

정적제빙형인 관외 제빙에 관한 무차원 정리

유 직수*, 김 명준**, 김 성영***, 장 현*

*오카야마 대학교 자연과학연구과

**군산대학교 해양과학대학 동력기계시스템공학과

***군산대학교 산업대학원 해양산업공학과

Non-Dimensional Analysis on 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 동관의 관외착빙형 특성을 조사하기 위한 기초적인 연구로써, 실험의 파라메터와 범위는 브라인의 온도는 -10[°C], -8[°C], -6[°C], 브라인의 유속은 1.0[m/s], 1.4[m/s], 1.8[m/s] 그리고 물의 초기온도는 6[°C], 9[°C], 12[°C] 등으로 설정하였다. 본 논문에서는 무차원 얼음 두께와 무차원 동결 시간의 관계에 대하여 실험적으로 정리 하였다. 브라인온도, 물의 온도, 브라인 유속, 물의 초기온도, 동관의 직경사이즈에 대한 무차원 상관 방정식은 다음과 같이 얻어진다. $r_3^+ = 0.063 \cdot (t^+) + 0.206$ [적용범위: $R^+T^+ = 2.1 \sim 4.7$]

주제어: 관형 제빙기, 무차원 얼음두께, 무차원 동결시간

우리나라의 여름철 주-야간의 소비전력차가 확대되고, 화석 연료에 의존하는 에너지 생산으로 인한 지구온난화 문제 등이 일반적으로 널리 알려져 문제화되고 있어 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 에너지 절약과 기술개발이 큰 관심사로 대두되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 방안으로 심야의 야간 잉여 전력을 이용하여 축열하는 노력이 실시되고 있고, 많은 연구가 이루어지고 있다.

본 연구는 이러한 배경에 힘입어 야간의 잉여 전력을 이용한 빙축열시스템을 구축하기 위한 기초 실험의 일반성을 확보하기 위해 종래 연구의 결과 중 관외착빙형 제빙기의 동결현상에 영향을 미치는 각 인자들을 무차원 정리를 실시한 것이다.

본 실험과 같이 물질의 상변화인 동결을 동반하는 열유동 해석은 상변화라는 독특한 현상을 포함하고 있어, 매우 복잡하고 어렵다. 이와 같은 용액의 동결현상에 대한 무차원 해석을 수행하기 위해 먼저 Fig. 1과 같은 온도분포를 가정할 수 있다. Fig. 1과 같은 동결과정에 존재하는 열의 흐름을 모식화한 그림으로부터 동관의 중심을 흐르고 있는 브라인의 온도는 아동결온도(subfreezing)로 유속을 가지고 흐르고 있고 동관주위에는 얼음이 형성되어 있으며, 가장 외부에는 물이 존재하고 있다고 가정할 수 있다. 열의 흐름은 물로부터 브라인의 방향으로 흐르고 있다. 원통좌표계의 동결에 대한 문제는 다음과 같은 지배방정식을 이용하여 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

여기서, 동관에 의한 열저항은 매우 작은 값으로 되기 때문에 무시하였다. 이 문제의 해석적인 해를 구하기 위한 가정은 다음과 같다. 1. 동관의 열저항은 무시한다. 2. 얼음의 밀도, 열전도계수, 비열은 일정한 상수로 취급한다. 3. 동결점(0 [°C])에서는 액체($T_i = T_{fr}, 1/h_e = 0$)로 취급한다. 4. 브라인온도(T_{∞}) 및 열전달계수(h_b)는 일정하다고 한다.

Fig. 2에서 보이는 바와 같이 일반화된 포텐셜-저항비 (potential-resistance ratio) R^+T^+ 를 변수로 사용하여

일반화된 시간 t^+ 에 대한 일반화된 얼음의 두께 r_3^+ 의 변화를 도식화하였다.

상기와 같이 무차원 해석을 이용하여 구한 무차원 수식은 최대오차 $\pm 14\%$ 의 범위 내에서 식 (2)과 같이 유도하였고, 적용범위는 $R^+T^+ = 2.1 \sim 4.7$ 이다.

$$r_3^+ = 0.063 \cdot \ln(t^+) + 0.206 \quad (2)$$

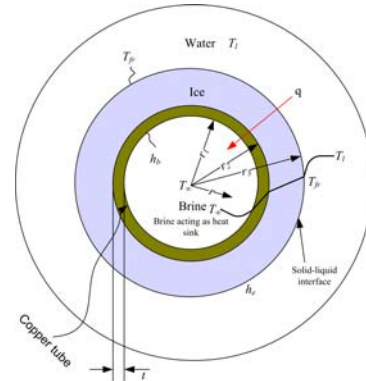


Fig.1 Cross-section of the heat-exchanger pipe and ice

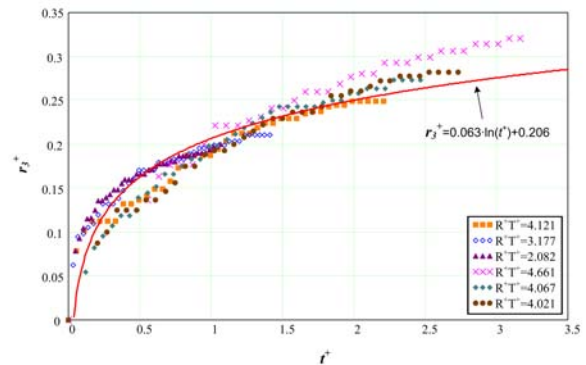


Fig.2 Non-dimensional correlation equation