

자갈식 축열조의 축열특성에 관한 연구

박정원* · 박봉규* · 안상규**

* 유한공업전문대

** (주)범건축

A study on the Thermal Characteristics of a Thermal Storage Tank for using Gravels

Park, Jung-Won* · Park, Bong-Kyu* · Ahn, Sang-Kyu**

* *Yu-Han Technical College*

** *Baum Architects Engineers Consultants*

요 약

본 연구의 목적은 건물의 냉난방에 이용되는 현열이용형 축열조의 축열특성을 규명하는데 있었다.

실험에 사용된 축열재는 자갈이었으며 일정한 온도조건하에서 축열재 사이를 통과하는 유체의 유동속도와 자갈의 크기별로 실험을 하였다.

자갈의 크기와 유속을 변화시켜 축열량과 축열효율을 실험적으로 구한 결과 축열재의 충전율이 72.5%이고 유속이 0.14m/s일 때가 최단시간 내에 최대축열량에 도달하였으며, 축열효율도 가장 높았다.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the fluid flow characteristics of heat storage in sensible heat storage system for use in cooling and heating of buildings.

Heat storage material was gravels and experiments were performed in the condition of constant temperature. The experimental parameters were fluid velocity and size of gravels.

The experimental results of the heat storage quantity and the heat storage efficiency by the variation of packing size and fluid velocity were as the follows :

The maximum value of the heat storage capacity and heat storage efficiency and the minimum arriving time for maximum heat storage were observed when the packing ratio was 72.5% and the fluid velocity was 0.14m/s.

<기호설명>

A	: 면적	(m ²)
C _p	: 정압비열	(kcal/kg°C)
d _e	: 유체통로 상당직경	(m)
d _s	: 축열조내경	(m)
h	: 열전달계수	(kcal/m ² hr°C)
m	: 질량유량	(kg/s)
Nu	: Nusselt수	
Pr	: Prandtl수	
q	: 표면의 열전달율	(kcal/hr)
Q _i	: 유입열량	(kcal/hr)
Q _o	: 유출열량	(kcal/hr)
Q _s	: 축열열량	(kcal/hr)
Re	: Reynolds수	
T _a	: 공기온도	(°C)
T _{fi}	: 입구유체온도	(°C)
T _{fo}	: 출구유체온도	(°C)
T _s (θ)	: 표면온도	(°C)
U	: 유속	(m/s)
v ₆₀	: 60°C인 공기의 동점성계수	(m ² /s)
η	: 축열효율	(%)

<Subscript>

f : 막온도

1. 서론

1-1. 연구배경과 목적

1980년대 이후 우리나라는 빠른 고도성장으로 보다 나은 쾌적한 생활환경을 누리기 위하여, 지구상에 현존하는 에너지원 확보에 선진 각국과 보이지 않는 경쟁을 하여왔다.

특히 1970년대 2회에 걸친 석유과동으로 高物價의 어려움을 겪었던 우리나라에서는 에너지 소비증가에 따른 에너지절약 목적으로 「대체 에너지 개발촉진법」을 立法化하여 대체 에너지의 활용 및 기존 화석연료 에너지의 효율적인 이용에 박차를 가하고 있다. 따라서 保健用 空氣調和

設備에서 에너지의 효율적 이용을 목적으로 최근 건물의 태양열이용 축열난방방식에 사용되는 현열이용형 축열방법과 잠열이용형 축열방법에 대하여 많은 연구소와 대학에서 체계적인 연구계획을 수립하여 蓄熱效率 향상을 위한 노력을 계속하여 왔다.

본 연구는 이러한 시대적 요구에 부응하기 위하여 건물의 蓄熱式 공기조화 설비에 이용되고 있는 蓄熱材의 槽內 傳熱特性을 분명히 하고, 蓄熱槽의 容量設計를 쉽게 할 수 있는 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

1-2. 熱源機器의 容量縮小와 高效率運轉

축열식 공기조화 설비의 개략도를 Fig. 1에 圖示하였다.

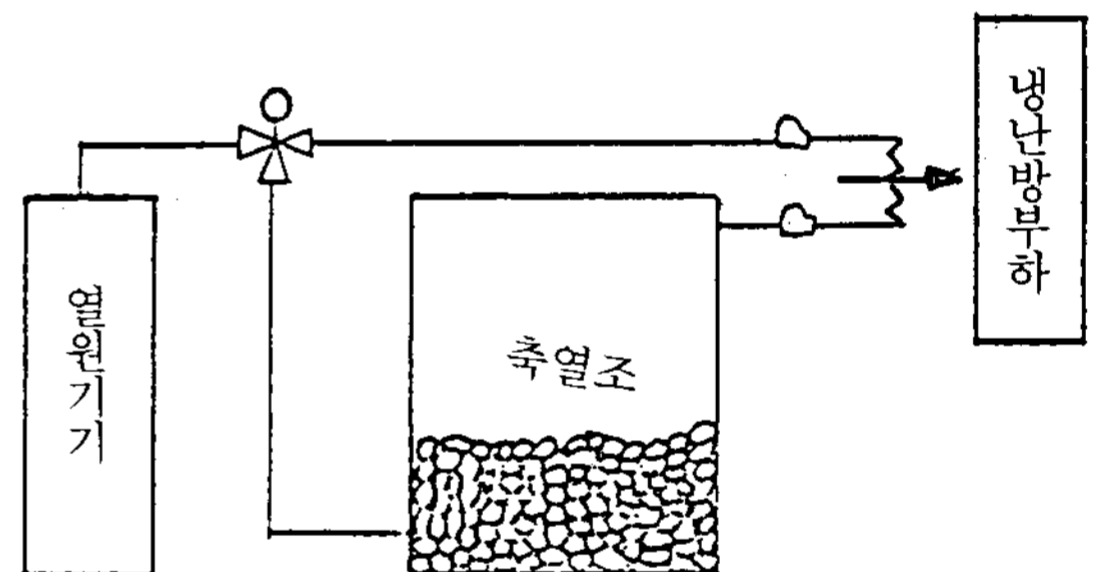


Fig. 1 축열식 공기조화 설비의 개략도

매년 여름 냉방수요의 증가로 인하여 1年中 전력수요가 최대가 되어 한낮 공장 및 대형건물 등의 전력 대량수요자에 대해 전력사용을 줄이도록 요청 한다든가, 또는 절전운동을 벌이곤 한다. 따라서 전력회사는 1日中 최대부하시 전력의 수요를 줄여 발전설비의 합리적인 운영을 꾀하기 위해 심야전력의 이용을 권장하고 있다. 그러므로 공기조화 설비에도 축열조를 이용하여, 열원기기의 운전시간대 변경으로 심야할인요금을 적용시키므로써 운전경비를 節約할 수 있다.

공기조화 설비의 실제 설계에서는 먼저 夏期·冬期の 최대 냉·난방부하가 되는 時期의 시간별 부하로 하므로, 축열조가 없는 경우 열원기기는 그날의 최대부하를 처리할 수 있는 용량으로 할 필요가 있다. 특히 1年中 최대 냉·난방부하로

되는 몇일을 제외한 대부분의 날에는 1일중 그 시각의 부하에 대응하는 低負荷運轉을 하여야 한다.(Fig.2)

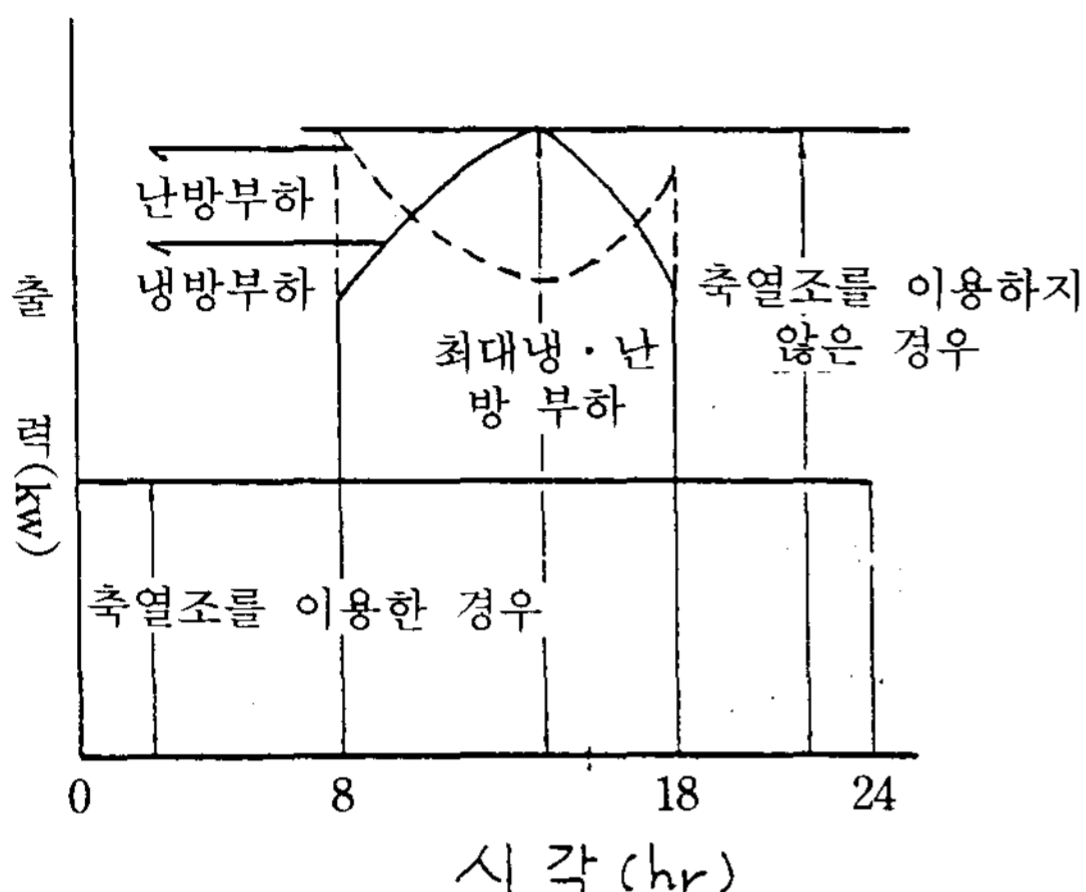


Fig.2 냉·난방 시간대에 따른 부하량

축열조 이용의 경우는 1일의 熱出入만 만족시킬 수 있다면 1년중 최대부하량과 관계없이 열원기기의 용량이 결정되므로 실제 냉·난방부하의 변동과는 관계없이 항상 高效率運轉이 가능하게 된다.

1-3. 연구동향

공기조화 설비에 이용되는 축열조는 蓄熱媒質에 따른 현열이용형과 잠열이용형, 설계방식에 따른 밀폐식과 개방식이 있으며 자연에너지 이용에 유연한 대응이 가능하다.

우리나라에서는 1973년 오일쇼크(oil shock) 이후 에너지 절약차원으로 태양열이용 주택에 물을 사용한 축열탱크가 설치되면서 축열조에 대한 관심이 고조되어 한국에너지기술연구소를 중심으로 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반주택 및 소규모건물의 복사난방에 대하여는 잠열을 이용한 축열시스템연구가 진행되고 있으며, 특히 일반사무소건물에서는 氷蓄熱시스템을 이용하는 사례가 점차 늘고 있으나 이는 모두 잠열을 이용하는 것이며, 자갈을 蓄熱材로 하는 顯熱利用型蓄熱槽를 이용하는 경우는 아직 없는 실정이다.

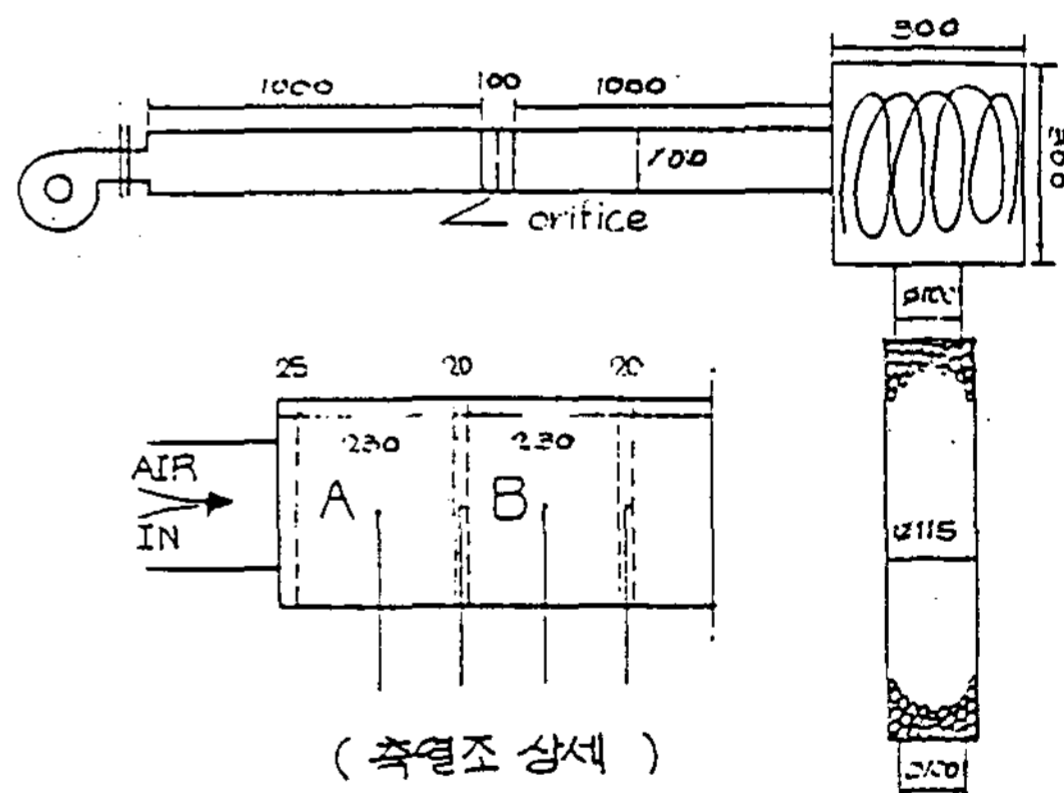
따라서 본 연구에서는 장래 대형건물에서 덕터를 이용한 전공기식 공기조화설비에 쉽게 이용될 수 있는 현열이용형 축열조에 축열재로서 아래와 같은 특성이 있으므로 자갈을 사용하였다.

- 1) 가격이 싸고 대량 구입이 가능하여 설비비가 잠열이용형보다 싸다.
- 2) 독성 및 부식성이 많다.
- 3) 비열이 아주 작아 축열조의 크기가 커지는 단점은 있으나 구입단가 및 단열시공면에서 다른 축열재에 비해 월등히 우수하므로 초기설비비가 적게 든다.
- 4) 순환유체와의 열교환은 별도의 열교환장치 없이 직접 이루어진다.

2. 축열조 모델의 개요와 온도측정

2-1. 모델(model)의 개요

본 실험에서 사용된 축열조 구조의 개요도를 Fig.3에 나타냈다.



축열조는 길이 230mm인 4개의 구역(A~D)으로 분할되어 있으며, 槽의 形狀은 내경 115mm, 길이 1,000mm, 두께 25mm의 圓形 斷熱材(styroform)로 하였다.

槽내 각 구역 사이에 20mm 간격의 공간을 주어 充填材를 지나온 순환유체가 서로 혼합되어 다음 구역으로 흐르도록 하였으며, 직경 5~7mm와

표 1 축열제(자갈)의 물리적 특성(20°C)

비 중 량 γ kgf/m ³	비 열 C kcal/kgf°C	열 전 도 율 λ kcal/mh°C	열확산계수 α m ² /h
2,600~2,900	0.2	3.3	0.006

10~12mm 크기의 球모양의 자갈을 充填材로 하였다. 이 때 각 구역에서 球型 자갈은 바둑판 눈금처럼 일정하게 배열되었다 가정하면 充填率은 자갈의 5~7mm일 경우는 72.5%, 10~12mm에서는 71.9%로되어 순환유체(공기)가 자갈사이를 통과할 수 있는 공간은 자갈의 크기와는 별로 관계가 없다고 생각된다.

발열체는 0.75KW 용량의 coil heater를 사용하였으며, 一定溫度 可變風量 제어는 온도조절기(YEW-OF128R)와 변압기로 하였다.

본 실험에 사용된 자갈의 물리적 특성은 표 1과 같다.

2-2. 온도측정

온도측정은 상온상태에서 각 구역 중앙의 2개소 및 혼합공간내 중앙 1개소를 측정점으로 하여 YEW-THERMODAC II (30ch)로서 측정하였으며, 이 때 순환유체의 가열온도는 겨울철 태양열집열판에서 얻어질 수 있는 온도범위인 60°C로 하였다. 여기서 充填層내 각 구역에서의 측정점은 2개소로 유체통로의 중심점과 두 고체사이에 형성하고 있는 공기막에 각각 1개소로 하였다.

송풍기로부터 流出되는 순환유체는 축열재인 자갈에 열을 전달하여 充填層을 통과하여야 하므로 유속을 작게 설정할 필요가 있다. 따라서 유속을 0.12, 0.13, 0.14m/s등 3종류로 하였으며 orifice와 digital manometer(50mmAgkm를 이용하여 측정하였다.

온도측정시간은 3분 간격으로 하였으며, coil heater를 가열하기 시작하였을 때를 초기값으로 하여 축열은 3~5시간, 방열은 3시간 정도로 하였다.

2-3. 해석의 이론적인 배경

순환유체가 축열조를 통과하는 동안의 열전달 문제는 강제대류열전달이며, 이 경우 充填層내의 열이동은 系 전체를 통하여 初期狀態에서는 순환유체와 充填材 사이에 熱적으로 평형상태로 있다가 순환유체의 온도상승에 따라 열전달이 일어난다. 充填層내에서 일어나는 열전달 문제는 순환유체와 充填材 사이의 비정상 강제대류 열전달로 이는 이미 Schiuman과 Rize 등 여러 학자들에 의해 연구되어왔다. 따라서 대류열전달이 있는 열전도 문제를 단순화시키면 아래의 식으로 기술된다.

$$q = h \cdot A \cdot \{T_a - T_s(\theta)\} \dots\dots\dots(1)$$

윗 식에서 A는 대류에 대한 표면적이고, $T_s(\theta)$ 는 시간의 함수로 나타나는 고체표면의 온도이다. 充填層의 充填率이 72.5% (자갈직경 5~7mm) 일 때 순환유체가 흐를 수 있는 유체통로의 상당직경은

$$\frac{d_e}{d_s} = 0.275$$

로부터 $d_e = 0.032m$ 가 된다. 따라서

$$Re_{(min-max)} = \frac{d_e \cdot U_{min-max}}{V_{60}} = 196 \sim 229$$

이고, 槽內 순환유체의 흐름은 층류흐름이며 等溫面으로부터의 열전달을 고려한 강제대류 열전달해석을 無次元化하면 다음과 같다.

$$N_{um} = C(R_{ef})^n P_r^{(1/3)} \dots\dots\dots(2)$$

여기서 C와 n은 상수이며, 아래 첨자 f는 主流溫度(순환유체인 공기)와 고체(充填材인 자갈) 表面溫度의 算術平均인 膜溫度에서의 물성 값을 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 온도분포

Fig.4와 Fig.5에 순환유체의 속도변화에 따라 나타나는 축열조 입구측의 充填層(A구역)내 온도분포를 나타내었다.

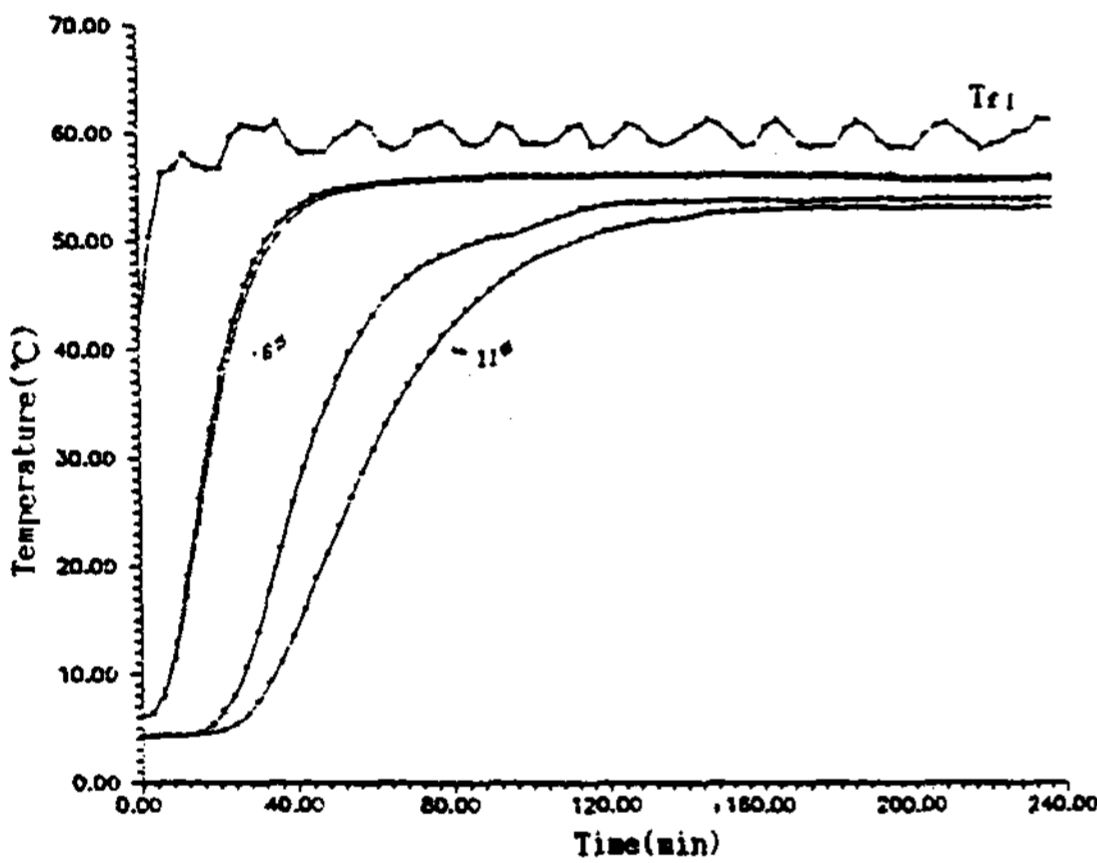


Fig.4 축열조의 온도분포(A 구역 : 0.12 m/s)

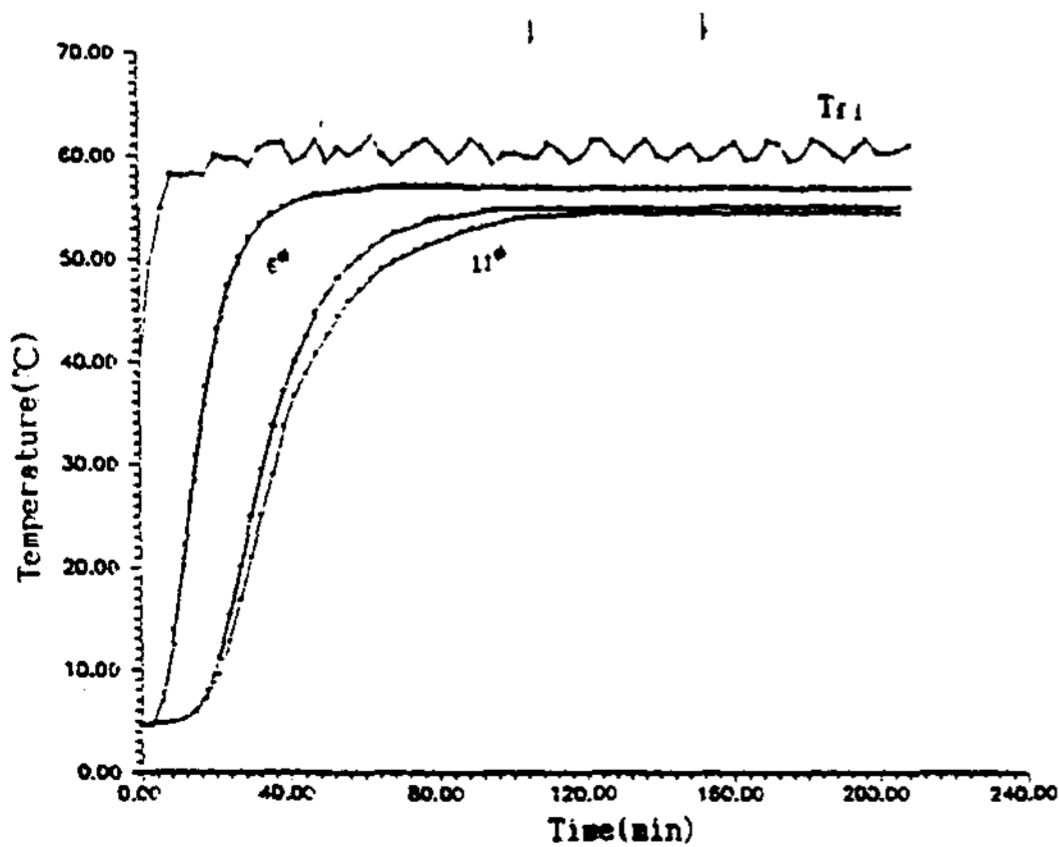


Fig.5 축열조의 온도분포(A 구역 : 0.14 m/s)

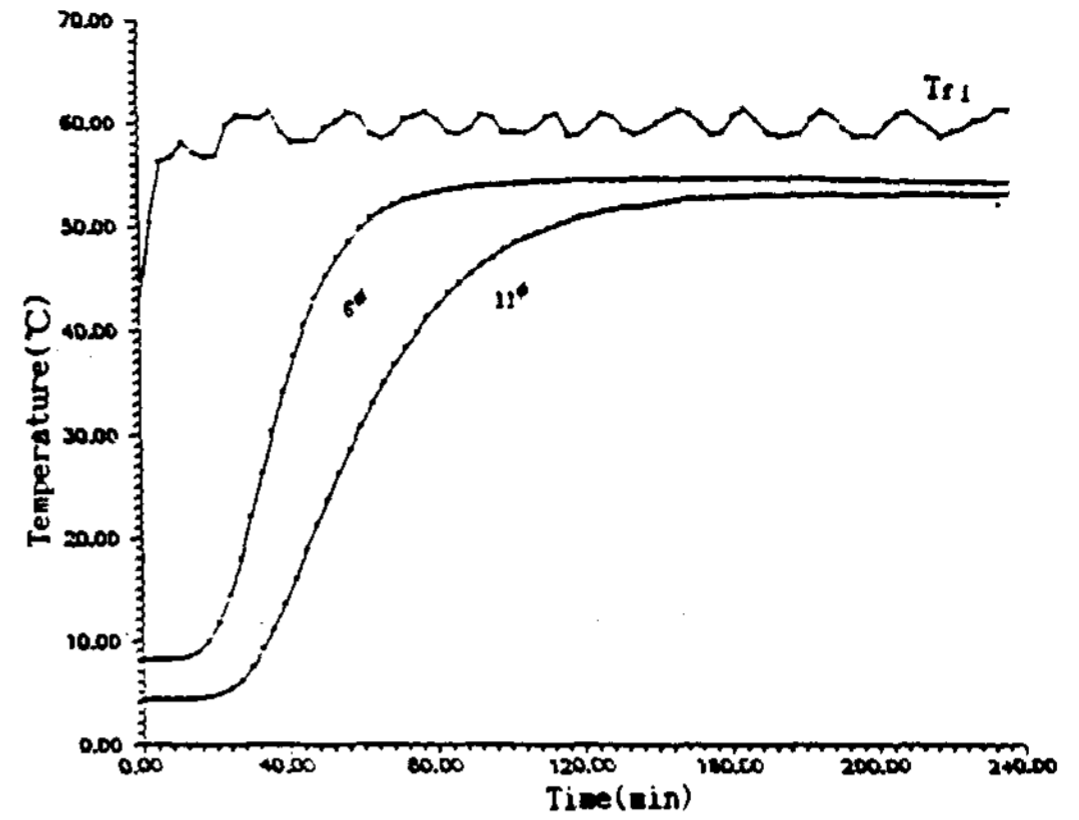


Fig.6 축열조의 온도분포(혼합공간 : 0.12 m/s)

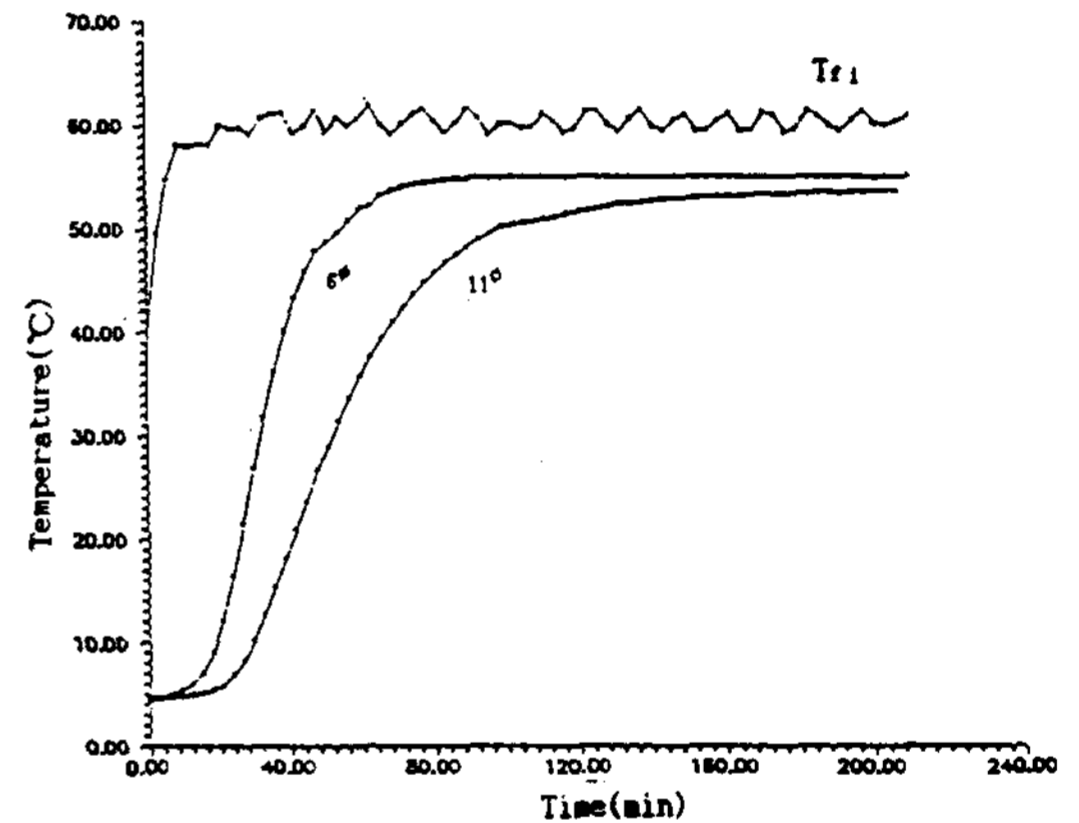


Fig.7 축열조의 온도분포(혼합공간 : 0.14 m/s)

그림에서 充填層내 유체통로 중심부와 고체표면의 空氣膜 부분에서의 온도상승은 축열이 완료될 때까지 充填材의 크기와 관계없이 거의 일직선상으로 나타났으며, 이러한 현상은 고체표면과 순환유체 사이의 열이동으로서 유체흐름 방향의 열전도성 효과로 볼 수 있다. 또한 充填層내에서 표면 열유속에 의한 온도상승 속도는 充填材의 크기가 큰 쪽이 완만한 상승을 나타냈으며, 이는 혼합공간에서도 같게 나타났다.

槽內 온도는 최초에는 유체의 흐름방향으로부터 槽의 중심부 온도가 급격히 상승하였으나 일정한 시간이 경과함에 따라 최고온도에 도달하는 부분은 槽의 중심부로부터 동심원 모양으로 확산되었으며, 최고온도는 充填材의 크기가 6φ인

것이 11φ보다 높게 나타났는데, 이것은 순환유체의 속도와는 무관하며 充填層에 60°C의 순환유체와 充填材와의 표면열전달에 의한 것이므로 充填材의 크기가 작은 쪽이 充填率이 높기 때문이라 생각된다.

充填層과 혼합공간에서의 온도상승속도는 순환유체의 속도에 비례하여 급속히 증가하였으며, 최고도달온도는 유체속도가 빠를수록 공급열량이 많아 미소하지만 높게 나타났다. 따라서 充填層 및 혼합공간에서 온도상승속도 및 최고도달온도는 充填材의 크기와 순환유체의 속도에 따라 변화하는 것을 알 수 있다.

3-2. 축열량

充填材에 저장되는 축열량은 여러 因子의 영향을 받는 것으로 생각되며, 실제 문제에 있어서는 槽内外의 단열문제 및 充填材의 물리적 특성을 정확히 파악해야 할 것으로 생각된다.

充填材에 저장되는 蓄熱量 Q_s 는 充填材의 온도와 순환유체에 의하여 공급되는 열량으로 구할 수 있으며 이것을 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$Q_s = Q_i - Q_o = m_a \cdot C_{pa} \cdot (T_{fi} - T_{fo}) \quad \dots\dots(3)$$

로 되며, 위의 식에서 m_a 는 순환유체의 질량유

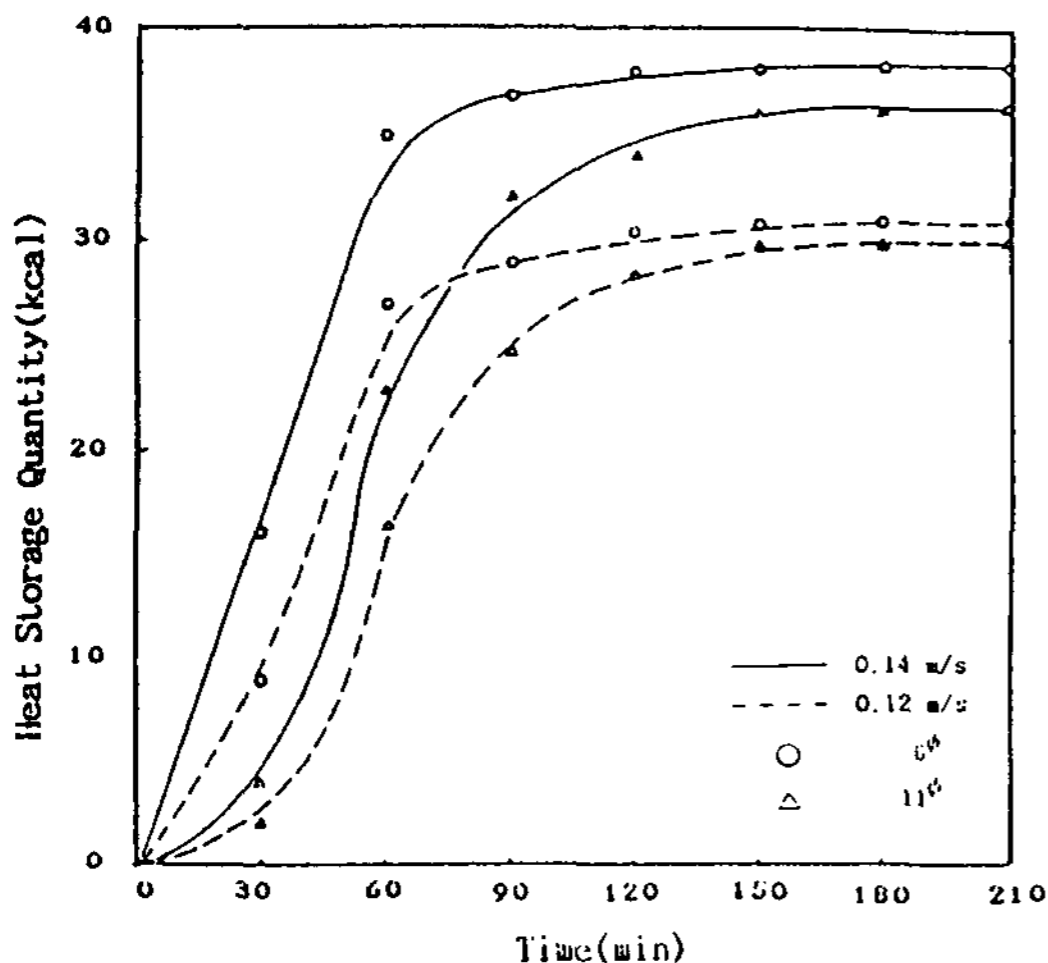


Fig.8 축열량

량을 나타낸다.

Fig.8은 순환유체의 온도가 60°C이고 유동속도가 0.12m/s와 0.14m/s일 때 시간 경과에 따른 "A" 구역의 축열량을 나타낸 것이다.

그림에서 축열량은 순환유체의 유동속도가 0.14m/s일때가 0.12m/s일때보다 질량유량이 증가하여 충전율에 관계없이 빠르게 나타났다. 또 축열재의 크기에 대해서는 크기가 6φ인 경우가 11φ보다 0.14m/s인 경우는 3Kcal, 0.12m/s인 경우는 약 1Kcal 정도 축열량이 높게 나타났다. 이는 축열재의 충전율이 큰 쪽이 열용량의 증가로 인해 축열량이 높게 나타났다. 이는 축열재의 충전율이 큰 쪽이 열용량의 증가로 인해 축열량이 높게 나타났다고 생각된다.

3-3. 축열효율

축열조의 성능을 나타내는 축열효율 η 는 유입 열량에 대한 축열량의 비로서 아래의 식으로 계산할 수 있다.

$$\eta = \frac{Q_s}{Q_i} = 1 - \frac{Q_o}{Q_i} \quad \dots\dots(4)$$

Fig.9는 시간에 따른 축열효율을 나타낸 것으로, 순환유체의 유동속도가 빠를수록 축열이 빨리 끝나는 것은 축열조내를 통과하는 유량이 많기

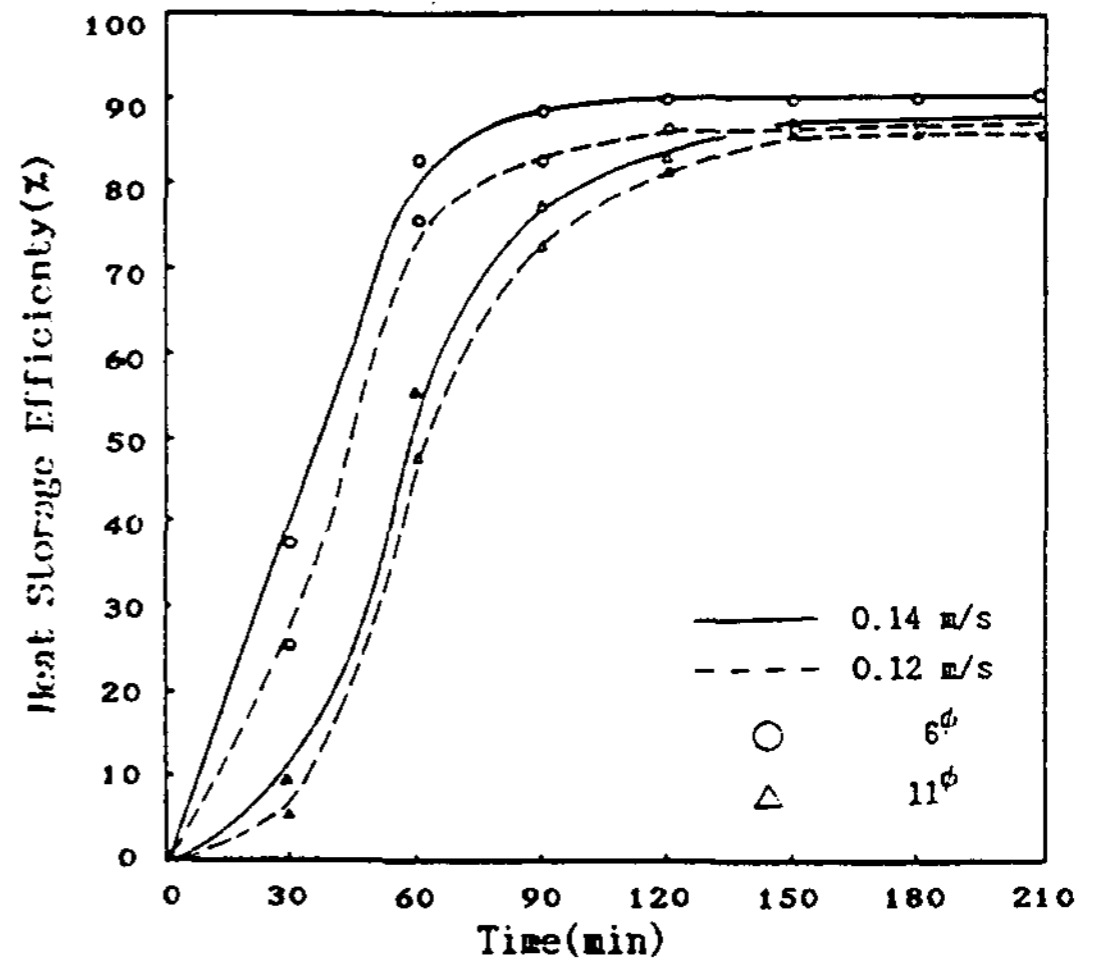


Fig.9 축열효율

때문이며, 充填材의 크기가 11φ인 쪽이 축열이 늦게 끝나는 것은 充填材인 자갈 自體가 축열하면서 열전달을 하는 성질이 있기 때문인 것으로 생각된다. 일정한 시간이 경과한 후에도 축열효율이 100%로 되지 않는 이유는 축열조 주위 공기온도와의 온도차로 인한 열손실이 발생되었기 때문으로 생각된다. 따라서 순환유체의 유동속도가 0.14m/s일 때가 0.12m/s보다 효율이 약 3% 정도 높은 것은 조 내의 유동속도가 빠르므로 조 외부와의 열전달효과가 적게 일어났기 때문으로 생각된다. 그러므로 축열조 외벽은 완벽한 단열시공을 하여야 하며, 축열재의 크기는 축열조체적에 따라 적당한 크기로 되어야 축열효율이 높아진다.

4. 결 론

현열형蓄熱槽를 이용한 실험에서 일정한 온도하에 蓄熱材의 크기와 순환유체의 유동속도를 변화시켰을 때의 온도분포를 측정하여 蓄熱량과 蓄熱효율을 구한 결과는 다음과 같다.

- 1) 充填率は 72.5% 일때가 71.9% 일 때보다, 또 유속은 0.14m/s 일때가 0.12m/s 일때 보다 蓄熱량이 크게 나타났다.
 - 2) 充填率が 72.5% 이며 유속이 0.14m/s 일 때가 가장 최단시간 내에 最大蓄熱량에 도달하였다.
 - 3) 充填率が 72.5% 이며 유속이 0.14m/s 일 때가 蓄熱효율이 가장 높았다.
- 이상의 결과에서 실용상으로는 蓄熱량과 蓄熱

효율을 높이기 위해 蓄熱材의 충진율과 유동속도를 높이게 되면, 蓄熱槽 내의 순환유체의 유동저항이 증가되어 송풍기의 정압손실이 크게되므로 蓄熱材의 크기는 蓄熱槽체적에 비례하여야 한다.

후 기

본 연구는 1989년도 문교부 학술연구 조성비에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

1. J. P. Holman, "Heat Conduction", McGraw-Hill Book Co., New York, pp.321~323, 1972.
2. 川下研介, "熱傳導論", 生産技術センター pp. 216~218, 1975.
3. Jakob, M., "Heat Transfer", Vol. 1, John Wiley & Sons Inc., New York, 1949.
4. M. Riaz, "Transient Analysis of Packed Bed, Thermal Storage System", Solar Energy, Vol. 21, pp.123~128, 1987.
5. T.E.W. Schumann, "Heat Transfer; Liquid flowing through a porous Prism", J.Franklin 1st, 203, pp.405~416, 1929.
6. 中尾正喜, "熱交換器ノEnergyによる評價法", 空氣調和・衛生工學會論文集, No.31 pp. 1~10, a986.
7. 中原信生, "Balance型蓄熱槽に關する研究", 空氣調和・衛生工學會論文集, No.31 pp.69~76, 1986.

of indoor temperature for residential buildings. To carry out the analysis here, the method called "PSTAR (Primary and Secondary Terms Analysis and Renormalization)" has been extensively used. This method was originally developed by the National Renewable Energy Laboratory(NREL) in the United States. The test results reported here represent two extreme cases of the interior thermal mass, Which demonstrate its effect on the interior thermal environment as well as on the overall thermal behavior of the building structure. The monthly heating and cooling loads are also extrapolated by using the renormalized model, Which are crucial in designing and refurbishing HVAC systems for the building.

A study on the Thermal Characteristics of a Thermal Storage Tank for using Gravels

Park, Jung-Won*Park, Bong-Kyu*Ahn, Sang-Kyu**

**Yn-Han Technical College*

***Baum Architects Engineers Consultants*

The purpose of this study was to investigate the fluid flow characteristics of heat storage in sensible heat storage system for use in cooling and heating of buildings.

Heat storage material was gravels and experiments were performed in the condition of constant temperature. The experimental parameters were fluid velocity and size of gravels.

The experimental results of the heat storage quantity and the heat storage efficiency by the variation of packing size and fluid velocity were as the follows :

The maximum value of the heat storage capacity and heat storage efficiency and the minimum arriving time for maximum heat storage were observed when the packing ratio was 72.5% and the fluid velocity was 0.14m/s.

High Temperature Solar Gas Heating by a Compact Fluidized-Bed Receiver of Closed-Type

Choi, Jun-Seop

Korea Institute of Machinery & Metals

A small-scale solar collector and tracking system, using a Fresnel lens of 0.5 μ , and novel compact fluidized-bed solar receiver[FBR] of closed type has been developed for high temperature solar