

혼합냉매(R-290/R-32)를 사용하는 소프트 아이스크림 제조기의 성능 특성에 관한 연구

김내현
인천대학교 기계공학과

A Study on the Performance Characteristics of the Soft Ice Cream Machine Run by Refrigerant Mixture (R-290/R-32)

Nea-Hyun Kim

Department of Mechanical Engineering, Incheon National University

요약 최근 들어 국민 식생활 문화가 개선되고 생활수준이 향상됨에 따라 소프트 아이스크림, 슬러시와 같은 일회용 냉동 유제품의 소비가 급증하고 있다. 이들 냉동 유제품은 소형 냉동 시스템에서 만들어진다. 소프트 아이스크림 제조기의 냉매로 그간 R-502가 주로 사용되어 왔으나 오존층 파괴와 관련하여 R-404A로 대체되고 있다. 하지만 R-404A도 지구온난화지수(GWP)가 높아 지구온난화지수가 낮은 냉매로의 전환이 필요하다. 본 연구에서는 R-404A의 대체 물질로 R-290/R-32를 고려하였다. 냉각기 체적 2.8 리터인 소프트 아이스크림 제조기에 R-290/R-32를 적용하여 최적화를 수행하였다. 최적화는 적정 냉매량 및 팽창밸브의 개도를 찾는 데 주안점을 맞춰 수행되었는데 최적 조건 (충전량 1000 g, 밸브 개도 "0" (제조사 세팅치))에서 아이스크림 제조 시간은 6분 24초, COP는 0.83으로 나타났다. R-404A에서 아이스크림 제조시간은 6분 22초와 R-290/R-32와 유사하고 COP는 0.90으로 R-404A에서 다소 높게 나타났다. 이는 본 실험에 사용된 압축기가 R-404A용이기 때문에 향후 R-290/R-32용 압축기가 개발되면 소비동력은 개선되리라 예상된다. 본 연구 결과는 냉동식품 제조기를 비롯한 여타 냉동 사이클의 최적화에도 활용될 수 있을 것이다.

Abstract Frozen milk products are commonly made in small refrigeration machines. R-502 has long been used as a refrigerant for soft ice cream machines, but it is being replaced with R-404A due to the issue of ozone layer depletion. However, R-404A has high global warming potential, so it also needs to be replaced. In this study, a mixture of R-290 and R-32 was considered as a new refrigerant. An optimization and performance evaluation of the mixture were conducted for a freezer volume of 2.8 liters. The focus of the optimization was the appropriate refrigerant charge and the opening of the expansion valve. At the optimized conditions, ice cream was produced in 6 minutes and 24 seconds with the mixture, and the COP was 0.83. For R-404A, the ice cream production time was 6 minutes and 22 seconds, and the COP was 0.90. The results may be used for the design of food refrigeration machines and to optimize other refrigeration cycles.

Keywords : Soft ice cream, R-290/R-32, R-404A, Optimization, Refrigeration cycle, Refrigerant mixture

1. 서론

최근 들어 국민 식생활 문화가 개선되고 생활수준이 향상됨에 따라 소프트 아이스크림, 슬러시와 같은 일회

용 냉동 유제품의 소비가 급증하고 있다.[1] 이들 냉동 유제품은 소형 냉동 시스템에서 만들어진다. Fig. 1에 소프트 아이스크림 제조기의 전면 사진이 나타나 있다. Fig. 2에는 냉동 사이클이 나타나 있다. 냉동 사이클은

*Corresponding Author : Nea-Hyun Kim(Incheon National University)

Tel: +82-10-3315-8902 email: knh0001@incheon.ac.kr

Received September 21, 2016

Revised (1st October 4, 2016, 2nd November 2, 2016)

Accepted February 3, 2017

Published February 28, 2017

소프트 아이스크림이 만들어지는 냉각기 (freezer), 압축기, 응축기, 온도 조절 팽창밸브 (TEV)로 구성된다. 온도 조절 팽창밸브는 압축기 입구의 냉매 과열도를 일정하게 유지하는 장치로 소형 냉동 시스템에 널리 사용된다.[2]

Fig. 3에 냉각기의 개략도를 나타내었다. 냉각기는 동심 원통으로 환형부에서 증발하는 냉매에 의해 내측에서 아이스크림이 만들어진다. 소프트 아이스크림 원액은 대략 과당 16%, 유분 12%, 유지방 12%, 물 60%로 구성되는데[3] 이 중 물 성분이 냉각 표면에서 얼음 결정으로 변한다. 이 얼음 결정은 원통 내측에서 회전하는 스크레이퍼 (scraper)에 의해 절삭되어 소프트 아이스크림이 만들어진다. Fig. 4에 스크레이퍼의 사진이 나타나 있다. 소프트 아이스크림 제조시 냉각기의 온도는 소프트 아이스크림의 품질에 매우 중요하다. 냉각기의 온도가 너무 높거나 낮으면 소프트 아이스크림 내 얼음 함량이 불충분하거나 너무 많아 아이스크림의 품질이 저하된다. 소프트 아이스크림은 -8°C 에 가장 품질이 좋은 것으로 알려져 있다.[1]

그간 소프트 아이스크림 제조기에 대하여 일부 연구가 수행되었다. Hartel [3]은 아이스크림 첨가제가 얼음 결정 성장에 미치는 영향을 검토하였는데 첨가제의 양이 증가할수록 결정의 크기가 줄어든다고 보고하였다. Lakhar 등 [4]은 스크레이퍼의 회전 속도, 스크레이퍼와 냉각 표면의 간격 등이 전열 성능에 미치는 영향을 검토하였다. 회전 속도가 증가할수록 간격이 감소할수록 전열 성능은 증가하였다. Saraceno 등 [5]은 원액 온도, 스크레이퍼 회전수 등을 변화시키며 일련의 실험을 수행하고 열전달 상관식을 제시하였다. Martinez 등 [6]은 냉각 표면에서 형성되는 얼음 두께에 따라 스크레이퍼의 간격을 유연하게 조절함으로써 전열 성능을 향상시킬 수 있음을 보여주었다. Byun 등 [7]은 실험을 통하여 소프트 아이스크림 제조 시 열전달계수는 원액의 냉각기간 중에는 다소 증가하다가 얼음이 형성되면 그 이후로는 크게 변하지 않는다고 보고하였다. Kim [1]은 냉각기 체적 2.8 리터인 아이스크림 제조기에 대한 기본 설계를 수행하였다. 냉동 시스템 해석 시 열교환기에는 UA-LMTD 모델, 압축기에는 제조사에서 제공하는 성능 곡선이 적용되었다. Kim [8]은 R-404A를 사용하는 소프트 아이스크림 제조기의 냉매 충전량 및 밸브 팽창 개도를 최적화하는 연구를 수행하였다.



Fig. 1. Photo of the soft ice cream machine

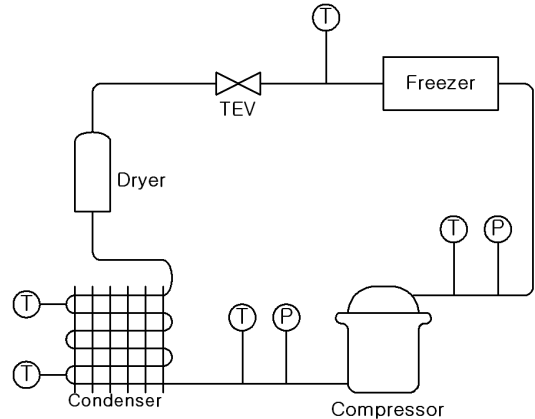


Fig. 2. Refrigeration cycle of the soft ice cream machine shown with measurement points

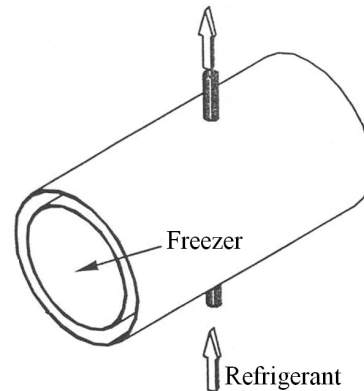


Fig. 3. Schematic drawing of the freezer

소프트 아이스크림 제조기에는 그간 안정한 화학적 성질과 우수한 열물성을 가진 R-502가 주로 사용되어 왔으나 오존층 파괴와 관련하여 R-404A로 대체되고 있다.[9,10] R-502는 HCFC인 R-22와 CFC인 R-115의 공비 혼합냉매로 오존층파괴지수(ODP)가 0.328인 반면 R-404A는 HFC인 R-125, R-143a, R-134a의 비 공비 혼합냉매로 ODP가 0이다.[11] 하지만 R-404A의 지구온난화지수(GWP)는 3922로 너무 커서 지구온난화지수가 낮은 냉매로의 전환이 필요하다. 이러한 문제를 풀기 위한 해결책 가운데 하나는 탄화수소 같은 자연냉매를 사용하는 것이다.[12,13] 하지만 탄화수소 냉매는 가연성과 폭발의 위험을 가지고 있다. 이는 탄화수소에 기존 냉매를 혼합하여 사용하면 완화될 수 있는데, 예를 들면 Ha et al. [14]은 R-290 (propane)에 R-152a를 90:10으로 혼합한 혼합냉매의 냉동능력이 R-502보다 우수하다고 보고하였다. Kim [1]은 R-404A 대체 냉매로 R-290/R-32, R-290/DME, R-1270/R-152a를 추천하였다.

본 연구에서는 Kim [1]의 연구 결과를 바탕으로 R-404A의 대체 냉매로 R-290/R-32를 검토하였다. R-290 (propane)의 지구온난화 지수는 3이고 R-32의 지구온난화 지수는 675이다. Fig. 5에 포화압력 0.56 MPa에서 R-290의 질량비에 따른 R-290/R-32 혼합물의 bubble point와 dew point line을 나타내었다. R-290/R-32는 질량비 31:69에서 근공비 (near-azeotropic) 특성을 보이는데 본 연구에서는 이 근공비 혼합물을 고려하였다. Table 1과 2에 대표적 증발온도인 -20°C와 응축온도인 40°C에서 R-404A, R-290, R-32, R-290/32 냉매의 물성을 비교하였다.[11] 여기서 P_{sat} 은 포화 온도, ρ_l 과 ρ_v 는 액체와 기체의 밀도, h_{lv} 는 증발잠열, c_{pl} 과 c_{pv} 는 액체와 기체의 비열, μ_l 과 μ_v 액체와 기체의 점성계수, k_l 과 k_v 는 액체와 기체의 열전도도 σ 는 표면장력이다.

Table 1과 2는 R-290/R-32의 증발잠열, 액체의 비열, 액체의 열전도도등 전열성능에 관련된 물성치가 R-404A에 비하여 큼을 보여준다. 이로부터 R-290/R-32의 사이클 효율이 R-32보다 크리라 예상되는데 이를 확인하기 위하여 ASHRAE LBP 조건[12]에서 이론 성적계수를 비교하여 보았다. ASHRAE LBP 조건은 증발온도 54.4°C, 응축온도 23.3°C, 과열도 및 과냉도 모두 32.2°C인 조건이다. 이론 사이클 계산 결과 R-404A의 성적계수는 2.61, R-290/R-32의 성적계수는 2.95로 R-290/R-32에서 13% 크게 나타났다.



Fig. 4. Photo of the scraper

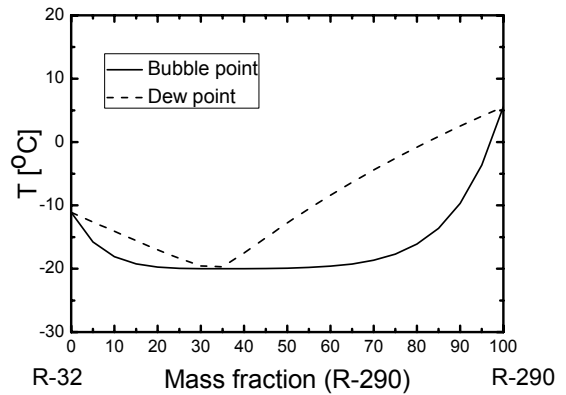


Fig. 5. Bubble and dew point lines of R290/R-32 mixture at 0.56 MPa

Table 1. Thermophysical properties of R-290, R-32, R-290/32 and R-404A ($T_{bub} = -20^{\circ}\text{C}$)

Properties	$T_{bub} = -20^{\circ}\text{C}$			
	R-404A	R-290	R-32	R-290/R-32
P_{sat} (MPa)	0.307	0.247	0.405	0.56
ρ_v (m^3/kg)	15.82	5.505	11.16	15.11
ρ_l (m^3/kg)	1221	554.5	1121	810.0
h_{fg} (kJ/kg)	181.0	400.8	344.0	315.8
c_{pv} (kJ/kgK)	0.892	1.580	1.074	1.376
c_{pl} (kJ/kgK)	1.315	2.361	1.661	1.903
μ_v ($\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$)	10.21	6.887	10.61	11.19
μ_l ($\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$)	233.2	154.7	188.5	144.0
k_v (mW/mK)	11.01	13.63	10.19	12.93
k_l (mW/mK)	80.98	116.6	161.4	122.4
σ (mN/m)	9.336	12.73	14.59	9.936

일반적으로 냉동 사이클 개발은 다음과 같이 수행된다. 우선 증발 온도, 응축 온도, 증발 과열도, 응축 과냉도를 정한 후 목표로 하는 냉동 능력을 만족할 수 있도록 냉매 순환량을 결정한다. 증발 온도, 응축 온도, 냉매 순환량으로부터 적절한 압축기, 팽창 장치를 선정하고 응축기, 냉각기를 설계한다. 각 부품들로 사이클이 구성되면 팽창장치의 개도, 냉매 충전량의 최적화를 수행한다. 본 연구는 Kim [8]이 R-404A를 사용하여 수행한 아이스크림 제조기 최적화의 후속 연구로 지구온난화 지수가 낮은 R-290/R-32를 사용하여 최적화를 수행하였다. 최적화는 기본 설계[1]로부터 구현된 냉동 시스템에 대하여 팽창장치 개도 및 냉매 충전량을 변화시키며 수행되었다. 실험은 항온항습실 내에서 건구온도 32°C, 상대습도 (RH) 65%로 유지하며 수행되었다.

2. 아이스크림 제조기 최적화

기본 설계를 통하여 도출된 아이스크림 제조기의 제원은 Table 3와 같다.[1] 이 제품의 냉각기 체적은 2.8 리터이다. 일회 실험은 원액 주입 후 아이스크림이 완성될 때까지 진행되었다. 일회 실험이 완료되면 냉각기 내의 아이스크림을 모두 제거하고 새로운 원액으로 실험을 재개하였다. 아이스크림의 완성여부는 스크레이퍼 회전 모터에 걸리는 전류가 4.6 A가 되는 시점으로 판단하였다. 냉각기 내에서 아이스크림 형성이 진행될수록 전단력이 증가하여 회전하는 스크레이퍼 모터에 걸리는 전류는 증가하게 된다. 모터 전류 4.6 A는 경험을 통하여 결정되었는데 그 때 판매 가능한 아이스크림이 형성되었다.

측정은 응축기 입·출구온도, 증발기 입·출구온도, 압축기 입·출구압력에 대해 수행되었다. 온도는 직경 0.3 mm의 Cu-Co 열전대 (정밀도 ±0.1 K)를 관 벽에 부착하여 측정하였고 압력은 직경 1.0 mm 압력 공에 압력계 (Setra Model 230, ±0.2% full scale)를 부착하여 측정하였다. 측정위치는 Fig. 2에 나타나 있다. Figs. 6과 7에는 대표적인 측정값이 나타나 있다. 이 데이터는 냉매 충전량 1000g, 팽창변의 개도를 제조사에서 설정한 값 (“set”)으로 설정하고 측정된 자료이다.

Fig. 6은 시험 중 냉동 사이클의 압력 변화를 보여준다. 이 그림은 시험 시작 후 1분 가량 지나면 고압은 2.4 MPa, 저압은 0.23 MPa로 거의 일정하게 유지됨을 보여준다. 포화온도가 일정하게 유지된다는 것은 아이스크림

Table 2. Thermophysical properties of R-290, R-32 R-290/32 and R-404A ($T_{\text{dew}} = 40\text{°C}$)

Properties	$T_{\text{dew}} = 40\text{°C}$			
	R-404A	R-290	R-32	R-290/R-32
P_{sat} (MPa)	1.815	1.369	2.478	2.949
ρ_v (m^3/kg)	101.6	30.17	11.16	94.69
ρ_l (m^3/kg)	965.4	467.5	1121	611.0
h_{fg} (kJ/kg)	120.2	307.1	237.1	186.6
c_{pv} (kJ/kgK)	1.490	2.263	2.001	3.039
c_{pl} (kJ/kgK)	1.720	2.913	2.163	2.964
μ_v ($\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$)	10.36	12.73	13.83	15.43
μ_l ($\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$)	13.30	8.892	94.99	69.27
k_v (mW/mK)	18.79	21.43	18.71	25.99
k_l (mW/mK)	58.42	86.92	114.6	84.60
σ (mN/m)	2.839	5.262	4.489	2.034

Table 3. Specifications of the soft ice-cream machine

Parts	Specification
Compressor	CAJ2446Z (Tecumsh) 1.2 HP
Freezer	I.D. 103 mm, L = 365 mm
Exp. valve	Parker 204C (1/4 ~ 2 RT)
Condenser	386 mm x 363 mm, 3row, 14step, plain fin, fin pitch 2.0 mm, tube I.D. 9.5 mm

형성시 열전달계수가 일정하다는 의미인데 이는 Byun 등[7]의 연구와 일치한다. 초기 1분은 냉동 사이클이 안정되는 시간으로 판단된다. Fig. 6에는 Kim [8]이 수행한 R-404A 데이터도 나타나 있다. 저압은 R-290/R-32와 유사한 반면 고압은 현저히 낮게 (1.3 MPa) 형성됨을 보인다. 이는 Table 1과 2에 보여지듯이 동일 포화 온도에서 R-404A의 포화 압력이 낮기 때문이다.

Fig. 7은 냉동 사이클의 온도변화를 보여준다. 온도는 압축기 입구와 출구, 응축기 출구, 증발기 출구에서 측정되었다. Fig. 7은 시험 시작 1분 까지는 온도가 급격히 변하다가 그 이후부터는 완만하게 변화함을 보여준다. 압축기 출구온도는 초기 1분 동안 78°C까지는 급격하게 증가하고 그 이후 일정하게 유지된다. 압축기 입구 온도는 -20°C까지 급격히 감소했다가 그 이후 -13°C로 일정하게 유지된다. 증발기 출구 온도는 -15°C까지 급격히 감소했다가 그 이후 일정하게 유지된다. Fig. 7에는

R-404A 온도 변화도 나타나 있다. 두 냉매에서 온도는 대체로 유사함을 보인다. 다만 압축기 토출 온도가 R-290/R-32에서 다소 높다.

냉동 사이클의 최적 냉매량 및 밸브개도는 실험을 통하여 도출되었다. 냉매 충전량을 900g, 1000g, 1100g로 변화시키며, 또한 밸브개도를 제조사 세팅값을 기준으로 좌우로 90도를 돌려가며 실험을 수행하였다. 냉매 충전량은 아이스크림 제조기의 기본 설계시[1] 1000g으로 계산되었기 때문에 기본 설계 값에서 $\pm 100g$ 을 변화시키며 실험을 수행하였다. 기본 설계시 냉매 충전량은 증발기와 응축기 체적, 배관의 길이 등을 고려하여 산정되었다. 냉각기에 원액 주입 후 아이스크림 제조 완료 (스크레이퍼 모터 전류치 4.6A)까지 걸리는 시간을 비교하여 최단시간이 걸리는 사양을 최적값으로 선정하였다.

Fig. 8에는 아이스크림 제조 완료까지 걸리는 시간을 비교하였고 Table 4에는 데이터를 표로 나타내었다. Fig. 8은 제조 완료 시간이 냉매 1000g, 밸브 개도 "set"에서 최소임을 보여준다. 밸브 개도가 너무 크면 증발 온도가 올라가고 밸브 개도가 너무 작으면 냉매 순환량이 감소하여 냉동능력은 감소하게 된다. 냉매 충전량의 경우도 충전량이 너무 많으면 증발온도가 올라가고 너무 적으면 냉매 순환량이 감소하여 냉동능력이 감소한다. 즉, 최적의 냉매 충전량과 밸브 개도가 존재하게 되는데 본 제품의 경우는 충전량 1000g, 밸브개도 "set"에서 아이스크림 제조 시간이 6분 24초로 최소임을 보여준다. Fig. 8에는 R-404A 데이터도 나타나 있는데 충전량 1000 kg, 밸브 개도 "set"에서 아이스크림 제조시간이 6분 22초로 R-290/R-32와 유사함을 알 수 있다.

Fig. 9에 아이스크림이 형성되는 동안 소비 동력의 변화를 나타내었다. 소비 동력은 사이클이 안정되는 초기 1분간은 급격히 증가하다가 사이클이 안정되면 완만하게 증가함을 보여준다. Table 4에는 소비동력량을 나타내었다. 소비동력량은 아이스크림이 제조되는 동안 사용된 전력의 총량으로 Fig. 9의 소비동력 곡선을 적분하여 구하였다. Table 4로부터 소비동력량은 대체로 아이스크림 제조시간에 비례함을 알 수 있다. Fig. 10에는 R-404A와 R-290/R-32의 소비 동력을 비교하였다. R-290/R-32의 소비동력이 9% 가량 큼을 보여준다. 본 실험에 사용된 압축기는 R-404A용으로 향후 R-290/R-32용 압축기가 개발되면 소비동력은 개선되리라 예상된다.

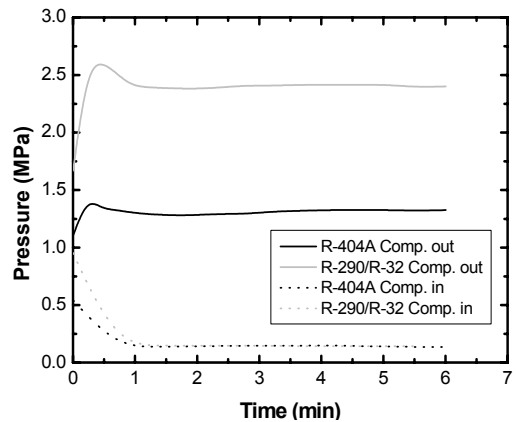
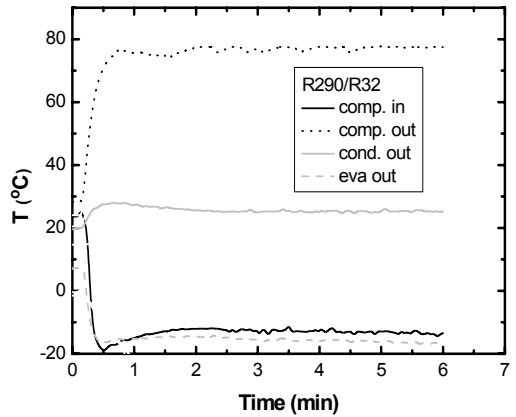
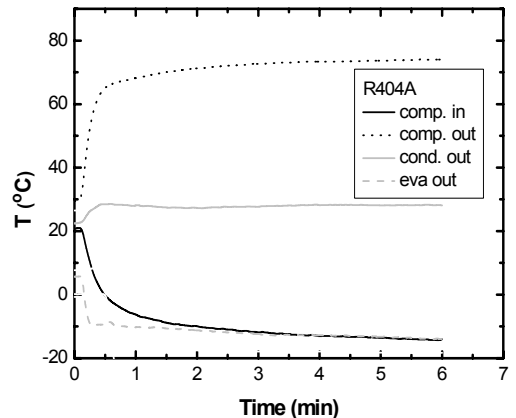


Fig. 6. Pressure change during ice cream formation (charge 1000 g, TEV opening "set")



(a) R-290/R-32



(b) R-404A

Fig. 7. Temperature change during ice cream formation (charge 1000 g, TEV opening "set")

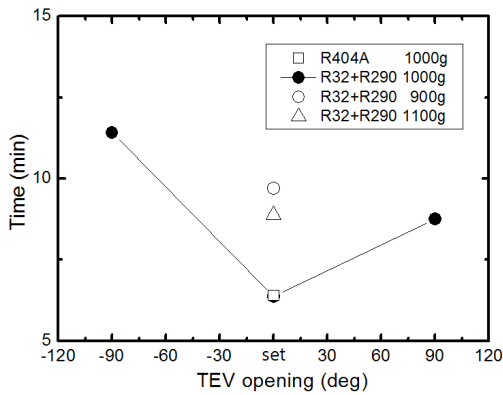


Fig. 8. Time consumed for ice-cream formation at various refrigerant change and TEV opening

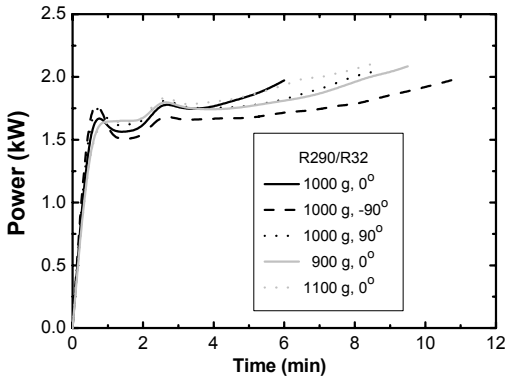


Fig. 9. Power consumed for ice-cream formation at various refrigerant change and TEV opening

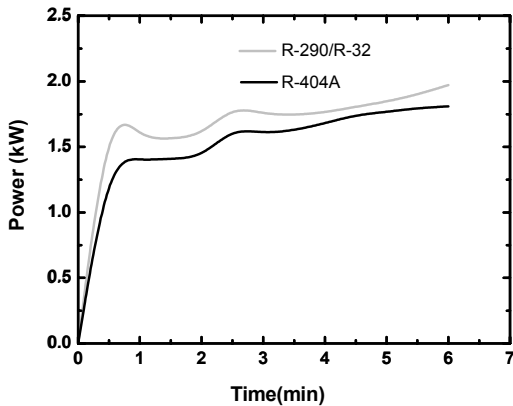


Fig. 10. Power consumed for ice-cream formation at refrigerant charge 1000 g and TEV opening "set"

아이스크림 제조기의 성적계수 (COP)는 아이스크림 제조에 필요한 열량을 소비전력량으로 나눈 값으로 구할 수 있다. 아이스크림 제조기에는 25°C의 원액이 공급되고 -8°C의 아이스크림이 제조된다.[1] 열량을 구하기 위해서는 원액의 비열, 아이스크림 중의 얼음량 등을 알아야하나 이들에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. 따라서 열량계법을 이용하여 아이스크림 제조 시 소요되는 열량을 구하였다. 즉, 제조된 아이스크림 일정량 ($m_{ice} = 300g$)과 미리 온도를 알고 있는 물(79°C)을 혼합하여 혼합물의 온도가 초기 원액 온도인 25°C가 될 때까지 투입된 물의 양 ($m_w = 380g$)을 측정한다. 이 때 외부와의 열 출입이 없도록 충분히 단열된 장치 내에서 실험을 수행한다. 물이 잃은 열량은 아이스크림이 얻은 열량과 같아야 하므로,

$$m_w c_{pw} \Delta T_w = m_{ice} \Delta h_{ice} \quad (1)$$

$$0.38 \text{ kg} \times 4.2 \text{ kJ/kgK} \times (79-25) \text{ K} = 0.3 \text{ kg} \times \Delta h_{ice}$$

$$\Delta h_{ice} = 287 \text{ kJ/kg}$$

즉, 25°C 원액 1 kg을 아이스크림으로 만드는데 들어가는 열량 (Δh_{ice})은 287 kJ/kg이다. 따라서 아이스크림 제조기 성적계수는 다음 식에서 구할 수 있다.

$$\text{COP} = [\Delta h_{ice} \times \text{Mass of ice cream (kg)}] / (\text{Power consumption}) \quad (2)$$

여기서 원액 투입량 (아이스크림 질량)은 1.9 kg이다. Table 4에 냉매 충전량과 밸브 개도에 따른 아이스크림 제조 시간, 소비 전력량과 COP를 나타내었다. 아이스크림의 제조시간과 COP는 반비례하고 최대의 COP는 아이스크림 제조시간이 제일 짧은 경우 (충전량 1000g, 밸브개도 “set”)에 얻어졌다. R-404A의 경우는 COP가 0.90으로 R-290/R-32보다 8.4% 크게 나타났다. 이는 R-404A에서 소비동력이 작게 나타났기 때문이다.

Table 4. COP of the ice cream machine at various refrigerant charge and expansion valve opening

Ref. charge (g)	Exp. valve opening (deg)	Ice cream formation time	Power consumption (kJ)	COP
1000	set	6 min 24 sec	660.2	0.83
1000	90	8 min 45 sec	963.4	0.57
1000	-90	11 min 25 sec	1221	0.47
900	set	9 min 42 sec	1040	0.52
1100	set	8 min 54 sec	981.0	0.56
1000 (R-404A)	set	6 min 22 sec	607.9	0.90

3. 결론

본 연구에서는 R-290/R-32를 사용하는 소프트 아이스크림 제조기에 대하여 최적화를 수행하고 그 결과를 R-404A와 비교하였다. 최적화는 적정 냉매량 및 팽창밸브의 개도를 찾는 데 주안점을 맞춰 수행되었다.

- (1) R-290/R-32 혼합냉매는 질량비 31:69에서 근공비 특성을 보인다. 이 혼합냉매의 이론 COP는 ASHRAE LBP 조건에서 2.95로 R-404A보다 13% 크다. 또한 증발잠열, 액체의 비열, 액체의 열전도도 등 전열성능에 관련된 물성치가 R-404A의 값에 비하여 크다.
- (2) 냉매 충전량과 팽창 장치의 개도를 변화시키며 시험한 결과 충전량 1000 g, 밸브 개도는 제조사 세팅치에서 최단 시간 6분 24초 만에 아이스크림의 제조가 가능하였다. 이 때 최적화된 제품의 COP는 0.83으로 나타났다.
- (3) R-404A 제품의 제조시간은 6분 22초로 R-290/R-32와 거의 동일하다.
- (4) R-404A의 COP가 0.90으로 R-290/R-32보다 8.4% 크게 나타났다. 본 실험에 사용된 압축기는 R-404A용으로 향후 R-290/R-32용 압축기가 개발되면 소비동력은 개선되리라 예상된다.

References

- [1] M.-H. Kim, "Development of an Low Temperature Refrigerator System," Final Report to ITEP, CFC Alternative Material Development Program, 2006.
- [2] W. F. Stoecker, J. W. Jones, "Refrigeration and Air Conditioning," 2nd Ed., McGraw-Hill Pub., 1983.
- [3] R. W. Hartel, "Ice Crystallization During the Manufacture of Ice Cream," Trends in Food Science and Technology, vol. 7, pp. 315-321.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10033-9](http://dx.doi.org/10.1016/0924-2244(96)10033-9)
- [4] M. B. Lakhdar, R. Cerecero, G. Alvarez, J. Guilpart, D. Flick, A. Lallemand, "Heat Transfer with Freezing in a Scraped Surface Heat Exchanger," Applied Thermal Engineering, vol. 25, pp. 45-60, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.05.007>
- [5] L. Saraceno, G. Boccardi, G. P. Celata, R. Lazzarini, R. Trinchieri, "Development of Two Heat Transfer Correlations for a Scraped Surface Heat Exchanger in an Ice Cream Machine," Applied Thermal Engineering, vol. 31, pp. 4106-4112, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.08.022>
- [6] D. S. Martinez, J. P. Solano, F. Illan, A. Viedma, "Analysis of Heat Transfer Phenomena During Ice

Slurry Production in Scraped Surface Plate Heat Exchangers," Int. J. Refrig., vol. 48, pp. 221-232, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.07.020>

- [7] H.-W. Byun, J.-W. Lee, N.-H. Kim, "Heat Transfer Characteristics in the Evaporator of the Ice Cream Maker," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 13, no. 4, pp. 1466-1473, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.4.1466>
- [8] N.-H. Kim, "Optimization of the Refrigerant Charge and the Expansion Valve Opening for the Soft Ice Cream Machine Using R-404A," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 17, no. 8, pp. 728-734, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.8.728>
- [9] UNEP, "Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer," United Nation Environmental Programme, 1987.
- [10] A. Arora, S. C. Kaushik, "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, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2007.12.015>
- [11] REFPROP, NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database (REFPROP): Version 9.1, <https://www.nist.gov/srd/refprop/>.
- [12] H. Kruse, "The State of the Art of the Hydrocarbon Technology in Household Refrigeration," Proc. Int. Conf. Ozone Protection Technologies, Washington, DC, pp. 179-188, 1996.
- [13] D. Jung, Y. Song, B. Park, "Testing of Propane/Isobutane Mixture in Domestic Refrigerators," Int. J. Refrig., vol. 23, pp. 517-527, 2000.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-7007\(99\)00084-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-7007(99)00084-5)
- [14] J.-C. Ha, J.-H. Hwang, I.-C. Baek, D.-S. Jung, "Performance of R-502 Alternative Refrigerants for Low Temperature Applications," Korean J. Air-Cond. Refrigeration, vol. 17, no. 10, pp. 883-890, 2005.
- [15] http://www.embraco.com/DesktopModules/DownloadsAdmin/Arquivos/NARCatalog_Jan2013V2.pdf/

김 내 현(Nae-Hyun Kim)

[정회원]



- 1989년 12월 : Penn. State University Pennsylvania, PA, U.S.A (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 인천대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

열전달, 공기조화 및 내용