

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol. 16, No. 2, 1996

## 직접접촉식 액-빙 열교환기의 전열특성에 관한 실험적 연구

이채문\* · 박정원\* · 김동훈\*

\* 유한전문대학

## An Experimental Study on the Thermal Characteristics of Direct Contact Liquid-Ice Heat Exchanger

Lee Chae-Moon\* · Park Jung-Won\* · Kim Dong-Hun\*

\* Dept. of Mech, Yu Han Junior College

### 요 약

동적형 빙축열 시스템의 빙축열조에서 세가지 얼음충진율에 대해 분산유체의 유온, 유량을 변화시켜 용융실험을 행하였다. 빙축열조에 분산되는 분산유체의 온도가 높고 유량이 많을수록 빙축열조 내의 온도성층화 현상도 뚜렷하였고 온도성층화에 돌입하는 시간이 단축되었다. 분산유체의 유량이 많을 때는 잠열이 방출되는 시기에 걸쳐서 빙축열조 내의 온도안정화 현상이 나타나고 온도안정화에 소요되는 시간도 단축되었다. 그러나 얼음의 용융이 끝난 후는 유량이 적을 때가 온도성층화 현상이 뚜렷하였다. 빙축열조 얼음충진율이 높을 때 온도성층화에 소요되는 시간이 길었으며 빙축열조 내 온도분포는 안정되었고 빙축열조의 벽면 영향으로 인해 빙축열조 상부의 온도가 높게 나왔다. 실험초기온도를 유지하는 기간은 빙축열조 내의 얼음이 존재하는 기간과 일치하였다. 빙축열조 내의 평균온도 상승은 분산유체의 유량이 많고 온도가 높을수록 일찍 상승하였다. 총방열에너지에 대한 잠열에너지( $E/E_0$ )의 시간에 대한 변화비는 분산유체의 온도가 동일한 조건에서 유량이 많을수록, 분산유체의 온도가 높을수록 큰 값으로 나타났다.

## ABSTRACT

The operating thermal characteristics of direct contact liquid-ice heat exchanger was experimentally investigated. In this paper, The effects of Ice Packing Factor(IPF), the inlet temperature and the flow rate of Heat Transfer Fluid(HTF) were studied in the liquid-ice heat exchanger. Thermal stratification in liquid-ice heat exchanger was established clearly and faster at the higher inlet temperature and flow rate of HTF. At the end of melting of the lower flow rate is cleared the thermal stratification in liquid-ice heat exchanger. The temperature stratification is long with higher value of IPF of liquid-ice heat exchanger. The mean temperature of liquid-ice storage was changed rapidly with increasing flow rate and inlet temperature of HTF. The gradient of ratio of total energy to latent energy was found higher with increasing inlet temperature and flow rate.

## NOMENCLATURE

C	: Specific heat	[kJ/kg°C]
E <sub>s1</sub>	: Sensible energy stored in the solid which remained unmelted	[kJ/kg]
E <sub>s2</sub>	: Sensible energy stored in the liquid	[kJ/kg]
E <sub>s3</sub>	: Sensible energy stored in the solid	[kJ/kg]
E <sub>tot</sub>	: Total energy stored	[kJ/kg]
E <sub>λ</sub>	: Latent energy	[kJ/kg]
IPF	: Ice Packing Factor	
M <sub>l</sub>	: Molton mass of PCM	[kg]
M <sub>s</sub>	: Solid mass during melting process	[kg]
M <sub>tot</sub>	: Total mass of PCM	[kg]
Q	: The rate of flow	[m <sup>3</sup> /h]
t	: Time	[min.]
T	: Temperature	[°C]
T <sub>i</sub>	: Initial temperature of PCM	[°C]
T <sub>in</sub>	: Inlet Water Temperature	[°C]
T <sub>m</sub>	: Melting temperature	[°C]
$\bar{T}$	: Average temperature of PCM	[°C]

V <sub>o</sub>	: The Volume of Ice Storage Tank	[m <sup>3</sup> ]
V <sub>tot</sub>	: Total volume of PCM	[m <sup>3</sup> ]

## GREEK SYMBOLS

ρ	: Density	[kg/m <sup>3</sup> ]
ρ <sub>s</sub>	: The density of Ice	[kg/m <sup>3</sup> ]
ρ <sub>l</sub>	: The density of water	[kg/m <sup>3</sup> ]
λ	: Latent heat of fusion	[kJ/kg]
l	: Liquid phase	
s	: Solid phase	
tot	: Total	

## DIMENSIONLESS GROUP

T*	: Dimensionless Temperature [T/T <sub>in</sub> ]
V*	: Dimensionless Volume [V/V <sub>o</sub> ]
t*	: Dimensionless time

$$\left[ \frac{\rho_l C_l Q T_{in}}{\rho_l C_l V_o T_{in} + \rho_s V_o IPF \lambda} t \right]$$

## I. 서론

최근에 여름철 냉방수요가 급증하면서 주간과 야간의 전력수급 불균형이 커져 최고사용 피크전력은 점점 높아지고 있다. 그리고 전력 공급의 특징은 항상 최고사용피크전력에 발전량을 맞추어야 하는 특성 때문에 일년 중 냉방수요가 피크를 이르는 주간의 몇 시간, 그나마 사용일수조차 10여일의 짧은 기간만 사용되는 발전소에 엄청난 예산을 들여서 건설해야만 하는 실정이다. 그러나 심야의 값싼 전력을 이용하여 물을 냉동한 후 저장하여 주간의 냉방부하를 많이 요구하는 시간에 얼음의 용해잠열을 이용하는 빙축열시스템을 이용하면 발전설비가 효율적일 뿐 아니라, 심야전력 사용에 따른 열원기기의 운전시간이 연장되어 냉동기 및 열원 설비용량을 줄일 수 있어 전력비의 절감이 가능하다. 그리고 공급열원기기의 전부하운전에 의해 정격운전이 가능하므로 부하변동이 심한 곳 혹은 공조시스템의 사용시간대가 다양한 곳도 안정된 열공급을 할 수 있어서 건물증설 또는 용도변경에 따라 부하가 변화될 때 적응성이 좋아, 대형축열조 공간이 없는 중소규모의 빌딩에서도 쉽게 설치할 수 있는 이점이 있다.

현재 미국에서는 빙축열 공조 시스템이 수축열 공조 시스템과 더불어 사용되고 있으며 관 착빙방식, 브라인 순환방식, 빙박리방식 등이 실용화되어 대규모 시설에 적용시키고 있고, 일본에서는 다양한 제빙방식을 이용한 유니트형으로 된 소규모축열 방식이 많이 보급되어지고 있다. 국내에서는 빙축열 냉방시스템은 재래식시스템에 비해 초기투자비는 더 많이 들지만, 전력회사에서 설치지원금을 받을 수 있고 심야요금을 적용받아 운전비가 절감되어 호응이 좋은 편이다. 그리고 현재 사

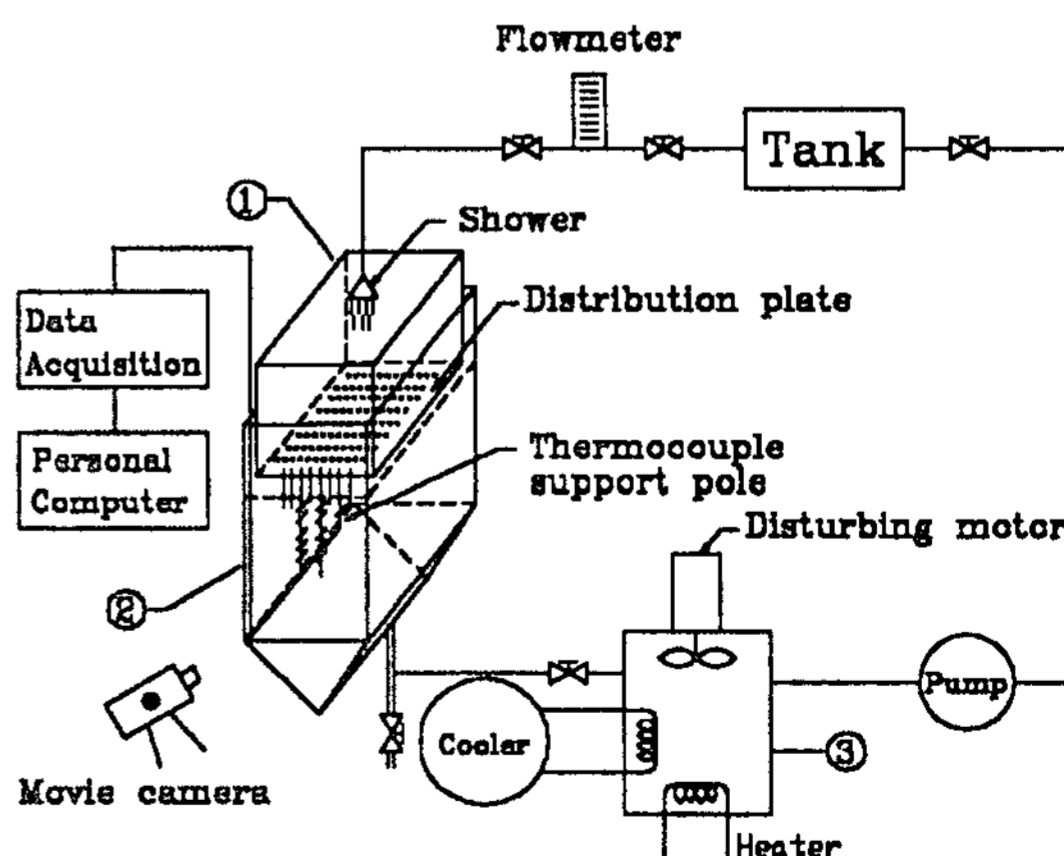
용되는 빙축열 시스템의 개발현황을 보면 제빙시스템에서 정적형(관내외 착빙식, 캡슐식)과 동적형(하베스터방식, 액체식 빙생성방식)으로 나눌 수 있고 이 중 동적형이 열전달율이 커서 냉동기의 COP을 높일 수 있는 특징이 있기 때문에 연구에 많은 관심이 모아지고 있다.

따라서 본 연구에서는 직접접촉 열교환방식의 동적형 빙축열 시스템의 방열과정 시 빙축열조에서 열전달유체(분산유체)의 유량, 분산유체의 유입온도, 얼음의 충진율(IPF) 등을 변화시켜 빙축열조 내 온도측정 및 얼음의 용융과정의 가시화를 수행하고 온도성층화 특성과 이때 방열되는 에너지성분 등을 고찰하였다.

## II. 실험장치 및 방법

### 1. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도로서 직접접촉식 열교환기의 여러요소를



1. Distribution tank 2. Ice storage tank  
3. Heating and cooling tank

Fig. 1 schematic diagram of experimental apparatus

보여준다. 실험장치의 주요부는 (1)분산조 및 분배판, (2)빙축열조, (3)가열냉각조,부품 등으로 구성된다.

**분산조 및 분산판**

분산조는 가로 290mm, 세로 290mm, 높이 400mm의 크기에 전면과 후면은 분산유체의 수면의 측정을 위해 전후면에 유리창을 설치하였고 좌우측면은 철판으로 밀봉하였다. 분산조의 밑면은 분산판을 설치하여 분산유체가 빙축열조 전 수면에 골고루 분산 되도록 Fig. 2와 같이 두께 1.5mm의 동판으로 제작되었으며, 196개의 노즐구멍이 있다. 각 노즐구멍의 직경은 0.6mm이고 간격은 19mm의 간격으로 정방형으로 배열하였다. 즉 각 4.29cm 2 마다 한개의 노즐이 있는 것이다. 이때 공급되는 분산유체의 유량은 분산조 내의 분산유체의 수위를 일정높이로 유지하여 조절하였다. 분산조 내에는 분산유체의 유입온도 측정을 위해 분산조 내의 3위치에 열전대를 설치하였다.

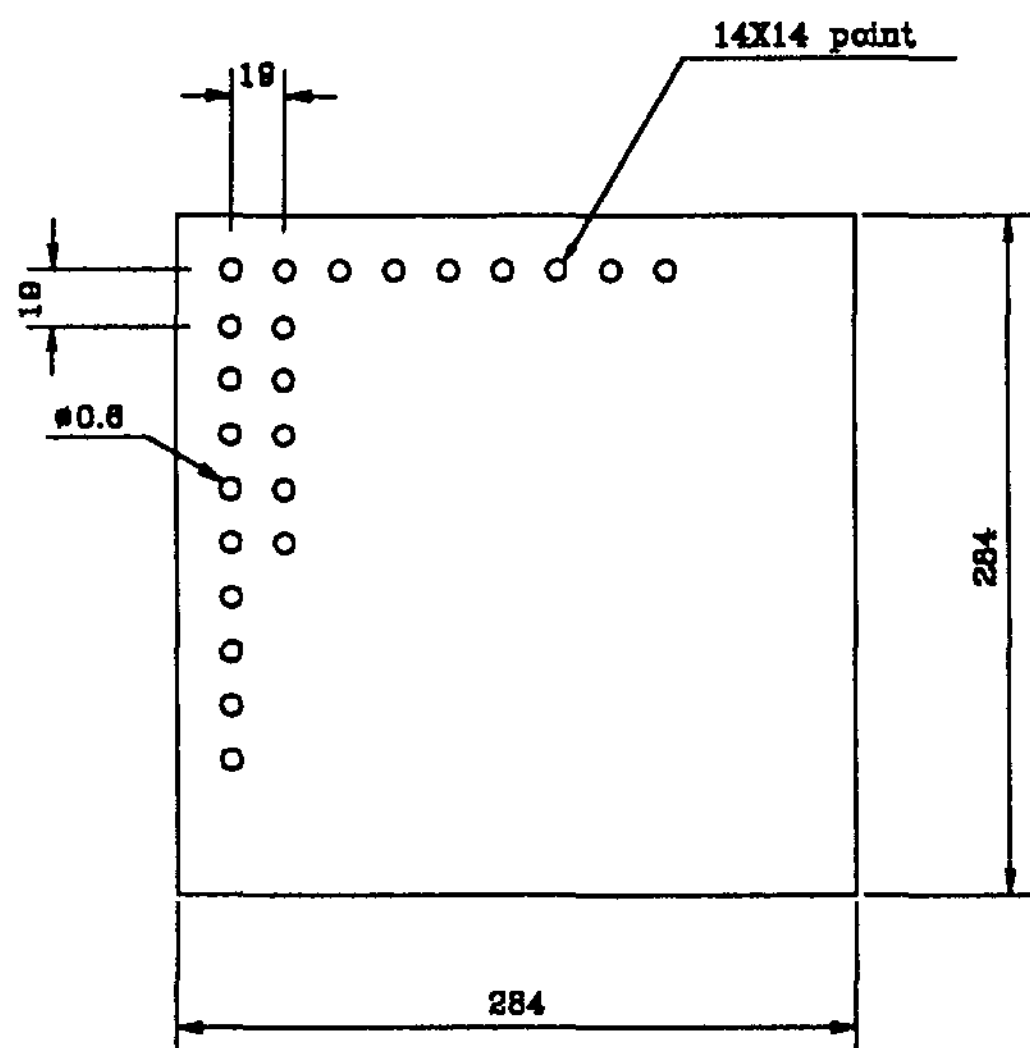


Fig. 2 The shape of distribution plate.

**빙축열조**

빙축열조는 Fig. 3과 같이 가로 320mm, 세로 320mm, 높이 1200mm의 크기에 전면과 후면은 얼음의 용융양의 측정을 위해 전후면에 유리창을 설치하였고 좌우측면은 철판으로 밀봉하였다. 빙축열조 내부의 온도변화를 측정하기위해 26개의 열전대를 설치하였는데 각 설치위치는 빙축열조 중앙에 13점, 축열조 벽면의 영향을 규명하기 위해 축열조 대각선 중앙의 1/2지점에 13개의 열전대 설치하고 열전대는 지지대에 부착하였다. 이때 측정된 온도들은 데이터 어큐지션 시스템(Hewlett Packard 3852A)를 사용하여 장착된 PC에 기록하였다.

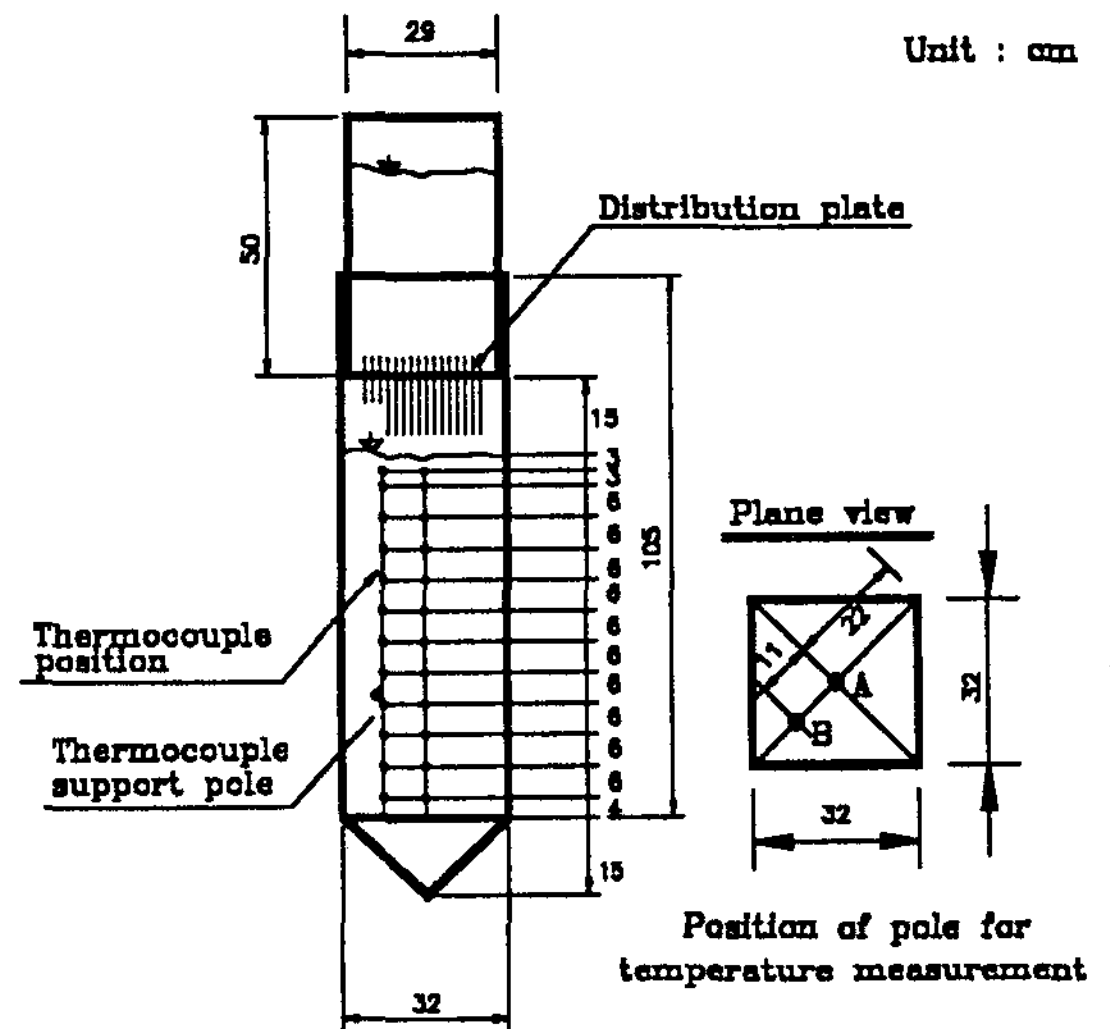


Fig. 3 Dimension of heat exchanger.

**가열냉각조**

100L용량의 플라스틱 탱크를 단열하여 사용하였으며 가열냉각조 뚜껑에는 교반기를 달아 가열,냉각 시 탱크 내부 분산유체의 성층화를 없앴다. 2RT의 냉각기는 실험초기 축열조 내 분산유체(물)의 분산초기온도를 유지하기 위한 것이며, 6KW의 가열히터는 분산유

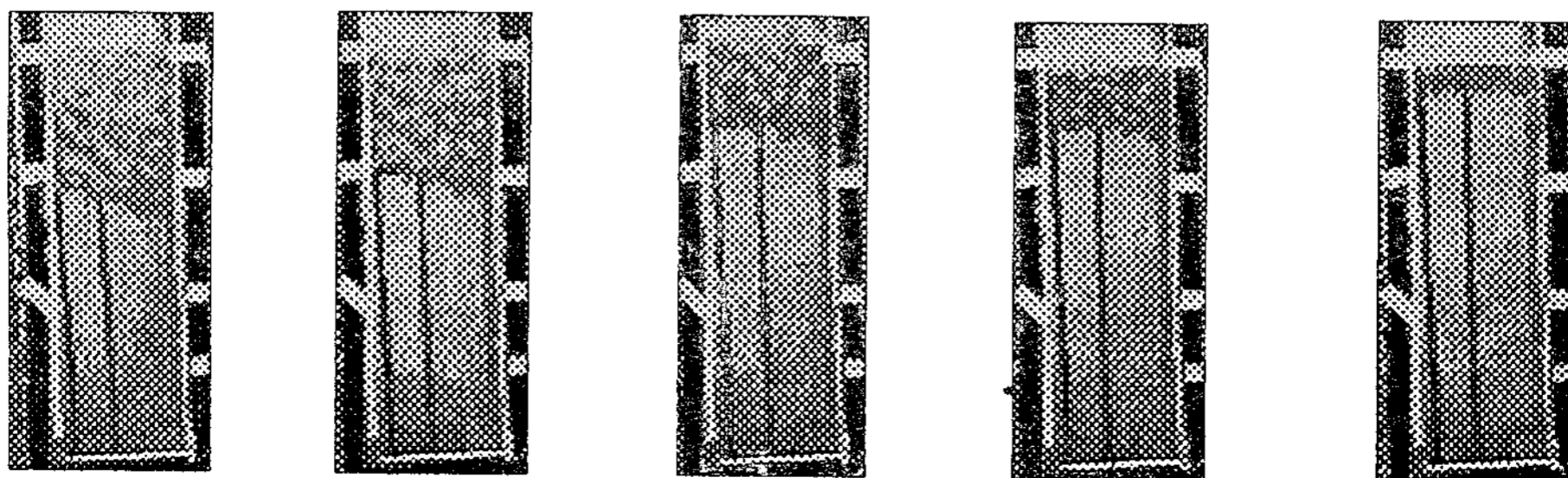
체를 설정온도까지 가열하는데 사용하였고, 2KW의 가열히터는 보조열원으로 탱크 내에 설치하였다.

## 2. 실험방법

실험의 첫 단계는 펌프를 가동시켜 설정된 냉온수조의 물을 분산조로 순환시키며 빙축열조 내의 유체를 초기 상태(6°C)로 만든다. 이 때 빙축열조 내의 온도를 연속적으로 측정하여 초기상태를 확인하고 초기조건이 확인되면 펌프를 중단시키고 냉온수조 히터를 가동시켜 분산할 분산유체의 온도를 실험설정온도로 한 후, 빙축열조에 실험조건에 해당하는 얼음을 빙축열조에 채운다. 이 때 빙축열조의 빙수면의 높이는 수조 사각바닥으로 부터 70cm가 되게 유지한다. 실험이 시작되면 분산조로 유입되는 밸브를 열어 실험조건에 해당하는 유량을 유입시키고, 유량은 유량계와 분산조 수면을 고정시켜 일정유량을 유지한다. 유량의 조절은 분산조 전방의 밸브로 조절하고, 빙축열조의 내의 빙수위 조절은 빙축열조 출구에 있는 밸브를 조정하여 빙축열조 빙수위를 조절한다.

그리고 본 실험에 사용한 열전대는 0.3mm Copper-Constantan이고 측정영역은 0-300°F이다. 열전대의 설치는 Fig. 2와 같이 빙축열

조 중앙에 13개 위치, 대각선의 1/4되는 지점에 빙축열조 벽면의 효과를 관찰하기 위해 13개 위치 설치하였다. 이 때 측정된 온도들은 데이터 어큐지션 시스템(Hewlett Packard 3852A)을 통하여 매 1분 간격으로 측정되었고, 시간에 따른 얼음의 용융상태를 가시화하기 위하여 빙축열조 후면에 할로겐 램프를 설치하여 투사하고, 빙축열조 전면의 유리창을 통해 비디오 카메라로 촬영하면서 얼음이 용융되는 과정을 촬영하였다. 각 지점에서 측정된 온도 들과 촬영된 화상 들은 데이터 어큐지션 시스템과 화상처리카드 (DT2853: Data Translation사)을 통해 PC에 기록하였다. 비디오 카메라로 촬영된 화상은 윈도우 3.1로 편집하고 그로벌 랩 이미지 프로그램(Data Translation)을 이용하여 잔류얼음의 양을 측정하여 잠열에너지를 구하였으며 그 화상들은 Photo 1. 에 나타내었다. 그리고 본 실험에 사용한 물의 밀도 값은 Gebhart의 계산식<sup>11)</sup>, 얼음에 대한 값은 Laplaca<sup>11)</sup>, 얼음의 비열, 열전도율은 Sugisaki, Sakazume의 계산식<sup>11)</sup>을 이용하였다. 또한 실험조건에 대한 것 들은 Table 1에서 나타낸 것과 같이 유입온도, 유량, IPF을 변화 시켜 총 12조건에 걸쳐 실험하였다.



(a) t=1 Min. (b) t=7 Min. (c) t=13 Min. (d) t=15 Min. (e) t=19 Min.

Photo 1. Photographs of melting shape of time variation.

( $T_m=16^\circ\text{C}$ ,  $Q=3.27 \text{ l/min.}$ ,  $\text{IPF}=17.1\%$ )

Table 1. The conditions of experiment.

실험조건 실험번호	유입수온 16℃	유입수온 32℃	유량 [1/min.] 2.37	유량 [1/min.] 3.27	IPF 17.1%	IPF 34.2%	IPF 51.4%	Ice 초기온도 -101℃
IE 111N	○		○		○		○	
IE 112N	○		○			○		○
IE 113N	○		○				○	○
IE 121N	○			○	○			○
IE 122N	○			○		○		○
IE 123N	○			○			○	○
IE 211N		○	○		○			○
IE 212N		○	○			○		○
IE 213N		○	○				○	○
IE 221N		○		○	○			○
IE 222N		○		○		○		○
IE 223N		○		○			○	○

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 1. 관련이론 및 실험무차원수

빙축열조내의 얼음의 용융 과정 중 얼음으로부터 방열되는 에너지는 얼음의 초기온도를 용융점 온도 이하로 과냉한 상태에서 용융점 온도 이상까지 가열하였을 때 다음 네가지 성분의 에너지로 나누어진다.

이러한 현열 및 잠열 에너지로는 고상으로 남아 있는 얼음이 초기 온도  $T_i$ 로부터 고상 평균 온도  $\bar{T}_s$  까지 가열될 때 얼음에서 방열되는 현열 에너지( $E_{s1}$ ), 용융시의 잠열 에너지( $E$ ), 용융된 상변화물질이 용융점 온도  $T_m$  이상으로 가열될 때의 현열 에너지( $E_{s2}$ ), 초기 온도  $T_i$ 로부터 용융점 온도  $T_m$  까지 가열될 때의 현열 에너지( $E_{s3}$ )로 각각 구분할 수 있다.

용융된 얼음의 질량과 비열을 각각  $M_1, C_1$  이라 하고, 고상으로 남아 있는 얼음의 질량

과 비열을 각각  $M_s, C_s$  라 하면 상변화물질의 초기 온도  $T_i$ 로부터 고상 상태로 남아 있는 얼음의 평균온도  $\bar{T}_s$  까지 가열될 때 현열 에너지  $E_{s1}$  는

$$E_{s1} = M_s \cdot C_s \cdot (\bar{T}_s - T_i) \quad (1)$$

이며, 얼음의 용융시 잠열 에너지  $E$  는

$$E = \lambda \cdot M_1 \quad (2)$$

이다.

용융된 얼음이 용융점 온도 이상인 액상 평균 온도  $\bar{T}_l$  까지 가열될 때의 현열 에너지  $E_{s2}$  와 얼음의 초기 온도  $T_i$ 로부터 용융점온도  $T_m$  까지 가열될 때의 현열 에너지  $E_{s3}$  은 다음과 같이 계산된다.

$$E_{s2} = M_1 \cdot C_1 \cdot (\bar{T}_l - T_m) \quad (3)$$

$$E_{s3} = M_1 \cdot C_s \cdot (T_m - T_i) \quad (4)$$



따라서 용융 과정시 얼음에서 방열되는 총 에너지  $E_{tot}$ 는

$$E_{tot} = E_{s1} + E_{\lambda} + E_{s2} + E_{s3} \quad (5)$$

와 같이 된다.

그리고 빙축열조의 얼음의 용융 시 방열되는 총에너지( $E_{tot}$ )에 영향을 미치는 인자들로써 일반화하여 표현할수 있는 무차원수 들을 고려하여 보면 빙축열조의 크기, 총진율, 열전달유체의 온도, 유량 등을 고려한 무차원시간  $t^*$ , 열전달유체의 온도와 축열조내의 온도비를 나타낸 무차원온도  $T^*$ , 빙축열조용기의 크기와 얼음의 크기의 비를 나타낸  $V^*$  등으로 나타낼 수 있다. 그리고 각각 무차원수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T^* &= [T/T_m] \\ V^* &= [V/V_0] \\ t^* &= \left[ \frac{\rho_l C_l Q T_m}{\rho_l C_l V_0 T_m + \rho_s V_0 IPF \lambda} t \right] \end{aligned} \quad (6)$$

## 2. 실험결과에 대한 고찰

빙축열조 중심 A에서 분산되는 분산유체의 유량을 2.37 l/min으로 하고, 빙축열조 내 얼음충진율을 34.2%인 상태에 분산유체의 유입 온도를 16°C, 32°C로 변화시켰을 경우 빙축열조 내의 수직온도 분포를 Fig. 4, 5에 나타내었다. Fig. 4는 분산유체의 유량을 2.37 l/min, 얼음충진율이 34.2%인 상태에 분산유체의 유입 온도를 16°C로 유입시킨 경우로 빙축열조 내 A위치와 B위치에서 온도를 비교한 것으로 각 점에서의 조금 상이한 값을 보였으나 전체적인 경향은 같게 나왔다. 빙축열조에 분산되는 분산유체의 온도가 높을수록 빙축열조 상부 영역의 온도에 영향이 크게 작용하였으며 빙축열조 내의 온도성층화 현상도 뚜렷하게 나타났고, 온도성층화에 돌입하는 시간 또한 단축되었다. 분산유체의 유입온도가 16°C일 때는 빙축열조에 낮은온도의 분산유체가 유입되므로 인해 얼음의 용융이 지연되었고 빙축

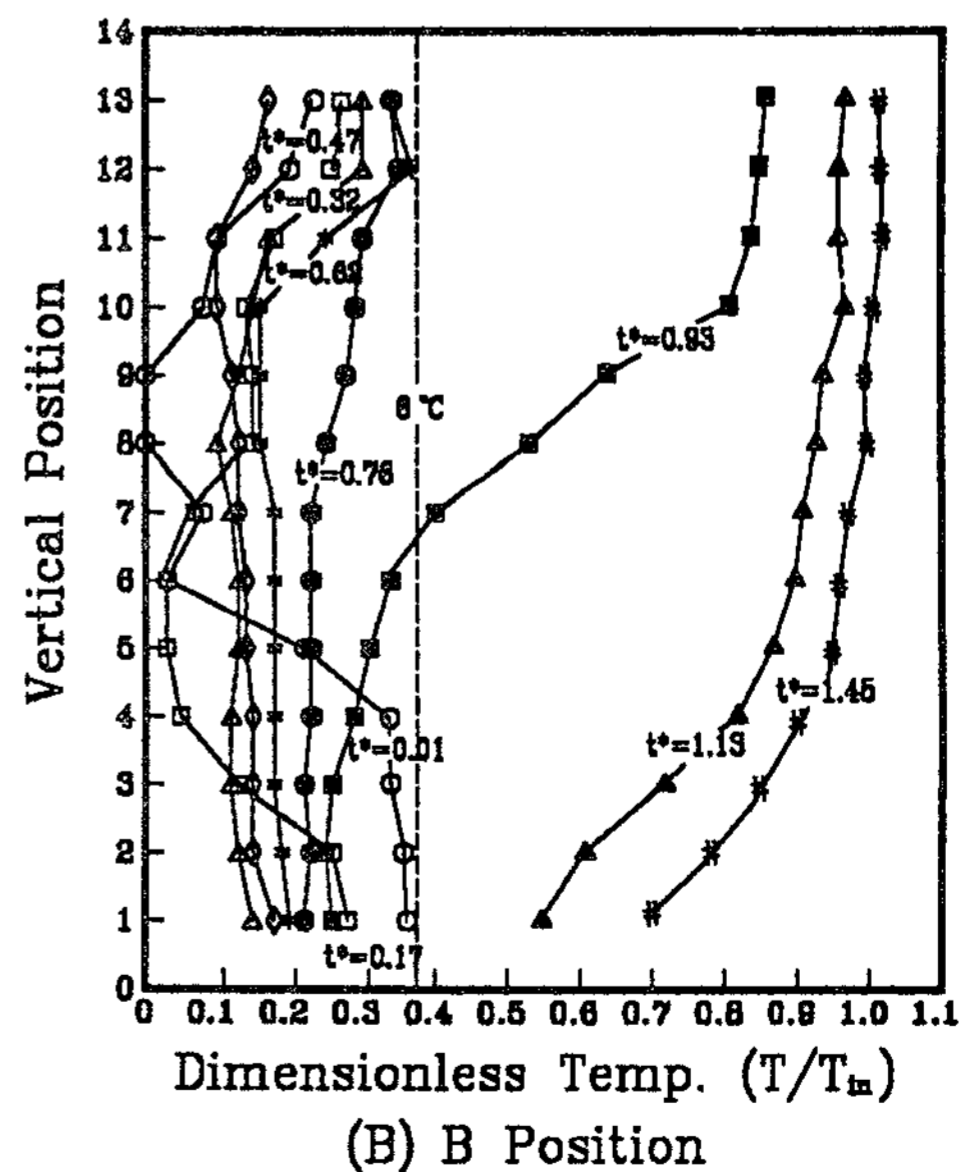
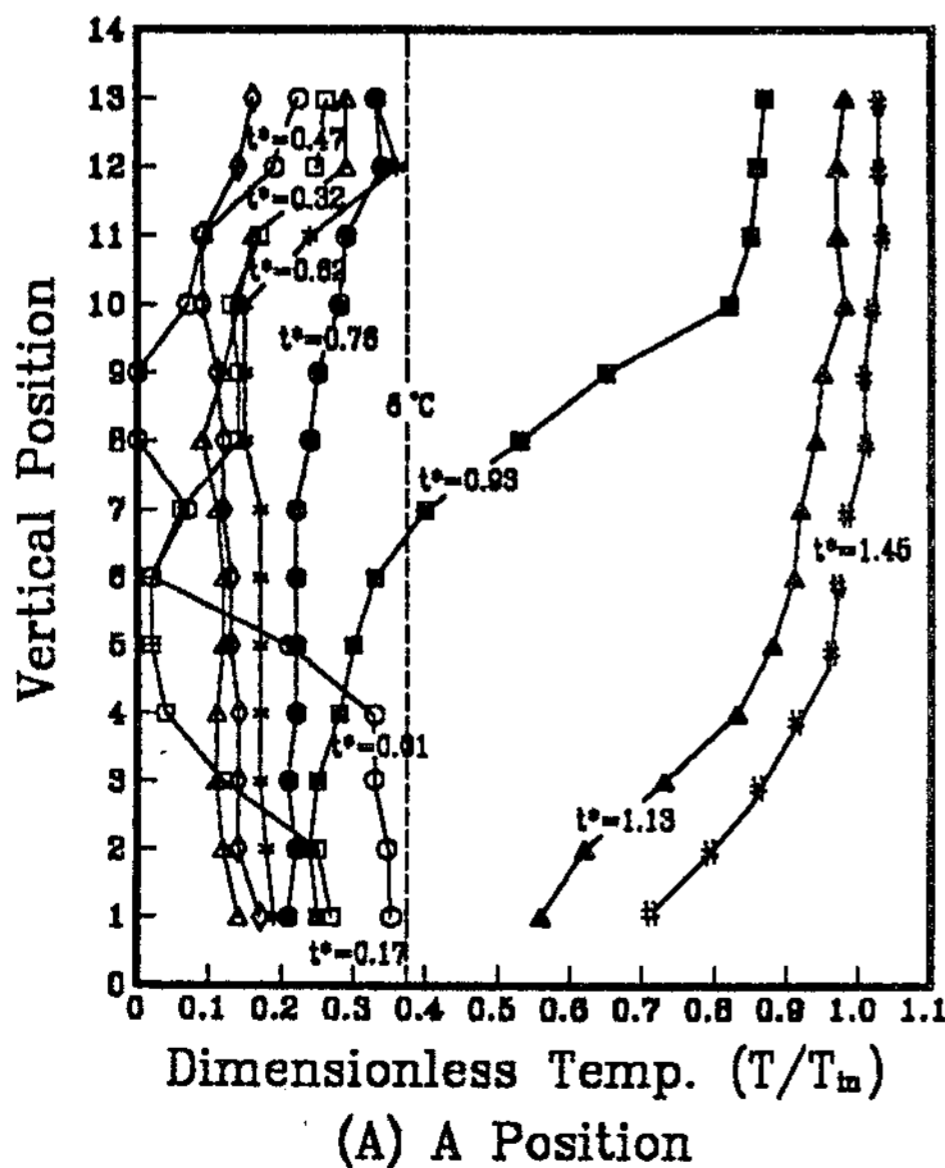


Fig. 4 The distribution of vertical temperature for the variation of time. ( $T_m=16^\circ\text{C}$ ,  $Q=2.37 \text{ l/min.}$ ,  $IPF=34.2\%$ )

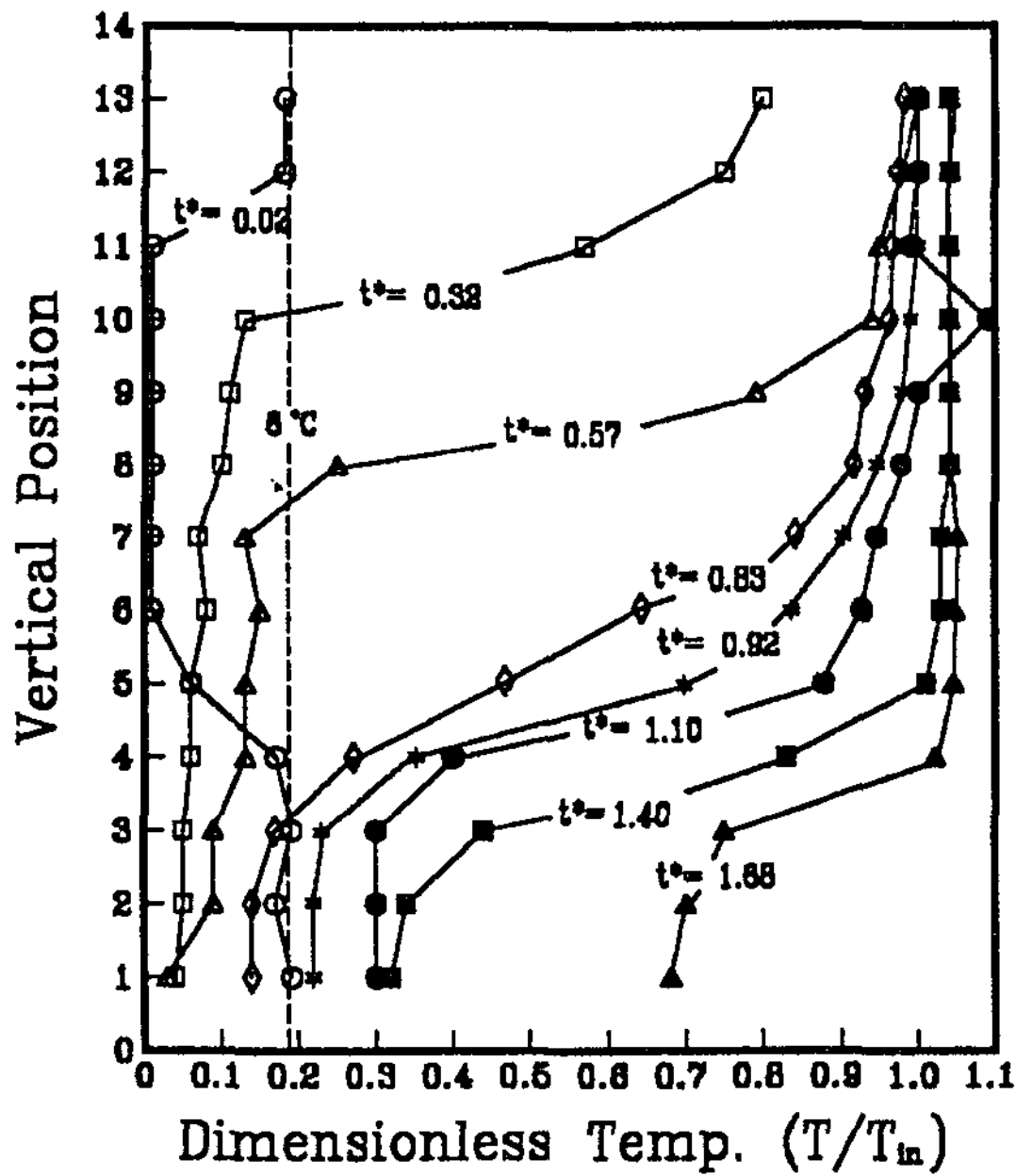
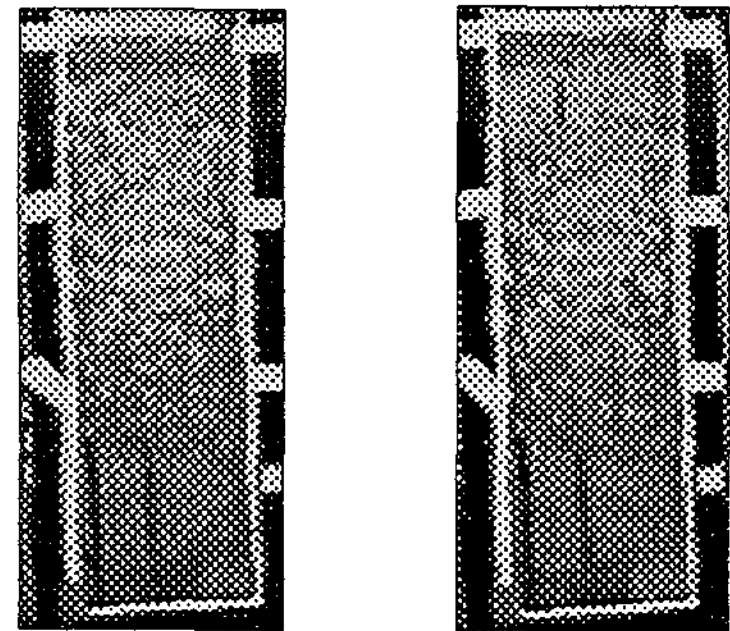


Fig. 5 The distribution of vertical temperature for the variation of time.  
( $T_m=32^\circ\text{C}$ ,  $Q=2.37 \text{ l/min.}$ ,  $\text{IPF}=34.2\%$ )

열조 내의 온도는  $6^\circ\text{C}$ 이하를 무차원시간  $t^*=0.66$ (실제시간  $t=48\text{min}$ )까지 유지하였다. 분산유체의 유입온도가  $32^\circ\text{C}$ 일 때는 빙축열조 내의 각 얼음들이 빙축열조의 벽면에 접촉되고 얼음들 사이에서의 부착현상으로 인해 얼음에 작용하는 부력보다 얼음들 사이 얼음과 벽면과의 부착력이 크게 작용하는 효과(벽면효과)로 인해 빙축열조 상부방향으로 얼음 부상속도가 떨어짐에 따라 상부영역은 높은 온도를 유지한 반면 빙축열조 하부지점에서는 낮은 온도를 보였다. Photo 2는 분산유체의 온도가  $16^\circ\text{C}$ ,  $32^\circ\text{C}$ 일 이고 유량이  $2.37 \text{ l/min}$ 인 경우 무차원시간  $t^*=0.32$ (실제시간  $t=15\text{min}$ )일 때의 것으로  $32^\circ\text{C}$ 에는 벽면효과로 인해 상부영역의 용융의 진행이 빨리 나타났다.

Fig. 6, 7에서는 분산유체의 유입온도를



(a)  $T_{in}=16^\circ\text{C}$       (b)  $T_{in}=32^\circ\text{C}$

Photo 2. Photographs of melting shape at the 15 minutes.  
( $Q=2.37 \text{ l/min.}$ ,  $\text{IPF}=34.2\%$ )

$16^\circ\text{C}$ 이고 빙축열조의 얼음충진율  $17.1\%$ 을 유지한 채 유입유량을  $2.37 \text{ l/min}$ ,  $3.27 \text{ l/min}$ 으로 변화시켜 유입유량의 변화에 따른 빙축열조 내의 온도분포를 나타내었다. 유입유량이 상대적으로 많은  $3.27 \text{ l/min}$ 의 경우가 온도성층화에 이르는 시간 또한 빨랐다. 얼음이 존재하는  $6^\circ\text{C}$  이하의 영역에서 온도가 시간 경과에 따라 온도역전 현상이 적고 전반적으로 안정된 경향을 보였다. 그러나 빙축열조 내에 얼음이 완전히 사라지고 난 후에는 유입유량이  $3.27 \text{ l/min}$ 인 경우가 빙축열조의 유입유출유량이 많음으로 인해 온도성층화 강하게 나타났고, 온도성층화를 유지하는 시간 또한 길게 나타났다.

Fig. 8, 9는 분산유체의 유입온도  $16^\circ\text{C}$ 이고 유입유량이  $2.37 \text{ l/min}$ 인 조건에서 빙축열조의 얼음충진율을  $17.1\%$ 와  $51.4\%$ 인 때를 비교검토한 것이다. 얼음충진율이  $17.1\%$ 인 쪽의 경우가 온도 성층화에 소요되는 시간이 짧고 강하게 나타났으나, 얼음이 존재하는 영역에서의 온도는 불안정하게 나타났다. 이것은



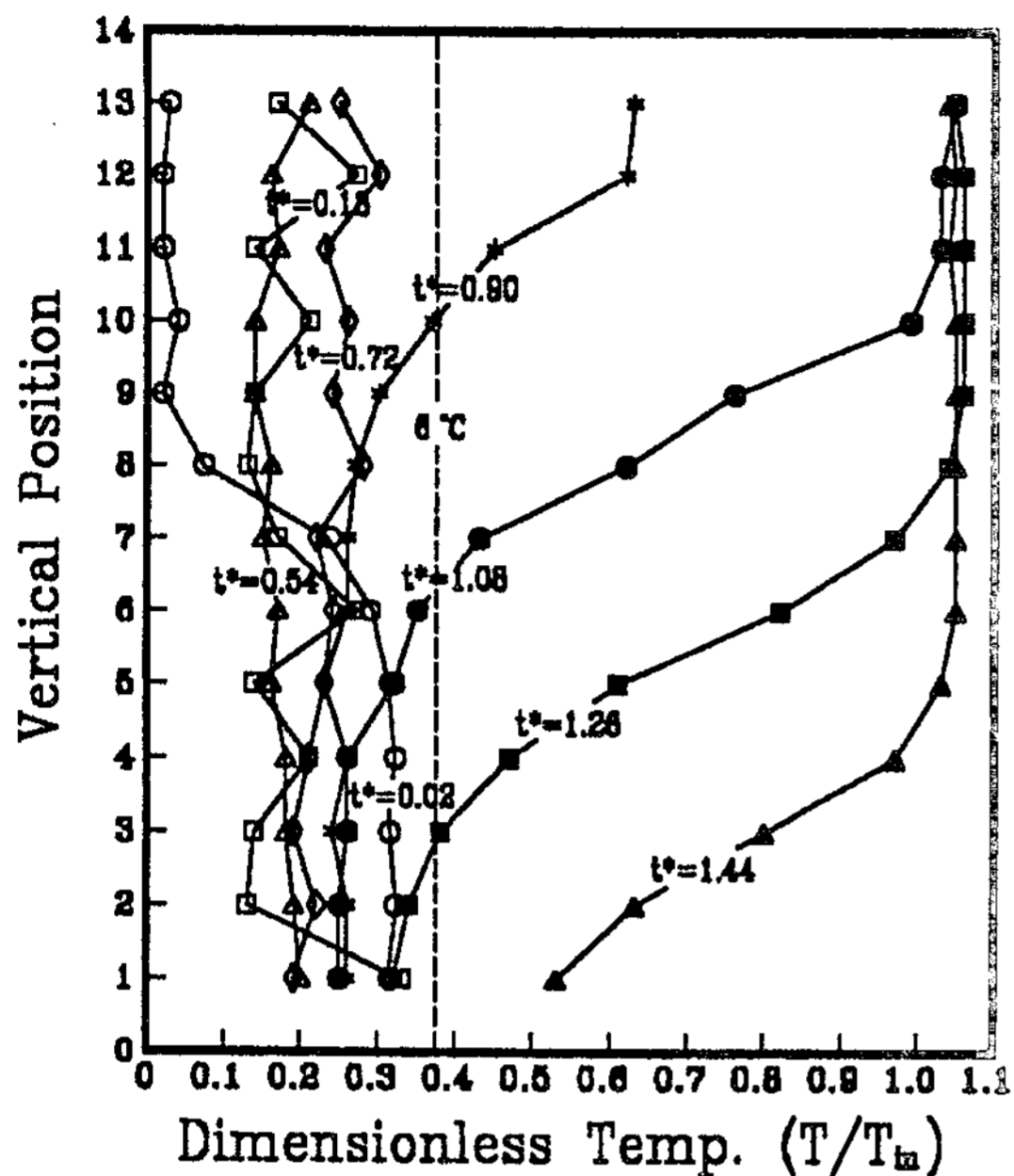


Fig. 6 The distribution of vertical temperature for the variation of time.  
( $T_m=16^{\circ}\text{C}$ ,  $Q=2.37 \ell / \text{min.}$ ,  $\text{IPF}=17.1\%$ )

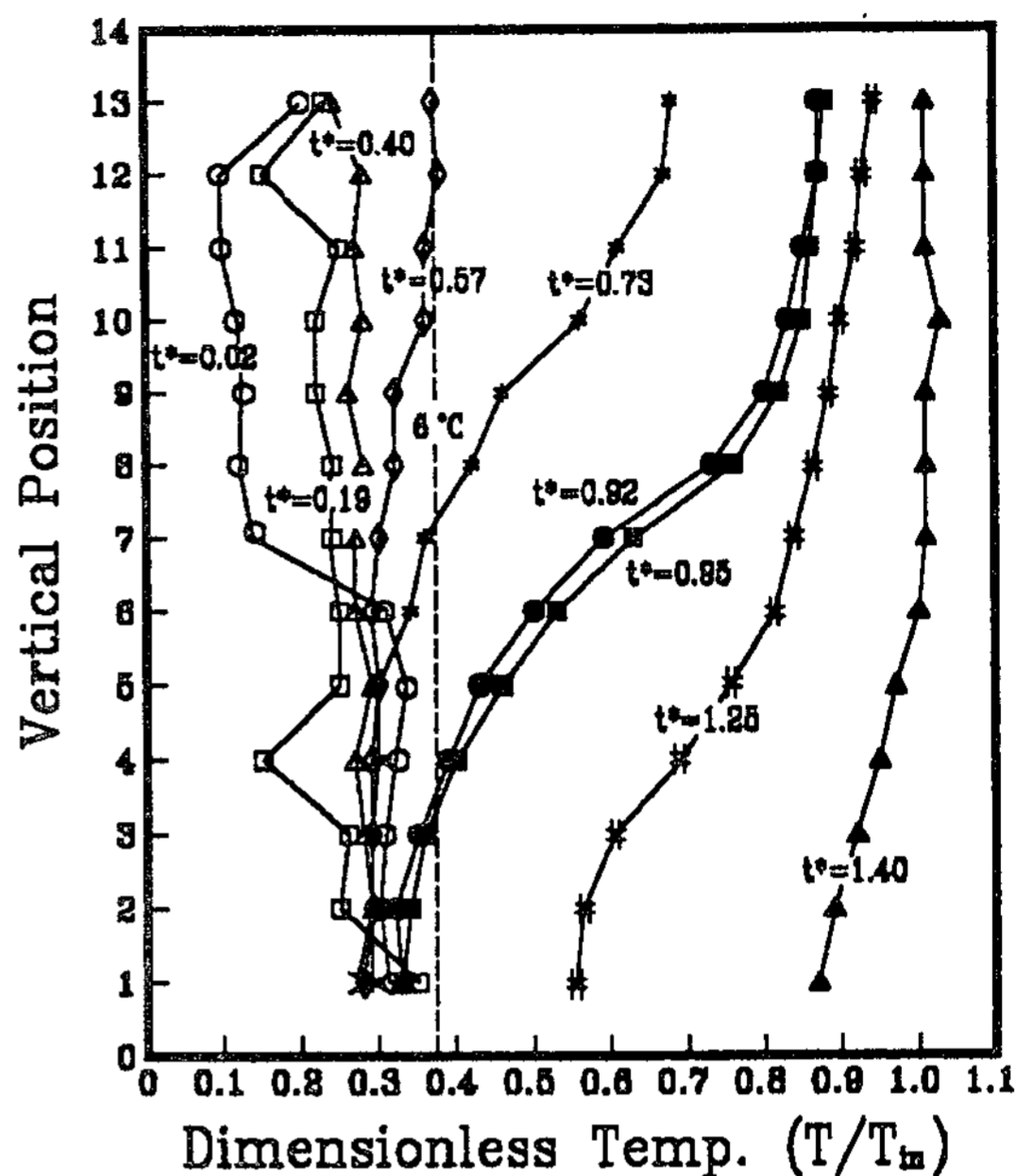


Fig. 7 The distribution of vertical temperature for the variation of time.  
( $T_m=16^{\circ}\text{C}$ ,  $Q=3.27 \ell / \text{min.}$ ,  $\text{IPF}=17.1\%$ )

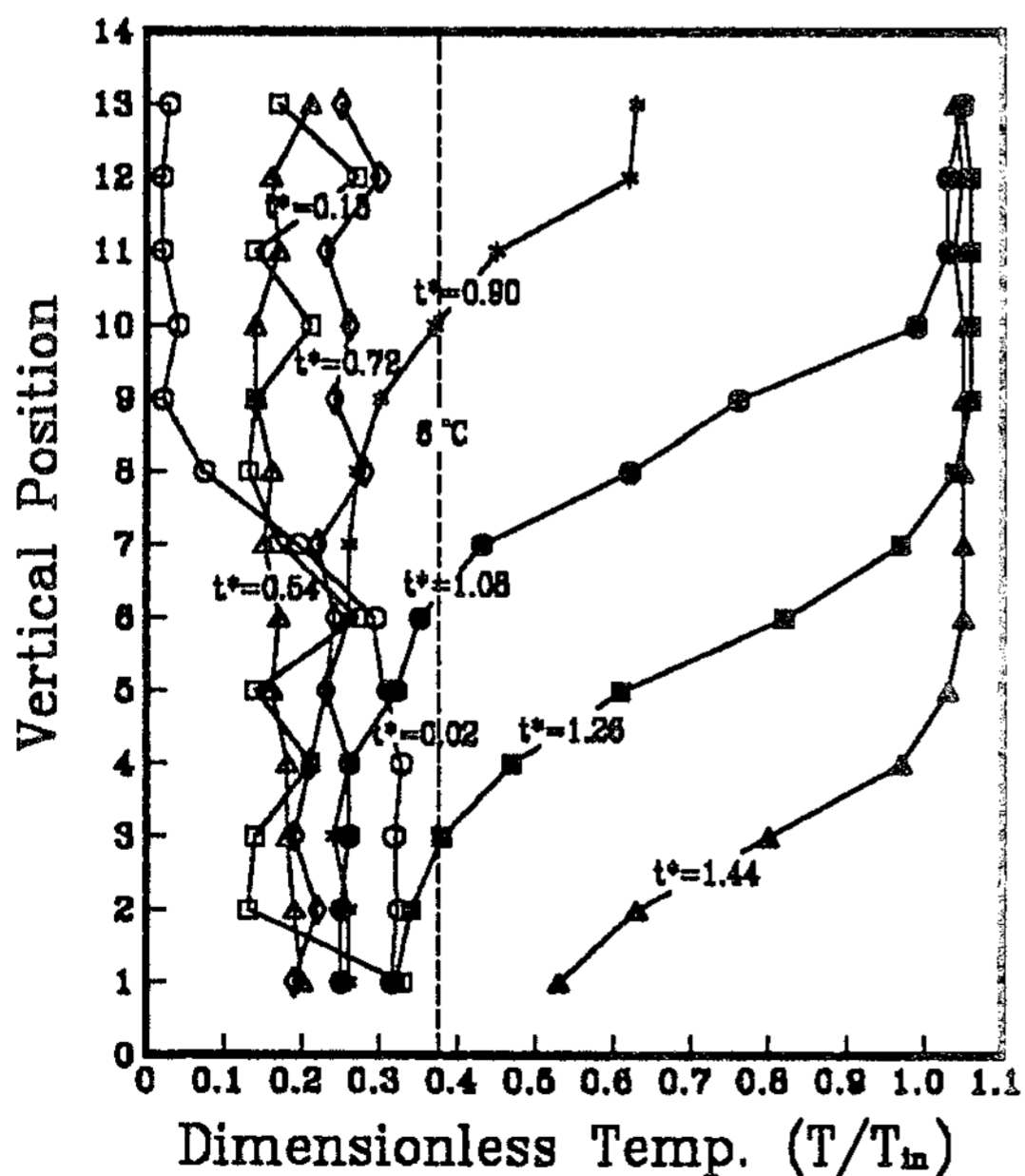


Fig. 8 The distribution of vertical temperature for the variation of time.  
( $T_m=16^{\circ}\text{C}$ ,  $Q=2.37 \ell / \text{min.}$ ,  $\text{IPF}=17.1\%$ )

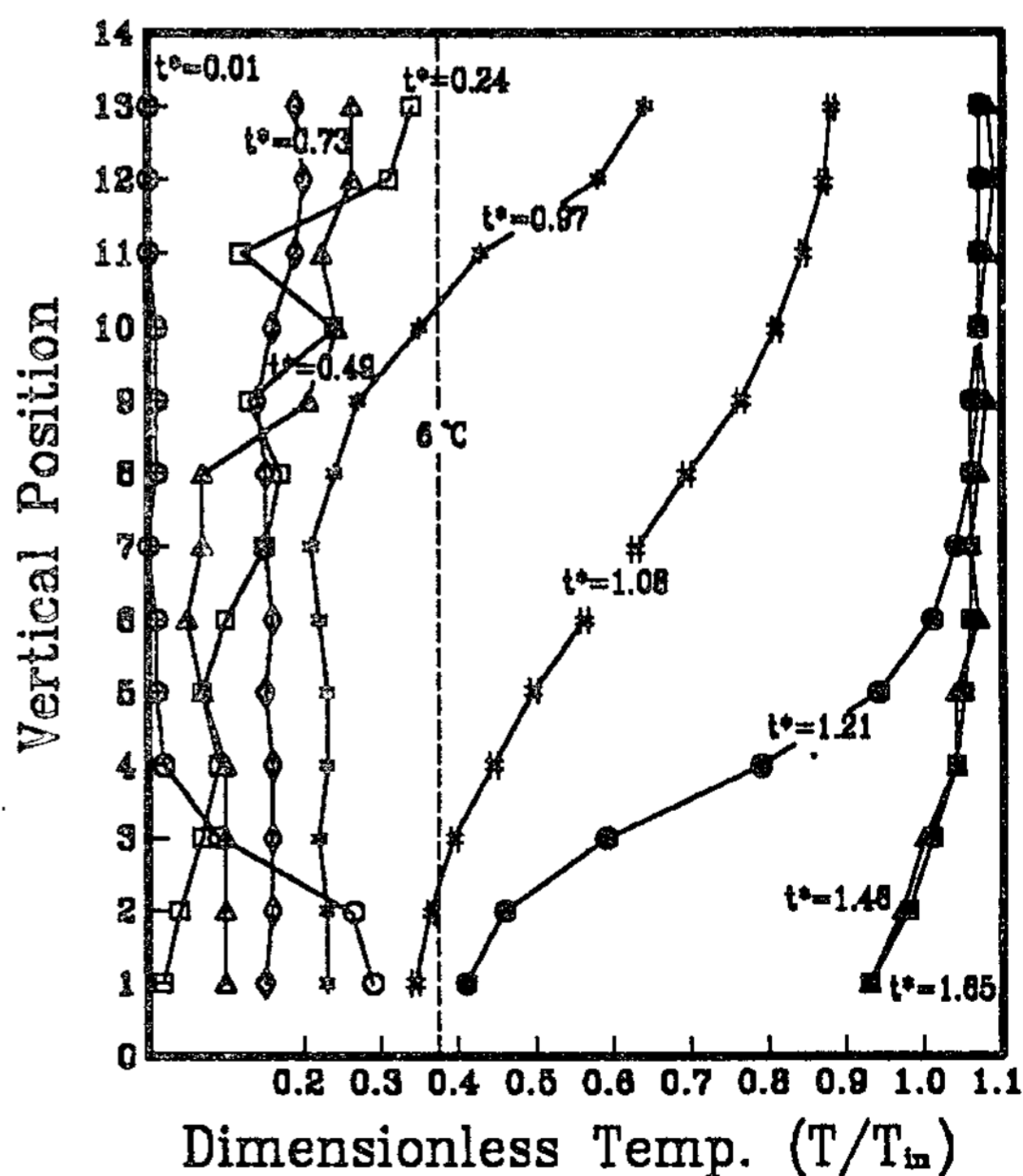


Fig. 9 The distribution of vertical temperature for the variation of time.  
( $T_m=16^{\circ}\text{C}$ ,  $Q=2.37 \ell / \text{min.}$ ,  $\text{IPF}=51.4\%$ )

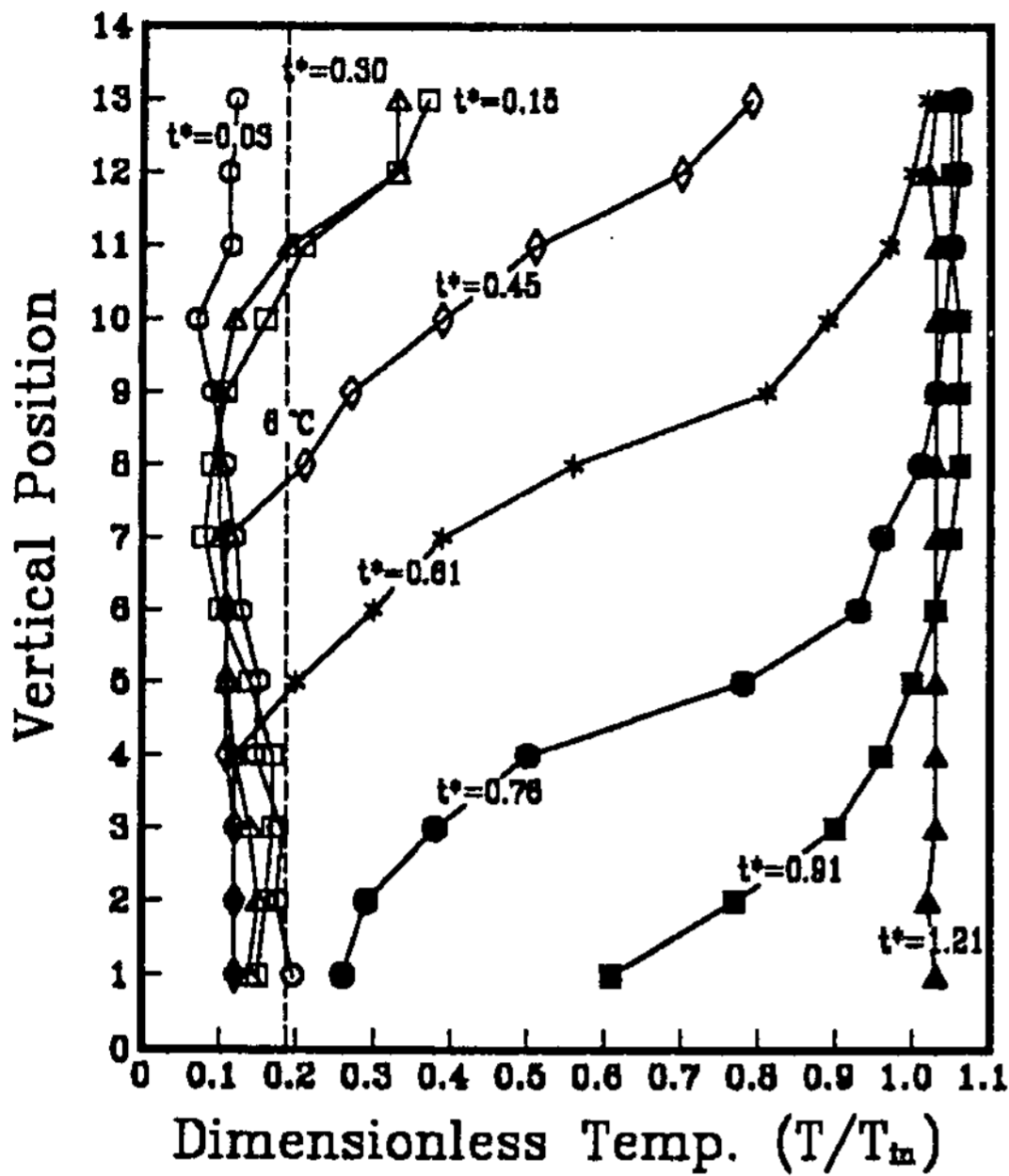


Fig. 10 The distribution of vertical temperature for the variation of time.  
( $T_m=32^{\circ}\text{C}$ ,  $Q=3.27 \ell / \text{min.}$ ,  $\text{IPF}=17.1\%$ )

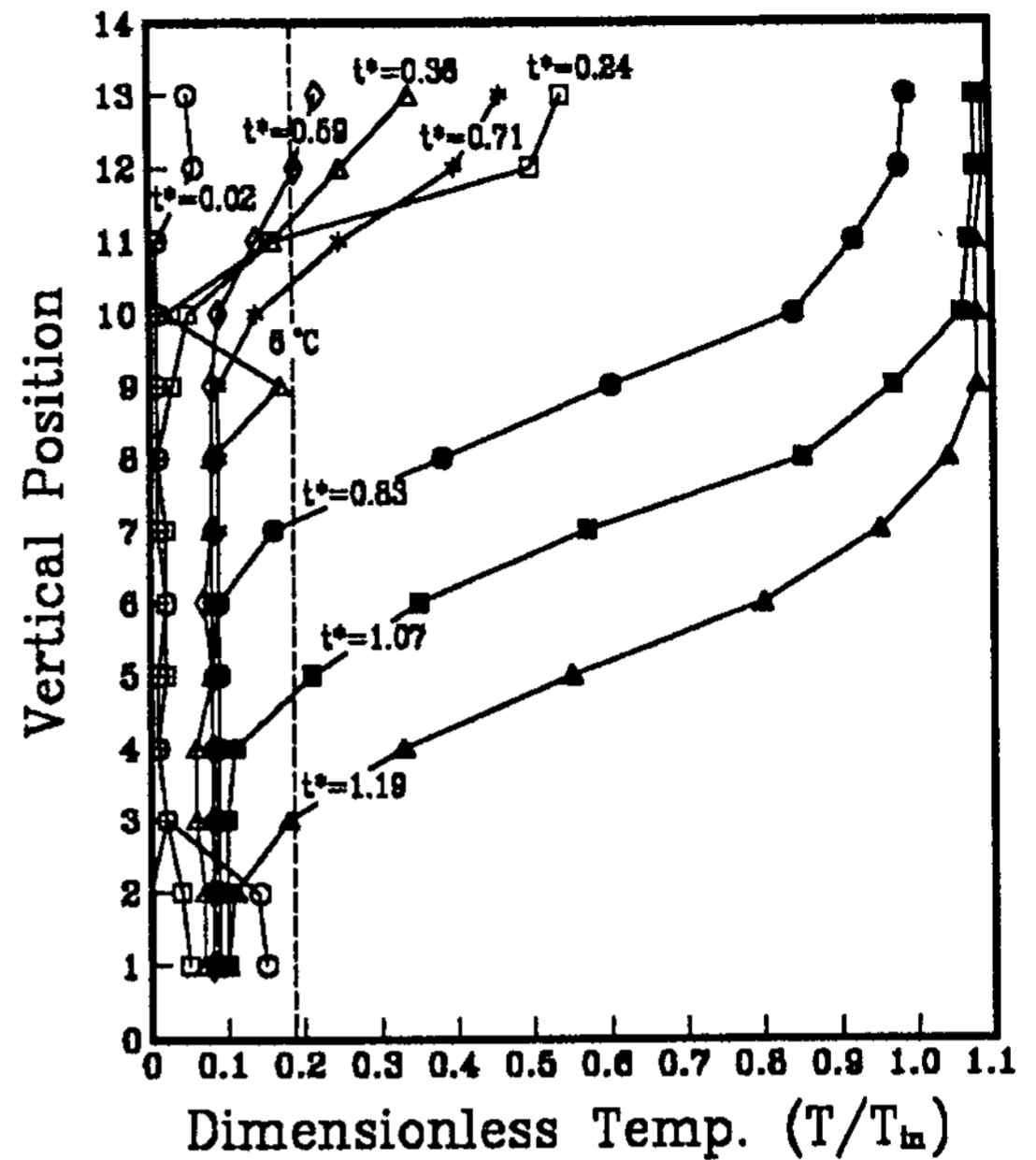


Fig. 11 The distribution of vertical temperature for the variation of time.  
( $T_m=32^{\circ}\text{C}$ ,  $Q=3.27 \ell / \text{min.}$ ,  $\text{IPF}=51.4\%$ )

얼음충진율이 51.4% 인 쪽이 빙축열조에 얼음이 많이 충전됨으로 인해 많은 잠열량에 기인한 것으로 사료되며 이로인해 실험구간에 걸쳐 안정된 온도분포를 나타내었고 온도성층화 소요되는 시간이 길었다.

Fig. 10, 11은 분산유체의 유입온도  $32^{\circ}\text{C}$ 이고 유입유량이  $3.27 \text{ l/min}$ 을 유지하고 빙축열조의 얼음충진율을 17.1%와 51.4%인 때를 비교 검토한 것이다. 이 경우에는 분산유체의 유입온도  $16^{\circ}\text{C}$ 이고 유입유량이  $2.37 \text{ l/min}$ 인 Fig. 8, 9조건에 비하여 유입유량, 온도가 모두 높은 경우의 얼음충진율이 빙축열조 내에 미치는 온도분포를 규명하기 위한 것으로 유입유온의 영향은 빙축열조의 얼음충진율과 관계없이 빙축열조 상부에 영향을 크게 작용하였고 유량이 큰 쪽이 빙축열조내의 온도 안정에 영향을 많이 작용하였다.

Fig. 12는 분산유체의 온도를 각각  $16^{\circ}\text{C}$  일 때 유입유량을  $2.37 \text{ l/min}$ ,  $3.27 \text{ l/min}$ 으로 하고 빙축열조내의 얼음 충전율을 17.1%, 34.2%, 51.4%로 변화시켰을 경우 빙축열조 내에서 측정된 온도를 평균한 평균온도( $\bar{T}$ )를 시간경과에 따라 나타낸 것이다.

빙축열조 내에 얼음이 존재하는 실험초기 기간의 빙축열조의 평균온도는 얼음충진율에 따라  $2^{\circ}\text{C}$ ,  $4^{\circ}\text{C}$ ,  $6^{\circ}\text{C}$ 로 나타났으며 실험초기 온도를 유지하는 기간은 빙축열조 내의 얼음이 존재하는 기간과 일치하며 이 기간에 걸쳐서 용해잠열이 방출됨을 알 수 있다. 그리고 빙축열조 내의 온도 상승의 경향은 유입유량이  $2.37 \text{ l/min}$ 인 경우가  $3.27 \text{ l/min}$ 인 때보다 빙축열조 내의 평균 온도가 일찍 상승하였으며 빙축열조의 얼음충진율 또한 충전율이 가장 적은 17.1% 쪽이 평균온도의 상승이 빨리 나타

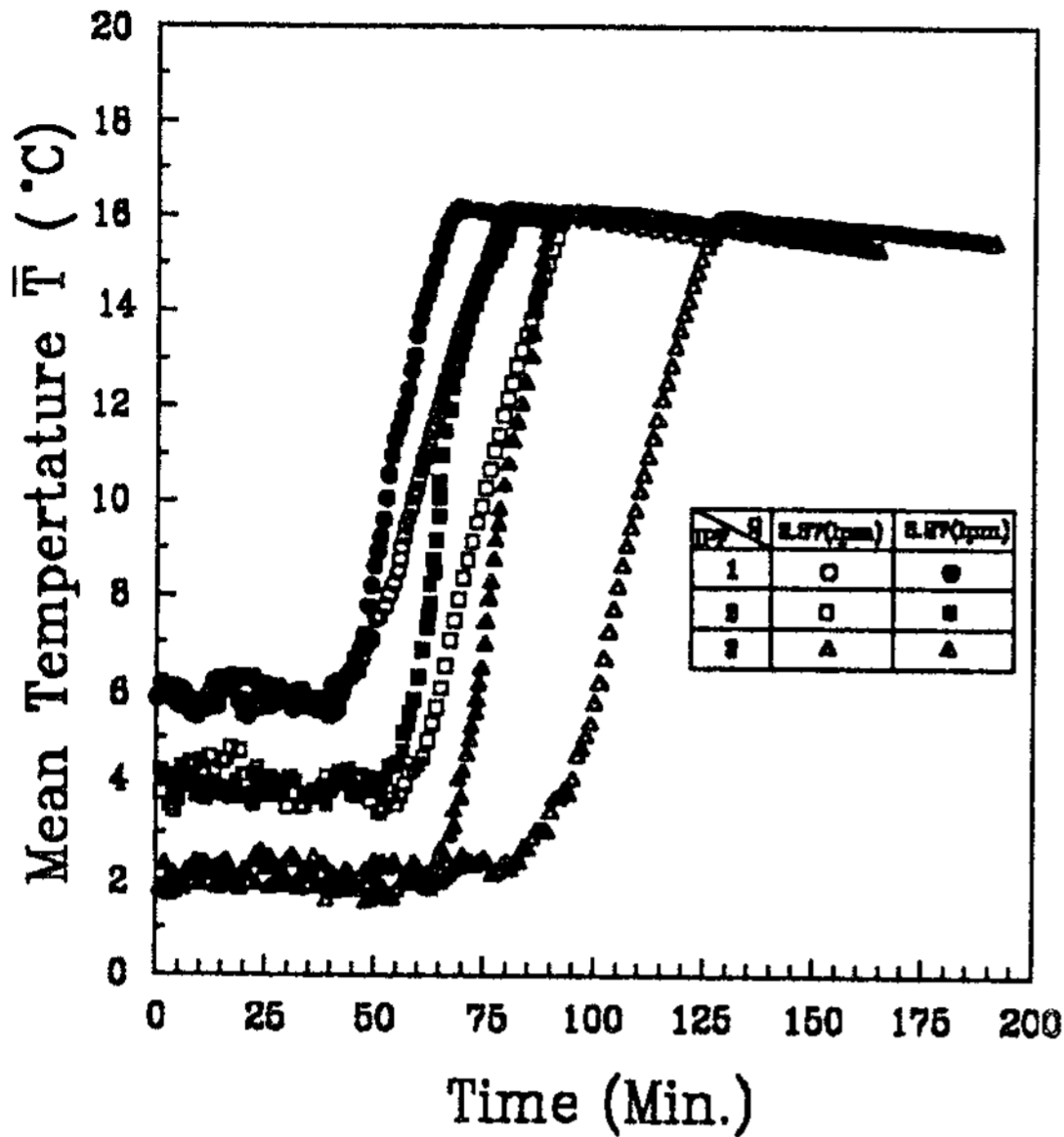


Fig. 12 Timewise variation of mean temperature. ( $T_{in}=16^{\circ}\text{C}$ )

났다. 그러나 용융초기에 빙축열조 내의 평균 온도는 유입유량의 영향보다 얼음충진율의 영향이 더 크게 작용하였다. 그러나 유입유량과 유입유온은 용융초기 얼음의 용해잠열을 방출하는 시간을 단축시켰다. 또한 얼음의 용융완료에 도달하는 되는 시간도 빙축열조의 얼음충진율이 높을수록 길게 나타났다.

Fig. 13은 빙축열조내에 얼음의 충진율(IPF)을 17.1%로 하고 분산유체의 유입온도가 16°C, 32°C인 조건하에서 얼음을 용융시켰을 때 얼음으로부터 방열되는 잠열에너지와 총방열에너지( $E_{\lambda}/E_{tot}$ )에 대한 비를 시간 경과에 따라 나타낸 것이다.

빙축열조에서 방출되는 잠열에너지와 얼음의 잔존량이 서로 비례하므로 Fig. 13 및 Fig. 14으로 빙축열조 내의 얼음의 잔존량을 예측할 수 있다. 총방열에너지에 대한 잠열에너지( $E_{\lambda}/E_{tot}$ )의 비는 분산유체의 유입온도가 동일한 조건에서는 유입유량이 많을수록 시간에

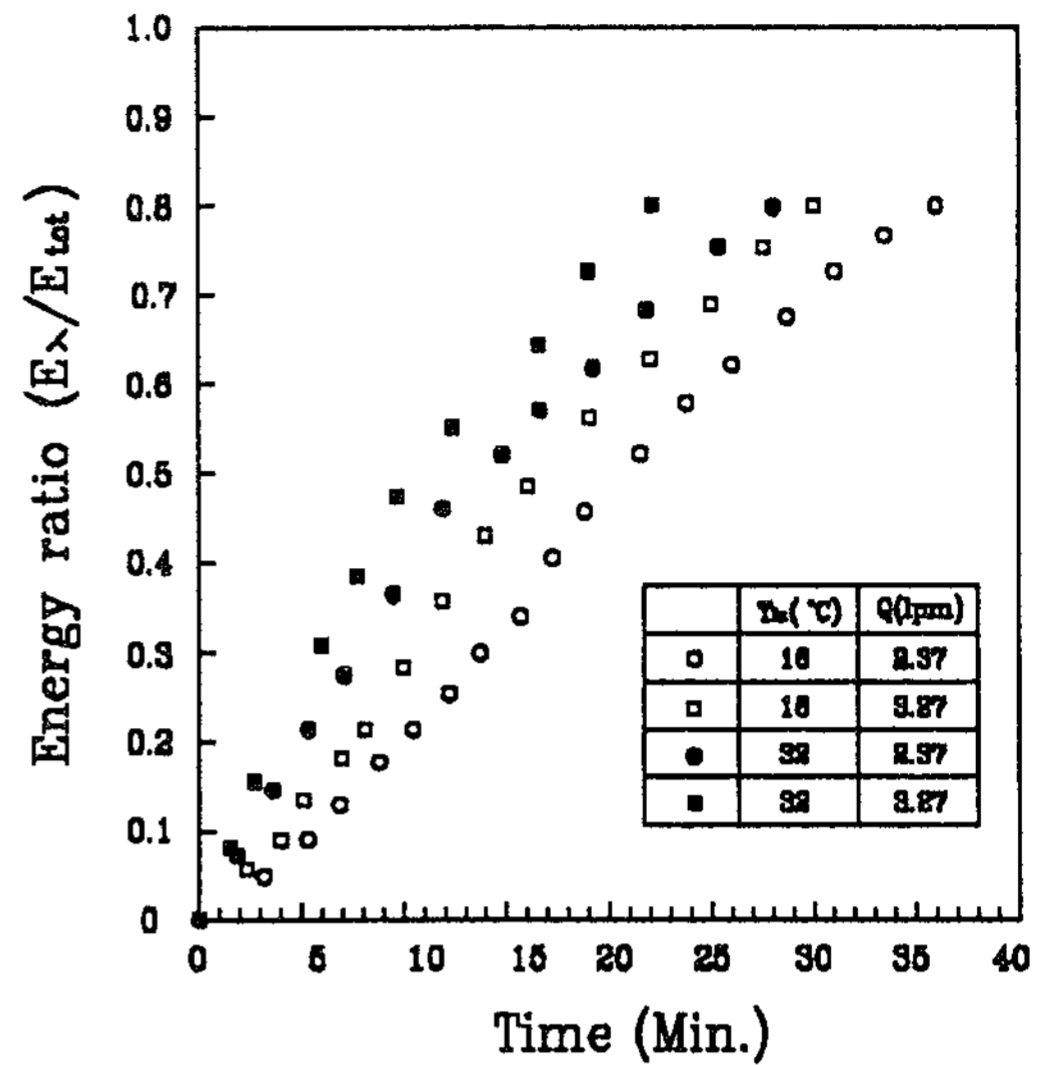


Fig. 13 Timewise variation of energy ratio. (IPF=17.1%)

대한 기울기가 크게 나타났으며, 분산유체의 유입온도가 높을수록 총방열에너지에 대한 잠열에너지의 방출비가 큰 값으로 나타났다. 분산유체의 유입온도가 32°C이고 유량이 3.27 l/min인 경우는 22분 경에 빙축열조 내의 얼음이 완전히 용해되었다. 그리고 분산유체의 유입온도가 16°C 이고 유입유량이 2.37 l/min 일 때는 빙축열조 내의 얼음에서 방출되는 총방열에너지에 대한 잠열에너지의 비는 약 80%정도가 되었다.

Fig. 14은 빙축열조 내의 얼음충진율(IPF)을 51.4%로 하고 분산유체의 유입온도가 16°C, 32°C인 조건하에서 얼음을 용융시켰을 때 얼음으로부터 방열되는 잠열에너지와 총방열에너지( $E_{\lambda}/E_{tot}$ )에 대한 비를 시간 경과에 따라 나타낸 것이다. 빙축열조의 내의 얼음충진율의 증가는 총방열에너지에 대한 잠열에너지( $E_{\lambda}/E_{tot}$ )의 방열시간이 길게 나타났다. 분산유체의 유입온도가 32°C이고 유량이

3.27 l/min인 경우는 60분 경에 빙축열조 내의 얼음이 완전히 용해되었다. 그리고 분산유체의 유입온도가 16℃ 이고 유입유량이 2.37 l/min 일 때는 94분경에 빙축열조 내의 얼음이 완전히 용해됨을 알 수 있었다.

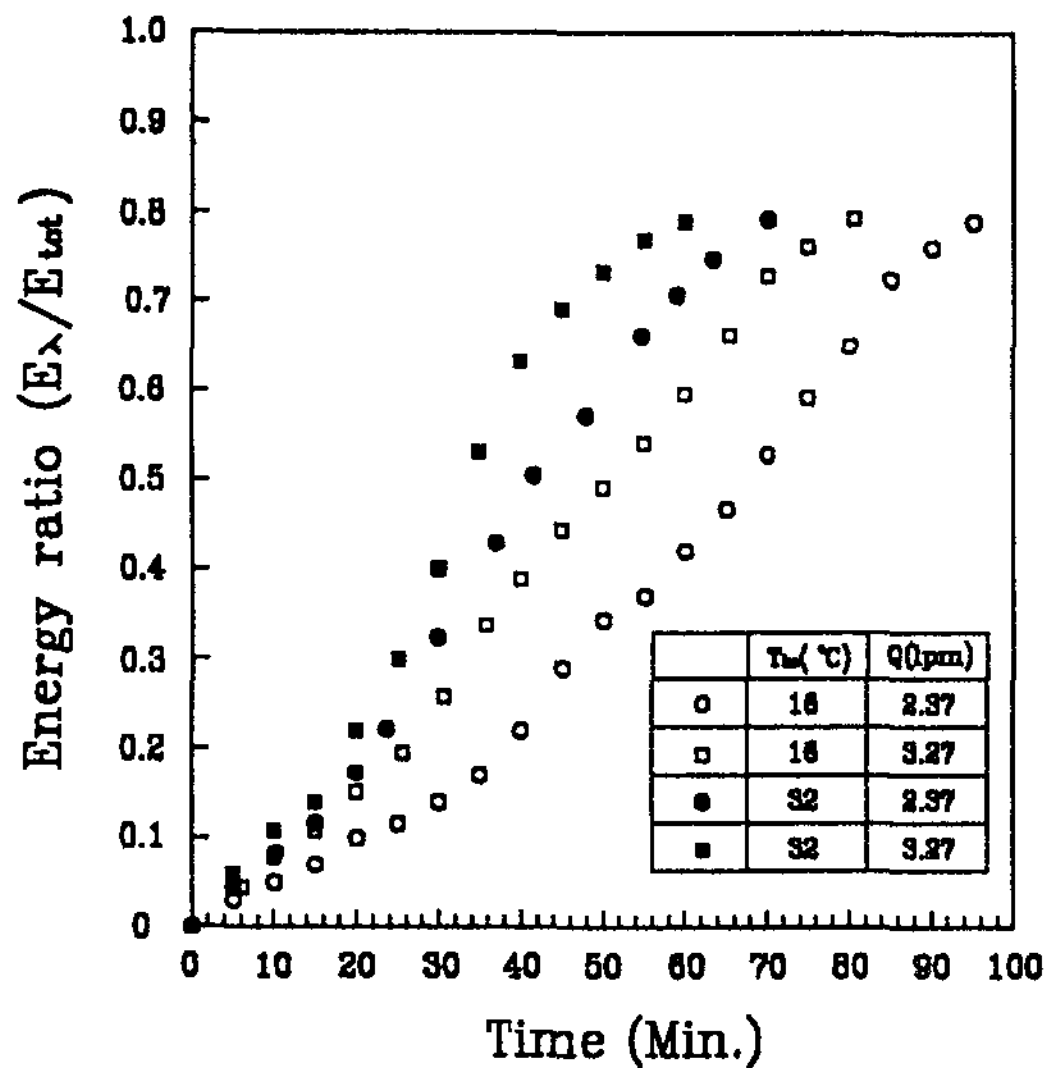


Fig. 14 Timewise variation of energy ratio. (IPF=51.4%)

#### IV. 결 론

동적형 빙축열 시스템에서 분산유체의 온도가 16℃, 32℃인 조건 하에서 유입 유량을 3.27 l/min, 2.37 l/min으로 변화시키고, 빙축열조 내에 얼음의 온도 -10℃로 하여 빙축열조의 얼음충진율을 17.1%, 34.2%, 51.4%등로 채워 빙축열조의 용융실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 빙축열조에 분산되는 분산유체의 온도가 높을수록 빙축열조 상부 영역에 영향이 크게 작용하였으며 빙축열조 내의 온도성층화 현상도 뚜렷하게 나타났고 온도 성층화에 돌입하는 시간 또한 단축되었다.

2. 빙축열조에 분산유체의 유량은 잠열이 방출되는 시기에 걸쳐서 빙축열조 내의 온도안정화에 큰 영향을 작용하였는데, 유량이 많을수록 온도성층화 현상도 뚜렷하게 나타났으며 온도 성층화에 돌입하는 시간 또한 단축되었다. 그러나 얼음의 용융이 끝난 후에는 유량이 적은 쪽이 온도성층화가 뚜렷하게 나타났다.

3. 빙축열조 얼음충진율이 높을수록 온도성층화에 소요되는 시간이 많이 걸렸고 빙축열조 내 온도분포는 안정되게 나타났다. 얼음충진율이 높을수록 빙축열조의 벽면영향이 크게 작용하여 빙축열조 상부의 온도를 높였다.

4. 실험초기기간의 빙축열조의 평균온도는 얼음충진율에 따라 2℃, 4℃, 6℃로 나타났으며 실험초기온도를 유지하는 기간은 빙축열조 내의 얼음이 존재하는 기간에 비례하였고 그리고 빙축열조 내의 온도 상승은 유입유량이 많을수록 유입온도가 높을수록 빙축열조 내의 평균 온도를 일찍 상승시켰고, 얼음충진율이 높을수록 얼음의 용해잠열을 방출하는 시간을 연장시켰다.

5. 총방열에너지에 대한 잠열에너지( $E_s/E_{tot}$ )의 비는 분산유체의 유입온도가 동일한 조건에서는 유입유량이 많을수록 시간에 대한 기울기가 크게 나타났으며, 분산유체의 유입온도가 높을수록 총방열에너지에 대한 잠열에너지의 방출비가 큰 값으로 나타났다. 빙축열조의 내의 얼음충진율이 증가하면 총방열에너지에 대한 잠열에너지( $E_s/E_{tot}$ )의 방열시간은 오래 지속되었다.

#### 후 기

본 연구는 1994년도 유한전문대학 학술연구비에 의하여 수행하였습니다.

## 참고 문헌

1. KRC 90-D J03, 심야전력을 이용한 빙축열 기술개발(1차년도 최종보고서), "A Research study on Ice Storage Cooling System", 1991, 4, 한국전력공사연구원.
2. 공조용 축열 System 개발(Ⅱ), "The R&D on Ice Storage System for Air-Conditioning(Ⅱ)", 과학기술처.
3. V. S. V. Rajan, R. K. Ridley, K. G. Rafa, "Multiphase Flow Measurement Techniques - A Review", Journal of Energy Technology, Vol. 115, pp. 151-161, Sep. 1993.
4. A. E. Fouda, G. J. G. Despault, J. B. Taylor and C. E. Capes, "Solar Storage System Using Salt Hydrate Latent Heat and Direct Contact Heat Exchange", Solar Energy Vol. 32, No. 1, pp. 57-65, 1984.
5. J. C. Ward,, W. M. Loss, and O. G. Lof George : Direct Contact Liquid - Liquid Heat Exchange for Solar Heated and Cooled Building, Solar Energy Application Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, Sep. 1977.
6. 강인석, "태양열 시스템을 위한 분사 칼럼식 액-액 열교환기의 유체유동 및 열적 특성에 관한 연구", 석사학위논문, 1993.
7. 특집 "빙축열냉방시스템", 설비기술, Vol. 34, pp. 2-45 June. 1992.
8. 기술보고, "빙축열 방식의 이용기술", 에너지관리, 1990.
9. 기술보고, "심야전력을 이용한 빙축열 공조방식", 에너지관리, 1988, 12.
10. 落合, "小規模廳舎における氷蓄熱システムに関する研究(その2)", 空氣調和衛生工學, Vol. 67, No. 2, pp. 83-94, 1993.
11. 조남철, 수평원통형 빙축열조 내 상변화물질의 전열특성에 관한 연구, 박사학위논문, 1995.

## **An Experimental Study on the Thermal Characteristics of Direct Contact Liquid-Ice Heat Exchanger**

**Lee Chae-Moon\* · Park Jung-Won\* · Kim Dong-Hun\***

*\* Dept. of Mech, Yu Han Junior College*

### **ABSTRACT**

The operating thermal characteristics of direct contact liquid-ice heat exchanger was experimentally investigated. In this paper, The effects of Ice Packing Factor(IPF), the inlet temperature and the flow rate of Heat Transfer Fluid(HTF) were studied in the liquid-ice heat exchanger. Thermal stratification in liquid-ice heat exchanger was established clearly and faster at the higher inlet temperature and flow rate of HTF. At the end of melting of the lower flow rate is cleared the thermal stratification in liquid-ice heat exchanger. The temperature stratification is long with higher value of IPF of liquid-ice heat exchanger. The mean temperature of liquid-ice storage was changed rapidly with increasing flow rate and inlet temperature of HTF. The gradient of ratio of total energy to latent energy was found higher with increasing inlet temperature and flow rate.