

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol.17. No.2. 1997

직접접촉식 빙축열조의 전열특성에 관한 연구 - 빙축열조의 단열영향을 중심으로 -

이채문* · 박정원* · 조남철** · 박상록*** · 김일겸**** · 김동춘**** · 김영기**** · 임장순*****

- * 유한전문대학 기계과
- ** 안산공업전문대학 기계과
- *** 두원공조(주)
- **** 인하대학교 대학원
- ***** 인하대학교 기계공학과

An Experimental Study on the Thermal Characteristics of Ice Storage Tank

- Focusing on the Adiabatic Effects of Ice Storage Tank -

Lee, Chae Moon* · Park, Jung Won* · Cho, Nam Chul** ·
Park, Sang Rok*** · Kim, Il Gyoum**** · Kim, Dong Chun**** ·
Kim, Young Ki**** · Yim, Chang Soon*****

- * Yuhan Junior College
- ** Ansan Tech. College
- *** Dowon Climate Control Co.
- **** Graduate School, Inha University
- ***** Dept. of Mechanical Eng., Inha University

요 약

동적형(Dynamic type) 빙축열시스템의 빙축열조에서 단열조건과 비단열조건인 경우 각각 얼음충진율(Ice Packing Factor), 분산유체의 온도 및 유량의 변화에 따른 실험을 수행하였다.

실험시간이 경과함에 따라 빙축열조의 수직방향으로 온도성층화가 나타났으며 분산유체의 유입온도가 높고 유입유량이 많을수록 상부영역에서 온도분포는 크게 변화하였고 온도성층화에

도달하는 시간도 단축되었다. 또한 얼음층진율이 작은 경우가 온도성층화를 이루는 시간이 짧았고 상하부 온도차가 급격히 커진 것 알 수 있었다.

그리고 단열의 경우가 비단열의 경우보다 모든 조건하에서 조금 높은 온도분포를 나타내었으며 온도성층화에 소요되는 시간도 조금 단축되었다.

빙축열조내의 수직방향의 평균온도 상승은 얼음층진율이 낮고 유량이 많을수록 커졌으며 총 방열에너지에 대한 잠열에너지의 비(E_{λ}/E_{tot})는 약 80%정도로 나타났다. 또한 유입온도가 높고 유량이 많을수록 잠열에너지의 방출이 빨리 나타났다.

ABSTRACT

In this paper, the operating thermal characteristics of liquid-ice was experimentally investigated in an adiabatic and a non-adiabatic direct contact liquid-ice heat exchanger. Experiments were carried out varying inlet temperature, Ice Packing Factor, and the flow rate of heat transfer fluid.

The higher inlet temperature and the more much inlet flow rate, thermal stratification in liquid-ice heat exchanger was established faster.

In the case of adiabatic ice storage tank, temperature distribution was a little higher at all conditions than that of non-adiabatic one.

The ratio of latent energy to total discharge energy (E_{λ}/E_{tot}) was about 80%, and the discharge of latent heat energy was appeared rapidly as inlet temperature and flow rate were higher.

NOMENCLATURE

C	: Specific heat	[kJ/kg°C]	IPF	: Ice Packing Factor	
E_{s1}	: Sensible energy stored in the solid which remained unmelted	[kJ/kg]	M_l	: Molten mass of P.C.M.	[kg]
E_{s2}	: Sensible energy stored in the liquid	[kJ/kg]	M_s	: Solid mass during melting process	[kg]
E_{s3}	: Sensible energy stored in the solid	[kJ/kg]	M_{tot}	: Total mass of P.C.M.	[kg]
E_{tot}	: Total energy stored	[kJ/kg]	Q	: The rate of flow	[m ³ /h]
E_{λ}	: Latent energy	[kJ/kg]	t	: Time	[min.]
			T	: Temperature	[°C]
			T_i	: Initial temperature of P.C.M.	[°C]

T_{in}	: Inlet water temperature	[°C]
T_m	: Melting temperature	[°C]
\bar{T}	: Average temperature of P.C.M.	[°C]
V	: The volume of ice	[m ³]
V_o	: The volume of ice storage tank	[m ³]
V_{tot}	: Total volume of P.C.M.	[m ³]

GREEK SYMBOLS

ρ	: Density	[kg/m ³]
ρ_s	: The density of ice	[kg/m ³]
ρ_l	: The density of water	[kg/m ³]
λ	: Latent heat of fusion	[kJ/kg]
l	: Liquid phase	
s	: Solid phase	
ot	: Total	

DIMENSIONLESS GROUP

T^*	: Dimensionless temperature	[T/T _{in}]
V^*	: Dimensionless volume	[V/V _o]
t^*	: Dimensionless time	

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

1. 서론

최근 여름철 냉방수요가 급증하면서 주간과 야간의 전력수급 불균형이 커져 주간 최고 사용 피크 전력은 점점 높아지고 있다. 그리고 전력공급의 특징은 항상 최고 사용 피크 전력

에 발전량을 맞추어야 하는 특성 때문에 일년 중 냉방수요가 피크를 이르는 주간의 몇 시간, 그나마 사용일수 조차 10여일의 짧은 기간만 사용되는 발전시스템에 엄청난 예산을 들여서 건설해야만 하는 실정이다. 그러나 심야의 값싼 전력을 이용하여 물을 냉동한 후 저장시켜 냉방부하를 많이 요구하는 주간시간대에 얼음의 용해잠열을 이용하는 빙축열시스템을 이용하면 발전설비가 효율적일 뿐만 아니라, 심야전력 사용에 따른 열원기기의 운전시간이 연장되어 냉동기와 같은 열원설비용량을 줄일 수 있어 전력비의 절감이 가능하다. 그리고 공급열원기기의 전부하운전에 의해 고효율운전이 가능하므로 부하변동이 심한 곳 혹은 공조시스템의 사용시간대가 다양한 공간에 대해서도 안정된 열공급을 할 수 있어 건물의 증설 또는 용도변경에 따라 부하가 변화될 때 적응성이 좋아서, 기계실 공간이 작은 중소규모의 빌딩에서도 쉽게 설치할 수 있는 이점이 있다.

현재 사용되는 빙축열 시스템의 개발현황을 보면 제빙시스템에서 정적형(Static type : 관내외 착빙식(ice on/in coil type), 캡슐식(capsule type))과 동적형(Dynamic type : 하베스터방식(harvest type), 液體式 氷生成方式)으로 나눌 수 있고, 이 중 동적형(Dynamic type)이 열전달율이 커서 냉동기의 COP를 높일 수 있기 때문에 연구에 많은 관심이 모아지고 있다.

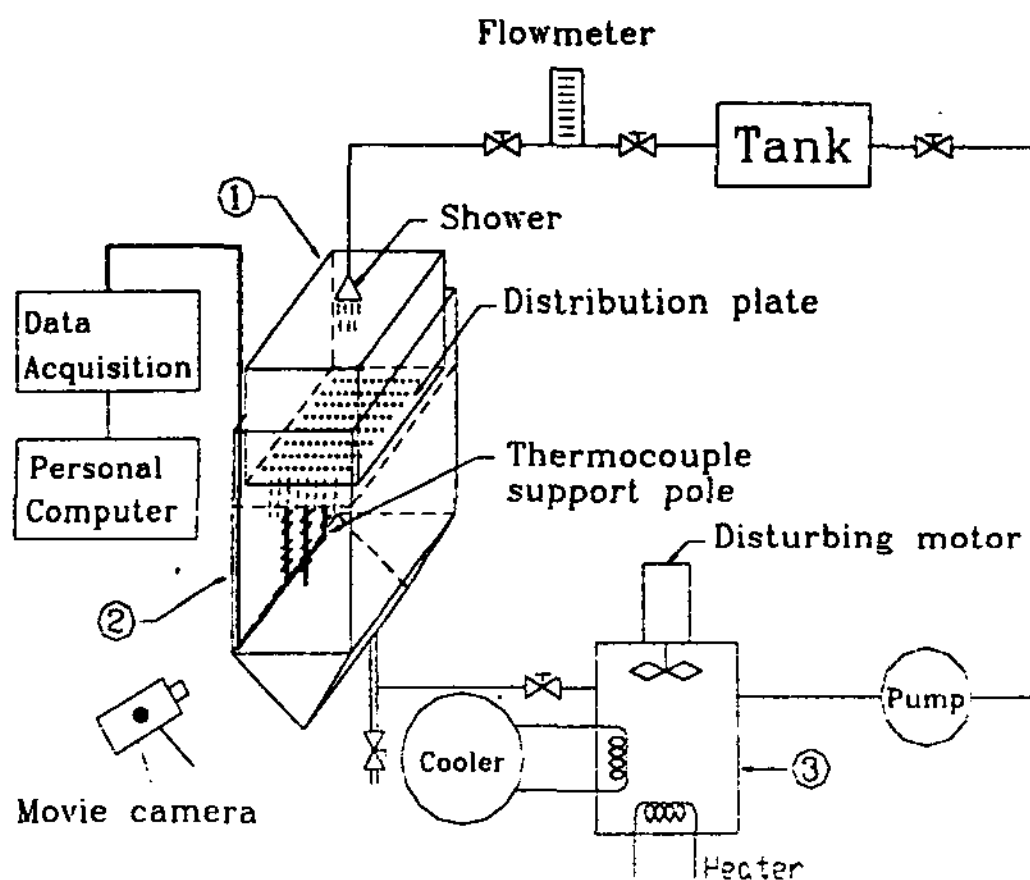
따라서 본 연구에서는 직접접촉 열교환방식 중 동적형 빙축열 시스템의 방열과정 시 단열, 비단열된 빙축열조에서 열전달유체(분산유체)의 유량, 분산유체의 유입온도, 얼음의 충진율(IPF) 등을 변화시켜 빙축열조 내 온도 측정 및 또한 비단열과정에서 얼음 용융과정

의 가시화를 수행하고, 온도성층화 특성과 이 때 방열되는 에너지성분 등을 고찰하여 빙축열조의 전열특성을 규명하고자 하였다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도로서 직접접촉식 열교환기의 요소장치들을 보여준다. 실험장치의 주요부는 (1)분산조 및 분배판, (2)빙축열조, (3)가열 및 냉각조, (4)기타부품 등으로 구성된다.



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

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

분산조 및 분산판

분산조는 가로 290 mm, 세로 290 mm, 높이 400 mm의 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 1.5 mm의 동판으로 제작되었으며, 196개의 노즐구멍이 가공되어있다. 각 노즐구멍의 직경은 0.6 mm이고 간격은 19 mm의 간격으로 정방형으로 배열하였다. 이때 공급되는 분산유체의 유량은 분산조 내의 분산유체의 수위를 일정높이로 유지하여 조절하였다. 분산조 내에는 분산유체의 유입온도 측정을 위해 분산조 내의 세지점에 열전대(C-C, $\phi 0.3$)를 설치하였다.

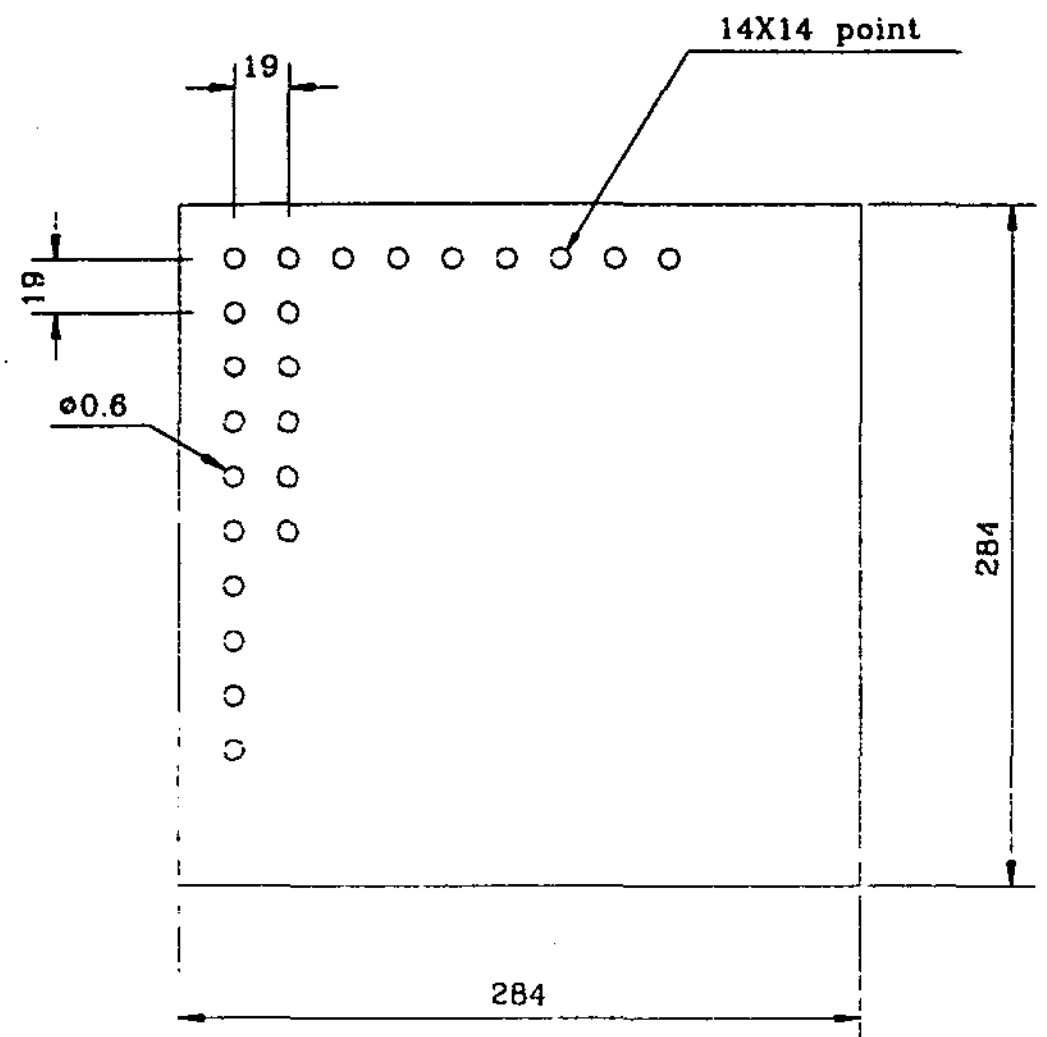


Fig. 2 The shape of distribution plate.

빙축열조

빙축열조는 Fig. 3과 같이 가로 320 mm, 세로 320 mm, 높이 1200 mm의 크기에 전면과 후면은 얼음의 용융량의 측정을 위해 전후면에 유리창을 설치하였고 좌우측면은 철판으로 밀봉하였다. 빙축열조 내부의 온도변화를 측정하기 위해 26개의 열전대를 설치하였으며 각 설치위치는 빙축열조 중앙부에 13개, 축열조 벽면의 영향을 규명하기 위해 축열조 대각선 중앙인 1/2지점에 13개의 열전대 설치하고 열전대는 지지대에 부착하였다. 이때 측정

된 온도들은 자료획득장치(Hewlett Packard 3852A)를 사용하여 PC에 기록·저장한 후, 그 결과들을 분석하였다.

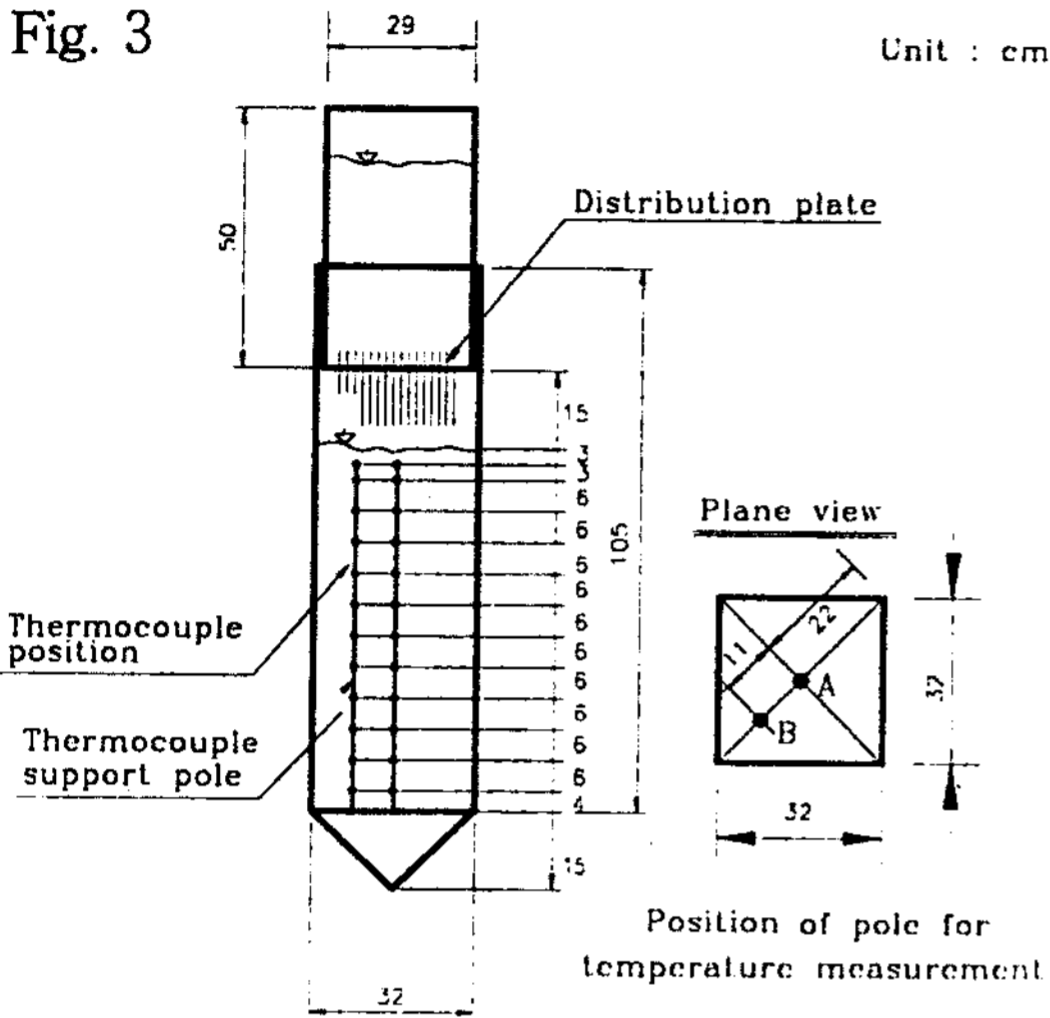


Fig. 3 Dimension of heat exchanger.

가열냉각조

100ℓ 용량의 플라스틱 탱크를 단열하여 사용하였으며 가열냉각조 뚜껑에는 교반기를 달아 가열 및 냉각과정 시 탱크 내부 분산유체의 성층화가 일어나지 않도록 하였다. 실험초기 축열조 내 분산유체(물)의 분산초기온도를 일정하게 유지하기 위하여 2USRT 용량의 냉각기를 사용하였으며, 6kW 용량의 가열히터를 사용하여 분산유체를 설정온도까지 가열하는데 사용하였고, 보조열원으로서 2kW의 가열히터를 탱크 내에 설치하였다.

2. 실험방법

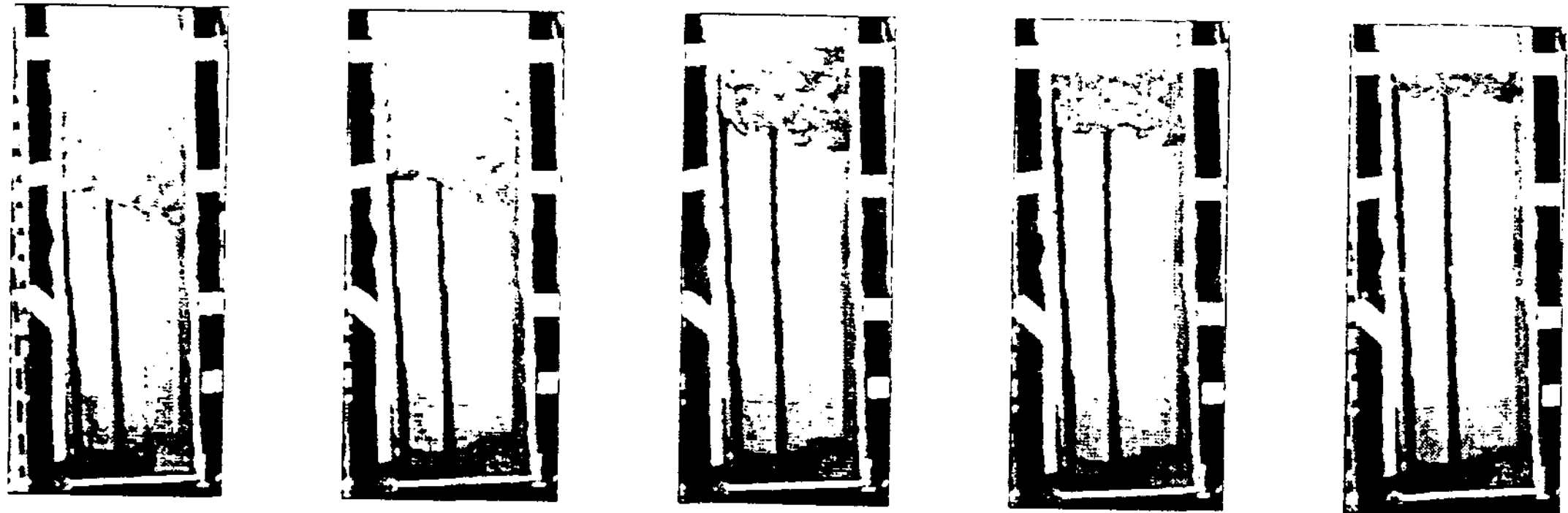
실험의 첫 단계는 펌프를 가동시켜 설정온도로 유지된 냉온수조의 물을 분산조로 순환시키며 빙축열조 내의 유체를 초기 상태(6℃)로 만든다. 이 때 빙축열조 내의 온도를 연속

적으로 측정하여 초기상태를 확인하고 초기조건이 확인되면 펌프를 중단시키고 냉온수조 히터를 가동시켜 분산할 분산유체의 온도를 실험설정온도로 맞춘 후, 빙축열조에 실험조건에 해당하는 얼음을 빙축열조에 채운다. 이 때 빙축열조의 빙수면 높이는 수조 사각바닥으로부터 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, 빙축열조 내의 빙수위 조절은 빙축열조 출구에 있는 밸브를 조절하여 빙축열조 빙수위를 조절한다.

그리고 본 실험에 사용한 열전대는 지름 0.3 mm Copper-Constantan이고 측정영역은 0~300°F이다. 열전대의 설치는 Fig. 3과 같이 빙축열조 중앙에 13개 지점, 대각선의 1/4 지점에 빙축열조 벽면의 효과를 관찰하기 위해 13개 위치에 설치하였다. 이 때 각 지점들의 온도들은 자료획득장치(Hewlett Packard 3852A)를 통하여 매 1분 간격으로 측정되었고, 시간에 따른 얼음의 용융상태를 가시화하기 위하여 빙축열조 후면에 할로겐 램프를 설치하여 투사하고, 빙축열조 전면의 유리창을 통해 비디오 카메라로 얼음이 용융되는 과정을 촬영하였다. 각 지점에서 측정된 온도들과 촬영된 화상들은 데이터 자료획득장치와 화상처리장치(DT2853 : Data Translation사)를 통해 PC에 기록하였다. 비디오 카메라로 촬영된 화상은 그로벨 랩 이미지 프로그램(Data Translation)을 이용하여 잔류 얼음의 양을 측정하고 잠열에너지를 구하였으며 그 화상들은 Photo. 1에 나타내었다. 그리고 본 실험에 사용한 물의 밀도 값은 Gebhart의 계산식,

얼음에 대한 값은 Laplaca, 얼음의 비열, 열전도율은 Sugisaki, Sakazume의 계산식을 이용하였다. 또한 실험조건들은 Table 1에서 나타

낸 바와 같이 유입온도, 유량, IPF를 변화시켜 총 24조건에 대해 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.

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

Table 1 The conditions of experiment.

실험 조건 실험 번호	유입수온 16°C	유입수온 32°C	유량[l/min.] 2.37	유량[l/min.] 3.07	IPF 17.1 %	IPF 34.2 %	IPF 51.4 %	Ice 초기온도 - 10°C	비단열	단열
IE 111N	○		○		○			○	○	
IE 112N	○		○			○		○	○	
IE 113N	○		○				○	○	○	
IE 121N	○			○	○			○	○	
IE 122N	○			○		○		○	○	
IE 123N	○			○			○	○	○	
IE 211N		○	○		○			○	○	
IE 212N		○	○			○		○	○	
IE 213N		○	○				○	○	○	
IE 221N		○		○	○			○	○	
IE 222N		○		○		○		○	○	
IE 223N		○		○			○	○	○	
IE 111A	○		○		○			○		○
IE 112A	○		○			○		○		○
IE 113A	○		○				○	○		○
IE 121A	○			○	○			○		○
IE 122A	○			○		○		○		○
IE 123A	○			○			○	○		○
IE 211A		○	○		○			○		○
IE 212A		○	○			○		○		○
IE 213A		○	○				○	○		○
IE 221A		○		○	○			○		○
IE 222A		○		○		○		○		○
IE 223A		○		○			○	○		○

III. 실험 결과 및 고찰

1. 관련이론 및 실험무차원수

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

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

용융된 얼음의 질량과 비열을 각각 M_l, C_l 이라 하고, 고상으로 남아 있는 얼음의 질량과 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} 은

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

이며, 얼음의 용융시 잠열 에너지 E_λ 는

$$E_\lambda = \lambda \cdot M_l \quad (2)$$

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 용융점은

도 T_m 까지 가열될 때의 현열 에너지 E_{s3} 는 다음과 같이 계산된다.

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

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

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 빙축열조 내의 얼음의 용융과정시 방열되는 총에너지(E_{tot})에 영향을 미치는 인자들로서 일반화하여 표현할 수 있는 무차원수들을 고려하여 보면 빙축열조의 크기, 충전율, 열전달유체의 온도, 유량 등을 고려한 무차원 시간 t^* , 열전달유체의 온도와 축열조내의 온도비를 나타낸 무차원온도 T^* , 빙축열조 용기의 크기와 얼음의 크기의 비를 나타낸 V^* 등으로 나타낼 수 있다. 그리고 각각 무차원수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T^* &= [T/T_{in}] \\ V^* &= [V/V_0] \\ t^* &= \end{aligned} \quad (6)$$

$$\left[\frac{\rho_l C_l Q T_{in}}{\rho_l C_l V_0 T_{in} + \rho_s V_0 IPF \lambda} t \right]$$

2. 실험결과에 대한 고찰

Fig. 4(a),(b)는 분산유체의 유량이 2.37 l/min. 이고 얼음의 충전율 및 분산유체의 유입온도가 각각 34.2%, 16°C인 경우에 빙축열

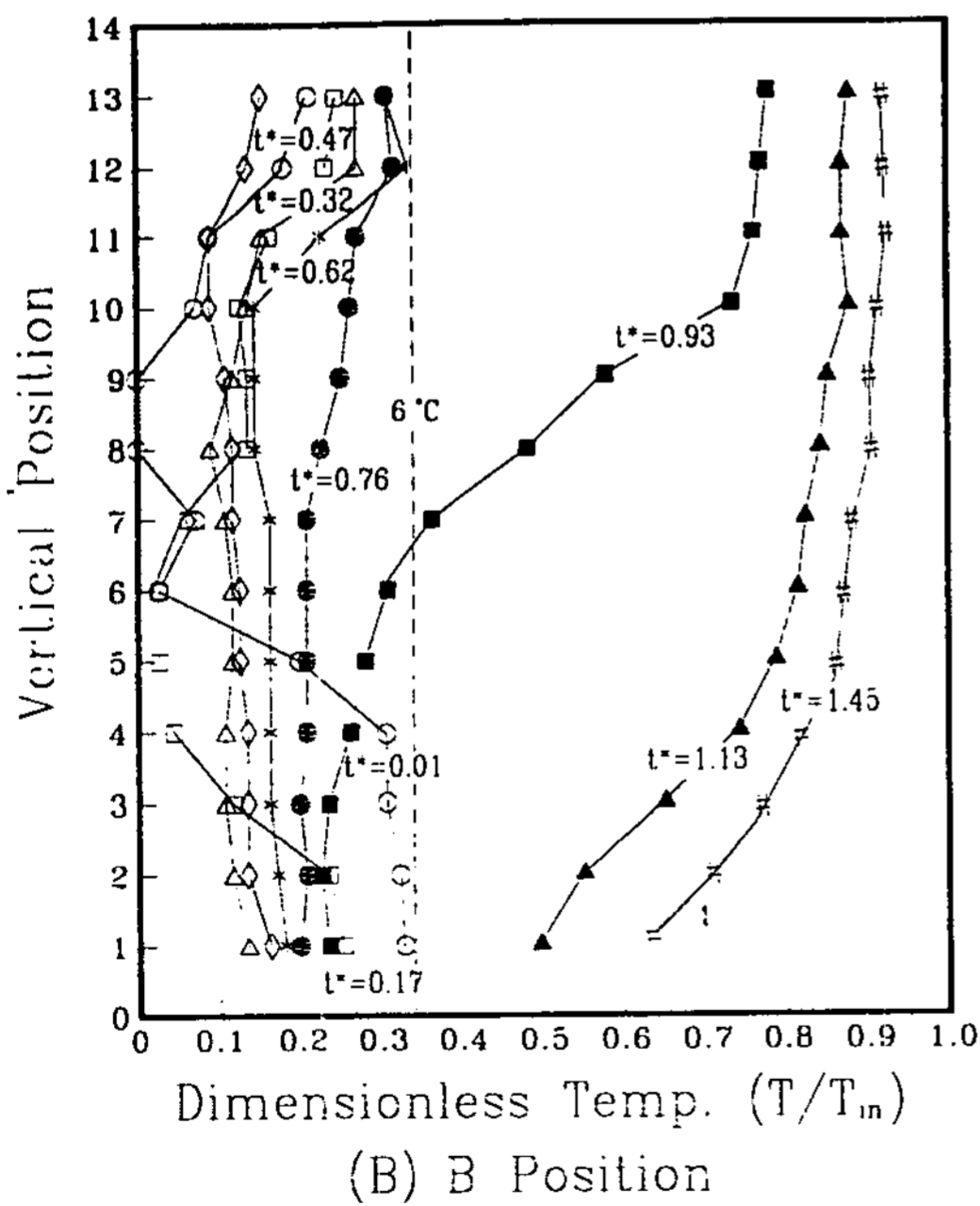
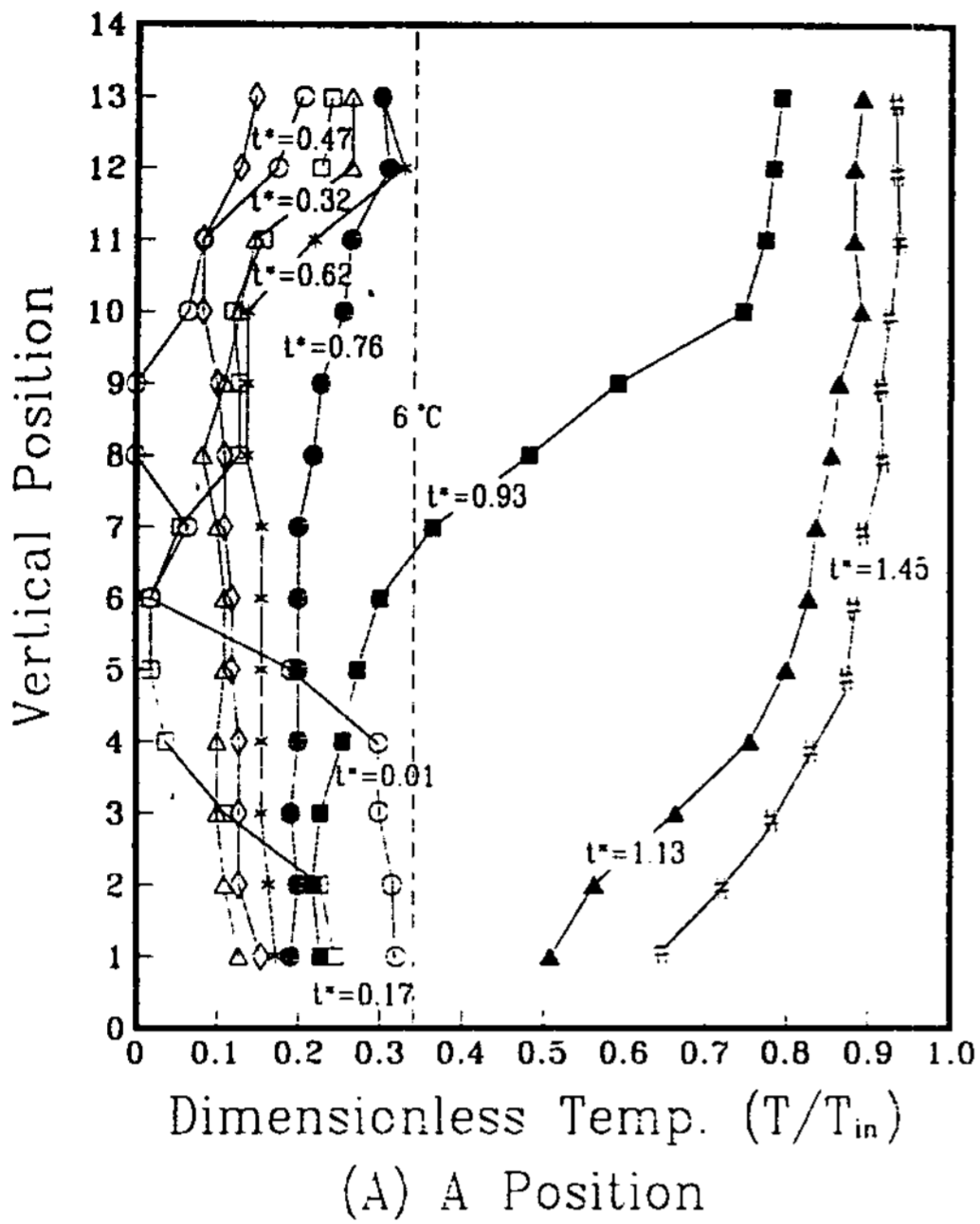


Fig. 4. The distribution of vertical temperature for the variation of time. ($T_{in}=16^{\circ}\text{C}$, $Q = 2.37\text{l/min.}$, $\text{IPF} = 34.2\%$, Non-Adiabatic)

조내 A 위치와 B 위치에 따른 수직 온도분포를 나타낸 것으로서 국부적으로 약간의 차이가 있으나 전반적으로 온도분포는 거의 동일하게 나타나고 있다.

Fig. 5는 Fig. 4(a),(b)와 동일조건 하에서 분산유체의 유입온도를 32°C 로 변화시켰을 경우 비단열된 빙축열조내의 수직온도분포를 나타낸 것으로서 빙축열조내에 분산되는 유체온도가 높을수록 빙축열조 상부 영역에서 온도분포는 크게 변화하였고, 빙축열조내의 온도성층도가 크게 나타났으며 온도성층화에 다다른 시간 또한 단축되었다. 이는 분산유체의 유입온도가 낮은 16°C 일 때는 빙축열조내에 얼음의 용융이 지연되었기 때문이며 분산유체의 유입온도가 32°C 일 때는 빙축열조내의 얼음들이 빙축열조 벽면에 부착되고 얼음들 사이에서도 서로 부착되는 작용효과로 인해 빙

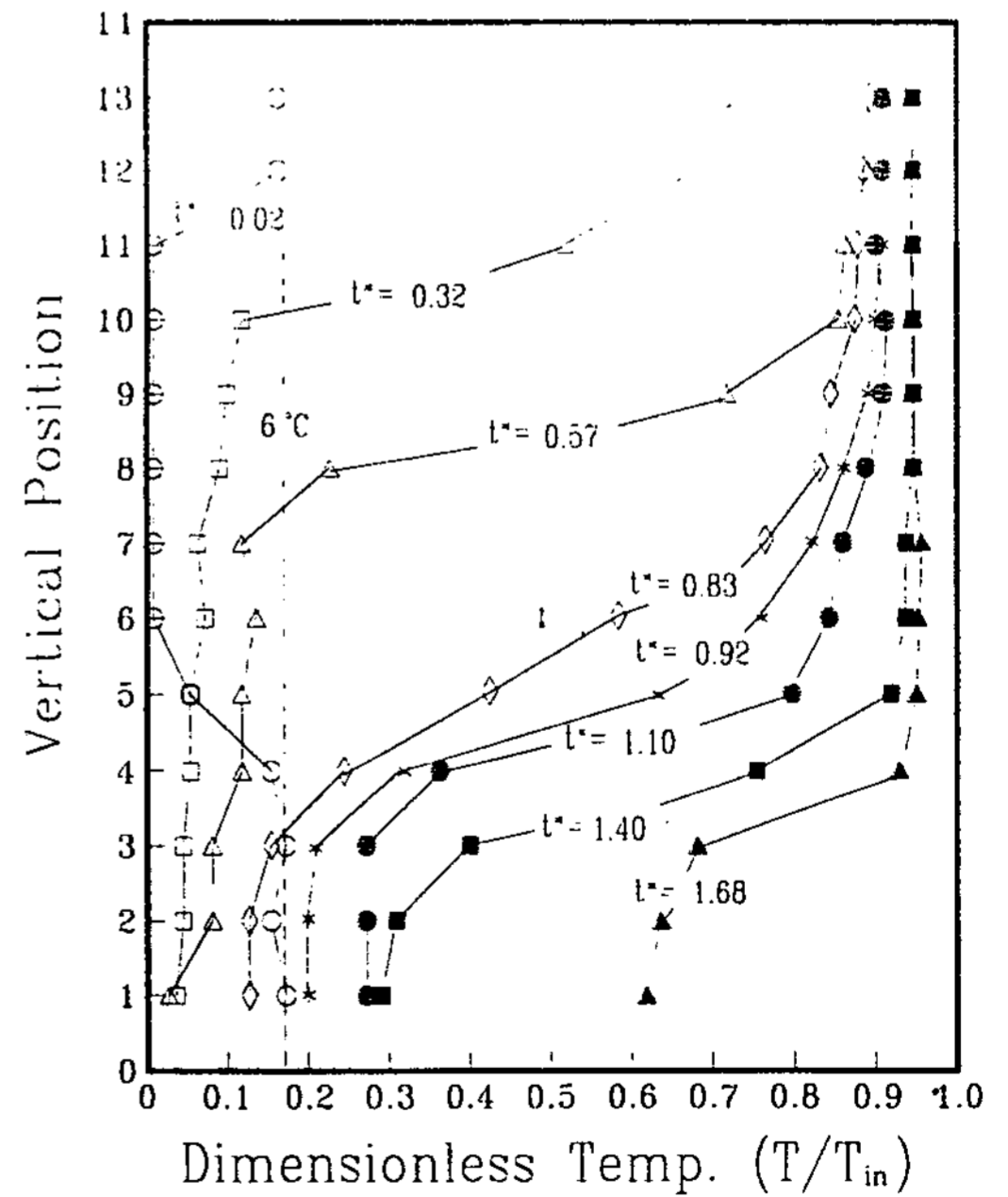


Fig. 5 The distribution of vertical temperature for the variation of time. ($T_{in}=32^{\circ}\text{C}$, $Q=2.37\text{l/min.}$, $\text{IPF}=34.2\%$, Non-Adiabatic)

축열조 상부방향으로 부력에 의한 얼음 부상 속도가 떨어져 상부영역은 높은 온도를 가진 것이다

Photo. 2는 유량이 2.37 l/min. 이고 IPF가 34.2%, 분산유체 온도가 각각 16°C, 32°C인 경우 $t^*=0.3$ 에서의 축열조내 얼음의 용융 정도를 보인 것으로 32°C의 경우가 부착효과로 인해 상부영역의 용융이 빨리 진행되었음을 알 수 있다.

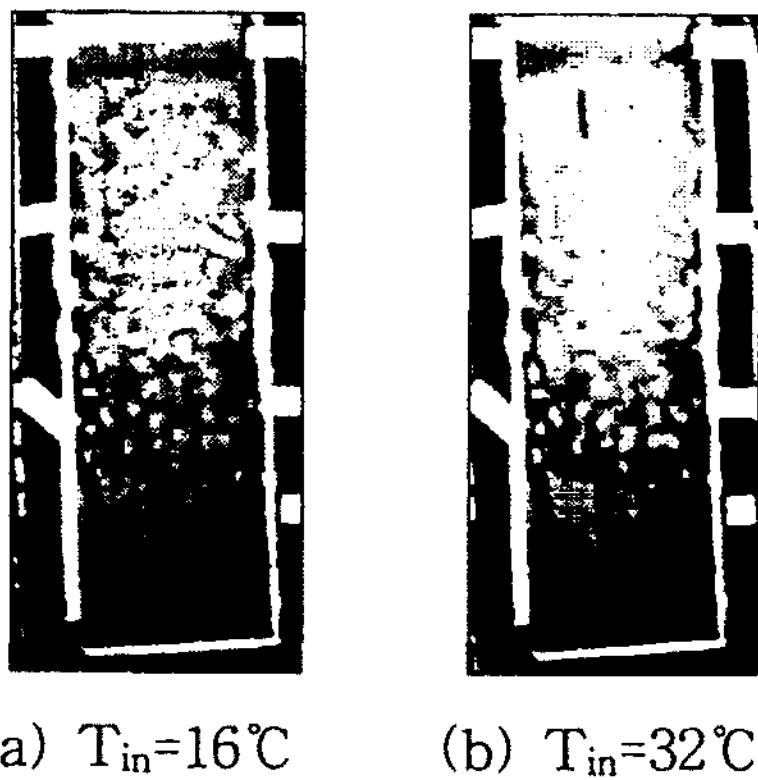


Photo. 2 Photographs of melting shape at the 15 minutes.
($Q=2.37$ l/min., IPF=34.2%,
 $t^*=0.3$, Non-adiabatic)

Fig. 6, 7은 비단열조건에서 얼음충진율이 17.1%, 유입온도가 16°C인 경우 분산유체의 유입유량이 각각 2.37, 3.27 l/min.의 변화에 따른 빙축열조내의 수직온도분포를 나타낸 것이다.

얼음이 존재하는 6°C 이하의 영역에서는 시간에 따른 온도분포는 모든 위치에서 안정된

경향을 나타내고 있으나 그 이후로는 유입유량이 3.27 l/min.인 경우가 많은 유입,유출량으로 인해 온도 성층화에 이르는 시간이 빨리 나타나고 시간에 따라 상부에서 하부방향으로 온도차가 점차적으로 줄어드는 것으로 나타났다. 반면 유입유량이 적은 2.37 l/min.의 경우는 상하부의 온도차가 급격히 이루어짐으로써 빙축열조내의 온도성층도가 크게 나타났으며 시간에 따른 상하부 온도차가 크게 줄어들지 않음을 알 수 있다.

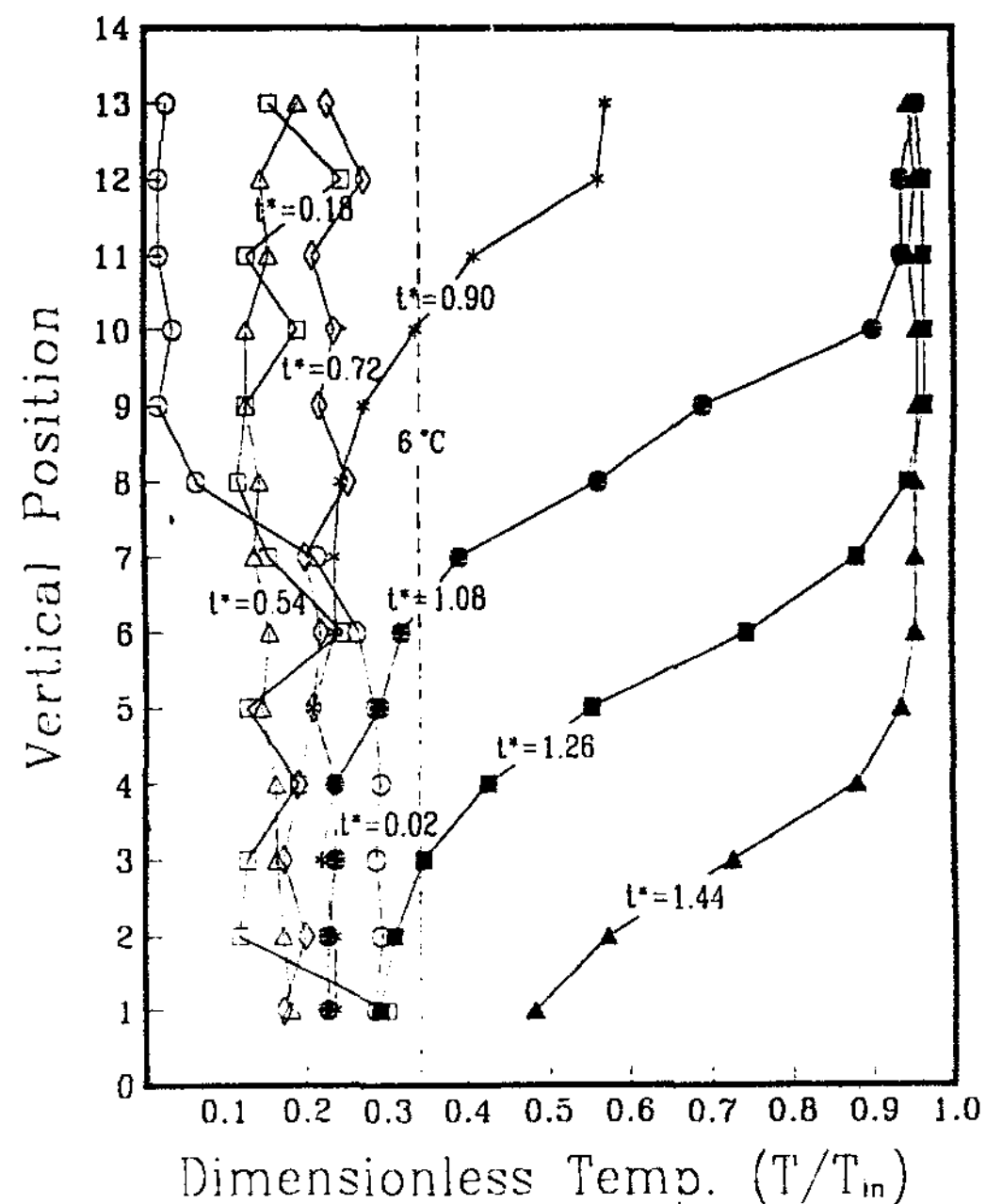


Fig. 6 The distribution of vertical temperature for the variation of time. ($T_{in}=16^\circ\text{C}$, $Q=2.37$ l/min., IPF=17.1%, Non-Adiabatic)

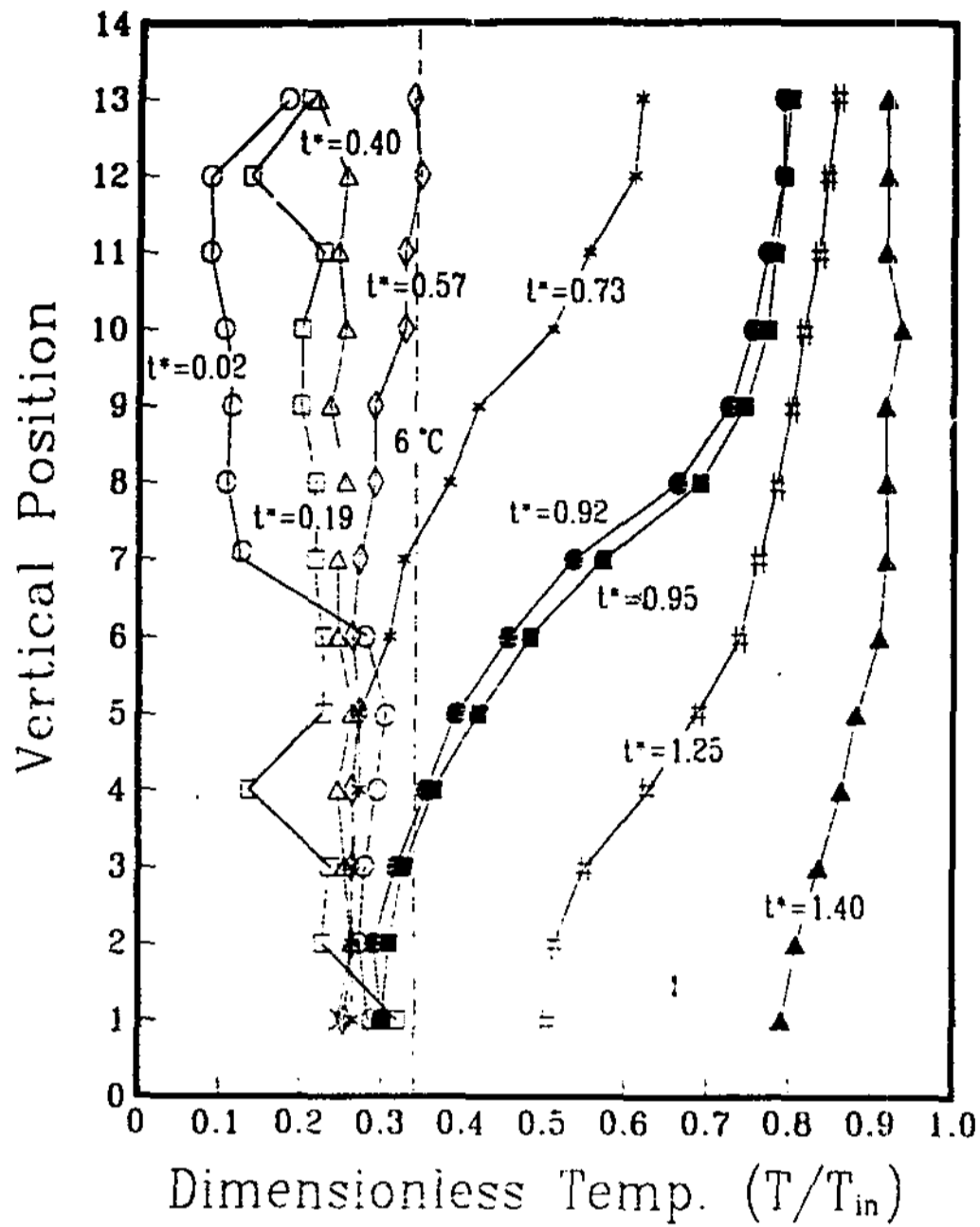


Fig. 7 The distribution of vertical temperature for the variation of time. ($T_{in}=16^{\circ}\text{C}$, $Q=3.27\text{l/min.}$, $\text{IPF}=17.1\%$, Non-Adiabatic)

Fig. 8, 9는 비단열 상태에서 분산유체의 유입온도가 16°C 이고, 유입유량이 2.37 l/min. 인 조건에서 얼음충진율이 17.1% 와 51.4% 인 경우를 나타낸 것이다. 얼음충진율이 17.1% 인 경우는 온도 성층화를 이루는 시간이 짧았고 상하부 온도차가 급격히 커진 것을 나타내고 있다. 얼음의 충진율이 51.4% 인 경우에는 $t^*=1.08$ 에서 거의 균일한 온도성층화를 볼 수 있으며 얼음이 존재하는 영역에서의 온도분포는 얼음충진율이 17.1% 인 경우에 비해 매우 안정하게 나타났다. 이는 빙축열조내에 얼음이 많이 충진됨으로 인한 잠열량에 기한 것으로 사료된다.

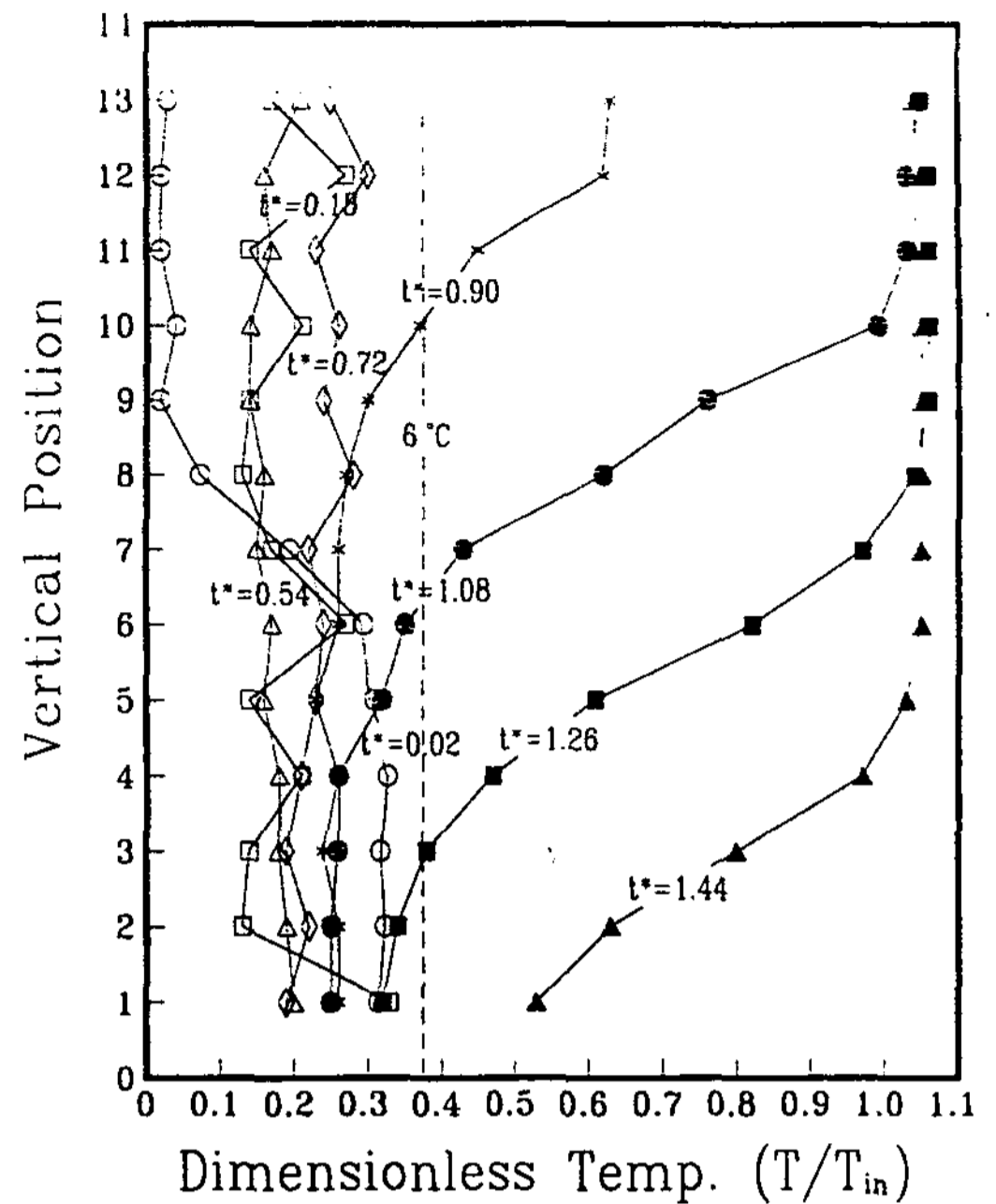


Fig. 8 The distribution of vertical temperature for the variation of time. ($T_{in}=16^{\circ}\text{C}$, $Q=2.37\text{l/min.}$, $\text{IPF}=17.1\%$, Non-Adiabatic)

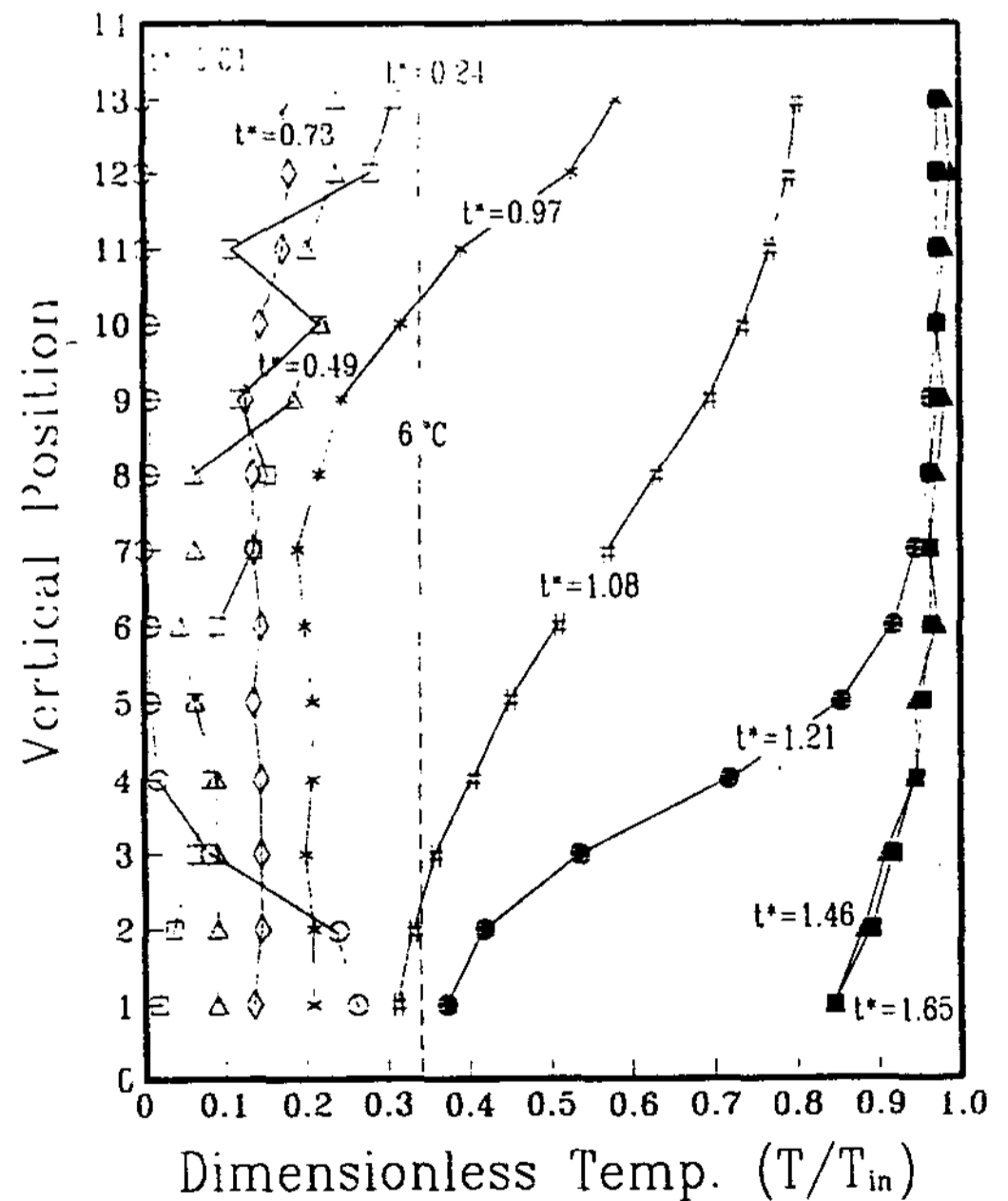


Fig. 9 The distribution of vertical temperature for the variation of time. ($T_{in}=16^{\circ}\text{C}$, $Q=2.37\text{l/min.}$, $\text{IPF}=51.4\%$, Non-Adiabatic)

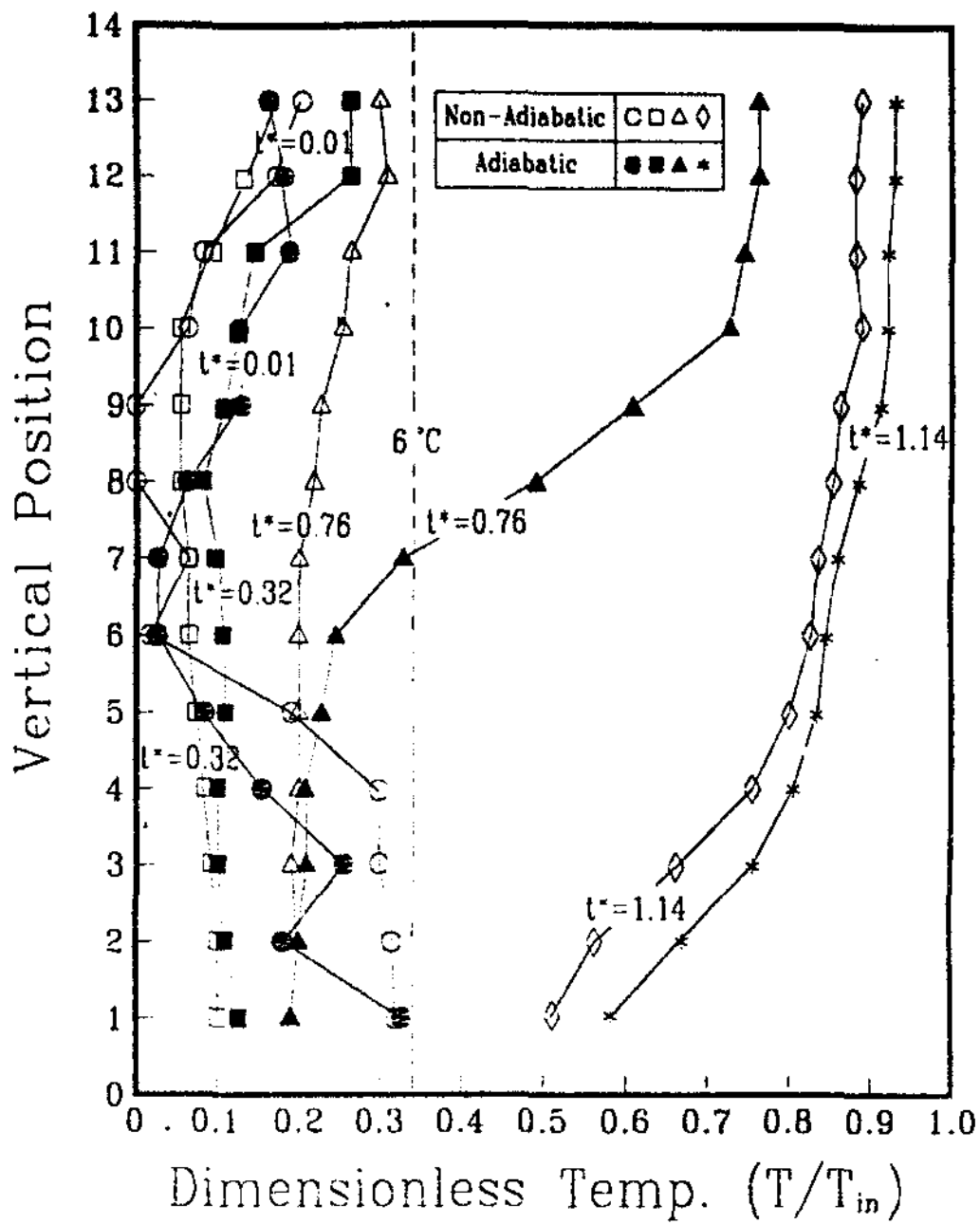


Fig. 10 The distribution of vertical temperature for the variation of time. ($T_{in}=16^{\circ}\text{C}, Q=2.37\text{l/min.}, \text{IPF}=34.2\%$)

Fig. 10은 유입유량이 2.37 l/min., 얼음충진율이 34.2% 이고 분산유체의 유입온도가 16 °C일 때 빙축열조의 단열, 비단열인 경우를 비교한 것이다.

빙축열조내의 온도분포는 빙축열조를 단열시킨 경우가 비단열의 경우보다 전반적으로 약간 높게 나타나고 있다.

Fig. 11은 유입유량이 2.37 l/min., 얼음충진율이 34.2% 이고 분산유체의 유입온도가 32 °C 일 때 단열, 비단열 경우를 비교한 것이다. Fig. 10과 마찬가지로 단열의 경우가 비단열의 경우보다 조금 높은 온도분포를 나타내고 있다. 또한 Fig. 10과 Fig. 11에서 보는 바와 같이 분산유체의 온도가 높은 쪽이 단열, 비단열에 관계없이 온도성층화에 빨리 다다르며 상부영역의 온도에 많은 영향을 미쳐 상하부 온도차가 급격히 커졌음을 알 수 있다.

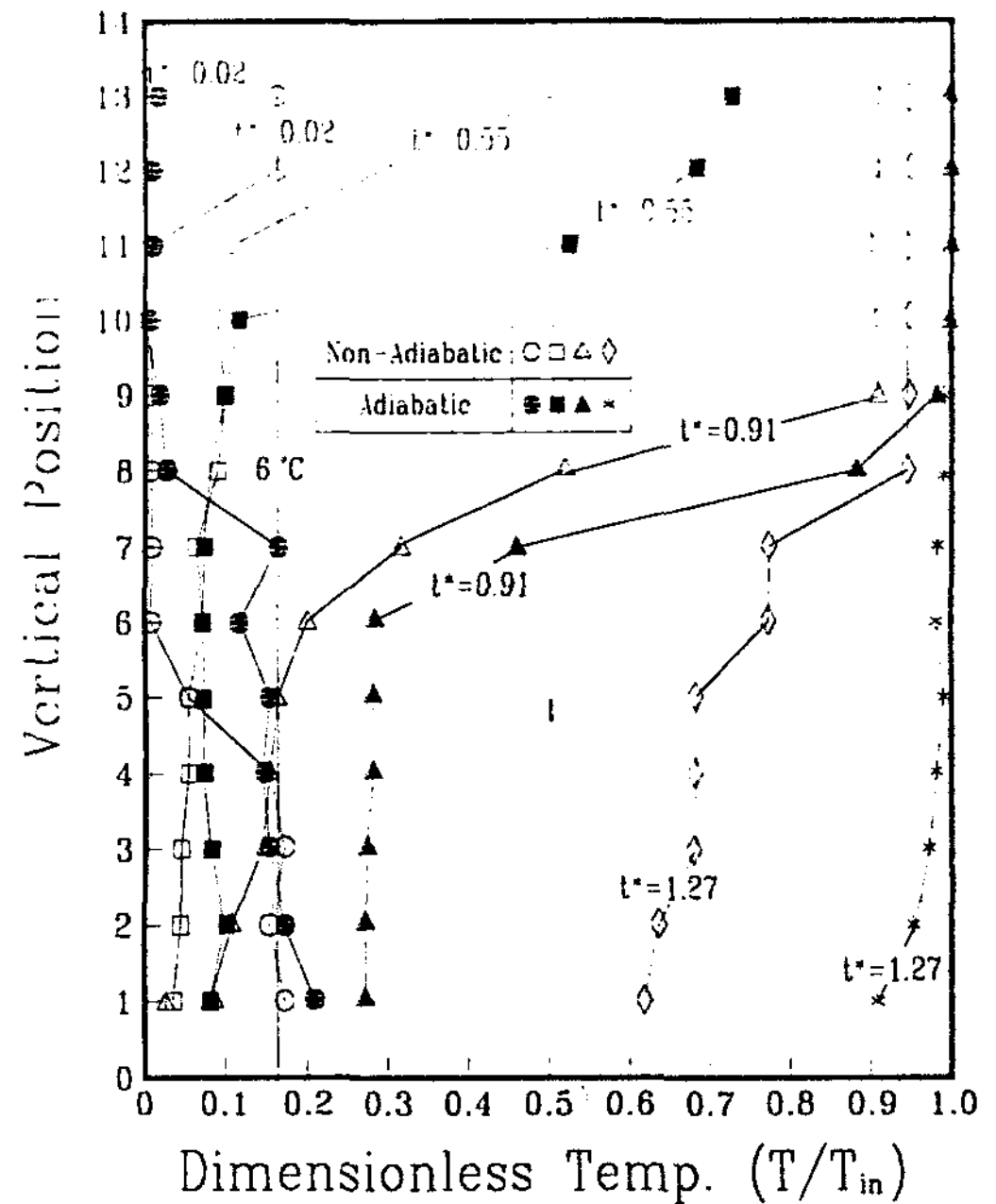


Fig. 11 The distribution of vertical temperature for the variation of time. ($T_{in}=32^{\circ}\text{C}, Q=2.37\text{l/min.}, \text{IPF}=34.2\%$)

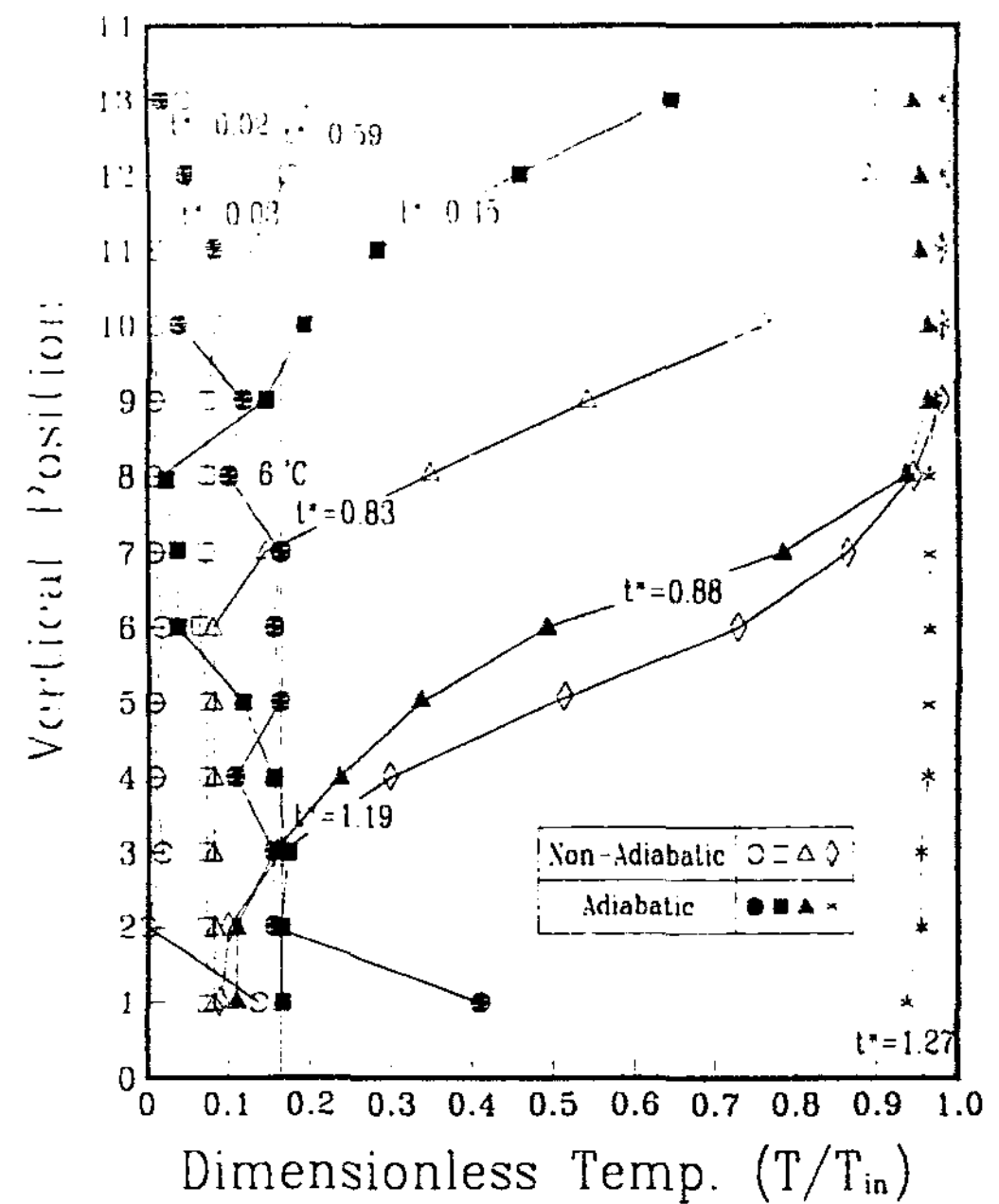


Fig. 12 The distribution of vertical temperature for the variation of time. ($T_{in}=32^{\circ}\text{C}, Q=3.27\text{l/min.}, \text{IPF}=34.2\%$)

Fig. 12는 분산유체의 유입온도가 32°C이고 유입유량이 3.27 l/min.을 유지하며 얼음의 충전율이 34.2%일 때 단열과 비단열을 비교한 것으로, 유입유량이 2.37 l/min.인 Fig. 11 과 마찬가지로 단열의 경우가 비단열에 비해 조금 높은 온도분포를 나타내고 있다.

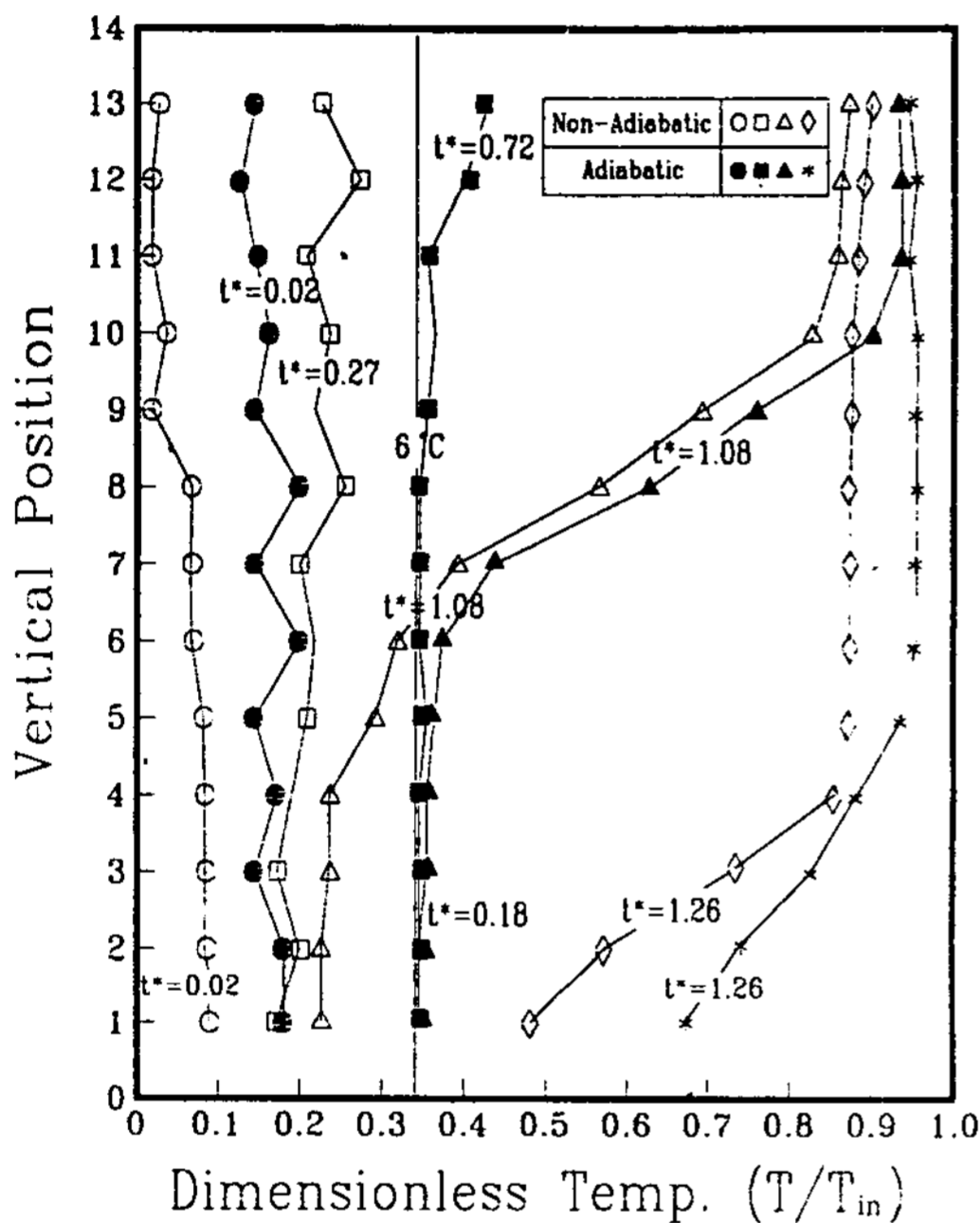


Fig. 13 The distribution of vertical temperature for the variation of time. ($T_{in}=32^{\circ}\text{C}$, $Q=2.37\text{l/min.}$, $\text{IPF}=17.1\%$)

Fig. 13은 분산유체의 유입온도가 16°C, 유입유량이 2.37 l/min.이며 얼음충진율이 17.1% 일 때의 단열, 비단열 조건을 비교한 것으로 단열의 경우가 비단열의 경우보다 조금 높은 온도분포를 보이고 있으나 단열, 비단열 모두 거의 유사하게 진행함을 알 수 있다.

Fig. 14는 분산유체의 온도를 각각 16°C일 때 유입유량을 2.37 l/min., 3.27 l/min.으로하고 빙축열조내의 얼음충진율을 17.1%, 34.2%,

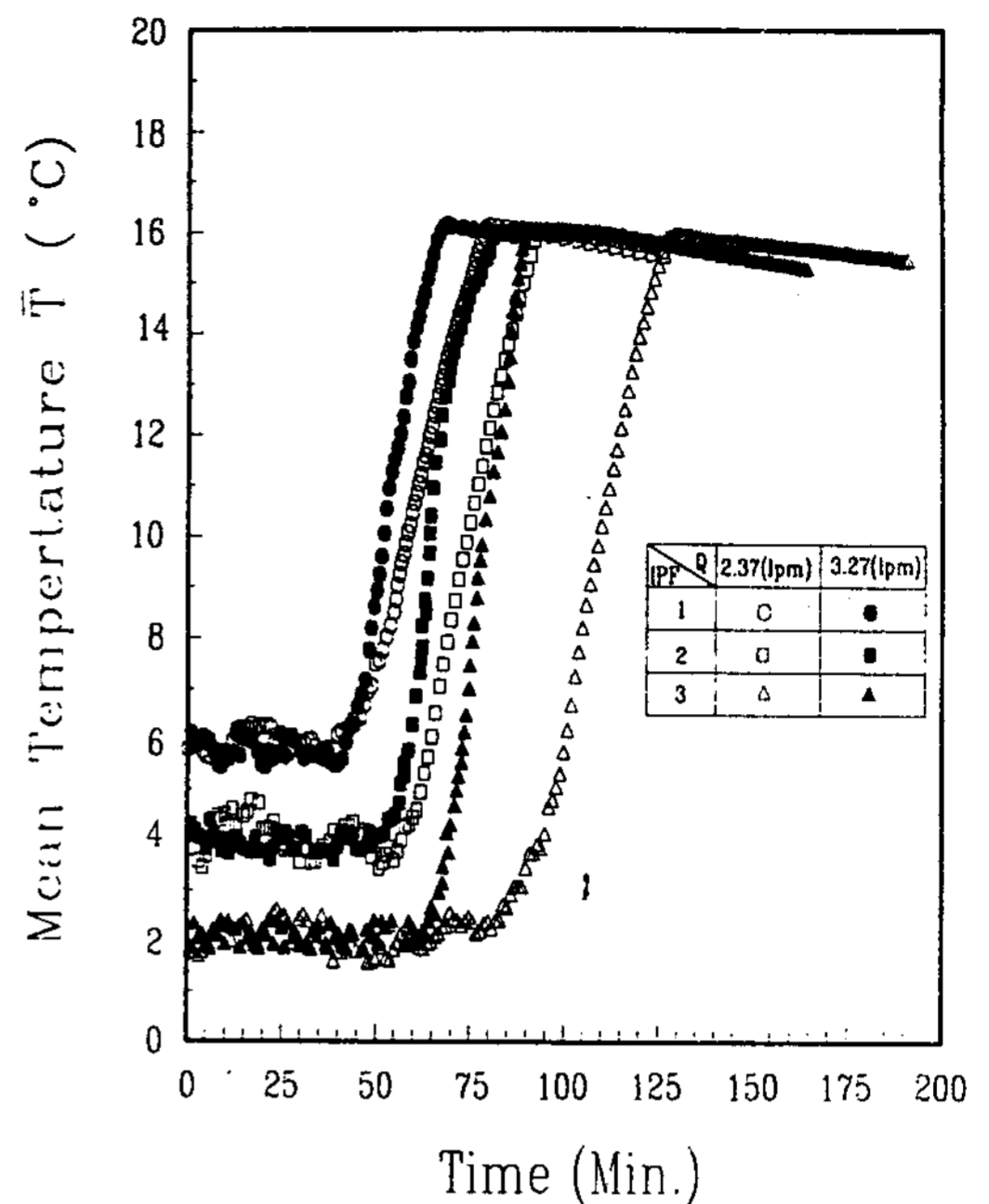


Fig. 14 Timewise variation of mean temperature. ($T_{in}=16^{\circ}\text{C}$, Non-Adiabatic)

51.4%로 변화시켰을 경우 빙축열조내의 평균 온도 (\bar{T})를 시간의 경과에 따라 나타낸 것이다.

빙축열조내의 수직평균온도는 얼음이 존재하는 실험초기기간에는 얼음충진율에 따라 2°C, 4°C, 6°C 로 일정하게 나타나고 있다. 이러한 일정온도를 유지하는 기간은 얼음의 용해잠열에 의한 것으로서 얼음이 존재하는 기간과 일치하며, 유입유량이 3.27 l/min.인 경우가 얼음의 용해잠열을 방출하는 시간을 조금 단축시켰다.

빙축열조내의 평균온도 상승은 얼음충진율이 적을수록 일찍 시작하였고, 유량이 많은 3.27 l/min.인 경우가 2.37 l/min.인 경우보다 빨리 나타나고 있다. 특히 얼음충진율이 51.4% 인 경우에는 유량의 변화에 따라 현저한 차이를 나타내고 있다.

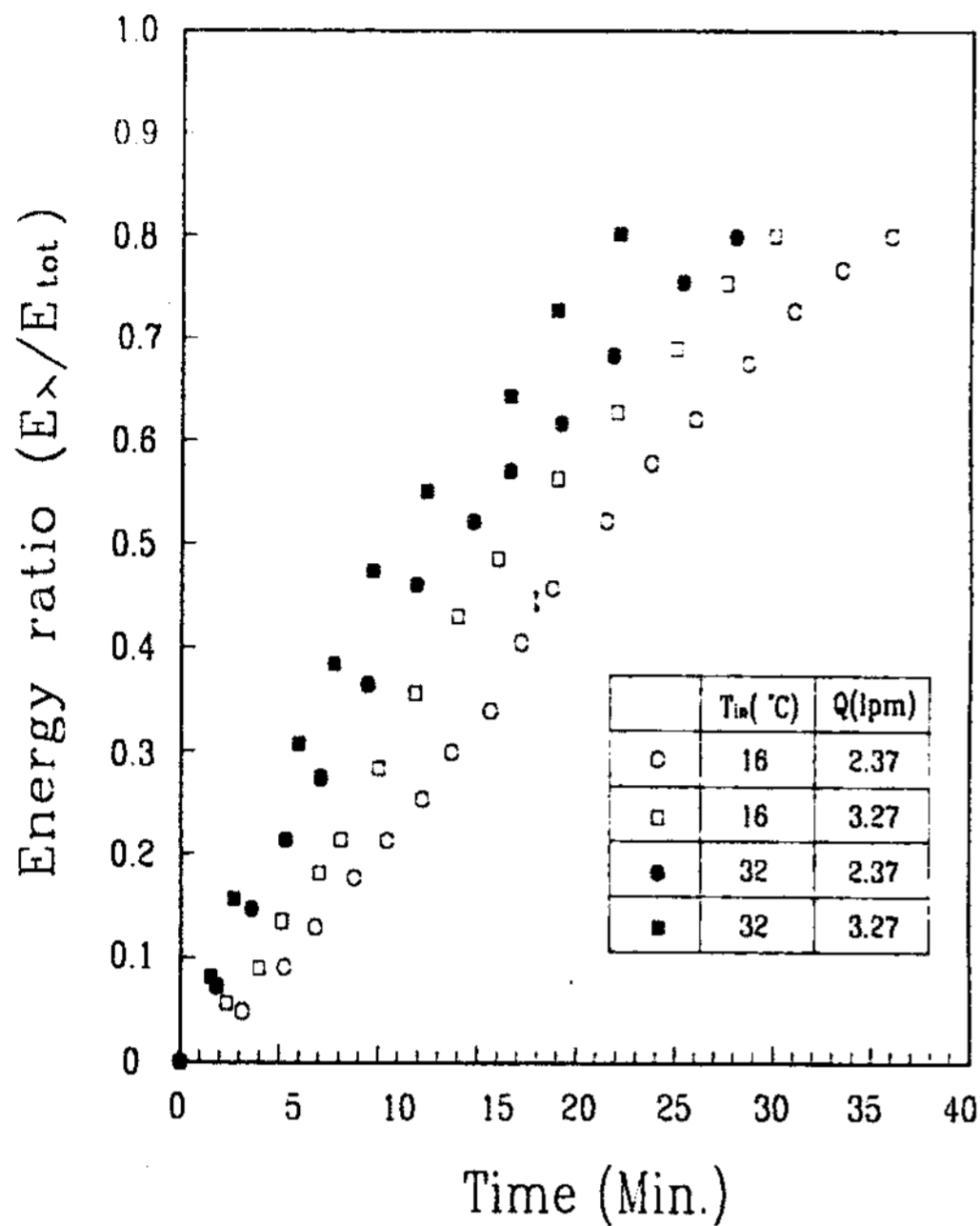


Fig. 15 Timewise variation of energy ratio. (IPF=17.1%, Non-Adiabatic)

Fig.15는 빙축열조내에 얼음충진율을 17.1%로 하고 분산유체의 유입온도가 16°C, 32°C인 조건에서 유입유량이 각각 16 l/min., 32 l/min. 일 때 얼음용융에 따른 잠열에너지의 총방열에너지에 대한 비(E_s/E_{tot})를 시간경과에 따라 나타낸 것이다.

총방열에너지에 대한 잠열에너지의 비(E_s/E_{tot})는 유입온도가 높을수록 또한 유입유량이 많을수록 시간에 대한 기울기가 크게 나타나고 있으며, 총방열에너지에 대한 잠열에너지의 방출비가 가장 큰 유입온도와 유량은 32°C와 3.27 l/min.인 경우로서 22분 경에 빙축열조내의 얼음에서 방출되는 총방열에너지에 대한 잠열에너지의 비는 약 80% 정도이다.

Fig. 16은 Fig. 15와 같은 조건하에서 얼음의 충진율을 51.4%로 하였을 때 시간경과에

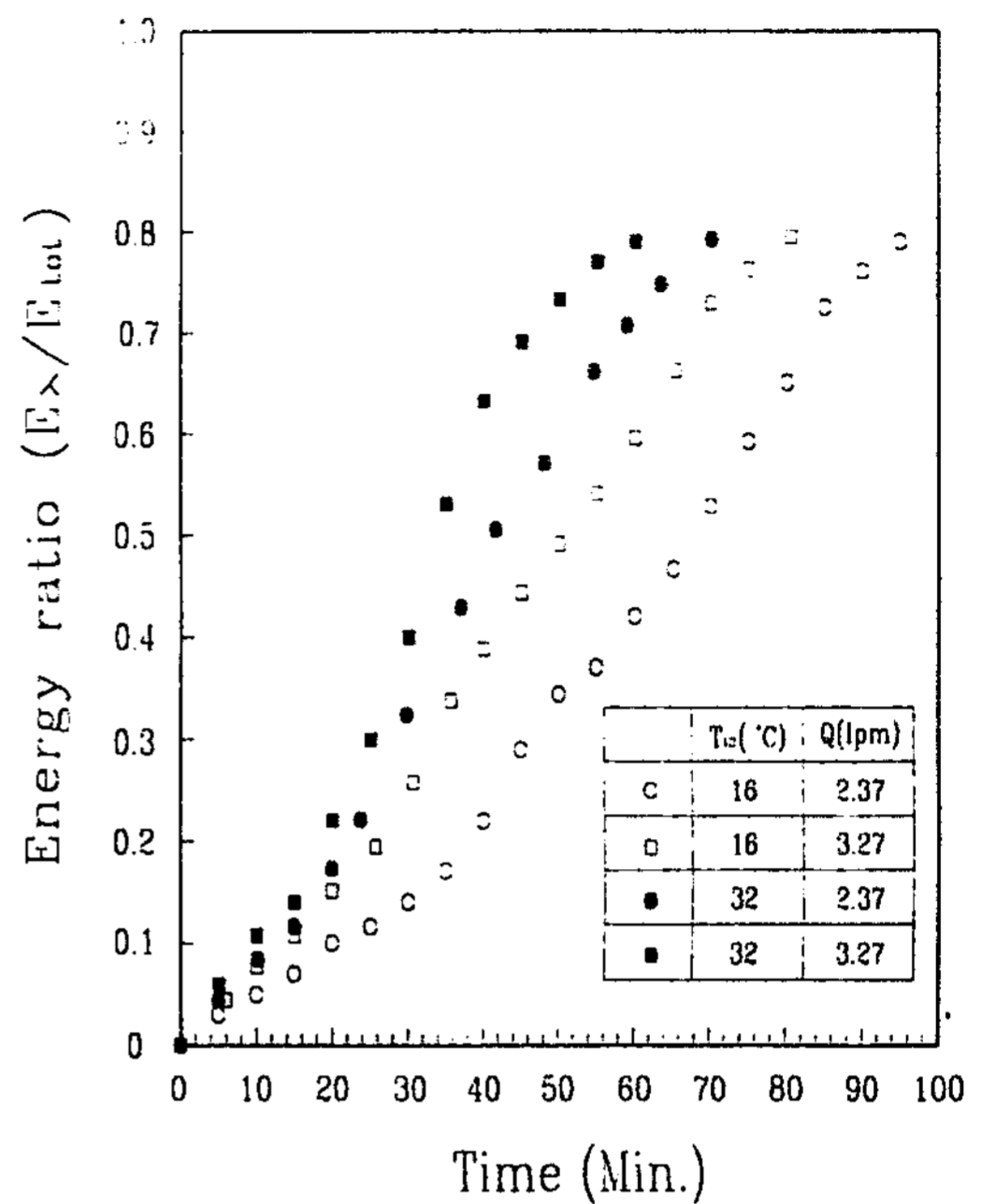


Fig. 16 Timewise variation of energy ratio. (IPF=51.4%, Non-Adiabatic)

따른 총방열에너지에 대한 잠열에너지의 비(E_s/E_{tot})를 나타낸 것이다.

총방열에너지에 대한 잠열에너지의 비는 Fig. 15와 마찬가지로 유입온도가 높고 유입유량이 많을수록 잠열에너지의 방출이 크게 나타났다. 또한 높은 얼음 충진율은 방열시간을 길게 하였으며 얼음충진율의 증가분은 방열시간의 증가분과 거의 일치함을 알 수 있다.

IV. 결 론

단열, 비단열된 동적형(Dynamic type) 빙축열 시스템에서 분산유체의 온도, 유입 유량, 빙축열조의 얼음충진율(Ice Packing Factor)의 변화에 따른 빙축열조의 용융실험을 행한 결

과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 빙축열조에 분산되는 분산유체의 온도가 높을수록 빙축열조 상부 영역에 그 영향이 크게 작용하였으며, 상부영역의 빠른 온도 변화로 인해 온도성층도가 크게 나타남으로써 온도 성층화에 돌입하는 시간 또한 단축되었다.
2. 빙축열조에 분산되는 유입유량은 많을수록 온도성층화에 이르는 시간이 빨리 나타나지만 유입유량이 적은 경우가 상하부의 급격한 온도차로 인해 온도성층도는 크게 나타났다.
3. 빙축열조 얼음충진율이 높을수록 얼음이 존재하는 영역에서의 온도분포는 매우 안정되게 나타났으며 온도 성층화에 소요되는 시간이 많이 걸렸다.
4. 빙축열조의 단열은 빙축열조에서 외부로 방출되는 열손실을 감소시켜 빙축열조내의 온도를 약간 상승시켰고 온도성층화에 돌입하는 시간을 조금 감소시켰다.
5. 실험초기기간의 빙축열조내 평균온도는 얼음충진율에 따라 실험초기온도를 유지하는 시간이 변화하였으며 빙축열조 내의 얼음이 존재하는 기간에 비례하였다. 그리고 빙축열조 내의 온도 상승은 유입유량이 많고 유입온도가 높을수록 빙축열조 내의 평균 온도를 일찍 상승시켰고, 얼음충진율이 높을수록 얼음의 용해잠열을 방출하는 시간은 연장되는 것으로 나타났다.
6. 총방열에너지에 대한 잠열에너지의 비(E_s/E_{tot})는 분산유체의 유입온도가 동일한 조건에서 유입유량이 많을수록 시간에 대한 기울기가 크게 나타났으며, 분산유체의 유입온도가 높을수록 총방열에너지에 대한 잠열에너지의 방출비가 큰 값으로 나타났다.

참 고 문 헌

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, "Multi-phase 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 칼럼 식 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 공조 방식", 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)", 空気調和 衛生

- 工學, Vol.67, No.2, pp.83-94, 1993.
11. 조남철, "수평원통형 빙축열조 내 상변화 물질의 전열특성에 관한 연구", 박사학위 논문, 1995
 12. B. Gebhart, "A New Density Relation for Pure and Saline Water", *Deep Sea Res.*, Vol. 24, pp. 831-848, 1977.
 13. S. J. Laplaca, B. Post, "Thermal Expansion of Ice", *Acta Crystallogr.*, Vol. 13, pp. 503-505, 1960.
 14. M. Sugisaki, H. Suga and S. Seki, "Calorimetric study of the Glassy State. IV. Heat Capacities of Glassy Water and Cubic Ice", *Bull. Chem. Soc. Japan*, Vol. 41, pp. 2591-2599, 1968.
 15. S. Sakazume, N. Seki, "On the Thermophysical Properties of Ice and Snow in a Low Temperature Region", *Trans. JSME*, Vol. 44, pp. 2059-2066, 1978.

An Experimental Study on the Thermal Characteristics of Ice Storage Tank

- Focusing on the Adiabatic Effects of Ice Storage Tank -

Lee, Chae Moon* · Park, Jung Won* · Cho, Nam Chul** ·
Park, Sang Rok*** · Kim, Il Gyoum**** · Kim, Dong Chun**** ·
Kim, Young Ki**** · Yim, Chang Soon*****

* *Yuhan Junior College*

** *Ansan Tech. College*

*** *Dawon Climate Control Co*

**** *Graduate School, Inha University*

***** *Dept. of Mechanical Eng., Inha University*

ABSTRACT

In this paper, the operating thermal characteristics of liquid-ice was experimentally investigated in an adiabatic and a non-adiabatic direct contact liquid-ice heat exchanger. Experiments were carried out varying inlet temperature, Ice Packing Factor, and the flow rate of heat transfer fluid.

The higher inlet temperature and the more much inlet flow rate, thermal stratification in liquid-ice heat exchanger was established faster.

In the case of adiabatic ice storage tank, temperature distribution was a little higher at all conditions than that of non-adiabatic one.

The ratio of latent energy to total discharge energy (E_{λ}/E_{tot}) was about 80%, and the discharge of latent heat energy was appeared rapidly as inlet temperature and flow rate were higher.