

정적제빙형인 관외 제빙기내에서의 물의 자연대류현상에 대한 수치해석적 연구

유 직수*, 김 명준**, 김 성영***, 장 현*

*오카야마 대학교 자연과학연구과

**군산대학교 해양과학대학 동력기계시스템공학과

***군산대학교 산업대학원 해양산업공학과

Numerical Analysis about Natural Convection of Water in the Ice-on-coil as a Static Ice Making Type

JikSu YU*, MyoungJun KIM**, SungYong KIM***, Hyeon JANG*

*Graduate school of Natural Science and Technology, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan

**Department of Power System Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

***Graduate school, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

요약: 본 연구는 냉각점이 중간에 위치하는 정적제빙형인 관외 제빙기내에서의 물의 자연대류 현상에 대해 수치적으로 다루고 있다. 자연대류현상과 열전도에 의해 조절되는 물에 이동을 유한차분법을 이용해 2차원적으로 계산하였다. 또한, 본 연구에서는 물의 온도가 4[°C]에서 밀도역전현상이 일어나는 것을 수치해석의 결과와 비교한다. 자연대류의 변화에 따른 결과는 수치해석을 통해 등온선과 유선형의 그래프로부터 알 수 있었다. 그 중에서도 물의 온도와 밀도의 관계에 따라 자연대류의 변화가 일어나는 것을 수치해석을 통해 알 수 있었다.

주제어: 자연대류, 유한차분법, 밀도역전현상, 유선, 등온선

저자의 종래의 연구인 실험을 통한 직사각형용기내 물의 온도변화를 나타낸 것이 Fig. 1이다. Fig. 1은 직사각형용기의 중앙에서 동관에 의한 냉각이 실시되고 있는 경우의 상부 및 하부에 존재하고 있는 물의 온도변화를 시간에 대해 나타낸 것으로 물의 온도가 4[°C]를 정점으로 상부 및 하부의 온도가 급격하게 변하고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 이러한 현상은 물이 가지고 있는 밀도역전의 특수한 영향으로 기인하게 된다.

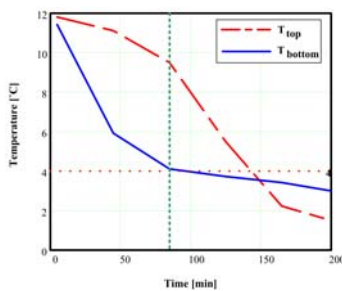


Fig. 1 Characteristic curve of water temperature

본 연구에서는 차분방법으로 유한차분법을 이용하였고 직사각형영역의 각 면의 경계조건은 단열조건으로 하였으며 모서리는 평균값을 이용하였다. 아래에는 수치해석에 사용된 지배방정식을 나타내고 있다. 또한 해석의 간편성을 도모하기 위해 직사각형용기의 중앙에서 발생하는 열발생(냉각)은 물의 동결온도인 0[°C]를 가정한 무차원온도($\theta=0$)를 이용하였지만, 상변화인 동결 현상은 고려하지 않았다. 그리고 부력장의 물성치의 온도에 의한 영향은 무시하였다. 본 수치해석에서 사용한 부력장은 Boussinesq근사를 적용하였다. 즉, 물의 밀도는 압력의 영향을 받지 않고 온도에만 영향을 받는다고 가정하였다.

$$\text{연속방정식 } u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

$$\text{에너지 방정식 } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

$$\text{운동방정식 } u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_0)$$

Fig. 2, 3는 전술한 종래의 실험에서 얻어진 직사각형용기의 하부 및 상부영역의 온도변화를 규명하기 위해 실시한 수치해석의 결과로, 하부영역의 온도인 T_{bottom} 의 온도가 4[°C]에 도달하기 전까지의 수치해석 결과를 나타낸 것이 Fig. 2이고 상부영역의 온도가 4[°C]에 도달한 시간에서의 수치해석결과를 나타낸 것이 Fig. 3이다.

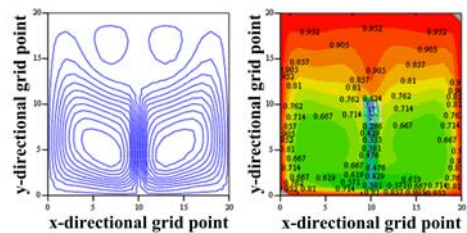


Fig. 2 Numerical analysis result in the first half part

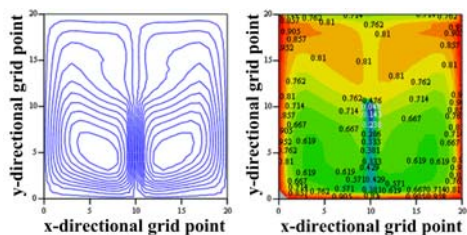


Fig. 3 Numerical analysis result in the first half part