

潛熱蓄熱시스템과 그 應用

金 榮 福

I. 서 론

1. 에너지의 저장

에너지의 저장은 에너지의 생산과 소비사이의 시간적 간격을 극복하기 위해서 필연적으로 따르게 된다. 전통적으로는 이러한 시간적 간격을 전기에너지나 열에너지의 저장보다는 연료의 저장이라는 방법으로 해결하였다. 저장된 연료는 높은 에너지 밀도를 가지고 있으며, 소비처 부근에서 열이나 전기 등으로 변환되어 사용되어 왔다. 에너지의 사용은 건물의 난방, 수송, 발전, 산업공정 등에서 이용되어지며, 그 에너지원은 나무에서 석탄, 그리고 천연가스와 석유로 옮겨왔다. 최근에는 발전용으로서 석탄, 석유, 우라늄이 주된 연료로서 사용되어 과거의 수력발전에 대체하여 왔다.

새로운 에너지원으로서의 전환은 사용의 편리함, 자원의 풍부함, 그리고 가격면에서 경제성 등의 입장에서 진행되어 왔으나, 석탄과 석유의 경우 에너지변환과정에서 발생하는 공해와 폐기물의 처리문제, 그리고 자원의 유한성이 문제되어 왔다. 또한 에너지원으로서 핵연료를 사용하는 문제는 안전성의 문제와 더불어 정치적인 문제, 폐기물처리의 문제 등과도 결부되어 있으며, 꿈의 에너지라고 부르는 핵융합발전이 실현되면 인류의 에너지문제를 해결할 수 있겠으나 이는 아직 해결해야 할 기술적 문제를 남겨 놓고 있다.

이러한 점증하는 에너지고갈과 공해의 현실적 문제는 소위 신 재생에너지의 폭넓은 개발에 대

한 요구를 자극하여 왔으며, 미래의 에너지로서 원자력발전을 위시하여, 태양에너지, 핵융합발전, 수소에너지, 풍력 및 지열 등에 대한 개발노력을 경주하고 있다. 그런데 대체 에너지는 그 특성 때문에 공급상의 가변성과 에너지 밀도가 낮다는 문제가 있으며, 따라서 에너지의 저장을 통한 공급에 대한 신뢰성의 확보와 경제성의 문제를 해결하여야 한다. 불안정한 여러 에너지원으로부터 에너지저장시스템으로 저장된 에너지는 에너지의 사용 수요에 맞춰 여러분야로 출력을 할 수 있는 장점이 있다. 예를 들면, 전기의 효율적인 대규모 저장시스템을 개발한다면 전기 사용량이 적을 때 저장하였다가 피크타임 때 사용하면 발전시설을 피크타임기준으로 건설할 필요가 없으므로 그 비용을 절약할 수 있을 것이다.

열의 저장 기술도 날이 갈수록 그 중요성이 증가해 가고 있으며, 그것은 에너지공급이 불안정한 태양에너지의 이용에서 뿐만아니라 에너지원의 공급과 수요의 시간적차이가 예상되는 곳에서는 반드시 필요하게 되는 것이다.

이러한 관점에서 본 강좌에서는 열저장의 방법을 개관하고, 잠열축열장치—“LTES(Latent heat Thermal Energy Storage)”라고 부르기도 한다—를 중심으로 그 시스템을 구성하고 있는 요소들의 특성과 장치에 대한 현황을 살펴본 다음, 그러한 시스템이 농업을 비롯한 여러 분야에 어떻게 이용되는가를 고찰해 본다.

그렇게 하므로써 잠열축열시스템의 개발과 응용을 확대하여 농업을 위시한 제산업분야에서의 열에너지의 효율적인 이용을 도모하고자 한다.

2. 열저장법과 잠열축열

열에너지의 저장에는 저장물질의 상태의 변화를 고려하여 기본적으로 현열축열(Sensible heat storage), 잠열축열(Latent heat storage), 화학반응축열(Thermochemical heat storage)의 세가지 방법으로 나눌 수 있으나, A.Abhat⁽³⁾는 화학반응축열은 잠열축열에 포함시키고 있으며, T.Saito⁽²²⁾는 현열축열, 잠열축열, 화학축열, 농도차축열로 나누기도 한다. 각각의 방법에 따라 저장물질의 단위체적당 또는 질량당 에너지의 저장량과 저장온도범위가 다르게 나타나며, 축열이나 방열시의 효율도 다르게 된다. 축열방법에 대한 자세한 비교특성은 참고문헌 1,2,3,18,22를 참고하기 바란다.

잠열축열에서 열에너지는 축열물질의 상변화, 즉, 상태의 가역변화에 의해 내부에너지의 형태로 축열물질에 저장되며, 固相-液相변화(Solid Liquid Transition)에 의한 방법이 주로 사용되어 왔다. 液相-氣相(Liquid-Gas), 固相-氣相(Solid-Gas)변환에 의한 방법도 가능하지만 기체상태는 체적이 커지므로 어려움이 있다. 한편 최근에는 固相-固相변환에 의한 축열⁽¹⁸⁾과 그 응용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 많이 이용되는 고상-액상변환에 의한 열저장방법은 파라핀왁스나 무기염과 같은 화합물의 용해잠열을 이용하는 것으로 축열물질이 공급되는 열을 흡수하여 고상에서 액상이 되고, 열을 방출하면 액상에서 고상으로 상변화를 하게 된다. 이때의 상변화온도는 순수한 물질의 경우에 일정하기 때문에 이러한 축열방법은 일정한 온도에서 다량의 용해잠열을 저장할 수 있게 해준다.

뿐만아니라 상변화온도에서 다량의 열을 저장할 수 있다는 특성은 잠열축열재가 열의 완충작용도 할 수 있다는 것을 나타내며 고온의 열과 저온의 열을 상변화온도 범위의 열로 조절할 수 있다는 개념이 된다.

잠열축열방법이 상변화온도수준에서 다량의 열을 축열할 수 있다는 것은 축열장치의 크기를 줄일 수 있고, 固相-液相변화를 하는 물질은 용

점이 낮은 경우가 많으므로 태양열과 같은 저온열을 저장하는데 유리하다.

3. 잠열축열재

상변화과정에서의 잠열을 이용하여 축열에 이용되는 물질을 분류하면 그림1과 같으며⁽²⁴⁾, 대표적인 잠열축열물질을 잠열온도와 잠열량을 기준으로 나타내면 그림2⁽⁴⁾와 같다. 그런데 상변화 물질에 따라서는 상변화의 반복과정에서 발생하는 과냉현상과 가역적상변화사이클의 지속이 문제가 될 수 있는데 이는 상분리 등에 기인하게 된다. 축열물질의 이러한 불안정특성을 해결하기 위해 물질개량에 대한 연구가 다수 진행되어 왔으며 잠열축열장치의 설계상에도 이러한 문제를 고려, 상분리를 방지하는 방법도 연구되고 있다.

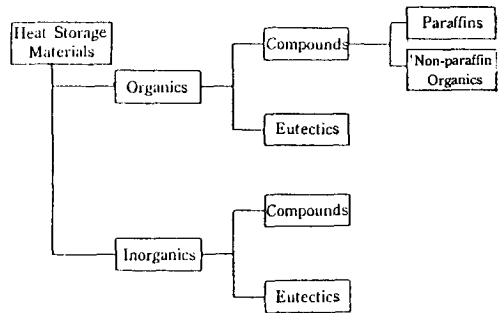


Fig. 1 Families of phase change heat storage materials⁽²⁴⁾

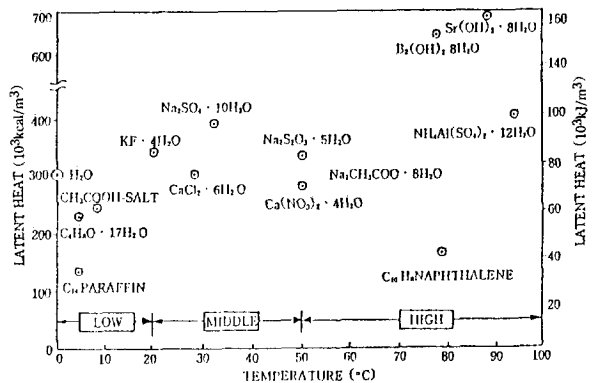


Fig. 2 Melting point and latent heat of PCM⁽⁴⁾

Table. 1 Corrosion investigations with selected phase change heat storage materials⁽³⁾

	Heat Storage Material	Phase Change temperature (°C)	Temperature level of melt during test (Apprax.) (°C)	Material of Construction						
				Stainless Steel 1.4501	Mild Steel 1.0330	Tin Plated Mild Steel	Copper	Al99.5	AlMg ₃	
Organics	1. Laric Acid	-	55	+	+	0	+	+	+	
	2. Wax Ester	58	80	+	0	0	+	0	+	
	Loxiol G 32									
Inorganic Salt Hydrates	3. LiClO ₃ · 3H ₂ O	8.1	20	0	0	+	0	0	0	
	4. CaCl ₂ · 6H ₂ O	29.7	50	+	+	0	+	-	-	
	5. Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	32.4	50	+	0	0	+	0	+	
	6. Na ₂ HPO · 12H ₂ O	35.0	55	+	+	0	+	-	-	
	7. Zn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	38.4	55	+	-	0	+	-	-	
	8. Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O	48.0	70	+	+	0	-	+	+	
	9. CH ₃ COONa · 3H ₂ O	58.0	60	0	0	+	0	0	0	
	10. Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	116.0	140	0	0	+	0	0	0	
	Inorganic Compounds eutectic	11. Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O (37wt%) Ng(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O (33wt%)		60	0	0	+	0	0	0
		12. Mg(NO ₃) ₂ · 6 H ₂ O (33Mol%) MgCl ₂ · 6H ₂ O (47Mol%)	59.1	70	+	-	0	-	0	0

Notation : + : Corrosion Resistant

- : Unsuitable

0 : Metal-PCM Pair not Investigated

a) Tests with Stainless Steel AISI-403

b) Test with 1% on Steel

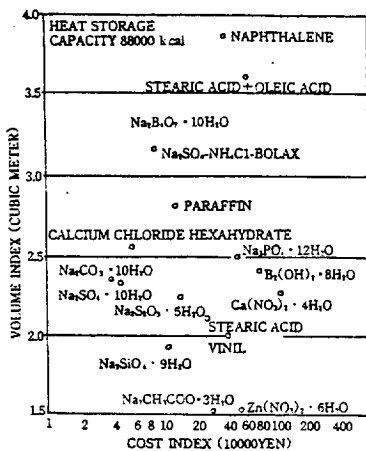


Fig. 3 Volume and cost of phase change materials⁽⁴⁾

또한 물질에 따라서 축열장치를 구성하는 재료를 부식하는 경우도 있으므로 그 관계를 고려, 장치를 설계하여야 하며 관련자료는 표1⁽³⁾에 나타나 있다. 그림3⁽⁴⁾에는 약 88000 kcal의 열을 저장하는데 필요한 축열재의 비용이 나타나 있다.

II. 잠열축열장치

1. 잠열축열형 열교환기의 구비조건

잠열축열장치는 일종의 열교환기로서 대개 다

음과 같은 조건을 만족시켜야 한다⁽³⁾. 첫째, 빠른 시간내에 축열과 방열이 이루어지도록 높은 열이동율을 가져야 한다. 대부분의 잠열축열재의 열전도율이 아주 낮기 때문에 이러한 열이동율에 대한 구비조건은 만족시키기가 쉽지 않으나 축열물질내에 높은 열전도율을 갖는 금속재 환을 부착하거나 축열물질을 교반시키든가 하는 방법, 강제대류나 자연대류를 유발하는 방법 등이 있다.

둘째, 축열과 방열시의 온도구배가 작아야 하는데 이러한 조건은 넓은 열전달표면을 구성하거나 축열물질내에서 작은 열전달통로를 갖는 방법에 의해서 얻을 수 있다.

셋째, 열교환기는 높은 열확산율을 가져야 한다.

2. 잠열축열장치의 구성요소

잠열축열장치를 구성하는데 필수적인 요소는 첫째, 열저장물질로서 축열과 방열과정에서 상변화를 하게 되고 상변화온도에서 다량의 열을 저장하게 된다. 둘째, 축열재를 보존할 수 있는 용기가 필요하다. 셋째, 열교환표면적이 필요하게 되며, 이를 통하여 발열원에서 축열재로, 축열재에서 흡열원으로 열을 전달해 주게 된다.

그림4⁽³⁾는 잠열축열장치를 개발, 설계하는 과정을 나타낸 것이다.

3. 잠열축열형 열교환기의 분류

잠열축열형 열교환기는 몇가지 관점에서 각각 다음과 같이 분류할 수가 있다.

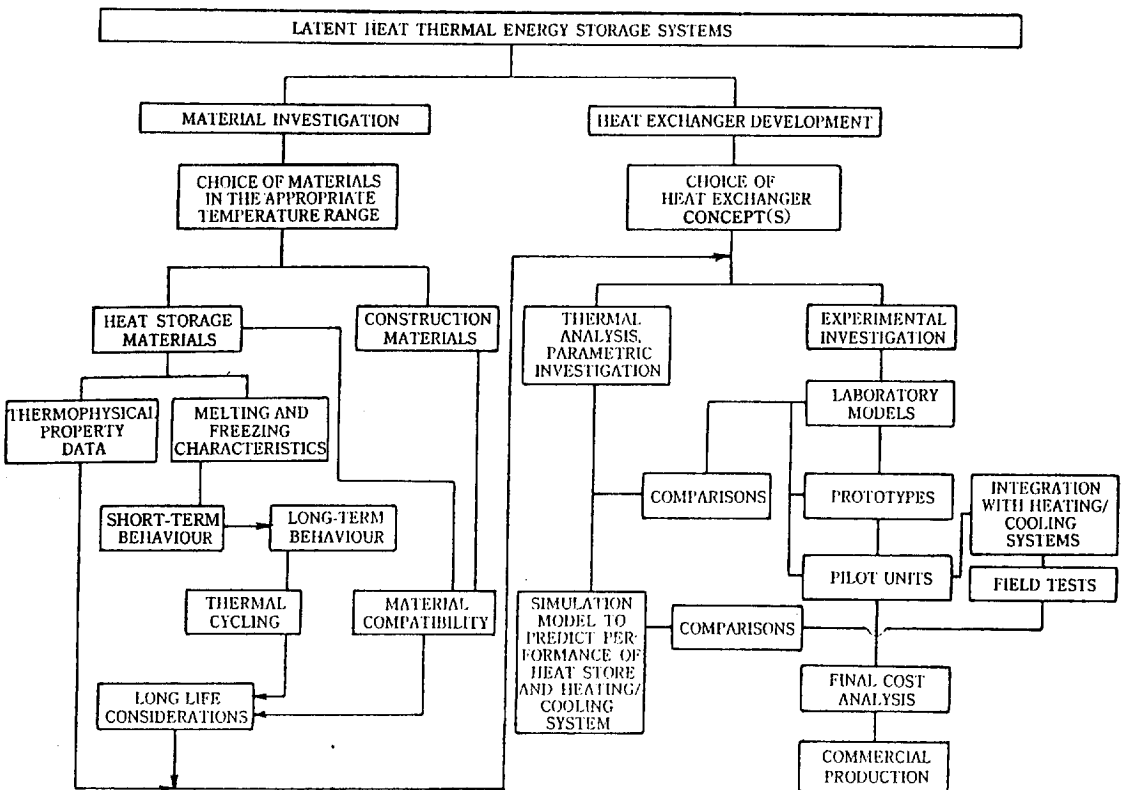


Fig. 4 Flowchart providing an overview of the various steps in the development of a latent heat storage system.⁽³⁾

가. 운동형태에 따른 분류⁽³⁾

1) 수동형(Passive type)

이 방식은 운동부분을 가지지 않은 형태로서 전형적인 것은 직경($\phi 30-50\text{mm}$)이 작은 관(Tubes)이나 평판(H 20-30 mm)으로 구성된다. 관의 배치는 管筒形(Shell and tube type)에서 처럼 열전달유체가 관사이의 공간으로 흐르도록 배열하든가 때로는 관외부에 잠열축열재를 충전하는 경우도 있다. 그림5의 B)는 판형의 용기에 축열재가 밀봉되어 있으며, 이러한 구조의 예로서 미국 Delaware대학의 태양열난방시스템이 있는데 이 대학에서 구성한 잠열축열시스템은 294개의 평판형용기를 가지고 있으며, 그 크기는 $520 \times 520 \times 25\text{mm}$ 였다. 그 속에는 3000kg의 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 를 충전하였다. 그리고 열전달유체가 통과하도록 인접평판용기와의 사이에는 10mm의 간격을 지니는 구조로 되어 있다.

잠열축열장치의 전열효율을 높이기 위하여 흰을 부착한 경우를 살펴보면 그림6은 원통캡슐내에 축열재가 들어 있고 가운데 원관 주위에 방사상으로 흰이 붙어 있는 경우이며⁽²⁰⁾, 그림7은

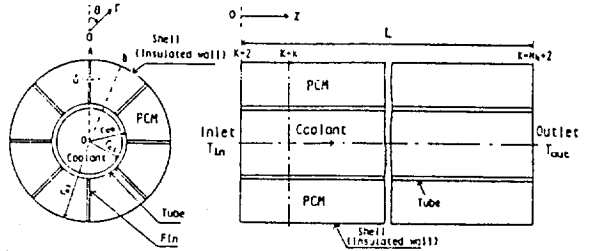


Fig. 6 Latent heat storage unit

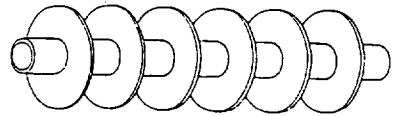
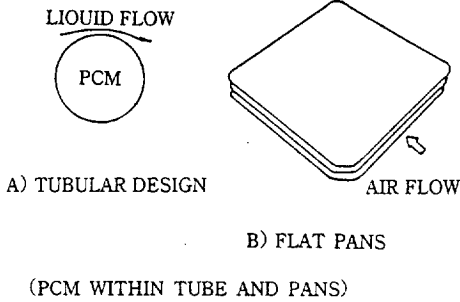


Fig. 7 Circle finned tube⁽²⁰⁾

A. PASSIVE HEAT EXCHANGERS



동심원상으로 흰이 붙어 있는 경우⁽¹⁶⁾이다. 이러한 흰부착 잠열축열장치에서의 상변화과정을 나타내고 있는 한 예가 그림8,9⁽⁸⁾에 나타나 있다. 그림을 보면 용고시에는 전도에 의해 열전달이 지배되는 것을 보여주고 있으며, 용해과정에서는 전열이 촉진되어 상부가 많이 용해되는 것을 나타내고 있다. 그림10⁽²¹⁾에는 평판형의 경우 흰을 부착한 경우를 나타내고 있다.

B. ACTIVE HEAT EXCHANGERS

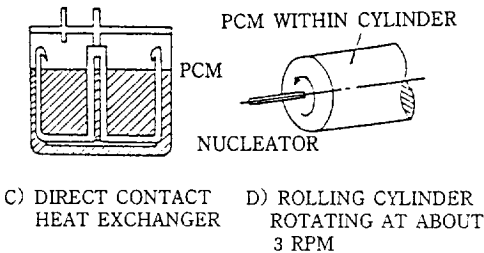


Fig. 5 Type of heat exchanger geometries considered for LTES system⁽³⁾

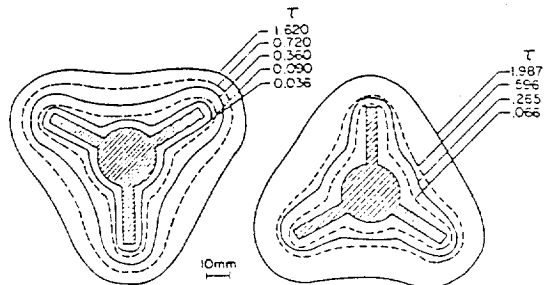


Fig. 8(a) Arrangement A, Ste=0.251, Ra₁=2.5×10⁴ Fig. 8(b) Arrangement B, Ste=0.185, Ra₁=7.2×10⁴

Fig. 8 Experimentally determined solid region contours⁽⁸⁾

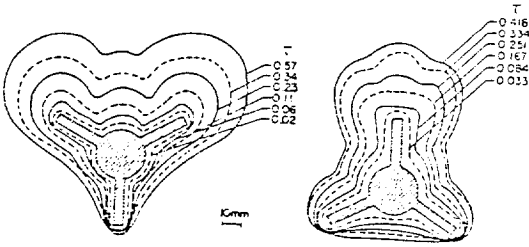
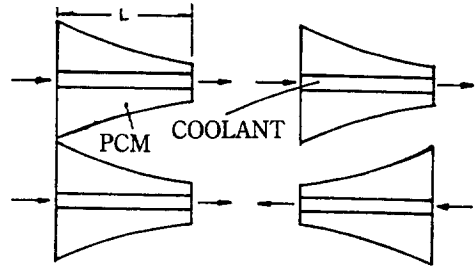


Fig. 9(a) arrangement A, Ste=0.179 Fig. 9(b) Arrangement B, Ste=0.262

Fig. 9 Experimentally determined liquid region contours during melting⁽⁸⁾

한편 열교환유체의 흐름방향에 따라 여러가지의 형태가 있을 수 있으며 그림11⁽²³⁾은 다관식 잠열축열장치로서 열교환 유체의 흐름방향에 따라서 상변화현상이 다르게 나타남을 보여주고 있다.



(a) CO-CURRENT FLOW (b) COUNTER-CURRENT FLOW

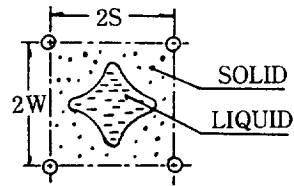


Fig. 11 Schematic of shell-and-tube PCM heat exchanger showing three-dimensional nature of solidation

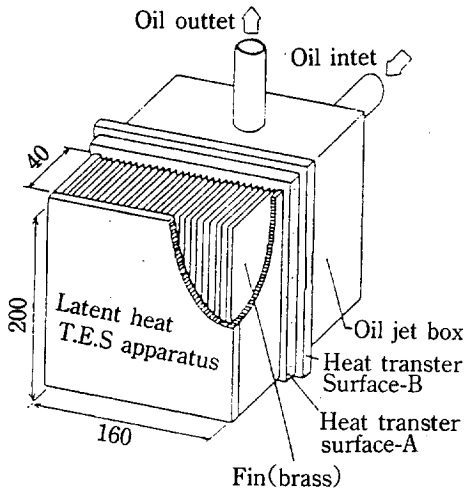


Fig. 10 Experimental apparatus⁽²¹⁾

그림12-13^(7,15)은 미국 North Carolina State Univ.에서 만든 잠열축열장치로서 장치내부에는 벌집형판넬이 들어 있으며 그 사이에 축열물질인 n-Eicosane($T_m=35.8^\circ\text{C}$, $H_f=250 \text{ kJ/kg}$)이 충전되어 있다. 벌집구조는 육각형으로서 축열물질이 들어 있는 내부에는 약 10%의 여유공간을 두어 축열재의 상변화에 의한 체적팽창에 대비하고 있다. 열교환유체는 물을 사용하였고 시간에 따른 물의 온도변화는 그림14와 같다. 그

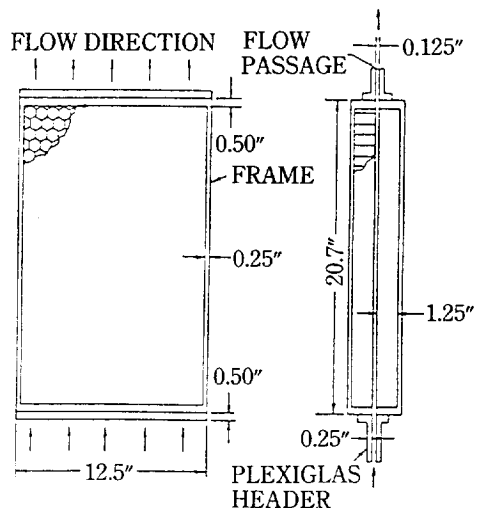


Fig. 12 Schematic diagram of thermal capacitor⁽⁷⁾

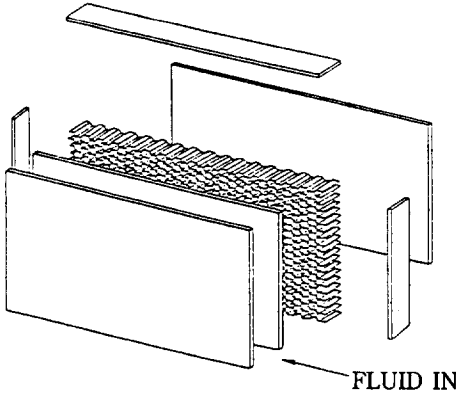


Fig. 13 Exploded view of one half of the paraffin-filled latent-heat storage unit tested at North Carolian State University⁽⁷⁾

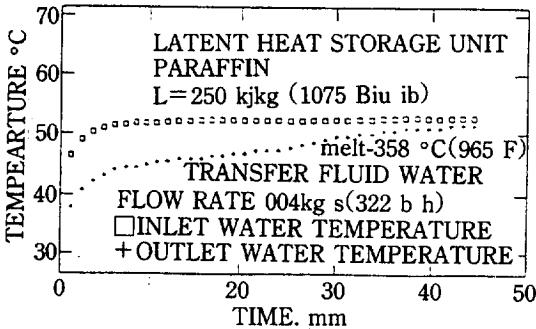


Fig. 14 Variation of inlet and outlet fluid temperatures for a typical transient test on the paraffin-filled latent heat storage unit⁽⁷⁾.

2) 능동형(Active type)

능동형 잠열축열장치는 장치에 운동부분을 가진 형태로서 그 일반적인 원리는 축열용 상변화 물질을 교반시켜 주는 것이다. 이러한 방법은 무기수화염의 전형적인 현상인 상분리를 방지해 줄 뿐만 아니라 열전달율을 증진시켜주는 효과도 있다. 그림5의 C)와 D)에 두가지 형태의 능동형 잠열축열장치가 나타나 있다.

C)는 직접접촉형(Direct contact type)으로서 축열물질과 전열유체가 서로 직접 접촉, 혼합하는 방법에 의한다. 태양열 등의 방법으로 가열된 오일은 상변화물질의 고상내의 미세한 구멍을 통하여 뿜어내어진다. 수많은 오일방울은 넓은

전열표면을 형성하여 그 자신이 가진 열을 주위의 축열물질에 전달하게 되고 이에따라 축열물질은 빠른 속도로 용해된다. 상변화물질이 일부 녹게 되면 오일분사는 액상내에서 난류효과를 일으키게 되어 전열을 촉진시키게 되고 상분리 현상을 방지하는 효과도 가져오게 된다. 장치로

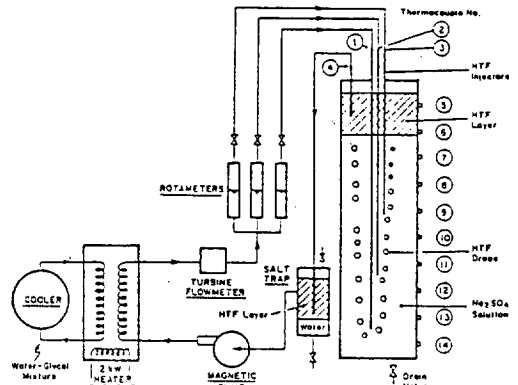


Fig. 15 Schematic diagram of the pilot energy storage system⁽¹³⁾

부터 열을 방출할 때는 차가운 오일이 액상의 축열물질로 분사되며, 이에따라 축열물질은 오일에 열을 빼앗기고 고상이 되어 액상내에서 용기바닥으로 하강, 집적된다. 그림15는 캐나다의 National Research Council에서 연구한 시스템으로서⁽¹³⁾ 사용재료 및 실험조건은 표2와 같다.

그림5의 D)는 소위 회전실린더형(Rolling cylinder system)으로서^(3,12), 연구되고 있는 방법은 실린더내에 잠열축열물질로서 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 를 충전하고 실린더를 축방향으로 약 3rpm으로 회전시킨다. 실린더를 회전시키므로써 그 속의 축열재의 온도를 균일하게 유지시켜주고 벽체의 온도에 접근시켜준다. 또한 축열재의 응고시에는 벽면에서 응고가 되는 것이 아니라 액상내에서 핵(Nuclei)이 형성되어 結晶化한다는 것으로서 응고율을 높이기 위해 造核돌기(Nucleator)라고 부르는 얇은 관구조체를 회전용기의 한선단으로부터 삽입하여 그 속에 종자결정체(Seed crystals)를 공급해 주는 방법을 취하고 있다. 회전실린더는 그림16에서처럼 여러개를 조합할 수도 있음을 보여주고 있다⁽¹²⁾.

Table. 2 The characteristics of materials

	Glauber's Salt ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	Biswas' Mixture (68.2wt $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + water)
Heat transfer fluid outlet temperature		28°C
circulation rate		1.1 l/sec
drop size		2.5mm/10mm
Storage vessel height of salt phase		0.50m/2.17m
volume of salt phase	0.86 m ³	1.49 m ³
diameter of cylindrical vessel required for 10mm drops	0.71 m	0.94 m

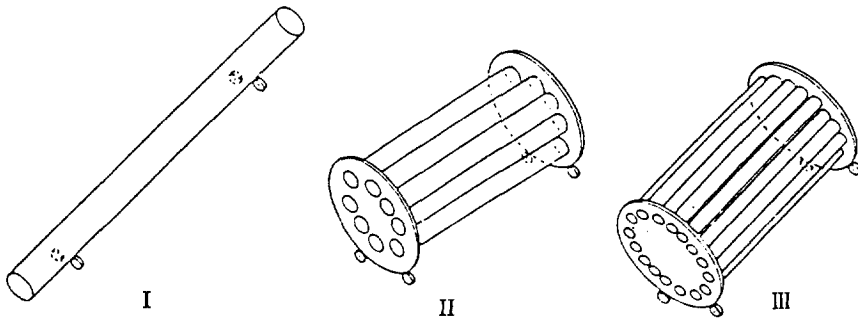


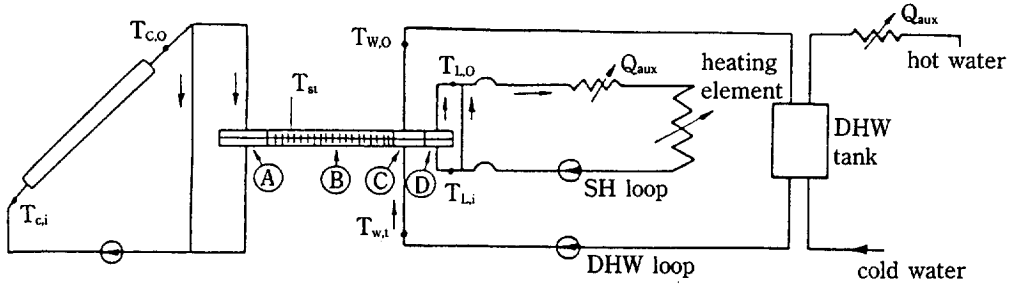
Fig. 16 Some rolling cylinder design options with differing rotational drive energy requirements. Design 1 has a cylinder dia. of 61cm(2 ft). Design 2 has the same internal volume but a cylinder dia. of 30.5 cm(1 ft) which reduces the drive energy to about 1/2 that of design 1. Design 3 also has the same internal volume but a cylinder diameter of 15.3cm (1/2 ft) which reduces the drive energy to about 1/4 that of Design 1. Designs 2 and 3 are 1/2 the length of Design 1. Design 3 shows 1/2 the necessary number of cylinders.⁽¹²⁾

3) 輻射 히트파이프(The finned heat pipe heat exchanger)

輻射히트파이프형 잠열축열장치는 일종의 수동형(Passive type)으로서 독일 스투트가르트 의 에너지 및 에너지시스템연구소⁽³⁾에서 연구되고 있는 형태이다. 이 방법의 큰 장점은 모듈설계와 응용상의 가변성인데 태양열집열기에 이용

할 때는 열전달 매개물로서 공기나 액체, 모두 사용할 수 있다.

그림17⁽³⁾은 輻射히트파이프를 태양열난방 시스템에 이용한 것이다. 히트파이프는 4개의 영역으로 나누어지며 그림에서의 A영역은 태양열집열기의 유체와 접촉하며 B는 저장용기, C는 고온수회로, D는 공간난방회로에 연결되어 있



- Ⓐ Heat source region
 - Ⓑ Storage chamber
 - Ⓒ Heat sink region for hot water
 - Ⓓ Heat sink region for space heating
- SH loop-space heating loop
DHW loop-Domestic hot water loop
- $T_{c,i}, T_{c,o}$ = Inlet and outlet temperature of collector fluid
 T_{st} = Temperature of the heat storage material
 $T_{w,i}, T_{w,o}$ = Intet and outlet temperature of hot water
 $T_{L,i}, T_{L,o}$ = Inlet and outlet temperature of the fluid flowing through the heating element
 Q_{aux} = Auxiliary energy

Fig. 17 Integration of the finned heat pipe exchanger in a solar heating system ⁽³⁾

다. A영역으로 들어간 열은 히트파이프의 축방향을 따라 이동되어 B에 저장되거나 C와 D의 열부하요구에 따라 열교환 된다. 태양열에 의한 열의 공급과 사용처에서의 열부하에 대한 요구가 동시에 존재할 때는 그 양적인 차이에 따라 축열장치에 저장되든가 보조열원이 필요하게 된다.

통좌표계, 구좌표계로 구분하는 방법이다. 그림 18의 A)는 직교좌표계의 한 형태이다. 원통좌표계는 圓筒形캡슐內 또는 圓筒外에 잠열축열재를 충전하는 경우로서 그림18의 B)와 C)의 경우가 그것이다. 그림19⁽²²⁾는 球좌표계가 적용되는 구형캡슐내에 잠열축열재가 충전된 것으로서 전열면적이 넓어서 유리하지만 캡슐화과정에서의 기술상 문제가 따른다.

나. 좌표계에 따른 분류

잠열축열장치를 분류하는 다른 한 방법은 장치의 좌표계에 의한 방법으로서 직교좌표계, 원

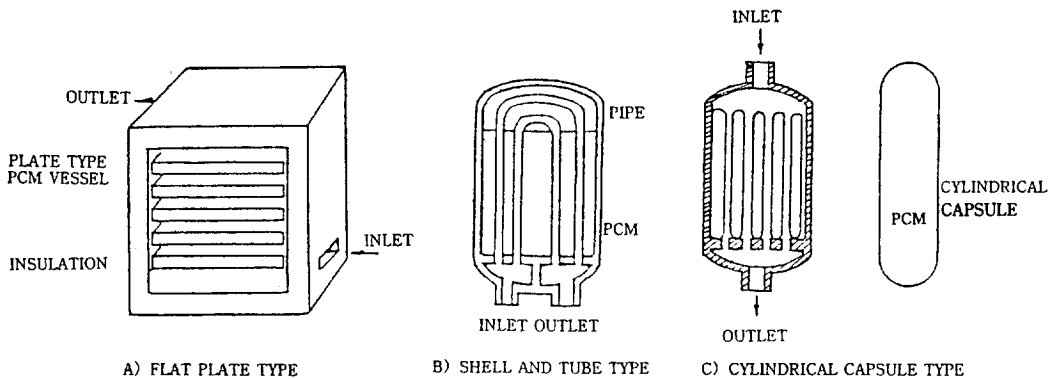


Fig. 18 MODEL TYPE OF LATENT HEAT STORAGE ⁽²²⁾

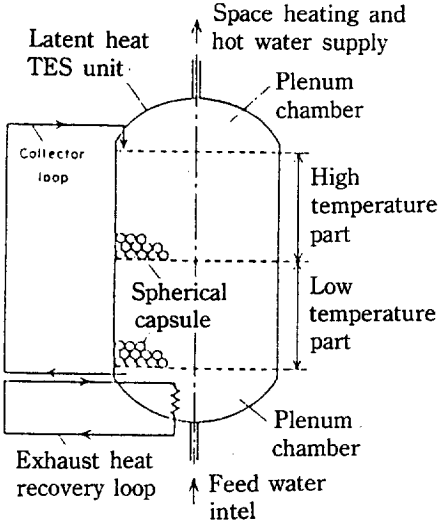


Fig. 19 Spherical capsule type latent heat thermal energy storage unit⁽²²⁾

4. 축열장치의 설치위치

축열장치의 설치위치는 현열축열의 경우에는 잠열축열보다 축열장치의 크기가 크기 때문에 그 특성을 설치시에 고려해야한다. 일반적인 설치위치는 그림20⁽²⁵⁾과 같이 볼 수 있으나 지진 등

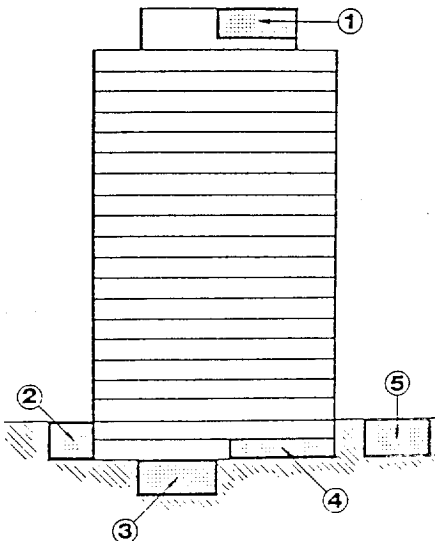


Fig. 20 Where to locate storage⁽²⁵⁾

지역상의 특성을 고려, 설치하여야 한다. 지상이나 지하에 설치하게 되면 축열장치와 건물내의 공간으로는 파이프를 통해 연결되며 이때는 펌프가 필요하게 된다. 만약 축열장치를 온실에 이용할 경우에는 온실의 지하, 온실내 또는 외부에 설치하는 방법들이 있으나 실내공간의 활용문제, 단열의 문제, 송풍기 등 부대설비에 따른 비용의 문제 등을 고려하여 검토해야 한다.

III. 잠열축열장치의 응용

1. 원예분야 이용

그림21과 22⁽⁶⁾는 1979년과 1980년 사이에 프랑스 CNRS태양에너지연구소에서 잠열축열장치를 온실에 적용하기 위해 만든 시설로서 잠열축열장치를 온실에 적용하므로써 난방비를 어느

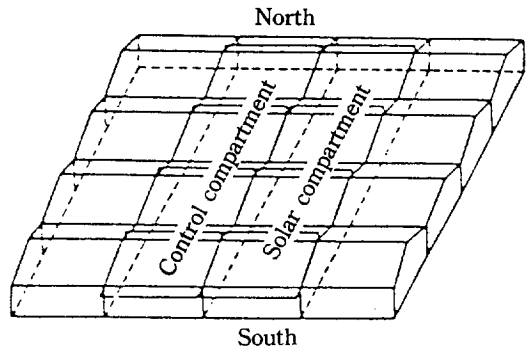


Fig. 21 Geometrical implantation of the two experimental compartments in the 2000 m-ridge and furrow greenhouse⁽⁶⁾

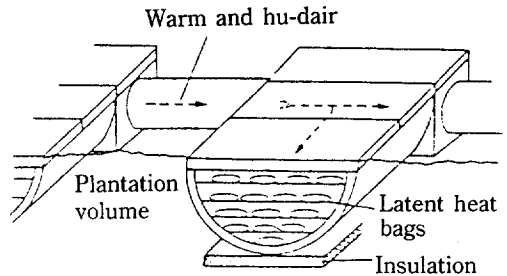


Fig. 22 Underground storage tunnel : oriented north-south, and equipped with a phase change material⁽⁶⁾

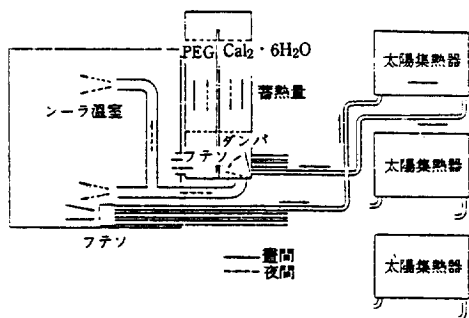


Fig. 23 Plain view of the solar collector type greenhouse⁽²⁶⁾

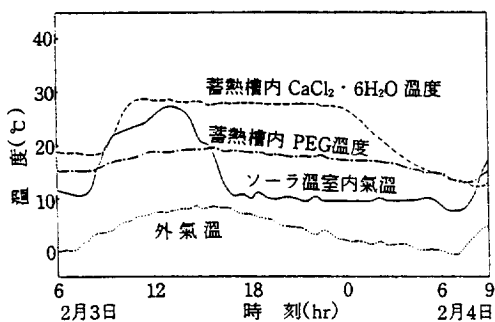


Fig. 24 Temperature changes in the solar collector type greenhouse⁽²⁶⁾

정도 절약할 수 있을 것인가를 알아보기 위한 것이다. 500 m²의 장미재배용 온실에 적용된 이 실험은 태양에너지가 공기를 매개로 하여 지하에 설치된 잠열축열시스템에 저장되었으며, 그 결과가 제어온실에 비교되었다. 잠열축열재는 13.5톤의 CaCl₂ · 6H₂O를 체적 1dm³의 bag 9000 개에 넣어 이를 500 m²의 온실지하에 설치하였

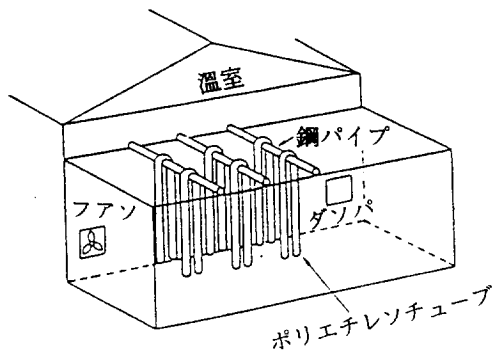


Fig. 25 Solar greenhouse with a storage unit⁽²⁶⁾

다. 제어온실은 태양열잠열온실에 비해 약 80%의 프로판가스가 절약된 것으로 나타났다. 태양열시스템이 제어온실보다 비용이 많이 들었으나 보다 융점이 낮고 축열재의 캡슐화기술이 진전되면 태양열잠열시스템이 유리할 것으로 보고하였다.

그림23-26⁽²⁶⁾은 일본동경대학에서 연구한 시스템으로서 잠열축열시스템이 온실의 실내온도에 미치는 영향을 잘 나타내 주고 있다.

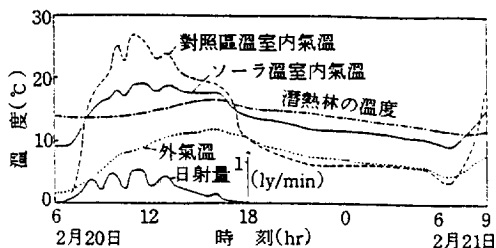


Fig. 26 Temperature changes in a solar greenhouse with a storage unit⁽²⁶⁾

2. 축산분야 이용

그림27과 28⁽¹⁰⁾는 프랑스와 페루의 연구팀이 페루의 고산지대(3000m, 130south.lat.)에 설치한 잠열축열시스템을 이용한 鷄舍를 나타내고 있다. 여기서는 출생일에서 4주까지의 사육을 위한 시설로서 그 환경조성을 위해 태양열과 잠열축열시스템을 조합한 것이다. 구조물은 어도 우비벽돌로 구성되고 지붕에는 태양열집열장치를 설치하였는데 그것은 그림에서 보는 바와 같이 유리플레이트아래 파라핀왁스의 용기를 가지고 있는 구조로 되어 있다. 표3는 재래식의 석유에 의한 방법과 실험상의 잠열축열시스템과의 여러성능을 비교하여 나타내고 있으며, 표4는 생산물인 닭의 성장속도를 나타내고 있다. 계사내의 최고 온도는 재래식에 비해 실험방식이 높은 것을 알 수 있으며, 재래식에 비해 균일가열면적이 넓기 때문에 닭의 활동영역이 넓어져서 모이를 왕성하게 먹게 하며, 이에따라 성장속도가 빠르게 될 수 있다고 보고하고 있다.

Table. 3 Comparison of the room temperatures for a traditional brooder and the solar brooder

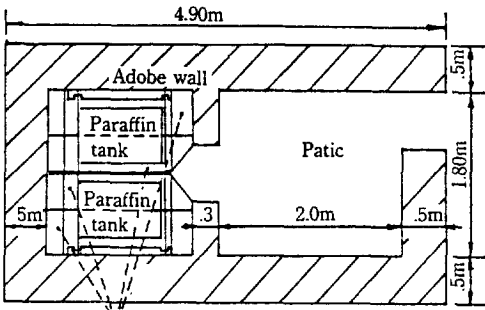
Traditional kerosene brooder	Minimum room temperature T_{RM} °C		Maximum room temperature T_{RM} °C	
	Mean-value	Stand-Dev.	Mean-value	Stand-Dev.
	14.45	1.50	23.45	0.99
Solar Brooder	Minimum room temperature T_{RM} °C		Maximum room temperature T_{RM} °C	
	Mean-value	Stand-Dev.	Mean-value	Stand-Dev.
	12.10	1.01	24.66	2.46

Table. 4 Solar brooder balance

Days of breeding	Number of chickens	Total weight of the chickens	Total weight of food, from the 1 st day	Average size of the animals ("castellana Negra" race).
1	92	4		
5	83*	4.540	2.550	
9	82	5.970	5.100	7.5→10cm
17	82	10.100	16.600	10→13cm
24	82	14.990	30.100	11→14cm

*9 died from pullorosis, which was brought from outside, with the chickens.

- Total water consumption during the 24 days : 33.5 liters.



Mobile mirrors (day position)

Fig. 27 Horizontal cross-section of the installation⁽¹⁰⁾

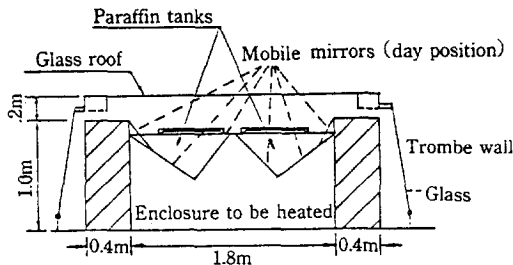


Fig. 28 East-west vertical cross-section of the solar enclosure⁽¹⁰⁾

3. 건물벽체에의 이용

잠열축열물질을 건물의 벽체구조물로 활용하는 경우 이를 "THERMAL WALL"^(9,13,14) - Phase change component material storage wall - 이라고 하는데, 이는 잠열축열체가 갖는 고밀도축열능력을 이용하는 것으로서 최근에는 Solid-solid transition과 같은 상변화특성을 이용한 잠열온도에 대한 연구가 忠北大, 慶尙大에서 연구되고 있기도 하다.

그림 29⁽⁹⁾는 프랑스 Odeillo에서 시험을 한 설비로서 그림 30에 파라핀왁스와 콘크리트를 이용한 벽체의 형태가 나타나 있다. 실험에서 A와 B는 결과가 비슷한 거동을 나타내었으며, 저장되는 열량은 A와 C가 비슷하였다. 그러나 단위 질량으로 볼 때 실험기간 중 콘크리트는 5.8 kJ/kg, A파라핀은 80 kJ/kg이었으며, 맑은 날씨를 기준으로 한 평균은 각각 9.9 kJ/kg, 140 kJ/kg이었다.

이 실험에서는 용기를 포함한 잠열축열시스템의 무게가 콘크리트시스템의 무게의 1/12정도였는데도 실내의 쾌적조건, 유용도, 평균일별열저장 등이 비슷하였음을 확인하였다. 벽체 A와 B에서 외부조건변화에 보다 민감한 변화를 보였는데 그것은 총열보유량이 적고 액상의 잠열축열물질 내에서의 대류현상에 기인하는 것으로 보였다. 연구팀은 A와 C벽체를 조합하여 사용하게 되면 외부변화에 대응한 시간지연의 측면 등 여러면에서 유리할 것으로 보고하였다.

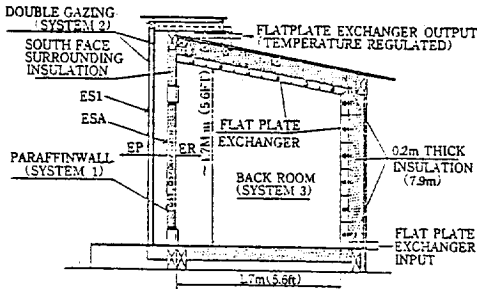


Fig. 29 East-West vertical cut of the test-cell with the main energy quantities (case of wall A) ⁽⁹⁾

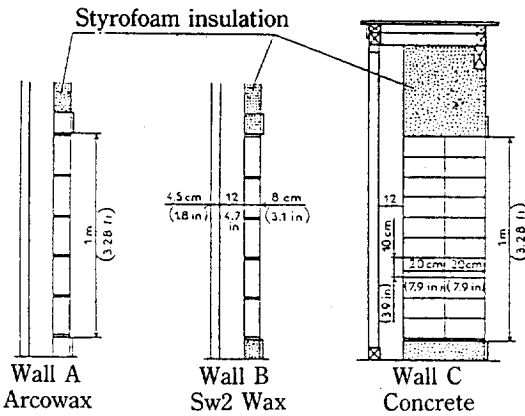


Fig. 30 East-West vertical cut of the front part of the test-cell for walls A, B and C ⁽⁹⁾

그림31⁽¹⁴⁾은 미국 Delaware 대학에서 실험한 THERMAL WALL PANEL을 나타내고 있다. 패널내에는 약 38mm의 관57개가 들어 있으며 그 속에는 축열물질로서 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 가 들어 있는 구조이다.

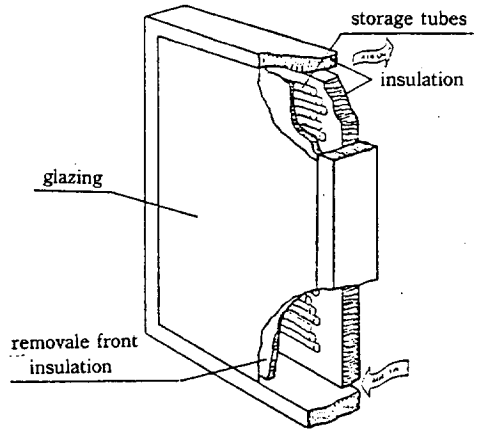


Fig. 31 Thermal wall panel with removable, night time insulation in place ⁽¹⁴⁾

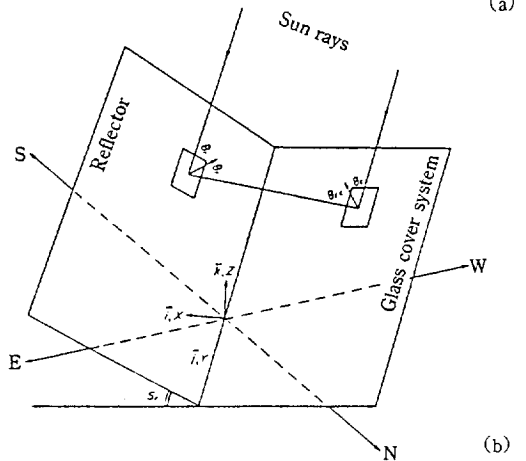
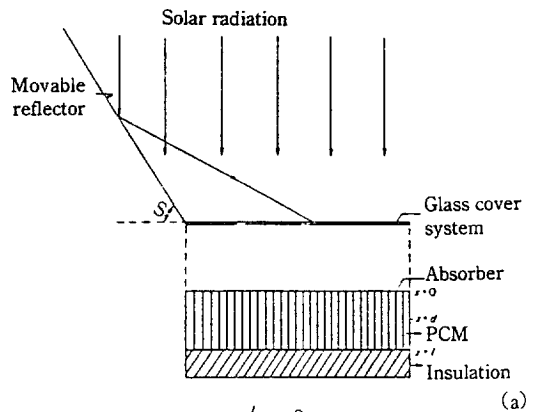


Fig. 32 Schematic diagram of a solar cooker with a reflector. (b) Geometry of glass cover system reflector combination ⁽⁵⁾

4. 태양열집열형 요리기

그림32⁽⁵⁾는 상단에 동작형 태양열집광반사경을 장치한 상자형요리장치를 나타내고 있다. 열저장물질은 4가지로서 실험하였으며 태양열공급이 중단되면 축열된 열을 사용하는 구조로 되어 있다. 그림33은 온도변화를 나타내고 있으며, 최고 140°C까지 상승하고 있는 것을 보여주고 있다. 그림34는 축열시간과 축열물질의 용해두께를 나타내고 있는데, 3시간이 지나면 6.5 cm가 용해되고 이후 완만하게 용해가 진행됨을 나타내는 바 한 층에서 다른층으로의 에너지흐름이 균일함을 보여주고 있다.

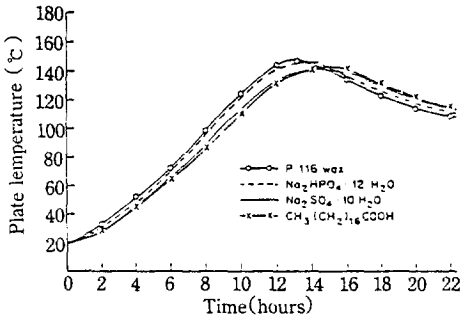


Fig. 33 Plate temperature variation with time for different PCMs(length of PCM column=0.08 m)⁽⁵⁾

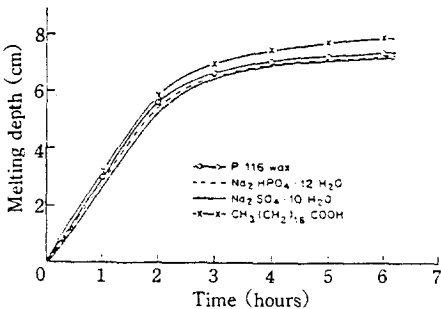


Fig. 34 Melting depth as function of time⁽⁵⁾

5. 수산, 공업, 토목분야 응용

잠열축열장치의 해석과 같은 이동경계단 문제는 산업 여러분야에서 나타나게 되며 그 해석상

의 원리를 적용할 수 있는 분야는 대단히 많다. 예를 들면 참치의 냉동과정을 예측하는 문제⁽¹⁷⁾, 용융금속의 응고문제, 지하에 매설된 관주위의 응고와 용해 등의 열전달 문제^(19,27) 등이다.

IV. 結 語

에너지의 공급과 수요사이의 시간적간격을 극복하기 위해서 그 저장은 필연적이며, 열에너지의 저장을 위해서는 잠열축열방법이 일정온도수준에서 다량의 열을 저장할 수 있으므로 축열장치의 크기를 줄일 수 있는 등의 장점이 있다. 잠열축열장치의 개발, 설계, 응용을 위해서는 잠열축열재와 열교환기에 대한 연구검토가 필연적으로 수반해야 하는 바 본란에서는 그 구성요소들에 대한 여러 특성을 개관하고 잠열축열시스템의 이용분야를 살펴 보았다. 앞으로 보다 효율적인 잠열축열시스템의 개발과 이용을 통하여 농업을 위시한 제산업분야에서의 열에너지의 효율적인 이용을 도모할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 金榮福. 1989. 熱에너지貯藏을 위한 潛熱蓄熱材(CaCl₂ · 6H₂O)의 熱特性研究. Ph.D Thesis. : 7-14
2. 宋鉉甲. 1986. 太陽에너지貯藏. 농촌열에너지연구보고논문집 2(1) : 101-119.
3. A.Abhat. 1980. Short term thermal energy storage. Revue Phys. Appl. 15 : 477-501
4. A.Abhat. 1983. Low temperature latent heat thermal energy storage : heat storage materials. Solar energy. 30(4) : 313-332
5. Aman Dang. 1985. An analytical study of a solar cooker augmented with a booster mirror, using PCM as storage. Energy Convers. Mgmt 25(3) : 255-261
6. Andre Jaffrin and Pascal Cadier. 1982. Latent heat storage applied to horticulture. Solar energy. 28(4) : 313-321

7. Bailey, J.A. et al. 1975. A solar energy storage subsystem utilizing the latent heat of fusion of paraffin hydrocarbons : a process report. Proceedings of the workshop on solar energy storage subsystems for the heating and cooling of buildings. : 75-84
8. Bathelt, A.G. and R. Viskanta. 1981. Heat transfer and interface motion during melting and solidification around a finned heat source/sink. Transaction of the ASME. J. of heat transfer. 103 : 720-726
9. Bernard, C. et al. 1985. Experimental comparison of latent and sensible heat thermal walls. Solar energy. 34(6) : 475-487
10. Benard, C. et al. 1981. Experimental results of a latent-heat solar-roof used for breeding chickens. Solar energy 26 : 347-359
11. Chandra, S. et al. 1985. Thermal performance of a non-air-conditioned building with PCCM thermal storage wall. Energy Convers. Mgmt 25(1) : 15-20
12. Carlyle S. Herrick. 1983. A series connected solar air heating system using the FMTC collector and the rolling cylinder heat storage. Solar energy. 31(2) : 191-199
13. Fouda, A.E., et al. 1980. Solar storage systems using salt hydrate latent heat and direct contact heat exchange- I. Solar energy. 25 : 437-444
14. Guceri, S.I. and S.F. Faunce. 1979. Modeling of a thermal wall panel using phase change materials. Energy. 4 : 695-699
15. Hill, J.E. et al. 1977. A method of testing for rating thermal storage devices based on thermal performance. Solar energy. 19 : 721-732
16. Imura, H. and M. Yoshida. 1986. 環状フィン付管を用いた潜熱蓄熱に関する研究. 日本機械學會論文集(B) 52(476) : 1843-1849
17. Katayama, K. and M. Hattori. 1975. Research on heat conduction with freezing. 1st and 2nd Report. Bulletin of JSME. 18(115) : 41-46. 21(160) : 1507-1513
18. Lane, G.A. Solar heat storage : Latent heat materials. CRC press. Vol.1 : 22-30
19. Lunardini, V.J. 1983. Approximate phase change solutions for insulated buried cylinders. Transaction of the ASME. J. of heat transfer. 105 : 25-32
20. Sasaguchi, K et al. フィンチューブ形潜熱蓄熱装置の傳熱特性. 第1報, 第2報. 日本機械學會論文集(B) 52(473) : 159-173
21. Saito, A. et al. 1986. A study on the heat transfer of latent heat thermal storage. Bulletin of JSME. Paper No.249-28 : 845-853
22. Saito, T. and K. Hirose. 1985. 球カプセル潜熱蓄熱ユニットの性能シミュレーション. 日本機械學會論文集(B) 51(466) : 1867-1873
23. Shamsunda, N. and R. Srinivasan. 1980. Effectiveness-NTU charts for heat recovery from latent heat storage units. J. of solar energy engineering. 102 : 263-271
24. Solar Systems. 1986. 蓄熱槽を小型にする“潜熱蓄熱材”. Solar Systems. No.30 : 16-20
25. Tamblyn, R.T. 1975. The case for thermal storage. Proceedings of the workshop on solar energy storage subsystems for the heating and cooling of buildings. : 109-118
26. Takakura, T. et al. 1984. 太陽熱利用各種集・蓄熱資材及び装置の評価とその利用. 太陽エネルギーの熱光利用技術. GEP No.2 : 42-53
27. Zhang, G.-P. 1986. An Approximate three-dimensional solution for melting or freezing around a buried pipe beneath a free surface. Transaction of the ASME. J. of heat transfer. 108 : 900-906