

이원용액의 응고현상에 관한 실험적 연구

조한승* · 최희탁* · 유재석**

*아주대학교 대학원 기계공학과

**아주대학교 공과대학 기계공학과

An experimental study on solidification of binary mix-ture

Han-Sung Cho* · Hie-Tak Choi* · Jai-Suk Yoo**

*Graduate School, Ajou University

**Department of Mechanical Engineering, Ajou University

요 약

혼합물의 응고과정에서 온도구배와 농도구배에 의한 복합자연대류의 영향을 정성적으로 알아보기 위하여 이원용액의 응고과정을 실험적으로 연구하였다. 이원용액으로는 $\text{NH}_4\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$ 용액을 사용하였으며 shadowgraph system을 이용하였다. 사진에서 고상영역과 mushy zone의 구별이 불가능하여, 이 두 영역을 합하여 고상으로 취급하였다. 자연대류의 영향으로 상변화물질은 매우 빨리 성층화가 이루어지며, 벽면으로부터 형성되는 고상은 초기에는 높이의 20% 되는 곳이 가장 빨리 응고가 진행되어 고상의 두께는 이 지점으로부터 상하로 선형적으로 감소하는 형태를 유지한다. 그러나 고상이 많이 형성된 부분의 열저항은 증가하게 되므로 시간이 지남에 따라 두께가 균일화되려는 경향을 보였다. 응고질량비를 $(\text{Ste} \cdot \text{Ra}^{1/4})^{2-\text{Ste}} \cdot \text{Fo}^{1/2}$ 의 선형함수로 표시할 수 있었으며, 이로부터 농도구배에 의한 자연대류의 영향은 온도구배에 의한 자연대류의 영향에 비하여 작음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

An experiment was performed to study solidification of binary mixture with double-diffusive convection in the liquid. A rectangular enclosure was filled with ammonium chloride-water solution. The phase change and convection process were studied through shadowgraph. Because of the double-diffusive convection, the temperature field and concentration field were stratified very rapidly. Correlation between solidified mass fraction and the dimensionless numbers was found ; solidified mass concentration can be expressed as a linear function of $(\text{Ste} \cdot \text{Ra}^{1/4})^{2-\text{Ste}} \cdot \text{Fo}^{1/2}$

NOMENCLATURE

C	: Concentration
c_p	: Heat capacity
Fo	: Fourier number
f	: Solidified mass fraction
g	: Gravitational acceleration
H_{st}	: Heat of fusion
L	: Length
Ra	: Rayleigh number
Ste	: Stefan number
T	: Temperature
t	: Time
y	: Dimensionless coordinate, y^*/L
α	: Thermal diffusivity of liquid
ν	: Kinematic viscosity
β	: Thermal expansion coefficient

Subscript

c	: Cold wall
e	: Eutectic point
i	: Initial condition
l	: Liquid

I. 서 론

물질의 용해나 응고현상은 재료가공, 단결정 생성, 주조, 용접, 축열, 극지개발등과 관련하여 활발히 연구되고 있다. 얼음의 용해나 결빙은 누구나 잘 알고 있는 상변화 과정이다. 그러나 사람이 만드는 거의 대부분의 물체가 어떤 단계에서든 적어도 한번 용해나 응고과정을 겪는다는 것에 대해서는 별로 주목하는 것 같지 않다. 청동기, 철기 시대 이후로 금속은 인간에게 매우 중요한 재료 중의 하나이며, 금속의 주조, 용접, 급속냉각구조 등에 응고과정은 필수적이라고 할 수 있다. 최근 많이 사용되고 있는 반도체에서는 고순도의 결정을 필요로 하는데, 이 결정도 melt가 응고되어 얻어진다. 또한 열에너지를 보다 합리적으로 이용하기 위하여 적은 공간 내에 많은 열에너지를 저장할 수 있는, 즉 상변화시의 잠

열을 이용하는 잠열축열조도 이용되고 있다.

이상과 같은 상변화를 수반하는 기술에서 보다 경제적이고 질이 좋은 결과를 얻기 위하여서는 상변화 과정의 고상과 액상의 경계에 대한 보다 효과적인 제어가 필수적임을 알 수 있으며, 이러한 효과적인 제어를 위하여서는 상변화 과정의 물리적 현상을 잘 이해하여야만 한다.

합금이나 혼합물의 상변화현상은 순수물질의 상변화현상에 비하여 훨씬 복잡한 경향을 보이고 있다.^{1),2),3)} 이는 순수물질이나 공융물질(eutectics)과 같이 어떤 특정 온도에서 상변화가 일어나는 것이 아니라, 어떤 온도 범위에서 일어나기 때문이다. 즉 고상과 액상이 혼합물의 농도에 따라 다양한 온도에서 평형을 이루며 공존하게 되며, 더우기 대부분의 시스템에서 화학성분이 고상과 액상에서 서로 다른 용해도(solubility)를 갖게 되므로 상변화면에서 성분이 흡수 또는 배출되게 된다. 이로 인하여 온도 구배 뿐만 아니라 농도 구배도 존재하게 되며, 또한 순수물질의 상변화면과는 달리 혼합물의 상변화면은 평면이 아닌 dendrite 형상을 띄게 된다.^{1),2)} 따라서 혼합물의 상변화면은 매우 불규칙(irregular)하며 이 부분에는 액상과 고상이 혼합된 형태로 존재하게 되는데, 이 부분을 mushy zone이라고 부른다. 혼합물의 상변화 시의 상변화면의 이동을 일으키는 driving force는 온도 구배와 농도 구배가 되며, 이들이 thermal 혹은 constitutional undercooling 현상을 일으키게 되는데, 이는 상변화면을 더욱 unstable하게 하여 상변화면을 더욱 더 불규칙하게 만든다. 또한 농도 구배와 온도구배는 액상 내의 유동 현상과 매우 밀접한 관계가 있다고 알려져 있다. 상변화 시의 액상 내의 대류의 주요성은 인식되고 있으나 mushy zone내에서의 여러가지 전달현상이 잘 알려져 있지 않으므로 체계적인 연구는 별로 이루어지지 않고 있다.²⁾ 최근 Fisher⁴⁾는 액상 내의 macroscopic 유동과 macroscopic segregation과의 관계를 고찰하였으며, Clyne^{5),6)}은 수치해석과 실험을 통하여 합금의 응고 특성을 조사하였다. 또한 Beckermann과 Viskanta³⁾는 실험적으로 액상 내의 복합 대류를 고려하여 혼합물의 응고과정을 실험적으로 연구

하였으며, Bennon과 Incropera^{7),8),9)}는 혼합물의 상변화에 대한 수치모델을 제시하였으며, 이 모델을 이용하여 직사각형공간내의 이원용액의 응고과정을 수치적으로 연구하였다.

매우 복잡한 혼합물의 응고과정을 해석적 또는 수치적으로 해석하기 위하여서는 혼합물의 응고 과정에 관한 물리적 현상의 이해가 필수적이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이원용액의 응고 실험을 통하여, 혼합물의 응고과정을 정성적으로 살펴보는 것과 동시에 응고과정을 기술하는데 중요한 역할을 하는 무차원수와 무차원 균을 찾고자 한다.

II. 실험장치

상변화시 물질전달에 의한 영향 및 온도차 및 농도차에 의한 이중확산 현상을 정성적으로 살펴보기 위하여 실험을 수행하였다. 즉 Fig. 1과 Fig. 2와 같이 일차원과 이차원 실험용 test cell을 제작하여 그 내부에 이원용액인 NH_4Cl-H_2O 용액을 채운 후, shadowgraph를 이용하여 응고과정의 밀도차 및 유동을 가시화 하였다. 일차원 실험용 cell은 내부가 $36mm \times 36mm$ 의 정사각형단면을

이루고 있으며 단면효과를 줄이기 위하여 길이는 $150mm$ 로 하였다. Test cell의 단면을 Fig. 1에 나타내었다. Mold를 모사하는 밑면을 제외한 모든 벽면은 모두 단열면으로 두께 $10mm$ 의 아크릴판으로 제작하였고, 밑면은 $5mm$ 두께의 동판으로 제작하였으며 mold아래에는 스테인레스스틸로 제작한 저온 용기를 부착하였다. 이 저온 용기에 저온항온조로부터 공급되는 냉매를 순환시켜서 mold를 원하는 일정한 온도로 유지하였다. 이차원실험용 cell은 Fig. 2와 같이 내부가 $50mm \times 50mm$ 의 정사각형단면을 이루고 있으며 길이는 $200mm$ 이다. Mold를 나타내는 오른쪽 면과 빛이 통과하는 앞뒷면을 제외한 3면은 두께 $10mm$ 의 아크릴판으로, mold를 나타내는 벽면은 $5mm$ 두께의 동판으로 제작하였으며, 빛이 통과하는 앞뒷면은 두께 $7mm$ 의 유리로 제작하였다. 일차원 장치와 마찬가지로 mold는 저온용기와 열교환을 시켜서 원하는 낮은 온도로 유지하였다. Test cell 및 저온용기는 빛이 통과하는 면을 제외하고는 모두 유리섬유와 isopink를 이용하여 잘 단열시켰다. 광원으로는 수은 아아크등을 사용하였으며, 이 광원으로부터 나온 빛을 평행광으로 만들기 위하여 직경 $115mm$, 초점거리 $560mm$ 의 볼록렌즈를 사용하였다. Test cell을 투과한 빛이

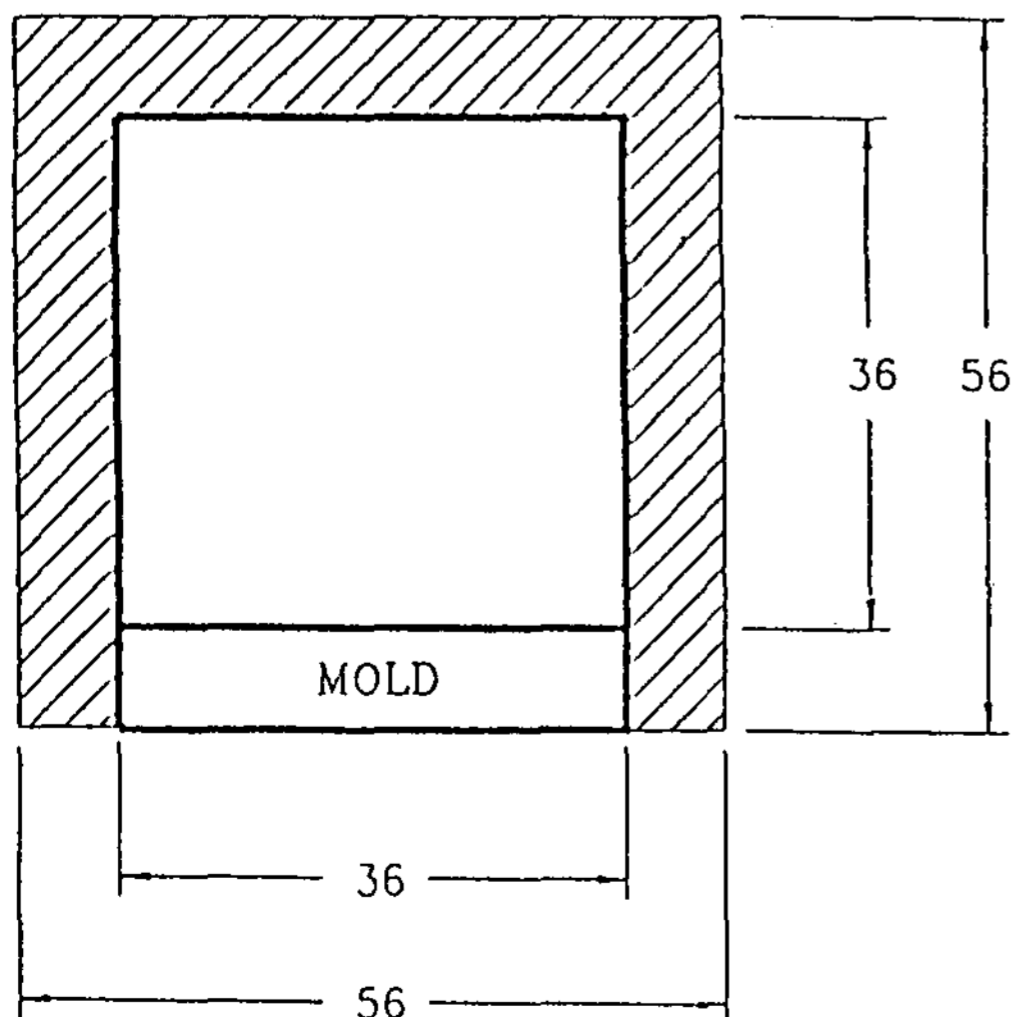


Fig. 1 Cross section of test cell used for one-dimensional experiment(unit : mm)

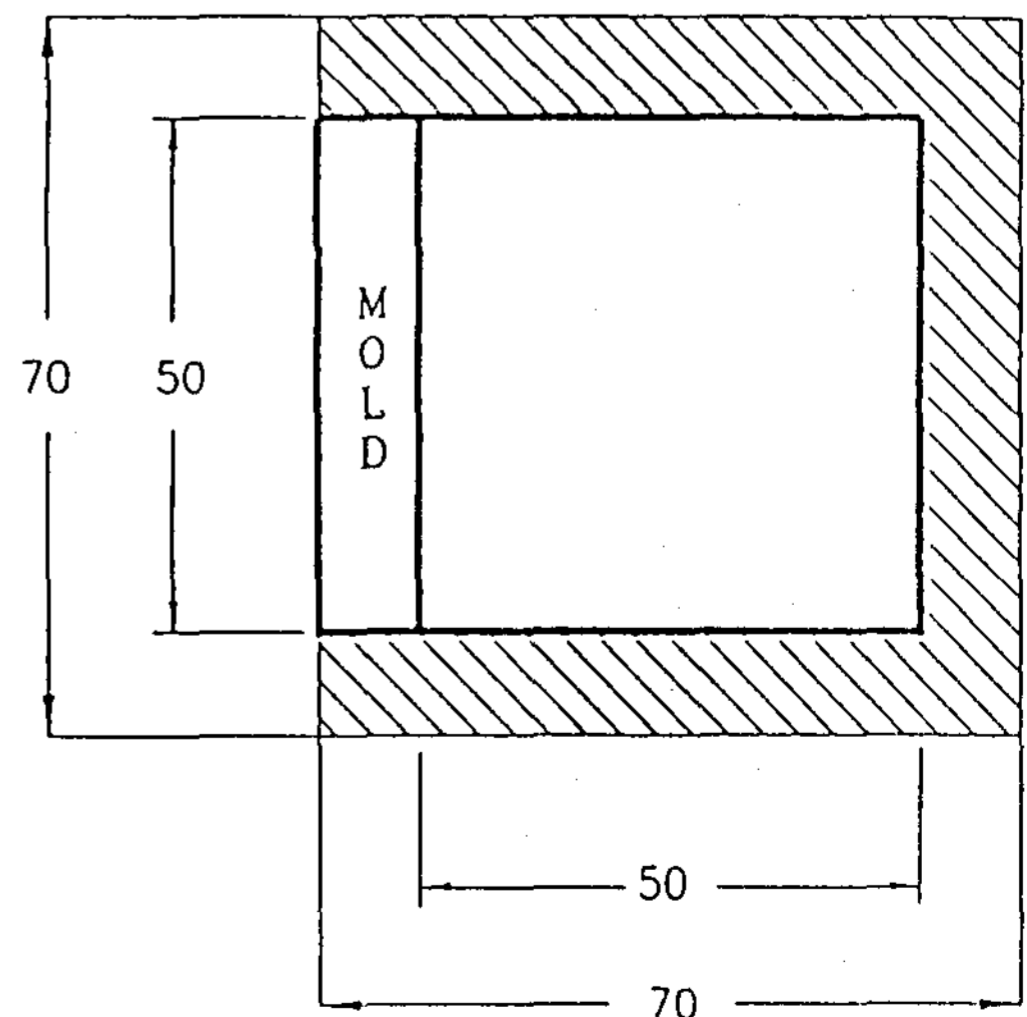


Fig. 2 Cross section of test cell used for two-dimensional experiment(unit : mm)

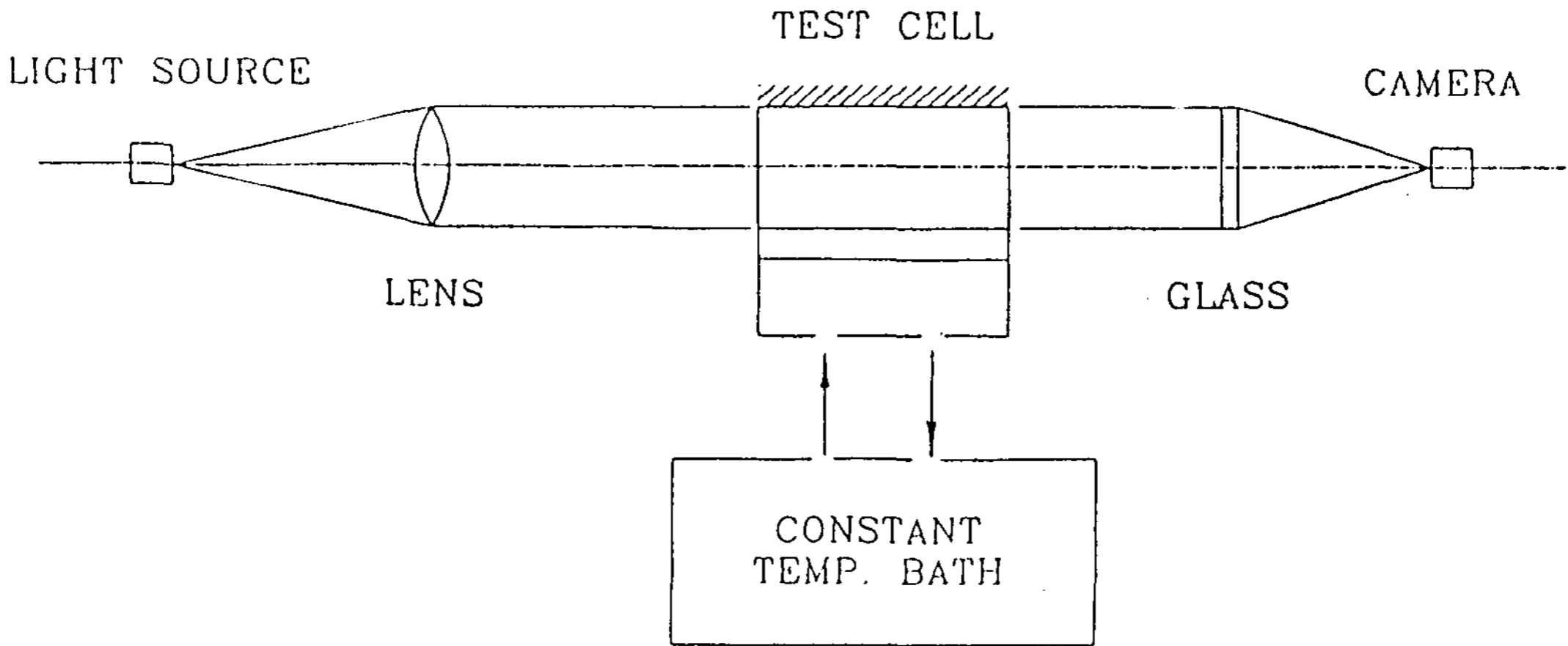


Fig. 3 Schematics of the experimental setup

cell과 camera 사이에 설치된 젓빛유리(white glass plate)에 상을 맺도록하여 이를 촬영하였으며, 개략적인 실험장치를 Fig. 3에 표시하였다.

III. 실험결과

1. 일차원실험결과

Shadowgraph system을 이용하여 일차원 응고 과정을 촬영하여, 그 사진을 분석하였다. 실험도중 자연대류 현상이 발생하는 지를 자세히 관찰하였으나, 육안으로 식별할 만한 유동은 발생하지 않았다. 초기농도는 NH₄Cl 기준으로 5%와 10%, 2가지 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 또한 육안으로는 mushy zone과 고상영역의 구분이 전혀 불가능하여, 실험결과에서는 이 두부분을 모두 합하여 고상영역으로 취급하였다. 실험 결과로부터 무차원화된 응고질량비와 무차원수의 상관관계를 다음과 같은 일차원 함수 형태로 나타낼 수 있었으며, 이를 Fig. 4에 도시하였다. 상관관계는 다음 식과 같이 표현된다.

$$f = 1.409 \times 10^{-7} (Ste \cdot Ra^{1/4})^{2-Ste} \cdot Fo^{1/2} + 0.02715 \quad (1)$$

여기서 사용된 무차원 수는 다음과 같다.

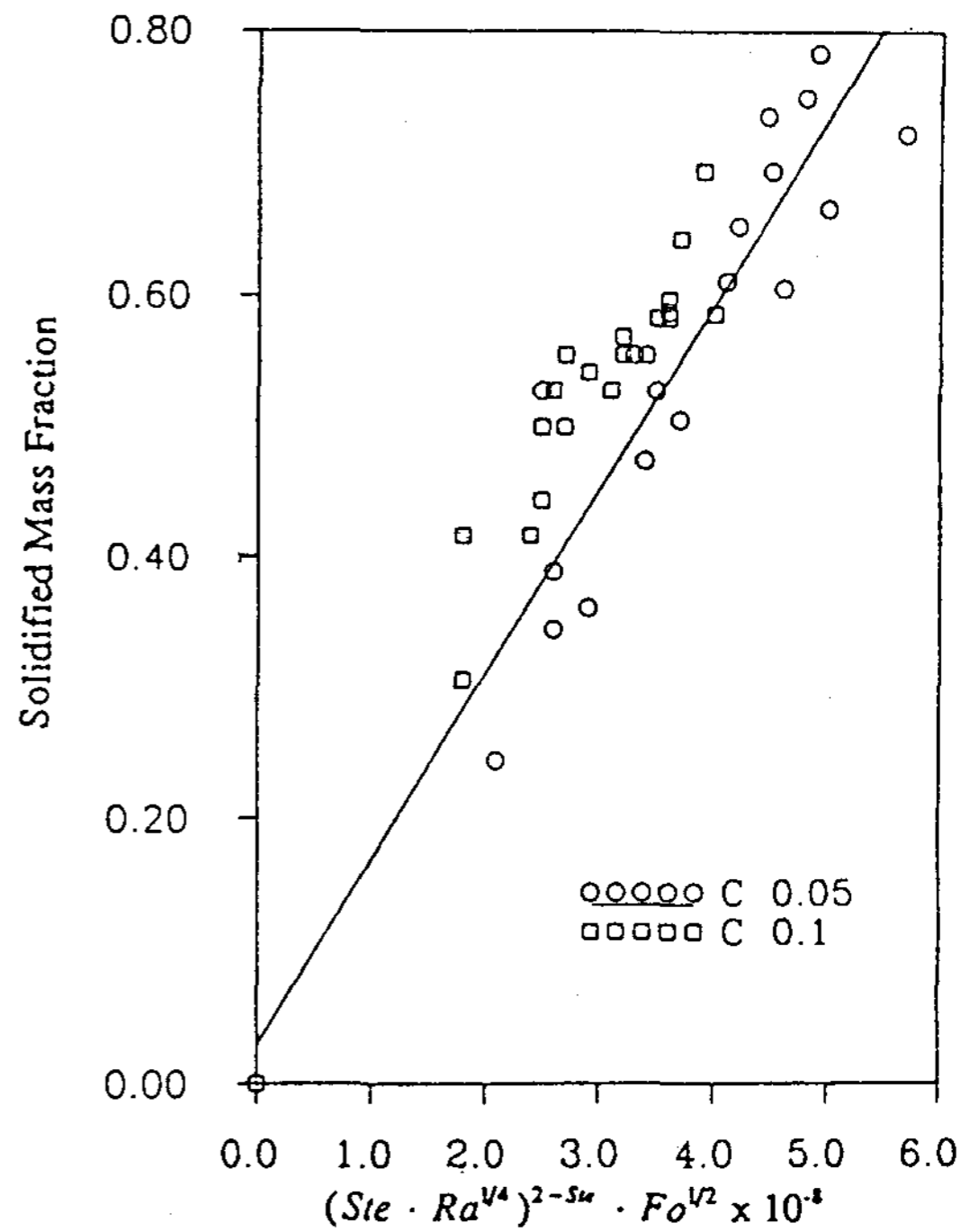


Fig. 4 Correlation between solidified mass fraction and $(Ste \cdot Ra^{1/4})^{2-Ste} \cdot Fo^{1/2}$: 1-D experiment

$$Ste = \frac{c_{pl}(T_i - T_e)}{H_s(1 - C_i)} \quad (2)$$

$$Fo = \frac{t \cdot \alpha_i}{L^2} \quad (3)$$

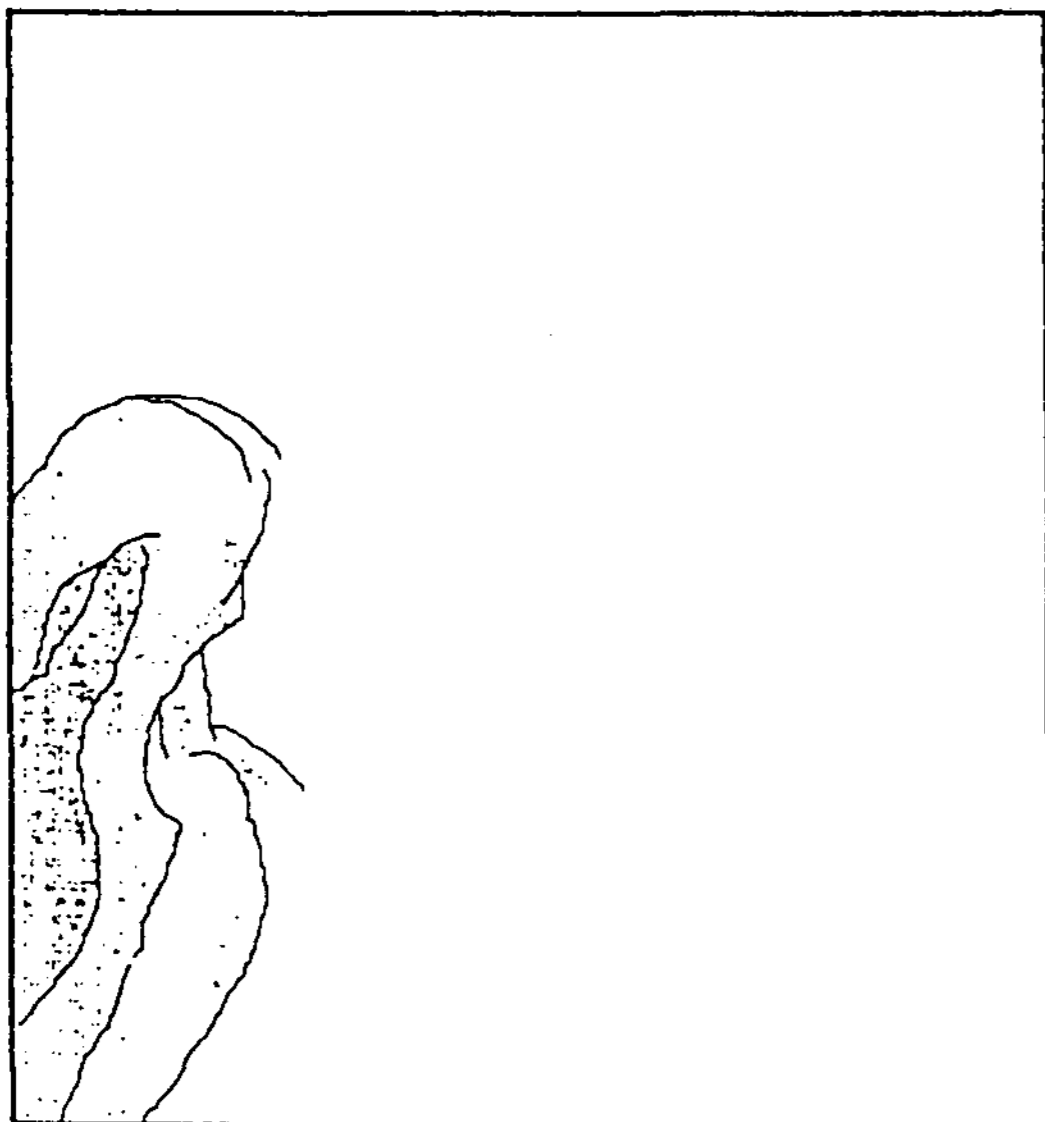
$$Ra = \frac{g\beta(T_e - T_c)L^3}{\alpha\nu} \dots\dots\dots (4)$$

위에서 구한 무차원 응고질량비는 이미 초기 농도의 영향을 포함하고 있으며, Fig. 4에 나타낸 바와 같이 초기 농도가 질량비로 0.05와 0.1인 경우 모두 잘 표현하고 있는 것을 알 수 있다.

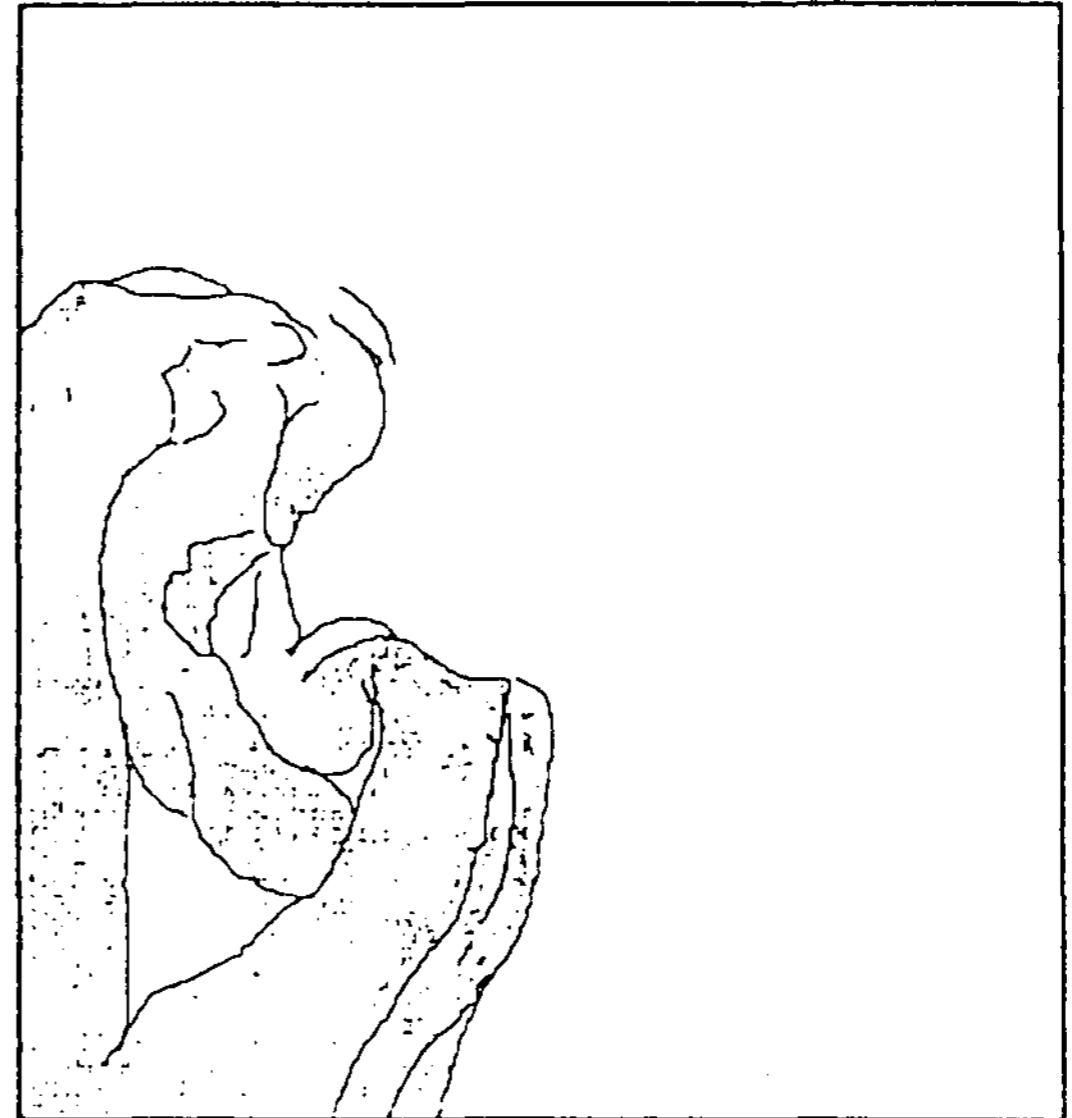
2. 이차원 실험 결과

1) 실험 1

Fig. 5는 shadowgraph의 결과를 재현하여 나타낸 그림이다. 초기농도는 NH₄Cl 기준으로 10%, 상변화물질의 초기온도는 11.7°C였으며, mold 외벽의 온도는 -31.6°C로 유지하였다. Mold는 실험 시작 순간 저온용기와 접촉하게 되므로 저온용기와 mold사이의 접촉저항 및 mold의 열용량으로 인하여 설정온도까지 하강하는데에 약 3~4분 정도가 소요되었다. Fig.5에 보인 바와 같이 초기에는 상변화물질 내의 밀도분포가 매우 복잡한 형태를 띄고 있는데, 이 현상은 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉 찬 벽면에 인접한 상변화물질이 응고되면서 배출된 NH₄Cl로 인하여 벽면 근처의



(a)



(b)

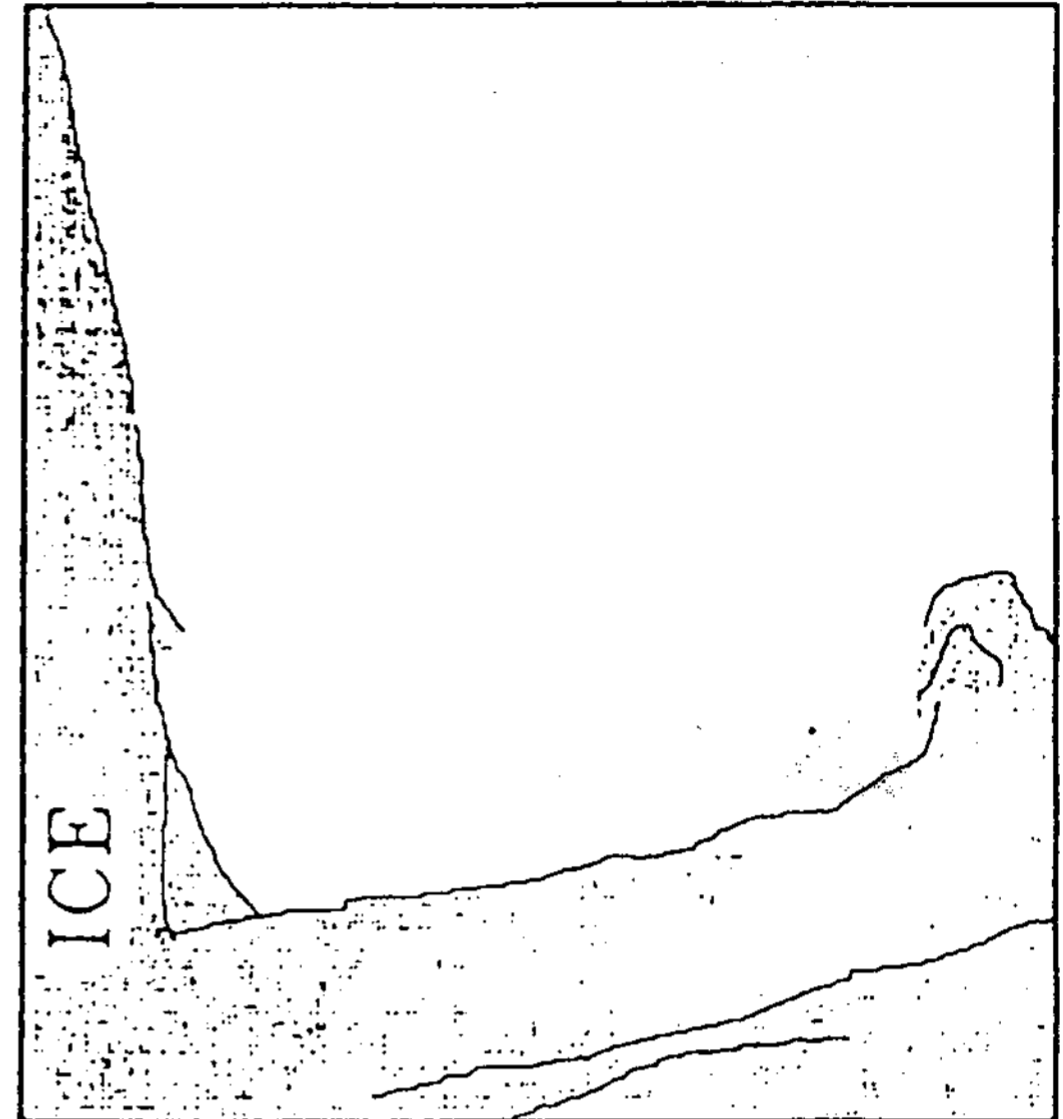


(c)

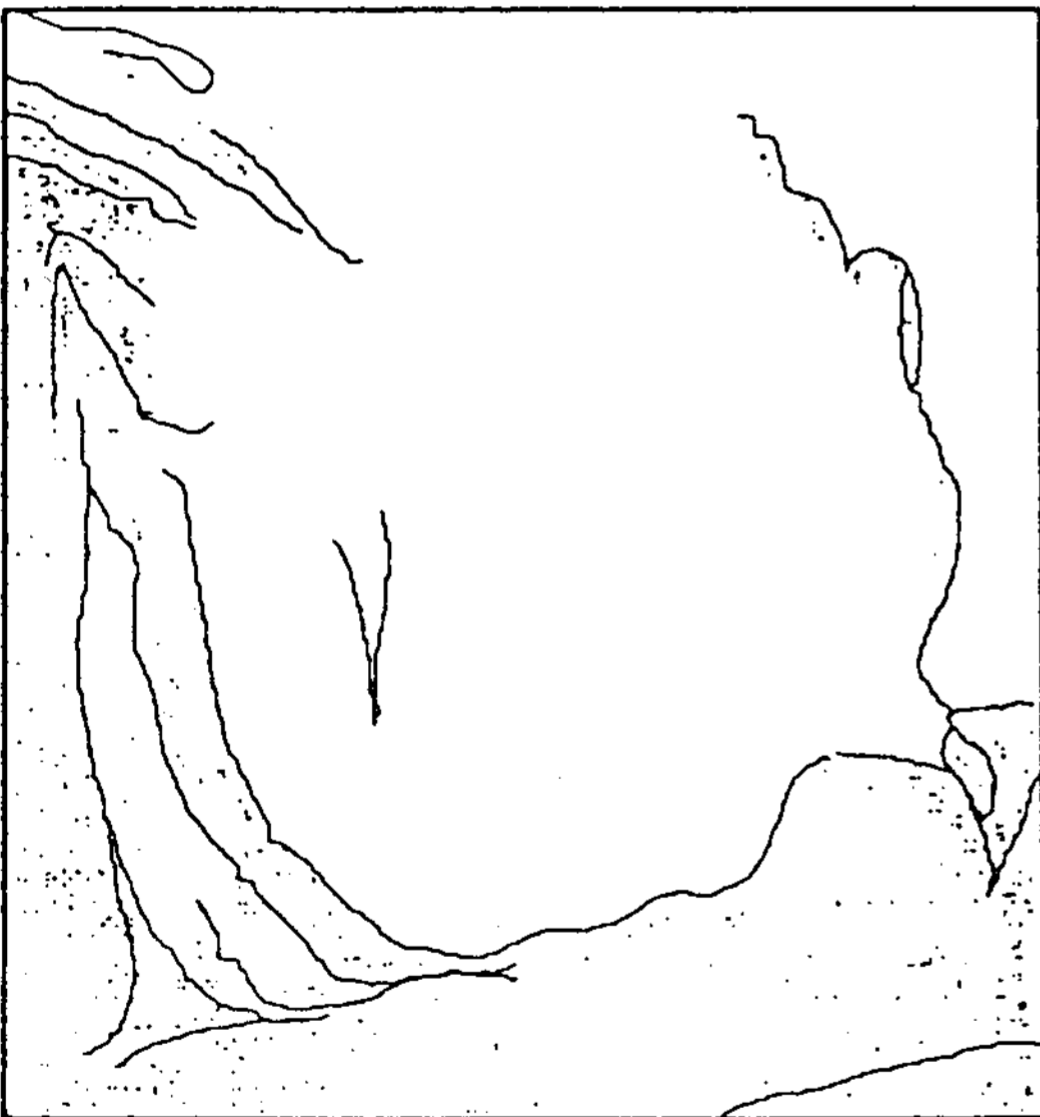
액체의 농도가 높아지게 되며, 따라서 농도가 높은 부분의 부력은 상대적으로 적으므로 중력 방향으로 힘을 발생시킨다. 한편 상변화물질의 대부분을 차지하고 있는 물은 4°C에서 밀도가 가장 큰 값을 가지므로, 4°C 전후의 온도를 갖는 물은 4°C의 물에 비하여서는 더 많은 부력을 받게 되므로 중력 반대방향으로 이동하게 될 것이다.



(d)



(f)



(e)

Fig. 5 Density distribution in the $\text{NH}_4\text{Cl-H}_2\text{O}$ system :
 $T_i=11.7^\circ\text{C}$, $T_c=-31.6^\circ\text{C}$ (a) $t=30\text{sec}$,
 (b) $t=60\text{sec}$, (c) $t=90\text{sec}$, (d) $t=120\text{sec}$,
 (e) $t=150\text{sec}$, (f) $t=330\text{sec}$.

향으로 진행되어 test cell의 아래쪽의 밀도가 높아진 것을 알 수 있다. 이 실험에서 약 210초 이후에는 유동이 대단히 미약하여 이를 확인하기 어려워졌다.

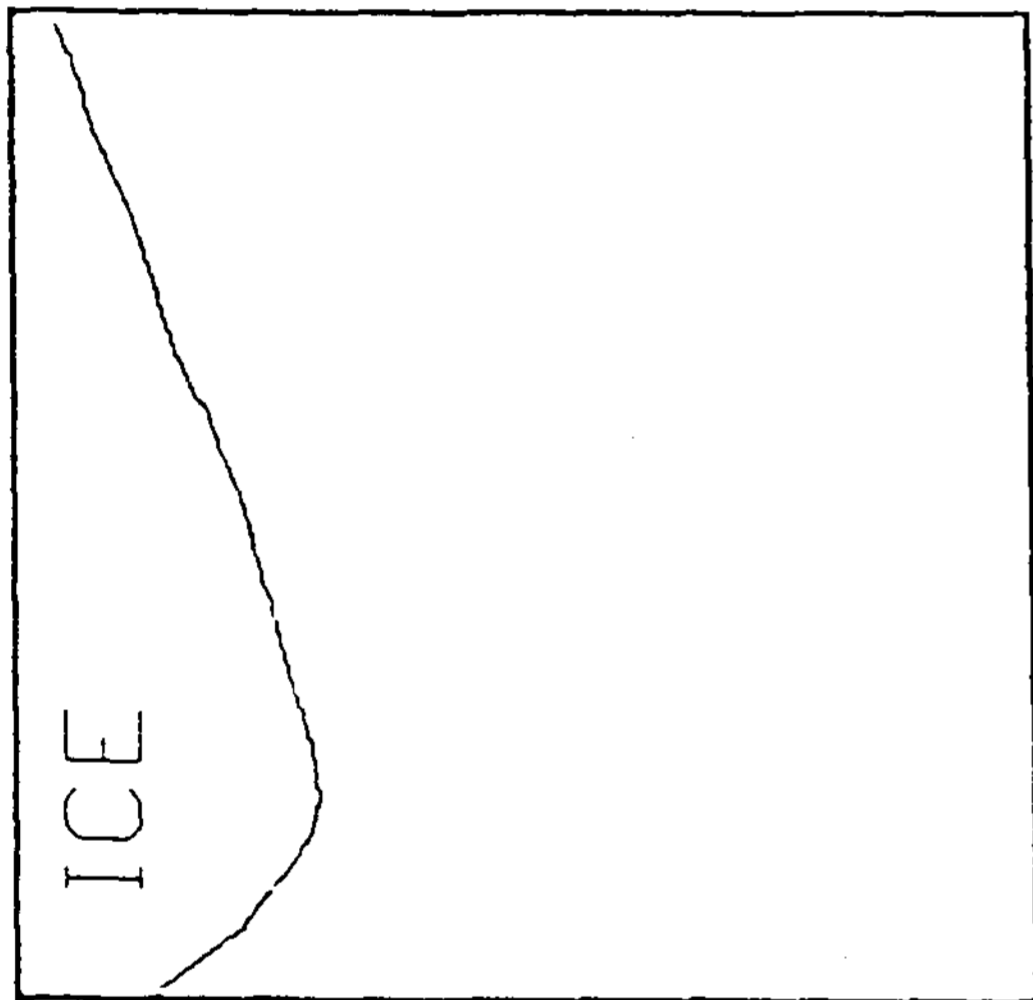
2) 실험 2

실험 2는 실험 1에 비하여 초기온도와 mold 외벽의 온도가 모두 비교적 높은 경우이다. 초기농도는 실험 1과 마찬가지로 NH_4Cl 기준으로 10%이나, 상변화물질의 초기온도는 23.7°C 였으며, mold 외벽의 온도는 -22.6°C 로 유지되었다. 실험 2에서는 실험 1과 달리 초기에 상변화물질 내의 밀도분포가 복잡한 형태를 보이지 않았는데, 이는 초기온도가 비교적 높아서 자연대류가 상대적으로 활발하였으며, 따라서 물의 밀도의 abnormality 점의 영향이 상대적으로 축소되었기 때문이라 생각된다. 실험 2에서는 실험 1보다 훨씬 빨리 상변화물질 내의 온도 및 농도가 성층화되어, 약

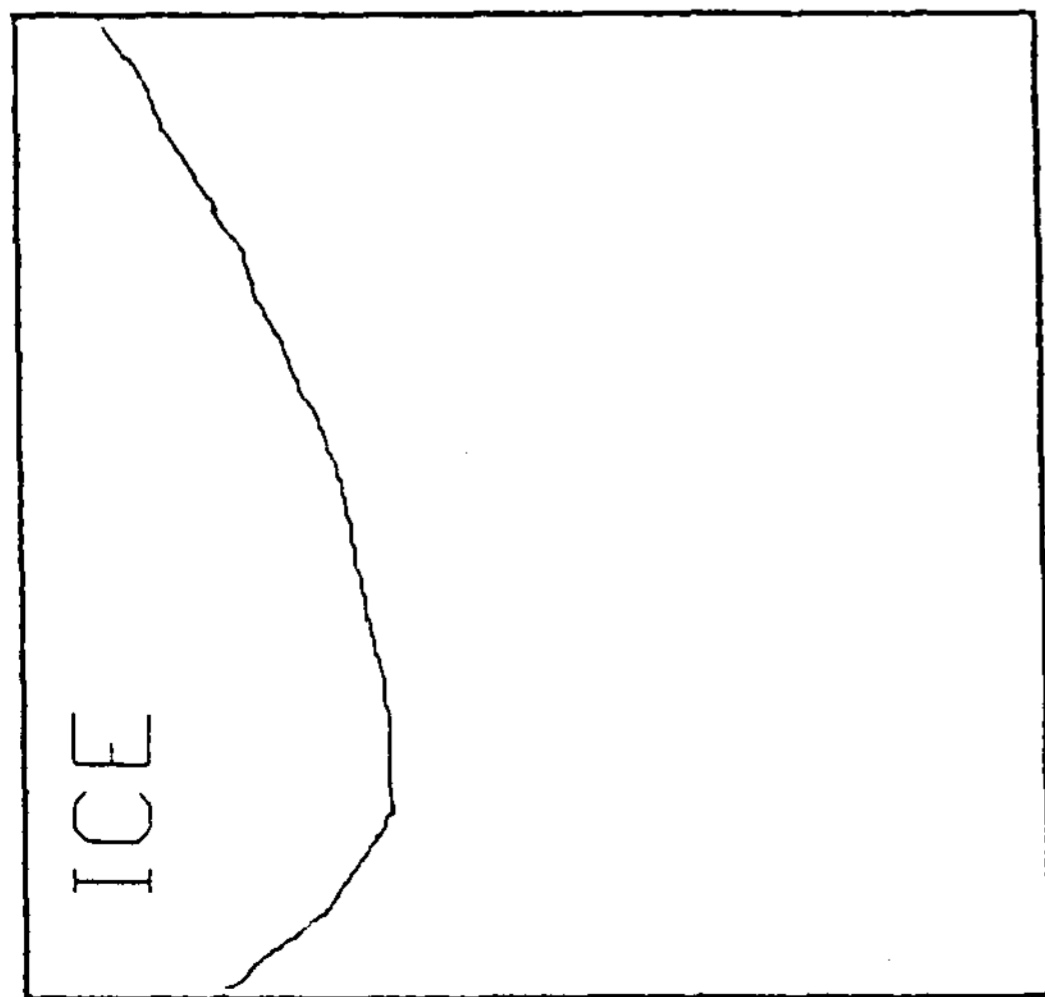
그런데, 상변화물질의 초기온도는 4°C 보다 높으며, 벽면의 온도는 4°C 보다 낮으므로, 벽면 가까이 어느 지점에서의 온도는 4°C 가 될 것이다. 따라서 자연대류 현상이 시작되는 시점에서, 초기온도가 비교적 낮고 또한 벽면의 온도가 매우 낮은 경우 벽면 근방에서 이 두 현상이 동시에 작용하여 나타나는 현상으로 보인다. 그러나 시간이 지남에 따라 유동 및 물질 전달이 중력방

120초가 지나면 유동이 미약하여졌다. Fig. 6에는 응고된 상변화물질의 형태를 시간에 따라 나타낸 그림이다. 여기에서도 역시 고상과 mushy zone을 합하여 고상이라고 하였다. Mold와 접한 상변화물질의 맨 아래쪽을 원점으로 잡으면, Fig. 6(a)에서 볼 수 있듯이 $y=0.2$ 에서 두께가 가장 두꺼우며, 상하방향으로 거의 직선적으로 감소하는 형태이다. 즉 응고 초기에는, $y=0.2$ 에서 두께가 최대이며 상하방향으로 갈수록 감소하는 형태를 유지하며 성장하게 되며, 이는 온도 및 농도의 성층화에 따른 결과이다. 그러나 시간이 경과함에

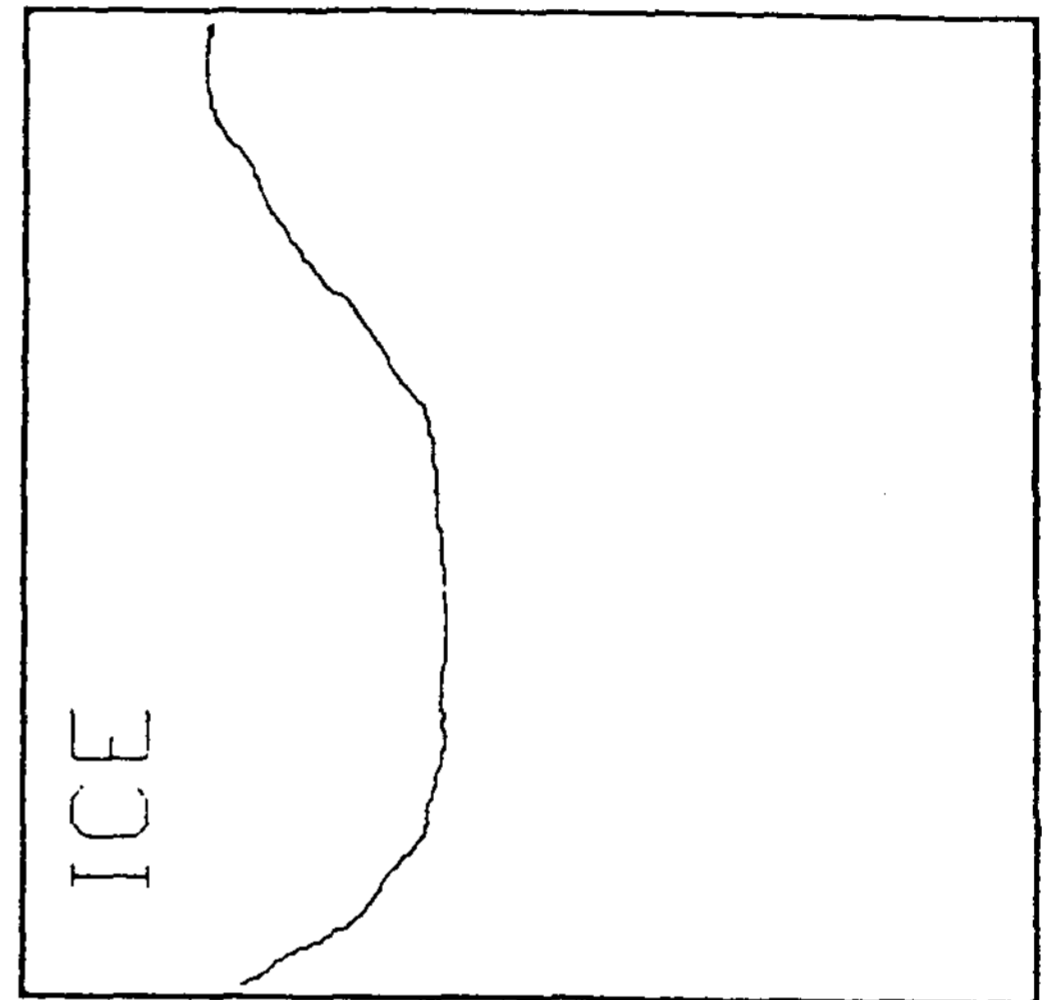
따라 성층화된 물질내의 온도차가 점차 감소하게 되며, 또한 두꺼워진 고체가 열전달에 있어서 저항으로 작용함에 따라 가장 두꺼운 점의 성장속도는 둔화되고, 그 주위점의 성장속도는 상대적으로 증가하게 되어 대략 $y=0.2$ 부근에서부터 일정한 두께를 갖게되며 이 영역은 시간의 증가에



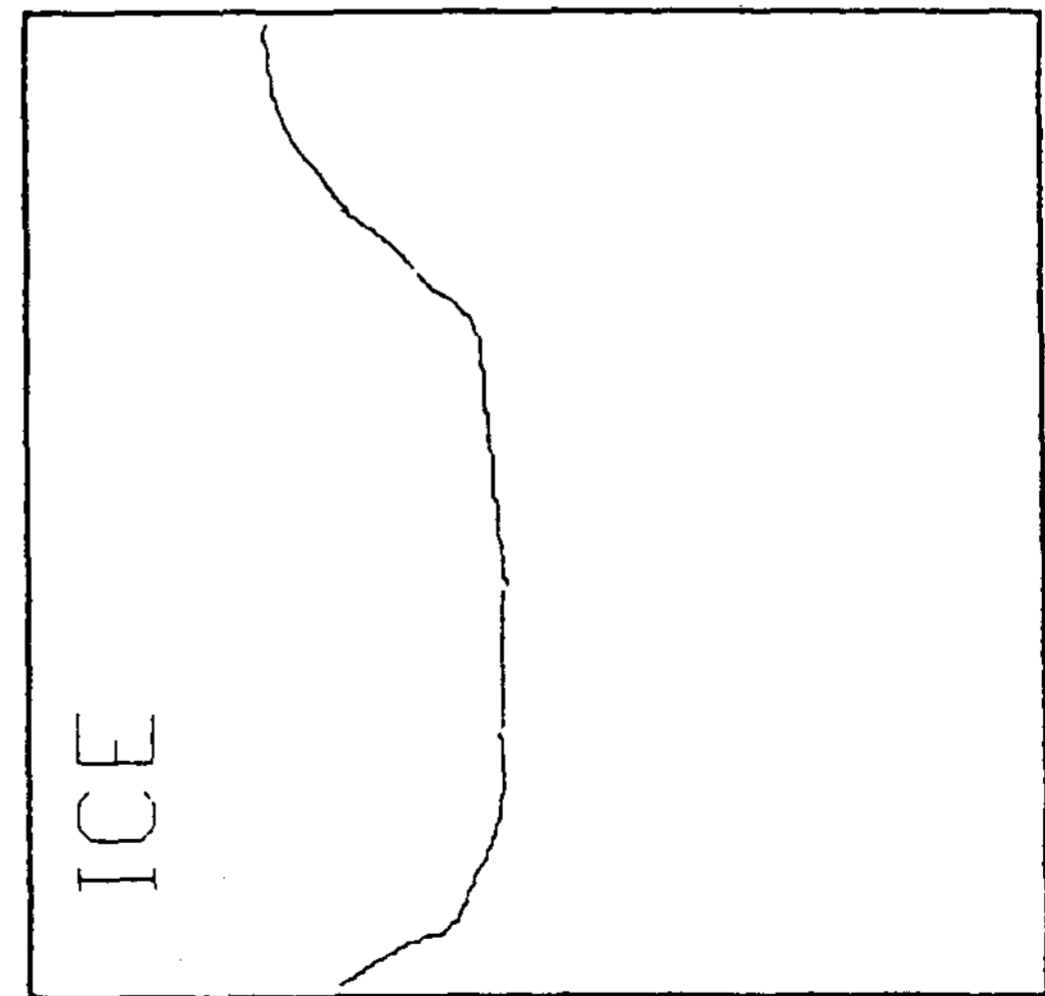
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 6 Change of shape of the solidified mass :

$T_i=23.7^{\circ}\text{C}$, $T_c=-22.6^{\circ}\text{C}$;

(a) $t=2990\text{sec}$,

(b) $t=3890\text{sec}$,

(c) $t=4790\text{sec}$,

(d) $t=5690\text{sec}$.

따라 상하방향으로 전파되어 간다. 이는 Fig. 6(c) (d)에 잘 나타나 있다.

본 실험에서도 Beckermann and Viskanta³⁾의 실험에서와 같이, NH₄Cl 기준으로 초기농도가 공융농도보다 높은 경우 정상상태에 이르는 과도기간중 나타나는 double-diffusive layer는 나타나지 않았다. 그러나 본 실험은 Beckermann and Viskanta의 실험과는 달리 과도 상변화 열전달 과정에 관심을 두고 있으며, 따라서 한쪽 벽면에만 온도경계조건을 주고 나머지 면은 단열 처리하였기 때문에, 자연대류에 의한 영향이 Beckermann and Viskanta의 실험 보다는 적게 나타났다.

실험 1과 실험 2의 결과로부터 응고된 질량분율을 측정하여, 이를 일차원실험에서와 마찬가지로 무차원수와의 상관관계를 구하여 이를 Fig. 7에 나타내 보았다. 이차원 응고과정의 상관관계는 다음과 같다.

계는 다음과 같다.

$$f = 1.597 \times 10^{-7} (Ste \cdot Ra^{1/4})^{2-Ste} \cdot Fo^{1/2} - 0.2979 \quad (5)$$

실험 1 및 실험 2의 결과 모두 Eq.(5)로 표시할 수 있었으며, 이 식을 일차원 상관관계인 Eq.(1)과 비교하여 보면 계수가 약 10% 정도 차이가 날 뿐이라는 것을 알 수 있다. 일차원실험과 이차원실험의 결과로부터 얻은 응고질량분율과 무차원수와의 상관관계를 살펴보면, 온도구배에 의한 자연대류의 영향만 포함하고 있을 뿐 농도구배에 의한 자연대류의 영향은 포함하지 않고 있음을 알 수 있다. 이는 농도구배에 의한 자연대류의 영향이 온도구배에 의하여 발생하는 자연대류에 비하여 매우 적다는 것을 시사한다.

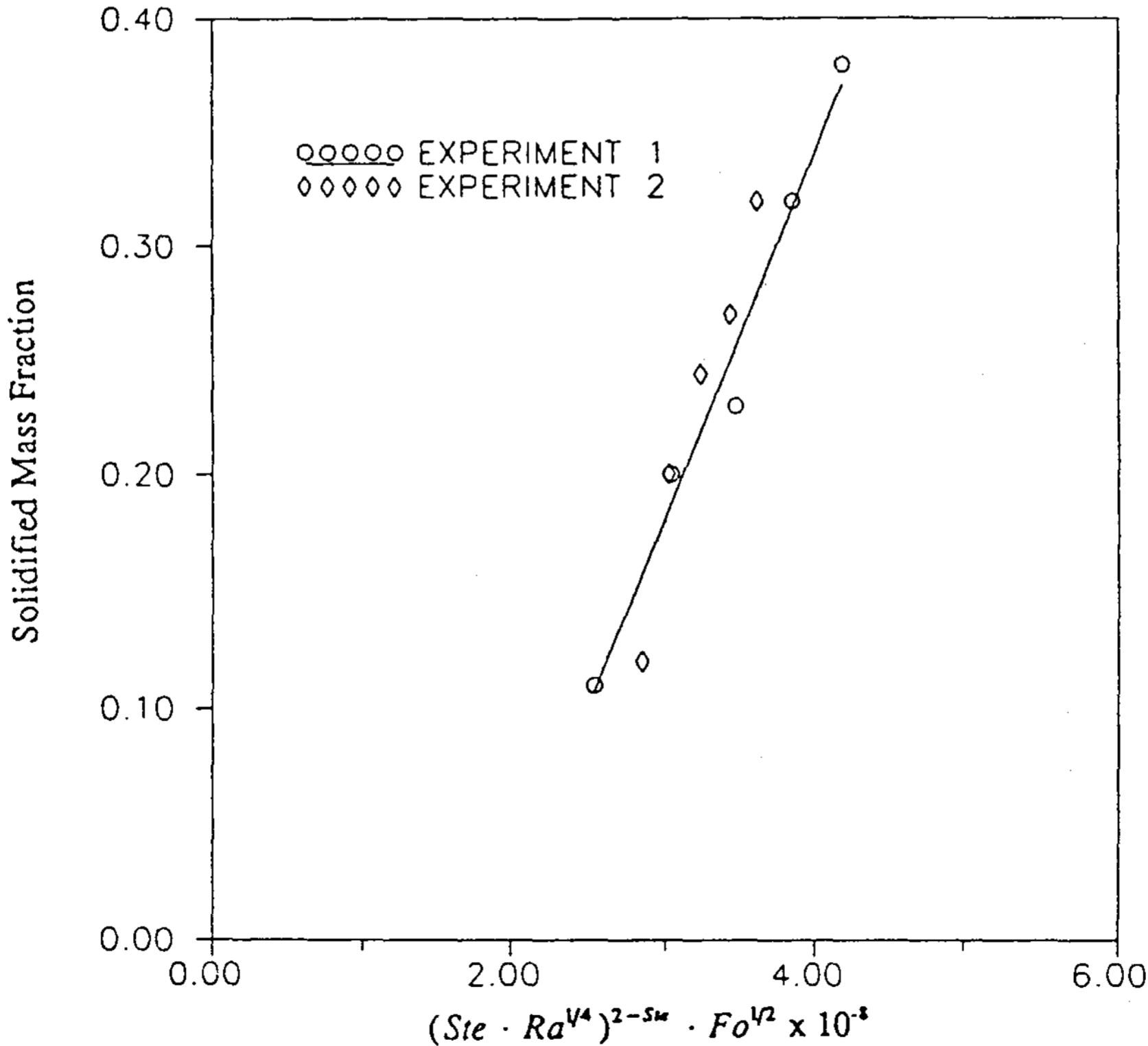


Fig. 7 Correlation between solidified mass fraction and $(Ste \cdot Ra^{1/4})^{2-Ste} \cdot Fo^{1/2}$: 2-D experiment.

IV. 결 론

이원용액의 응고과정에서의 에너지 및 물질전달에 의한 이중확산 대류 현상을 정성적으로 살펴보기 위하여, 일차원 및 이차원 실험을 수행하여, shadowgraph system으로부터 얻은 사진을 분석하여 유동 및 밀도차, 고상의 형상에 관한 결과를 시간에 따라 구할 수 있었다. 실험 결과 분석시, mushy zone과 고상영역의 구별이 불가능하여, 이 두 부분을 합하여 고상영역으로 취급하였다. 자연대류의 영향으로 인하여 매우 빨리 성장화가 이루어졌으며, 이로 인하여 고상은 초기에는 $y=0.2$ 근방에서 최대두께를 보이고 상하방향으로 선형적으로 감소하는 형태로 응고되거나 응고가 진행됨에 따라 응고가 많이 진행된 곳의 열저항의 증가로 두께는 균일화하는 방향으로 증가된다. 실험결과로부터 응고질량비를 Ste수 및 Ra 수, Fo수로 이루어진 무차원수와의 상관관계를 다음과 같이 표현할 수 있었다.

$$f = a \cdot (Ste \cdot Ra^{1/4})^{2-Ste} \cdot Fo^{1/2} - c \dots\dots\dots (6)$$

여기서 a 와 c 는 상수이며, 일차원인 경우 $a = 1.049 \times 10^7$, $c = -0.02715$ 이며, 이차원의 경우는 $a = 1.597 \times 10^7$, $c = 0.2979$ 이다. 즉 일차원과 이차원의 경우 모두 응고질량비를 $(Ste \cdot Ra^{1/4})^{2-Ste} \cdot Fo^{1/2}$ 의 선형함수로 표시할 수 있었으며, 이로부터 농도구배에 의한 자연대류의 영향은 온도구배에 의한 자연대류의 영향에 비하여 작음을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구비 지원에 의하여 연구되었음을 밝히고 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Flemings, M. C., 1974, "Solidification Processing", McGraw-Hill, New York.
2. Viskanta, R., 1988, "Heat Transfer During Melting and Solidification of Metals", J. Heat Transfer, Vol.110, No.4(B), pp.1205~1219.
3. Beckermann, C. and Viskanta, R., 1988, "An Experimental Study of Solidification of Binary Mixtures with Double-Diffusive Convection in the Liquid", ASME Proc. 1988 Nat'l Heat Transfer Conf., HTD-96, Vol.3, pp.67~78.
4. Fisher, K. M., 1981, "The Effects of Fluid Flow on the Solidification of Industrial Castings and Ingots", Physico Chemical Hydrodynamics, Vol.2, pp.311~326.
5. Clyne, T. W., 1982, "The Use of Heat Flow Modeling to Explore Solidification Phenomena", Metallurgical Transactions B, Vol.13, pp.471~478.
6. Clyne, T. W., 1982, "Numerical Modeling of Directional Solidification of Metallic Alloys", Metal Science, Vol.16, pp.441~450.
7. Bennon, W. D. and Incropera, F. P., 1988, "Numerical Analysis of Binary Solid-Liquid Phase Change Using a Continuum Model", Numerical heat Transfer, Vol.13, pp.277~296.
8. Bennon, W. D. and Incropera, F. P., 1987, "A Continuum Model for Momentum, Heat and Species Transport in Binary Solid-Liquid Phase Change Systems-I. Model Formulation", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.30, No.10, pp.2161~2170.
9. Bennon, W. D. and Incropera, F. P., 1987, "A Continuum Model for Momentum, Heat and Species Transport in Binary Solid-Liquid Phase Change Systems-II. Application to Solidification in a Rectangular Cavity", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.30, No.10, pp.2171~2187.

investigated. As a result, the best location of the heat source to make the active heat transfer is 0.075[m] from the left wall on the floor. The trends observed are also discussed in terms of heat removal from practical systems such as electric circuitry.

The R&D of hot water production by the combination of solar thermal and a large-sized flower cooling system(I)

Jung, Hyun Chai · Kim, Ki Sun · Sun, Kyung Ho

Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy

Solar assisted heat pump with freon circulating system has been developed. Revising the cool chamber (flower storage) with the solar thermal hot water producing system, the more amount of hot water can be produced, which can be even used for room panel heating. The compressor was cooled by water jacket instead of air cooled so that the system energy efficiency was improved quite well.

Misgurnus anguillicaudatus(CANTOR) Breeding in Winter Season by Solar Thermal Heating(II)

Hyun-Chai Jung* · Kyung-Ho Sun* · Yong-Sun Paek**

**Kyung Hee Univ. Institute of Solar Energy*

***Teacher, High school of Kwang Dong, Kyung-Gi Do*

The optimum water temperature was maintained for *Misgurnus anguillicaudatus*(CANTOR) in winter season by solar thermal heating. The optimum temperature ranges for the *Misgurnus anguillicaudatus*(CANTOR) were experimentally estimated, i. e. for the body length 7~9cm and body weight 4~6g, the optimum temperature range was 21~23°C.

For the body length 9~11cm and body weight 6~8g, it was 23~25°C, And for the body length 11~13cm and body weight 8~10g, it was 25~27°C. The *Misgurnus anguillicaudatus*(CANTOR) with the body weight 5~10g and body length 8~15cm grew relatively fast but the bigger ones with body weight above 15g, grew relatively slow and total average weight increment was about 50~80g per month.

An experimental study on solidification of binary mix-ture

Han-Sung Cho* · Hie-Tak Choi* · Jai-Suk Yoo**

**Graduate School, Ajou University*

***Department of Mechanical Engineering, Ajou University*

An experiment was performed to study solidification of binary mixture with double-diffusive convection in the liquid. A rectangular enclosure was filled with ammonium chloride-water solution. The phase change and convection process were studied through shadowgraph. Because of the double-diffusive convection, the temperature field and concentration field were stratified very rapidly. Correlation between solidified mass fraction and the dimensionless numbers was found ; solidified mass concentration can be expressed as a linear function of $(Ste \cdot Ra^{1/4})^{2-Ste} \cdot Fo^{1/2}$

An experimental study of the rotating heat pipe with a dished evaporator

Sun-Sok Kwon* · Young-Suc Jang · Byung-Wook Yoo*****

**Department of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.*

***Department of Mechanical Engineering, Kyung-Nam Junior College*

****Department of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.*

By using the heat pipe with a dished evaporator and a screwed groove condenser, the heat transfer characteristics have been investigated by measuring temperature distributions of wall and vapor for various thermal inputs at rotative and stationary cases. The results show that the heat transfer characteristics of this pipe have better than those of simple heat pipe. The heat transfer of the heat pipe is increased by increasing thermal input and revolutions per minute.

Basic study on the EGD Generator of Small Capacity for the Wind Power

Choon-Saing Jhoun* · Ki-Nam Park · Eung-Choon Lim*****

**Inha Univ*

***Graduate School, Inha Univ*

****Graduate School, Inha Univ*

In this paper an EGD generator of small capacity with the operating gases of O₂, N₂ and air is made and the electric characteristics in relation to energy conversion range length, corona current and gas pressure are investigated.

The results are as follows :

1. There is a critical value in conversion range length for maximum open voltage and the critical value increases with fluid velocity.
2. The open voltage increases approximately linearly with corona current.
3. There is a critical value in the gas pressure for maximum open voltage and this pressure of gas decreases with fluid velocity in constant conversion range length.