

가정용 빌트인 제빙기의 분무 노즐, R-404A 충전량 최적화 및 제빙 가시화

Optimization of Spray Nozzle, R-404A Charge Amount and Visualization of Ice Formation in a Residential Built-in Ice Maker

김내현(Nae-Hyun Kim),[†] 김현진(Hyun-Jin Kim)

인천대학교 기계공학과

Incheon National University, Incheon, 22012, Korea

(Received May 15, 2017; revision received July 9, 2017; Accepted: July 12, 2017)

Abstract Because of improvement of living standards and increased use of ice at home, built-in ice makers are of interest. In this study, refrigeration cycle of a unitary ice maker for residential usage was optimized using R-404A. Optimization was achieved through a search for proper refrigerant charge amount. For the present ice maker producing ice for 24 cups, the optimum charge amount was 200 g. In this configuration, the ice making cycle time was 17 minutes 53 seconds, ice production was 1.27 kg/h and COP was 0.310. After initial start-up, condensation and evaporation temperatures gradually decreased with time. As ice builds in the cup, heat transfer performance of the evaporator decreases, that results in decrease of evaporation and condensation temperatures. Replacement of existing slit nozzles with individual circular hole nozzles improved ice production capacity by 10 percent. Through visualization of ice formation in the ice cup, growth rate of the ice in the cup was relatively uniform.

Key words Ice maker(제빙기), Residential(가정용), Built-in(빌트인), Optimization(최적화), R-404A(R-404A)

[†] Corresponding author, E-mail: knh0001@incheon.ac.kr

기호설명

c_p : 비열 [J/(kg · K)]

COP : 성적계수

h : 엔탈피 [kJ/kg]

k : 열전도도 [W/(m · K)]

m : 얼음량 [kg]

P : 압력 [Pa]

T : 온도 [K]

μ : 점성계수 [Pa · s]

ρ : 밀도 [kg/m³]

σ : 표면장력 [N/m]

하첨자

bub : 기포

dew : 이슬점

ice : 얼음

l : 액체

sat : 포화

sl : 고액변화

v : 증기

w : 물

1. 서론

얼음은 생선, 육류, 채소 등의 가공과 운송, 화학공정과 의약품 제조 그리고 빙축열 시스템 등 전 산업분야에 널리 사용된다. 이들 얼음은 제빙 시스템에서 저온의 냉각판이나 냉각관의 외측에 물을 흘려 만들어진다. 최근 들어 국민의 식생활 문화가 개선되고 생활수준이 향상됨에 따라 소형 제빙기에 대한 수요가 급증하고 있다.

소형 제빙기는 주로 호텔, 병원이나 식당과 같은 업소에서 식품이나 음료의 신선도를 유지하기 위해 사용되는데 미국, 유럽 등의 선진국에서는 가정에서도 널리 사용된다.

가정에서 사용되는 빌트인 제빙기로는 20 kg/day 급이 널리 사용되는데 주방에 설치되므로 크기의 제약이 있고 저소음이어야 하며 응축열도 실내로 방출되는 등 일반 제빙기와는 다르게 고려해야 할 사항이 많이 있다. 특히 빙질을 개선하고 제빙 효율을 증가시키기 위하여 증발판을 알루미늄 일체형으로 하고 아이스 컵 당 하나씩 개별 노즐을 적용하는 등 새로운 시도가 되고 있다.⁽¹⁾ Fig. 1에 빌트인 제빙기의 사진이, Fig. 2에는 냉동 사이클이 나타나있다.

제빙기는 에어컨이나 냉장고와 같이 냉동사이클로 작동하는데 이들과 다른 독특한 점은 증발기에 있다. 일반 공조용 에어컨에는 핀-관형 증발기가 사용되는 반면 제빙기의 증발기는 냉매가 순환하는 원관 하부에 다수의 아이스 컵이 아래로 부착되어 하부에서 분사되는 물에 의하여 얼음이 형성된다. Fig. 3에 증발기의 개략도를 나타내었다. 증발기 출구의 저온 저압의 기체 냉매는 압축기에서 고온 고압의 기체 냉매가 되고 응축기를 통과하며 고압의 액 냉매로 변한다. 이 액 냉매는 모세관을 통과하며 저압의 기액 혼합 냉매로 증발기 입구에 공급된다. 증발기에서는 냉매가 기화하며 제빙을 수행한다. 아이스 컵에 얼음이 형성될수록 증발기의 전열 성능은 감소하고 증발온도는 점점 내려가게 된다. 얼음이 완전히 형성되면 솔레노이드 밸브에 의하여 냉동 사이클이 탈빙(핫 가스) 사이클로 전환되며 증발기 내로 유입된 압축기 출구의 핫가스에 의하여 아이스 컵에서 얼음이 탈빙된다. 탈빙 후에는 다시 냉동사이클로 전환되어 얼음을 형성하는 과정을 반복한다. 얼음이 형성 되는데 걸리는 시간은 대략 20~30분 정도이고 탈빙에 걸리는 시간은 3~5분 정도이다.

문헌 조사 결과 본 연구와 직접 관련된 소형 제빙기의 성능에 대한 연구는 찾을 수 없었고 냉각 표면에서의 액적 충돌, 결빙 현상에 대해 일부 연구가 존재하였다. Mishichenko et al.⁽²⁾은 액적 충돌시 액적의 온도는 표면의 온도에 따라 변한다고 보고하였고 Jin et al.⁽³⁾은 표면의 젖음성에 따라 액적의 접촉 직경이 변한다고 보고



Fig. 1 Photo of a built-in ice maker.

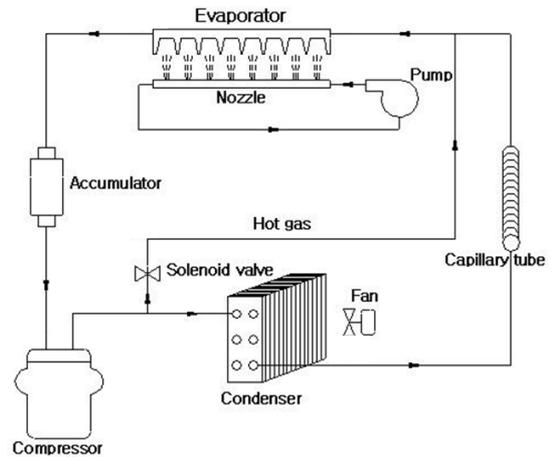


Fig. 2 Refrigeration and hot gas cycle of a ice maker.

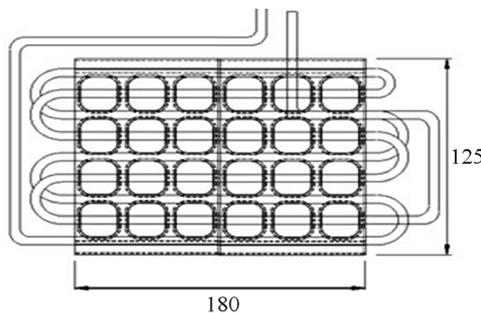


Fig. 3 Schematic drawing of the evaporator with ice cups(unit : mm).

Table 1 Properties of R-404A and R-502⁽¹¹⁾

Properties	T _{bub} = -20℃		T _{dew} = 40℃	
	R-404A	R-502	R-404A	R-502
Psat(MPa)	0.307	0.288	1.829	1.663
ρ_v (m ³ /kg)	15.83	16.90	103.1	98.67
ρ_l (m ³ /kg)	1222	1394	964.6	1138
h_{lv} (kJ/kg)	181.0	156.5	119.0	113.3
c_{pv} (kJ/kgK)	0.892	0.688	1.491	1.041
c_{pl} (kJ/kgK)	1.315	1.039	1.723	1.302
μ_v (μ Pa.s)	10.22	10.94	13.34	13.97
μ_l (μ Pa.s)	233.3	262.7	102.6	125.4
k_v (mW/mK)	11.02	8.868	18.84	14.54
k_l (mW/mK)	80.99	81.90	58.01	58.52
σ (mN/m)	9.936	11.53	2.837	3.857

하였다. Feuillebois et al.⁽⁴⁾는 결빙 과정 중 액적은 비균질 핵 형성 과정을 겪고 표면의 특성에 따라 결빙 시간 및 얼음 입자의 형상이 달라진다고 보고하였다. 관 외측 제빙에 관해서 일부 연구가 수행되었는데 Sait⁽⁵⁾는 관군 외측의 얼음 형성을 예측하는 모델을 제시하였고 Jung and Park⁽⁶⁾은 관 단면 형상이 제빙에 미치는 영향을 검토하였다. Jannesari and Abdollahi⁽⁷⁾는 관 외측에 환형 핀, 원형 링 등을 부착하여 제빙 성능을 향상시키는 연구를 수행하였고 Kulyakhtin et al.⁽⁸⁾은 수 분무시 관 외측에서의 제빙 모델을 제시하였다.

그간 소형 제빙기에는 R-502가 사용되어 왔으나 오존층 파괴와 관련하여 R-404A로 교체되고 있다.^(9,10) R-502는 R-22와 R-115의 공비 혼합물로 오존층 파괴 지수가 0.328로 매우 높다. R-404A는 R-125, R-143a, R-134a의 근공비 혼합물로 오존층 파괴 지수가 0이다. 하지만 R-404A는 지구 온난화 지수가 3922로 향후 지구 온난화 지수가 보다 작은 냉매로 대체될 필요가 있다.⁽⁹⁾ Table 1에 R-502와 R-404A의 물성치를 증발온도 T_{bub} = -20℃와 응축온도 T_{dew} = 40℃에서 비교하였다.⁽¹¹⁾ Table 1은 R-404A의 포화 압력, 증발 잠열, 액체 비열이 R-502의 값보다 다소 큼을 보여주는데 이로부터 R-404A의 전열 성능이 R-502보다 우수할 것으로 예상할 수 있다.

제빙기는 증발 온도와 응축온도가 거의 일정한 에어컨이나 냉장고와는 달리 시간에 따라 증발온도와 응축 온도가 계속 변하는 비정상 사이클 특성을 보인다. 또한 판매 특성상 계절에 관계없이 다양한 외기 조건에서 제빙이 가능하여야 하고 압축기 소비 전력이도 규제를 받는 등 설계 조건이 매우 까다롭다. 본 연구에서는 R-404A용 빌트인 제빙기 개발을 목표로 최적 냉매량 도출, 제빙기가 실내에 위치 한다는 특성을 고려하여 실내 온도변화에 따른 성능변화, 제빙 현상 가시화에 대하여 연구하였다.

2. 실험 장치 및 방법

제빙기의 주요 부품은 자체 보유한 성능 해석 프로그램⁽¹⁾을 활용하여 선정되었고 최종 사양은 Table 2와 같다. 프로그램 내 응축기 및 증발기 해석에는 UA-LMTD 방식이 사용되었고 압축기 해석에는 제조사에서 제공된 성능 곡선이 사용되었다. 모세관은 Stoecker and Jones⁽¹²⁾가 제시한 2상 모델을 사용하여 해석하였다. 또한 증발기에서의 얼음 형성에 따른 제빙기 시스템 변화를 모사하고자 비정상(unsteady) 해석이 수행되었다. 상세한 해석 절차는 Park⁽¹⁾에 기술되어 있다.

Table 2 Specifications of the ice maker

Parts	Specification
Compressor	HK6A3Q2U (Samsung) 3/4 HP
Evaporator	Ice cup size : 25 mm×25 mm×30 mm, 24 ea. Eva. tube : 9.0 mm O.D,
Capil. tube	1.2 mm I.D. L = 1.6 m
Condenser	250 mm×252 mm, 3row, 12 step plain fin, 3.0 mm fin pitch, 7.0 mm tube O.D.

소형 제빙기 시험 규격은 ASHRAE Standard 29⁽¹³⁾에 규정되어 있는데 본 연구에서는 그 절차에 따라 시험을 수행하였다. 제빙기를 일정온도(27°C, 50% RH)로 유지되는 항온항습실에 두고 일정량의 물(1.2 kg)을 증발기 하부의 물받이에 부은 후 압축기를 가동시킨다. 물 라인은 수도전에 연결되어 물받이에 지속적으로 보충되는데 보충수량은 제빙량과 동일하다. 시험 중 압축기의 입출구, 증발기의 입출구, 응축기 출구, 물 라인 입구에서 온도를 측정하고 압축기 입출구에서 압력을 측정하였다. 온도는 보정된 Cu-Co 열전대(정밀도 $\pm 0.1^\circ\text{C}$)를 관 외측에 부착하여 측정되었고 압력은 압력 트랜스듀서(Setra Model 230, $\pm 0.2\%$ full scale)로 측정되었다. 온도 측정시 측정부 전후 5 cm를 단열하여 온도 측정의 정확도를 유지하고자 하였다. 시험 중 증발기 입구 온도가 -20°C 에 도달하면 얼음 형성이 완료되었다고 판단하고 핫 가스 사이클로 전환하였다. 이 온도는 빙질, 얼음량 등을 근거로 시험 착오를 통하여 얻어졌다.⁽¹⁾

제빙 사이클이 완료되면 탈빙을 위해 핫 가스 사이클로 변환된다. Fig. 1에 핫 가스 사이클이 나타나 있다. 압축기 출구의 고온 가스 냉매는 응축기와 모세관을 우회하여 직접 증발기로 유입된다. 유입된 핫 가스는 증발기에 부착된 아이스 컵의 온도를 올려 얼음을 탈착시킨다. 핫 가스 유입 시간이 너무 짧으면 탈빙이 불완전하고 반대로 너무 길면 증발기의 온도를 올려 차기 제빙 사이클의 냉각 부하가 증가된다. 따라서 적절한 핫 가스 유입 시간이 존재하게 되는데 별도의 실험을 통하여 증발기 입구 온도가 25°C가 되면 탈빙 사이클이 완료되는 것으로 판단하였다.⁽¹⁾ 상기 제빙과 탈빙 사이클을 세 차례 반복하여 평균값을 확보하였다. 얼음 생산량은 얼음의 무게를 재어 결정하였다.

3. 제빙기 실험 결과

3.1 분무 노즐 형상 개선

제빙기 증발기의 하부에는 노즐이 설치되어 아이스 컵에 물을 분무한다. 이 때 균질한 얼음을 얻기 위해서는 아이스 컵에 동일한 양의 물이 공급되는 것이 중요하다. Fig. 4에 나타나있듯이 기존 증발기에는 하나의 노즐이 4개의 컵을 담당하도록 되어 있고 이를 위하여 상부에 1.2 mm 폭의 슬릿이 가공된 노즐이 사용된다. 이 경우 어쩔 수 없이 중심부에 위치한 컵에는 측부에 위치한 컵보다 많은 물이 공급된다. 이를 개선하기 위하여 각각의 컵 하부에 개별 노즐을 설치하여 컵에 균일한 유량이 공급되도록 하였다. 개별 노즐 출구 형태로는 원형 홀을 사용하면 아이스 컵에 고르게 분무할 수 있다고 판단되어 노즐 상부에 원형 홀이 가공된 노즐을 사용하였다. 홀 사이즈는 미국 H사의 사양을 검토하여 1.35 mm, 1.5 mm 두 종류를 선정하였다.⁽¹⁾ Fig. 5에 노즐부 사진이

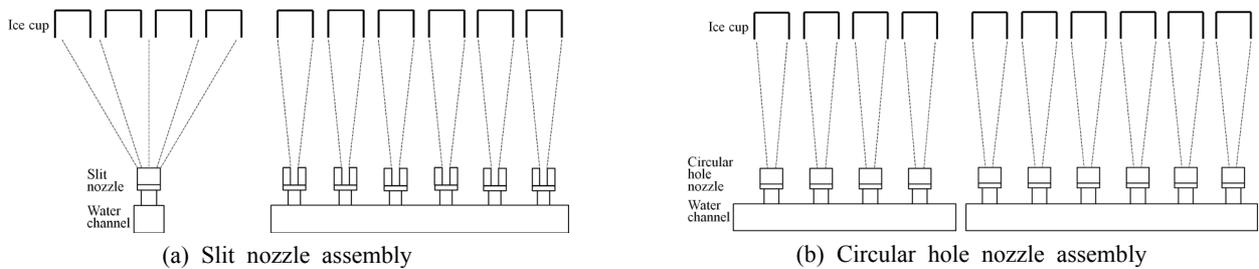


Fig. 4 Sketches showing water spray from nozzles.

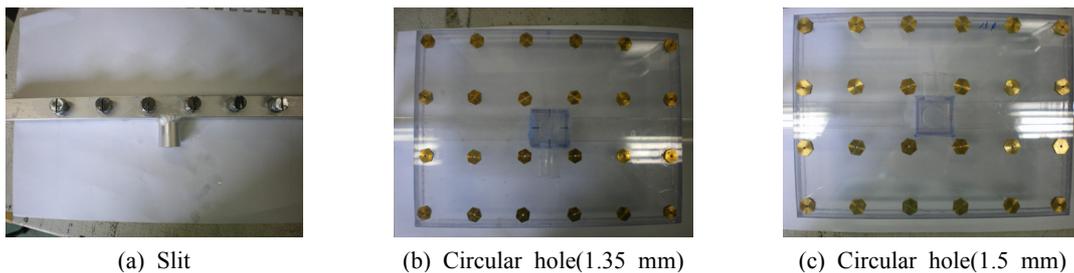


Fig. 5 Photos of nozzle assemblies.

Table 3 Capacity of the ice maker having different nozzle configuration

Nozzle	Power consumption (W)	Cycle time (sec)	Yield (kg/cycle)	Ice production (kg/hr)
Slit(1.2 mm)	479±2	1150±2	0.37±0.02	1.15±0.06
Circular hole(1.35 mm)	480±2	1110±2	0.38±0.02	1.23±0.06
Circular hole(1.5 mm)	479±2	1073±2	0.39±0.02	1.27±0.06

나타나 있다. 기존 슬릿 노즐부는 15 mm×15 mm 단면의 스테인레스 사각 채널 상부에 28 mm 핏치로 설치된 6 개의 노즐로 구성된다. 이 경우 물은 노즐부 중앙으로 공급된다. 개별 노즐부의 경우 아크릴로 제작된 150 mm×94 mm×15 mm의 직육면체 채널 상부에 24개의 노즐이 28 mm×28 mm 핏치로 설치되어 있다. 물은 채널 하부 중앙에 가공된 직경 20 mm 홀로부터 공급된다.

Table 3에 각 경우에 대하여 측정된 소비동력과 사이클 시간, 사이클 당 제빙량(yield), 시간당 평균 제빙량을 나타내었다. 여기서 사이클 시간은 제빙과 탈빙을 포함한 한 사이클에 소비된 시간이다. 이 때 냉매 충전량은 200 g이고 실내 조건은 27°C, 50% RH로 유지되었다. Table 3은 홀 사이즈 1.5 mm인 개별 노즐을 사용한 경우 사이클 시간이 1073초로 최소이고 시간 당 제빙량이 1.27 kg으로 슬릿 노즐에 비하여 10% 가량 증가함을 보여 준다. 따라서 향후 실험은 이 노즐을 사용하여 수행하였다. 노즐 개수 증가가 제조 원가에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.⁽¹⁾

Fig. 6~Fig. 8에 홀 사이즈 1.5 mm 개별 노즐을 사용한 경우 얻어진 압력, 온도, 소비 동력 곡선이 나타나 있다 Fig. 6은 압력 곡선으로 제빙 시 증발 및 응축 압력이 점진적으로 감소함을 보여준다. 증발기의 아이스 컵에 얼음이 형성됨에 따라 증발기의 전열 성능은 감소하고 따라서 증발 온도와 응축 온도(또는 증발 압력과

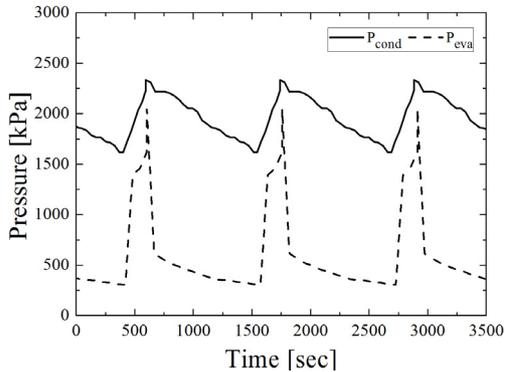


Fig. 6 Condensation and evaporation pressure obtained during ice formation cycles(200 g charge).

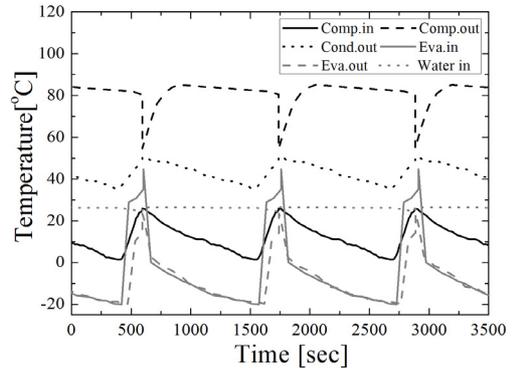


Fig. 7 Temperatures obtained during ice formation cycles (200 g charge).

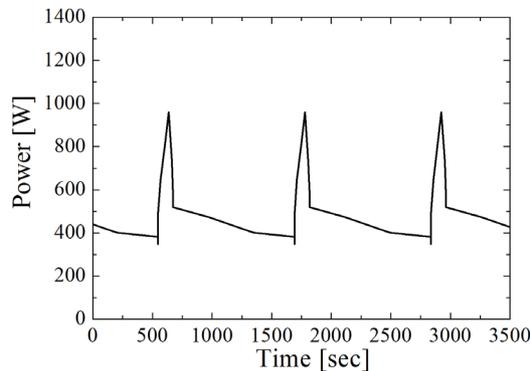


Fig. 8 Power consumption during ice formation cycles(200 g charge).

응축 압력)도 감소하게 된다. 증발기 입구 온도가 -20℃에 도달하면 핫 가스 사이클로 전환되는데 탈빙이 진행되면서 증발 압력과 응축 압력은 증가하여 제빙 초기 값에 이르게 된다. 특히 증발 압력이 급격히 증가하는데 이는 핫 가스 사이클로 전환되면서 압축기 출구의 고압가스가 그대로 증발기로 공급되기 때문이다. Fig. 6은 제빙시간은 920초이고 탈빙 시간은 153초임을 보여준다.

Fig. 7에는 온도 곡선이 나타나 있다. 온도 곡선은 대체로 압축기 출구를 제외하고는 압력 곡선과 일치하는 경향을 보인다. 즉, 온도는 제빙 기간 점진적으로 감소하고 탈빙 기간 압축기 출구를 제외하고는 급격히 올라간다. 압축기 출구 온도는 제빙 초기 70초 정도 급격히 온도가 올라가다 전 구간에서 걸쳐 점진적으로 감소한다. Fig. 7은 탈빙 기간 증발기 출구 온도가 입구 온도보다 낮음을 보여주는데 이는 탈빙 기간 증발기에서 냉매 가스의 냉각이 일어나기 때문이다. Fig. 8은 압축기 소비동력 곡선을 보여준다. 소비동력은 제빙 기간 동안 완만히 감소한다. 이는 제빙이 진행됨에 따라 증발 온도가 감소하고 따라서 냉매 순환량도 감소하기 때문이다.⁽¹²⁾ 핫 가스 사이클 동안은 소비동력이 급격히 증가한다. 이는 핫 가스 바이패스로 인해 압축기 입출구 압력차가 감소하고 이에 따라 냉매 순환량이 급증하기 때문이다. 소비동력에는 얼음 생산에 필요한 모든 동력, 즉 압축기와 물 순환 펌프에 들어가는 동력이 포함되어 있다.

3.2 최적 냉매량

Table 4에 냉매 충전량을 190, 200, 210 g으로 변화시키며 측정한 데이터를 나타내었다. 제빙 시간은 충전량 200 g에서 920초로 가장 적게 나타났다. 냉매 충전량이 너무 작으면 냉매 순환량이 감소하고 따라서 냉각 능력이 감소한다. 반면 냉매 충전량이 너무 많으면 응축 압력이 상승하고 따라서 냉동 사이클 효율이 감소한다. 탈빙 시간은 냉매 충전량이 증가하면 다소 증가하나 그 차이는 크지 않다. 사이클 당 제빙량은 충전량이 증가하면 다소 증가하였다. 최종적으로 시간당 제빙량은 냉매 충전량 200 g에서 1.27 kg으로 가장 크게 나타났다. 소비 동력은 충전량이 증가하면 다소 증가하였다. 제빙기의 COP는 다음 식에서 구해진다.

$$COP = \frac{Q_{ice}}{P} \tag{1}$$

$$Q_{ice} = m_{ice} (h_{sf} + c_{pw} T_w) \tag{2}$$

여기서 Q_{ice} 는 공급수로부터 얼음으로 변화되는데 필요한 열량(kJ), m_{ice} 는 사이클 당 얼음 생산량(kg), h_{sf} 는 얼음의 응고 잠열(kJ/kg), c_{pw} 는 물의 비열(kJ/kgK), T_w 은 공급수의 온도(℃), P 는 사이클 당 소비 동력량(kJ)이다. Table 1에 의하면 최대의 COP는 냉매 충전량 200 g에서 0.310으로 나타났다.

3.3 실내 온도 변화

빌트인 제빙기는 실내에 설치되므로 ASHRAE Standard 29⁽¹³⁾에 규정된 실내온도 변화에 따른 성능 변화를 확인하여야 한다. 따라서 항온항습실 온도를 5℃~27℃(50% RH) 사이에서 변화시켜가며 제빙량 및 제빙시간 등을 측정하였다. 일반적으로 실내온도가 낮아지면 응축 및 증발온도가 감소하고 따라서 냉매 순환량 및 소비동력도 감소한다. Table 5에 실내 온도 변화에 따른 소비동력과 제빙시간, 제빙량을 나타내었다. 소비동력과 제빙시간은 실내온도가 감소함에 따라 감소한다. 하지만 사이클 당 제빙량은 실내 온도가 감소할수록 증가한다. 따라서 시간당 제빙량은 실내 온도가 감소할수록 증가하였다.

Table 4 Capacity of the ice maker at different R-404A charge amount

Charge	Ice making time (sec)	Hot gas time (sec)	Cycle time (sec)	Yield (kg/cycle)	Ice production (kg/hr)	Power consumption (W)	COP
190 g	950 ± 2	150 ± 2	1100 ± 2	0.37 ± 0.02	1.21 ± 0.06	475 ± 2	0.297 ± 0.015
200 g	920 ± 2	153 ± 2	1073 ± 2	0.38 ± 0.02	1.27 ± 0.06	479 ± 2	0.310 ± 0.015
210 g	997 ± 2	155 ± 2	1152 ± 2	0.38 ± 0.02	1.19 ± 0.06	485 ± 2	0.284 ± 0.015

Table 5 Capacity of the ice maker at different room temperature

Room temp.	Power consumption (W)	Cycle time (sec)	Yield (kg/cycle)	Ice production (kg/hr)
27°C/50% RH	479 ± 2	1073 ± 2	0.38 ± 0.02	1.27 ± 0.06
15°C/50% RH	445 ± 2	1005 ± 2	0.39 ± 0.02	1.40 ± 0.06
5°C/50% RH	421 ± 2	930 ± 2	0.40 ± 0.02	1.55 ± 0.06

4. 제빙 가시화

전술한 바와 같이 아이스 컵에서는 노즐로부터 분사된 물이 얼음으로 변화한다. 디지털 캠코더(Sony 제품)를 사용하여 아이스 컵 내에서 형성되어 가는 얼음의 형상을 실시간으로 촬영하였다. 가시화를 위해 Fig. 9와 같이 모서리에 있는 아이스 컵 하나를 반으로 절단하고 투명 아크릴 판을 설치하였다. Fig. 10은 제빙기와 카메라의 설치 개요를 보여 준다. 아이스 컵 내의 얼음 생성을 용이하게 촬영할 수 있도록 소형 카메라를 컵과 같은 높이에 설치하였다. 가시화를 돕기 위하여 Fig. 10에 나타나 있듯이 전구를 노즐 하단에 설치하였다. 사용된 전구는 필립스 제품(soft white)으로 40 W, 370 Lux 용량이다. 소형 카메라에서 케이블을 통해 캠코더로 전달되는 디지털 시그널은 일단 캠코더 테이프에 저장되고, 테이프에 저장된 아날로그 시그널은 PC에서 다시 디지털 시그널로 변환되어 동영상 또는 정지 화면으로 저장된다.

제빙기 운전 개시부터 핫 가스통과 직전까지 실시간으로 촬영한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 시간이 진행

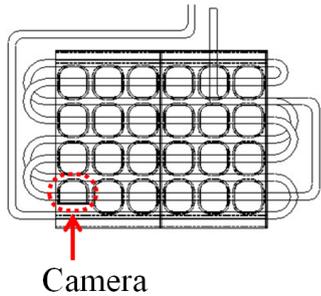


Fig. 9 Evaporator modified for visualization.

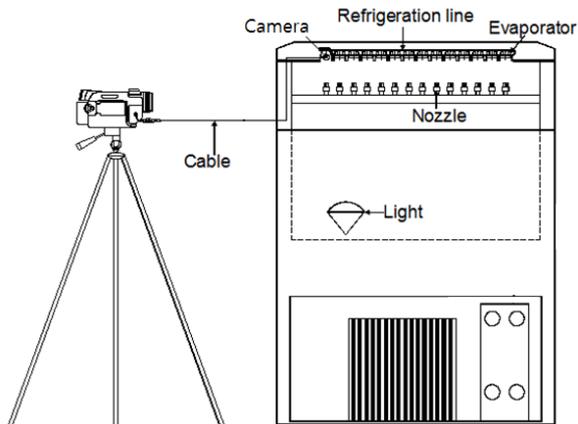


Fig. 10 Visualization apparatus.

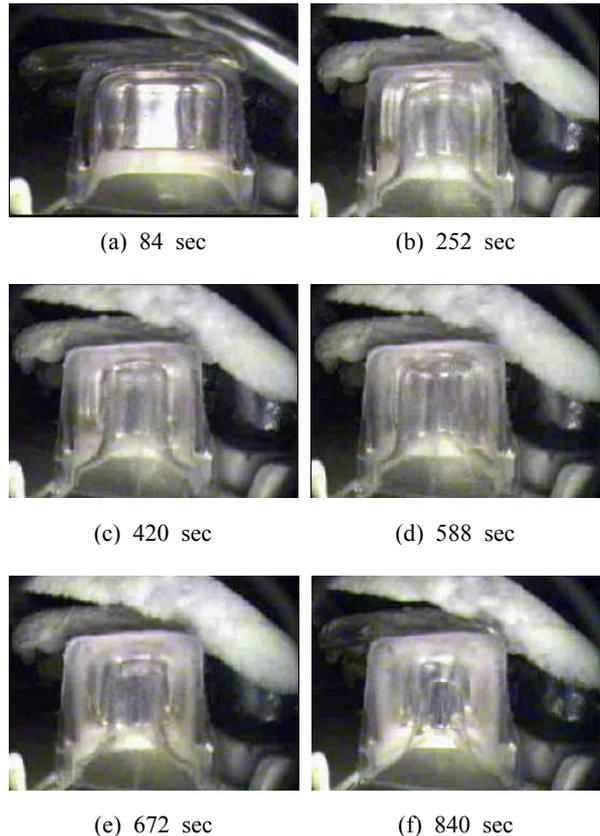


Fig. 11 Photos showing the progress of ice growth inside the cup.

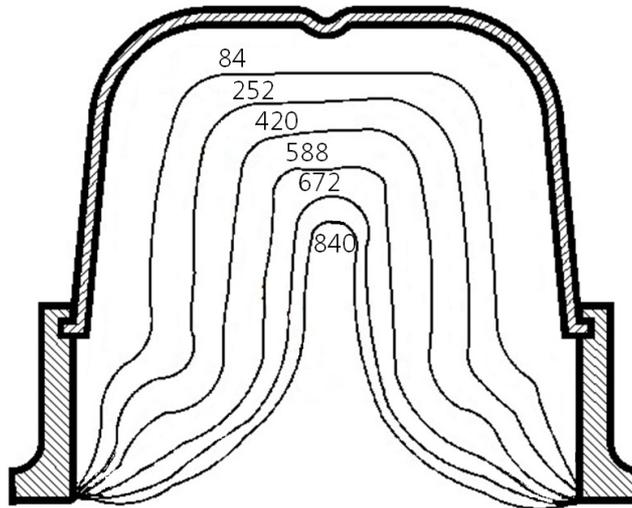


Fig. 12 Sketch of ice interface inside the cup. Numbers in the figure are elapsed time for ice formation.

되면서 얼음의 계면이 점차 안쪽으로 이동함을 보여준다. 제빙 완료 시점이 되어도 컵 중앙에는 얼음이 형성되지 않았는데 이는 가시화를 위해 부착된 아크릴 판을 통해서 냉열이 전달되지 못했기 때문이다. 실제 아이스 컵은 동 재질로 내부까지 얼음이 형성된다. 음 계면 형상을 Fig. 12에 정리하였다. Fig. 12는 얼음이 아이스 컵 내에서 거의 균일한 두께로 형성되어 감을 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서는 소형 빌트인 제빙기의 최적화를 수행하였다. 또한 제빙 현상에 대한 가시화도 수행하였다. 주된 결과는 다음과 같다.

- (1) 12개의 아이스 컵으로 구성된 20 kg/day 소형 제빙기의 경우 최적 냉매량은 200 g이고 시간당 제빙량은 1.27 kg, COP는 0.310으로 나타났다.
- (2) 제빙 시 증발 및 응축 온도는 점진적으로 감소한다. 이는 아이스 컵에 얼음이 형성됨에 따라 증발기의 전열 성능이 감소하기 때문이다. 한편 탈빙이 진행되면서 증발과 응축 온도는 증가하여 제빙 초기 값에 이르게 된다.
- (3) 기존 슬릿 노즐을 개별 노즐로 대체하여 시간당 제빙량을 10% 가량 증가시킬 수 있었다.
- (4) 제빙 가시화를 통하여 얼음이 아이스 컵 내에서 거의 균일한 두께로 형성되어 감을 확인할 수 있었다.

References

1. Park, H.-C., 2002, Development of 100 kg/day Ice Maker Using Alternative Refrigerants R-404A, Final Report to ITEP, Basic Industrial Technology Development Program, Se-A E&C.
2. Mishchenko, L., Hatton, B., Bahadur, V., Taylor, J. A., Krupenkin, T., and Aizenberg, J., Design of Ice-Free Nano-structured Surfaces Based on Repulsion of Ice Droplet, ACS Nano, Vol. 4, No. 12, pp. 7699-7007.
3. Jin, Z., Wang, Z., Sui, D., and Yang, Z., 2016, The Impact and Freezing Process of a Water Droplet on Different Inclined Cold Surfaces, Int. J Heat Mass Trans., Vol. 97, pp. 211-213.
4. Feuillebois, A., Lasek, A., Creismas, P., Pigeonneau, F., and Szaniawski, A., 1995, Freezing of a Subcooled Liquid Droplet, J. Colloid. Sci., Vol. 169, No. 1, pp. 90-102.
5. Sait, H. H., 2013, Heat Transfer Analysis and Effects of Feeding Tube Arrangement, Falling Film Behavior and Backsplash on Ice Formation Around Horizontal Tube Bundles, Energy Conv. Manage., Vol. 73, pp. 317-328.

6. Jung, E.-H. and Park, K.-W., 2009, Ice Making Characteristics According to Changing Shape of Ice Making Tube, Korean J. Air-Cond. Refrig., Vol. 21, No. 5, pp. 291-296.
7. Jannesari, H. and Abdollahi, N., 2017, Experimental and Numerical Study of Thin Ring and Annular Fin Effects on Improving the Ice Formation in Ice-on-Coil Thermal Storage Systems, Appl. Energy, Vol. 189, pp. 369-384.
8. Kulyakhtin, A., Kulyakhtin, S., and Loset, S., 2016, The Role of the Ice Heat Conduction in the Ice Growth Caused by Periodic Sea Spray, Cold Regions Sci. Tech., Vol. 127, pp. 93-108.
9. UNEP, 1987, Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer, United Nation Environmental Programme.
10. Arora, A. and Kaushik, S. C., 2008, Theoretical Analysis of a Vapor Compression Refrigeration System with R-502, R-404A and R-507A, Int. J. Refrig., Vol. 31, No. 6, pp. 998-1005.
11. REFPROP, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database (REFPROP) : Version 9.1, <https://www.nist.gov/srd/refprop/>.
12. Stoecker, W. F. and Jones, J. W., 1983, Refrigeration and Air Conditioning, 2nd Ed., McGraw-Hill Pub.
13. ASHRAE Standard 29, 2009, Method of Testing Automatic Ice Makers, ASHRAE.