의 실물 사진을 보여주는데 안쪽의 실린더 통과 바깥쪽의 실린더 통 사이는 기름으로 채워져있으며 실제 상황에서 축열 유닛 내·외부의 열역학적 상태를 모사할 수 있다. 본 실험은 안쪽 스테인레스 통을 파라핀 왁스로 채운 후 그 외부의 통을 가열하는 형태로 실험이 진행되었는데 안쪽의 통과 바깥쪽 통 사이의 간격은 부동액으로 충전되어 있다. 여기서 기름 혹은 부동액을 사용한 것은 서로 열역학적 성질이 다른 열매체의 적용성을 실험하는 데 목적

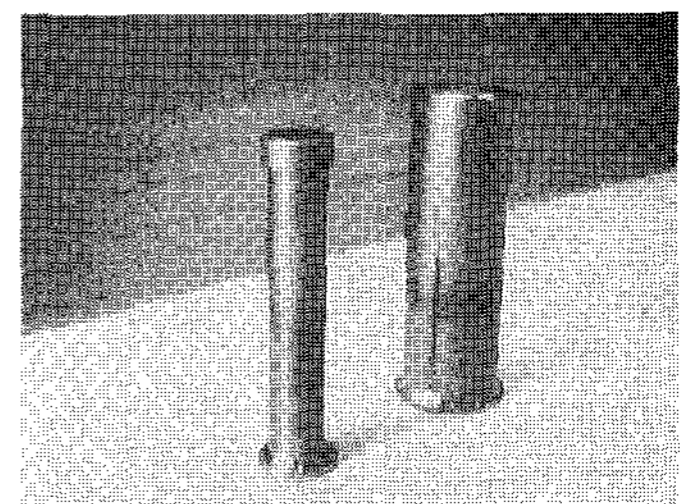
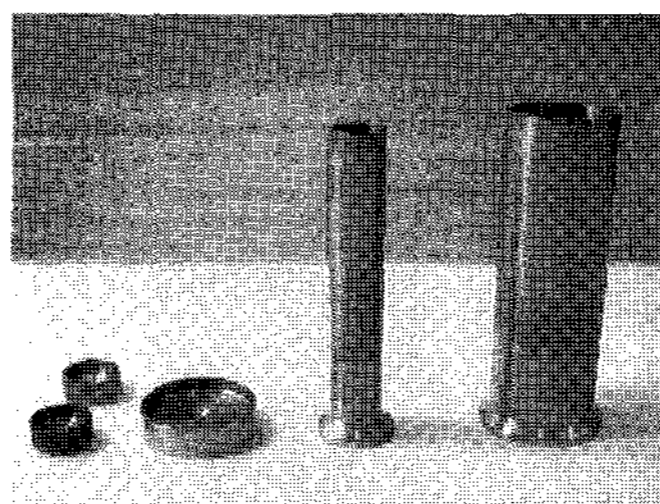
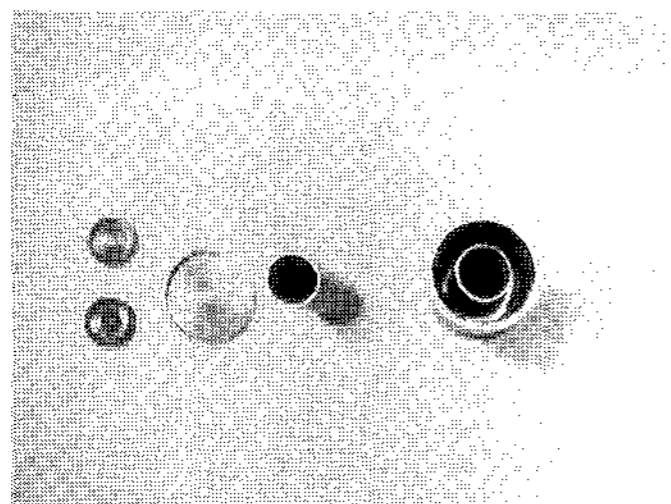


Fig. 8 원형 실린더 캔 형상의 축열 유닛

이 있으며 특히 후자의 경우는 진공관식 태양열 집열기의 내부가 부동액으로 충전되어 있는 경우를 살펴보기 위함이다. 축열 유닛은 항온조 안에서 약 70°C까지 가열된 후에 얼음과 물이 채워진 보온통 안에서 냉각되었다.

Fig. 8과 Fig. 9 상기의 축열 유닛이 수직으로 혹은 수평으로 놓인 각 경우에 있어서 안쪽 통에 들어 있는 파라핀 왁스의 시간에 따른 온도(바깥 통 외부 표면온도) 분포를 나타내고 있다. 또한, 두 통 사이가 열매체(실리콘유)로 채워져 있는 경우와 그렇지 않은 상태를 비교하고 있다. 수직으로 놓인 경우 통이 냉각되면서 열매체의 자연 순

환에 의해 액체 상태의 파라핀 왁스는 외부와의 열교환에 간섭을 받으므로 열매체를 충전한 경우와 그렇지 않은 경우에 비해 비교적 서서히 냉각된다. 이러한 현상은 수평으로 세운 경우와 대조되는데 종횡비가 큰 한 쪽 실린더 통은 냉각 혹은 가열하여도 수평의 경우 유체의 흐름이 활발하게 일어날 수 없기 때문에 두 열매체를 충전하든 않든 거의 대동소이한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 25°C 전후에서 온도 변화가 비교적 뚜렷하게 관찰되는 것은 현열의 방열을 의미하는 것으로 25°C 윗쪽은 액상의 상태를 아랫쪽은 액상의 상태를 나타낸다고 할 수 있다.

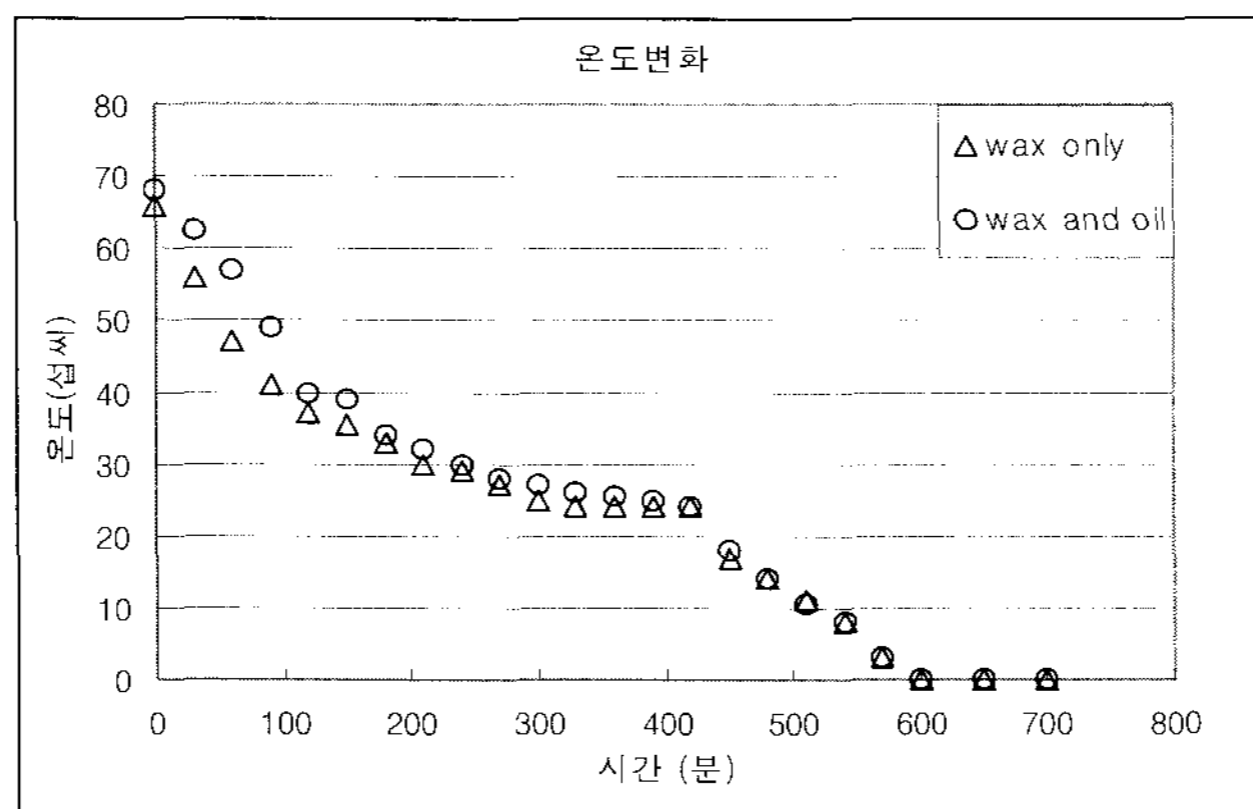


Fig. 9 수직으로 놓여 있을 경우의 시간에 따른 온도 변화

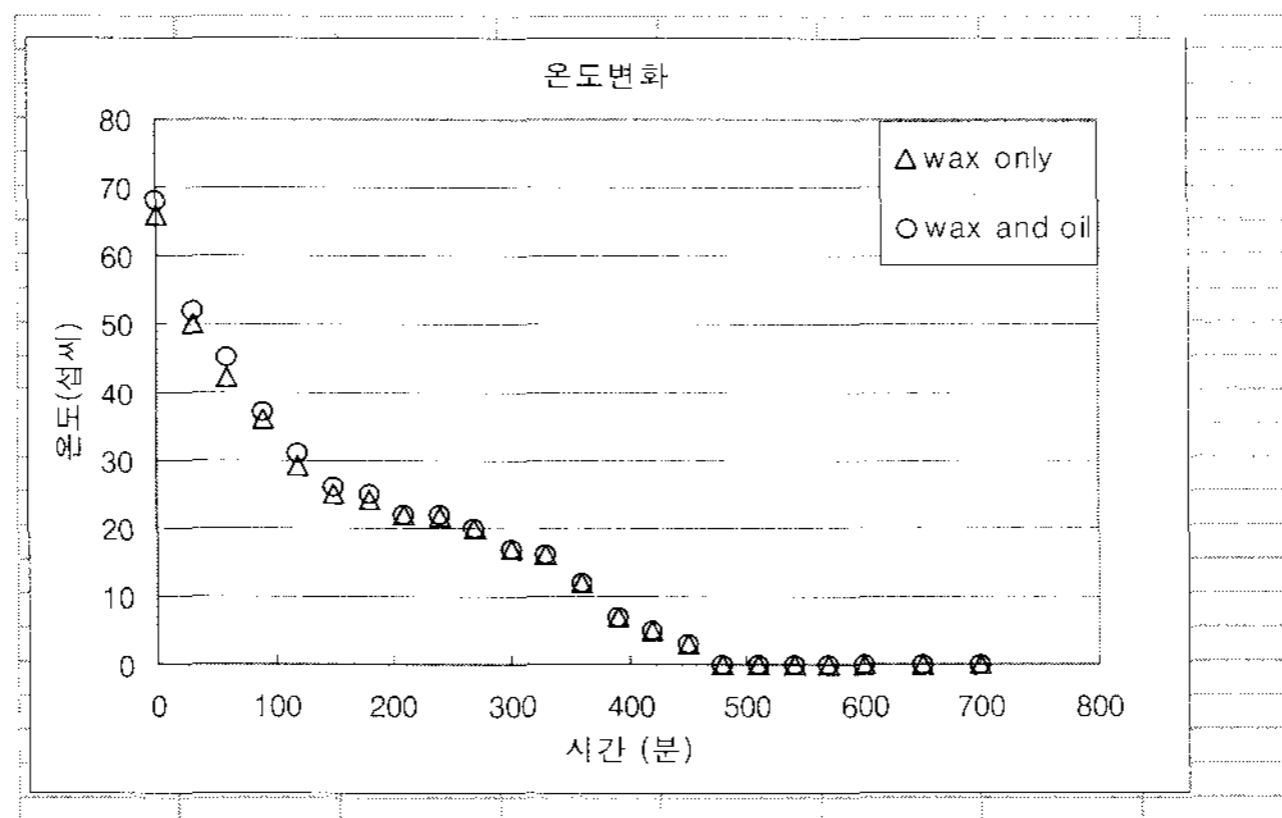


Fig. 10 수평으로 놓여 있을 경우의 시간에 따른 온도 변화

상기의 두 경우를 일대일로 비교하면 더욱 그 차이를 확연하게 알 수 있는데 수직으로 놓인 경우 수평의 경우에 비해 상대적으로 높은 온도를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 전술했듯이 수직으로 놓인 경우는 내부의 열전달이 수평의 경우에

비해 활발히 일어나 그 온도 변화가 서서히 일어남을 알 수 있다. 이는 진공관 집열 튜브 내에 축열 장치가 수직으로 놓인 경우 냉각에 따른 온도 변화를 예측할 수 있는 기술적 데이터를 제공하고 있다고 할 수 있다.

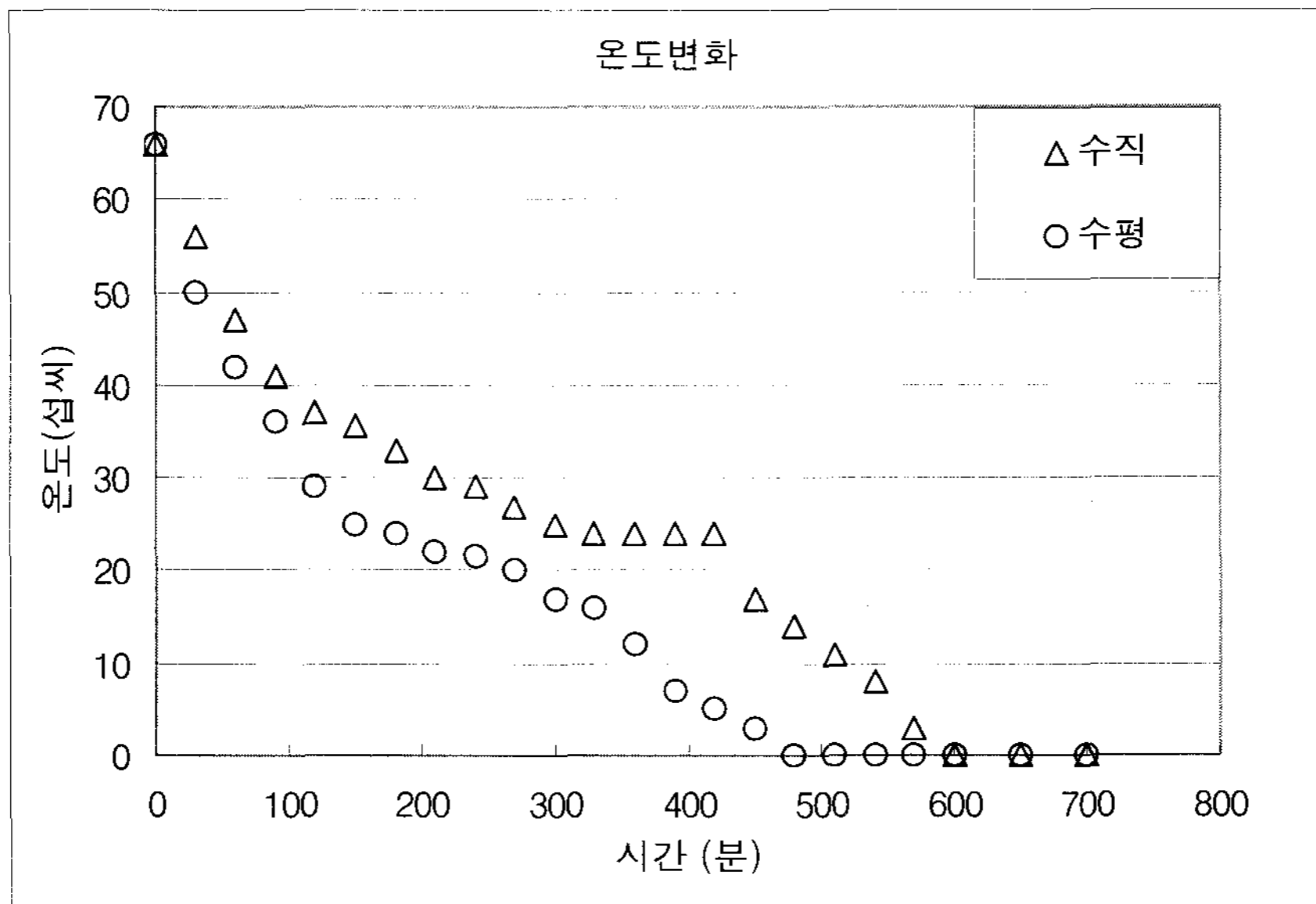


Fig. 11 수직과 수평의 경우 비교

5. 가변 축열 장치

본 연구에서는 상기의 연구 결과를 바탕으로 Fig. 12에 보인 바와 같은 가변 축열 유닛을 설계하였는데 오른쪽 끝에 달려 있는 스위치를 왼쪽으로 밀거나 혹은 오른쪽으로 당기거나 하여 상변화 물질의 열역학적 상태를 변화시켜 상변화를 유발시키는 디자인이다. 이 장치는 태양열의 효율적 집열 뿐만 아니라 태양열의 이용에 있어서도 그 열적인 응답성의 개선은 물론 이용의 편의성 제고에 그 목적이 있다. Fig. 12은 Fig. 11의 Design Concept를 적용하여 실제 제작에 착수한 가변

축열 장치의 한 예를 보여주고 있다. 가변 축열 장치의 PCM이라 표시된 부분은 두 종류의 축열재로 구성되는데 태양열의 적용 범위에서(100°C) 하나는 액상⇌고상의 변화를 다른 하나는 액상⇌기상의 변화를 일으키도록 되어있다. 물론, 액상⇌고상의 변화는 캡슐안에 밀봉되어 유동층을 형성하고 있는 축열재가 전술한 축열 효과에 의해 태양열을 저장하며, 액상⇌기상의 축열재는 축열과 함께 열스위치 그리고 액상⇌고상의 열역학적 조건을 제어하도록 파워피스톤과 실린더 장치에 충전되어 기능적으로 그 역할을 수행한다.

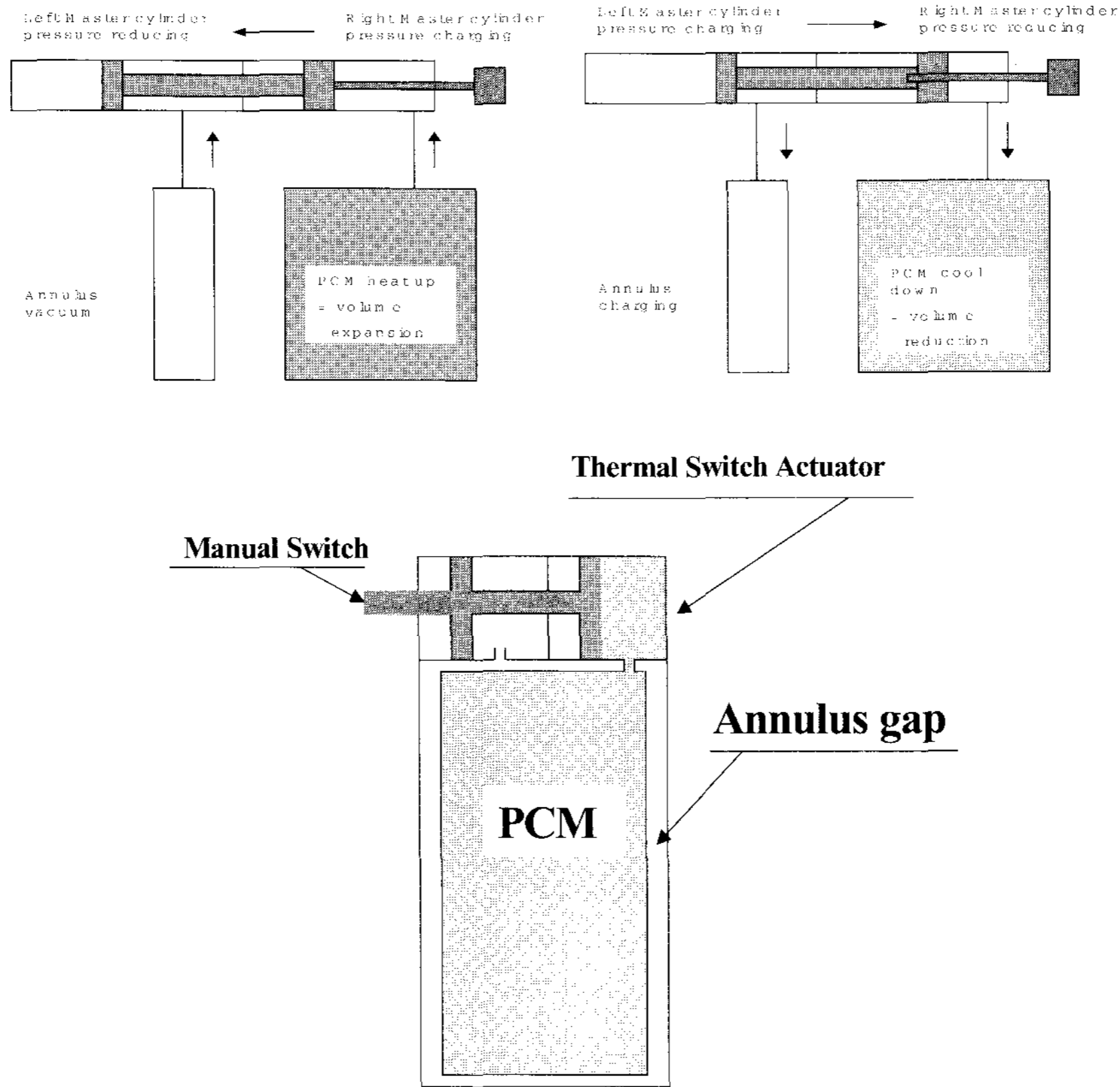


Fig. 12 가변 축열 유닛의 제작 예(특허 출원 제 10-2001-0061141호)

6. 결론

태양열 이용의 편의성 제고를 위하여 몇 가지 형상의 태양열 축열 장치를 설계하고 아울러 이에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 본 태양열 축열 장치의 특징은 태양열을 집열·저장하여 사용하는 데에 있어 그 이용의 편의성을 최대한 제고할 수 있도록 태양열 이용의 열응답성을 개선한 것이라 할 수 있다. 태양열 축열시 고효율성을 보장하고, 저장시 단열의 효과를 최대한 발휘할 수 있도록 하며 또한 발열시에는 열전달이 원활히 이루어지도록 조건에 따라 최적의 작동 상태를 유지하는 것이다. 본 연구에서는 실측을 통하여 이러한 태양열 축열 장치의 가능성을 확인하였으며 향후

태양열 적용의 확대에 대한 그 타당성을 검증하였다.

후 기

이 논문은 포항산업과학연구원(RIST)의 지원에 의해서 연구되었으며, 이에 관련 제위께 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. Kreider, J. F. and Kreith, F., Solar Energy Handbook, McGraw-Hill, 1981.

2. 한국에너지기술연구소, "태양에너지의 효율적 이용을 위한 상변화 물질의 미세캡슐화, 보고서, pp.111~142, (1996).
3. Wu Jinfu, Zou Huaisong, Zhang Jian and Fang Jun, "Experiments of All-Glass Evacuated Tubular Collector with U-Tube and Al Fin Manifold and Embodiment", ISES 1997 Solar World Congress, Vol. 2, pp.79~88.
4. 곽희열, et al., "미세캡슐 잠열재를 사용한 축열장판의 열성능 연구" 공기조화 냉동공학회, pp.978~983, (1998).
5. 홍성안, "열저장 시스템 개발에 관한 연구", 한국과학기술연구소, (1988).
6. 조금남, 정갑용, "원통형 축냉조내 구형 캡슐들의 축냉에 관한 실험 연구", 대한기계학회 논문집, 10, pp.2647~2656, (1995).
7. 최은수, "상변화 물질을 이용한 관내 대류열전달 향상에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp.419~422, (1995).
8. 서정세, 김찬중, 이준식, 노승탁, "구형용기내 고상의 하강운동을 고려한 용해과정의 해석", 대한기계학회 논문집, 17(10), pp.2601~2610, (1993).
9. Wongee Chun and et. al, "A Study on the Solar Heat Storage of Variable Heat Capacity," Int'l Comm. in Heat and Mass Transfer (in press).