

R-404A를 사용하는 소프트 아이스크림 제조기의 냉매 충전량 및 팽창 밸브 개도 최적화

김내현
인천대학교 기계공학과

Optimization of the Refrigerant Charge and the Expansion Valve Opening for the Soft Ice Cream Machine Using R-404A

Nae-Hyun Kim

Department of Mechanical Engineering, Incheon National University

요 약 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. 본 연구에서는 냉각기 체적 2.8 리터 인 R-404A를 사용하는 소프트 아이스크림 제조기에 대하여 최적화와 성능평가를 수행하였다. 최적화는 적정 냉매량 및 팽창 밸브의 개도를 찾는 데 주안점을 맞춰 수행되었다. 최적 조건에서 아이스크림 제조 시간은 10분 5초, COP는 0.57로 나타났다. 이 제품에 대하여 무 간격 연속 판매 시험, 30초 간격 연속 판매 시험, 극한 시험을 수행하여 성능을 평가하였다. 무 간격 연속 판매는 20개까지 가능하였고 30초 간격 연속 판매는 무한대로 가능하였다. 또한 여름철 및 겨울철 환경에도 아이스크림 판매가 가능한 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 냉동식품 제조기를 비롯한 여타 냉동 사이클의 최적화에도 활용될 수 있을 것이다.

Abstract The improvements of living and lifestyle have led to the increased sales of frozen milk products, such as soft ice cream or slush. These frozen milk products are commonly made in small refrigeration machines. R-502, which has long been used as the refrigerant in soft ice cream machines, is being replaced with R-404A due to the ozone layer depletion issue. In this study, an optimization and performance evaluation were conducted on a soft ice cream machine with a freezer volume of 2.8 liters. The optimization focused on the appropriate refrigerant charge and expansion valve opening. Under the optimized conditions, ice cream was produced in 10 minutes and 5 seconds, and the COP was 0.57. The performance tests included ice cream sales with no interval, ice cream sales with 30 second intervals and under extreme outdoor conditions. The results showed that 20 sales were possible with no interval, and infinite sales could be made with 30 seconds intervals. Ice cream sales were also possible under summer or winter outdoor conditions. The present results may be used for the design of food refrigeration machines as well as to optimize other refrigeration cycles.

Keywords : Soft ice cream, R-404A, Optimization, Refrigeration cycle, Performance evaluation

1. 서 론

최근 들어 국민 식생활 문화가 개선되고 생활수준이

향상됨에 따라 소프트 아이스크림, 슬러시와 같은 일회용 냉동 유제품의 소비가 급증하고 있다.[1] 이들 냉동 유제품은 소형 냉동 시스템에서 만들어진다. Fig. 1에 소

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

Tel: +82-32-835-8420 email: knh0001@inu.ac.kr

Received May 2, 2016

Accepted August 11, 2016

Revised (1st May 13, 2016, 2nd May 23, 2016)

Published August 31, 2016

프트 아이스크림 제조기의 전면 사진이 나타나 있다. Fig. 2에는 냉동 사이클이 나타나 있다. 냉동 사이클은 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.

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. Park [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.

소프트 아이스크림 제조기에는 그간 안정한 화학적 성질과 우수한 열물성을 가진 R-502가 주로 사용되어 왔으나 오존층 파괴와 관련하여 R-404A로 대체되고 있다.[8,9] R-502는 HCFC인 R-22와 CFC인 R-115의 공비 혼합냉매로 오존층파괴지수(ODP)가 0.328인 반면 R-404A는 HFC인 R-125, R-134a, R-134a의 비 공비 혼



Fig. 1. Photo of the soft ice cream machine

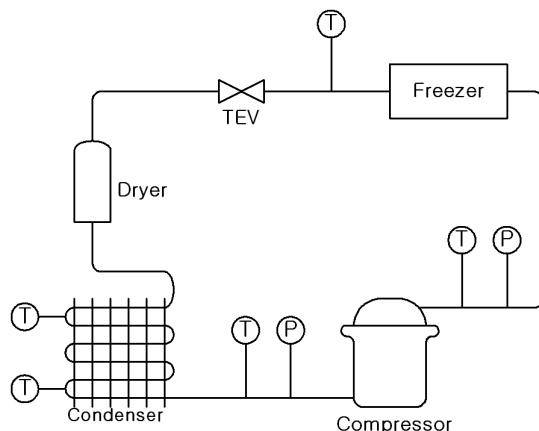


Fig. 2. Refrigeration cycle of the soft ice cream machine shown with measurement points

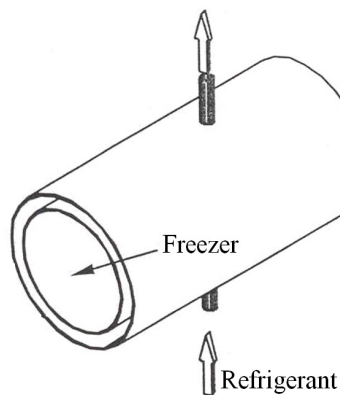


Fig. 3. Schematic drawing of the freezer

합냉매로 ODP가 “0”이다. 또한 지구 온난화지수(GWP)도 R-502가 4590인 반면 R-404A는 3920로 다소 감소한다.[10] Table 1에 대표적 증발온도인 -20°C 와 응축온도인 40°C 에서 두 냉매의 물성을 비교하였다.[11] 여기서 P_{sat} 은 포화 온도, ρ_l 과 ρ_v 는 액체와 기체의 밀도, h_{fg} 는 증발 잠열, c_{pl} 과 c_{pv} 는 액체와 기체의 비열, μ_l 과 μ_v 는 액체와 기체의 점성계수, k_l 과 k_v 는 액체와 기체의 열전도도 σ 는 표면장력이다. Table 1은 두 냉매의 물성이 크게 차이가 나지는 않음을 보여준다.

R-404A 적용시 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 연구에서는 R-404A용 소프트 아이스크림 제조기 기본 설계[1]로부터 구현된 냉동 시스템에 대해 팽창장치의 개도, 냉매 충전량의 최적화를 수행하였다.

2. 아이스크림 제조기 최적화

기본 설계를 통하여 도출된 아이스크림 제조기의 제원은 Table 2와 같다.[1] 이 제품의 냉각기 체적은 2.8 리터이다. 최적화는 팽창변의 개도와 냉매 충전량을 변화시키며 수행되었다. 일회 실험은 원액 주입 후 아이스크림이 완성될 때까지 진행되었다. 아이스크림의 완성여부는 스크레이퍼 회전 모터에 걸리는 전류가 4.6 A가 되는 시점으로 판단하였다. 냉각기 내에서 아이스크림 형성이 진행될수록 스크레이퍼 모터에 걸리는 전류는 증가하게 된다. 모터 전류 4.6 A는 경험을 통하여 결정되었는데 그때 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, $\pm 0.2\%$ full scale)를 부착하여 측정하였다. 측정위치는 Fig. 2에 나타나 있다. Figs. 5 와 6에는 대표적인 측정값이 나타나 있다.



Fig. 4. Photo of the scraper

Table 1. Thermophysical properties of R-404A and R-502

Properties	$T_{\text{bub}} = -20^{\circ}\text{C}$		$T_{\text{dew}} = 40^{\circ}\text{C}$	
	R-502	R-404A	R-502	R-404A
P_{sat} (MPa)				
ρ_v (m3/kg)	0.288	0.307	1.663	1.829
ρ_l (m3/kg)	16.90	15.82	98.67	103.1
h_{fg} (kJ/kg)	1394	1221	1138	964.6
c_{pv} (kJ/kgK)	156.5	181.0	113.3	119.0
c_{pl} (kJ/kgK)	0.688	0.892	1.041	1.491
μ_v ($\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$)	1.039	1.315	1.302	1.723
μ_l ($\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$)	10.94	10.21	13.97	13.34
k_v (mW/mK)	262.7	233.2	125.4	102.6
k_l (mW/mK)	8.868	11.01	14.54	18.84
σ (mN/m)	81.90	80.98	58.52	58.01
	11.53	9.936	3.857	2.837

Table 2. 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

이 데이터는 냉매 충전량 1000g, 팽창변의 개도를 제조사에서 제시한 값 ("0")으로 설정하고 측정된 자료이다. 실험실은 건구온도 32°C, 상대습도 (RH) 65%로 유지되었다. 이 때 아이스크림 제조 시간은 10분 5초 이었다.

Fig. 5는 시험 중 냉동 사이클의 압력 변화를 보여준다. 이 그림은 시험 시작 후 2분 가장 지나면 고압은 1.75 MPa, 저압은 0.23 MPa로 거의 일정하게 유지됨을 보여준다. 고압 (1.75 MPa)에 해당하는 포화온도는 38.5°C, 저압 (0.23 MPa)에 해당하는 포화온도는 -27.7°C이다. 포화온도가 일정하게 유지된다는 것은 아이스크림 형성시 열전달계수가 일정하다는 의미인데 이는 Byun 등[7]의 연구와 일치한다. 초기 2분은 냉동 사이클이 안정되는 시간으로 판단된다.

Fig. 6은 시험 중 냉동 사이클의 온도변화를 보여준다. 온도는 압축기 입구와 출구, 응축기 출구, 증발기 출구에서 측정되었다. Fig. 6은 시험 시작 2분까지는 온도가 급격히 변화하다가 그 이후부터는 완만하게 변화함을 보여준다. 압축기 출구온도는 초기 2분 동안 75°C까지는 급격하게 증가하고 그 이후 완만하게 증가한다. 압축기 입구 온도는 -10°C까지 급격히 감소했다가 그 이후 일정하게 유지된다. 증발기 출구 온도는 -30°C까지 급격히 감소했다가 그 이후 일정하게 유지된다.

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

Fig. 7에는 아이스크림 제조 완료까지 걸리는 시간이 나타나 있고 Fig. 8에는 소비동력이 나타나 있다. Fig. 7은 제조 완료 시간이 냉매 1000g, 밸브 개도 "0"에서 10분 5초로 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 감소한

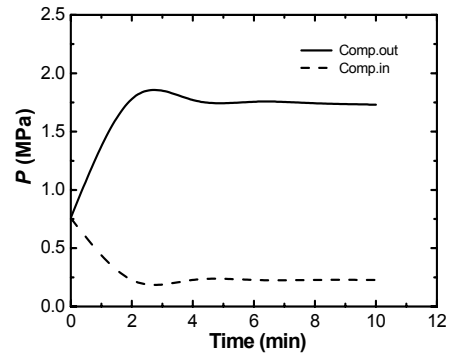


Fig. 5. Pressure change during ice cream formation (charge 1000g, exp. valve opening "0")

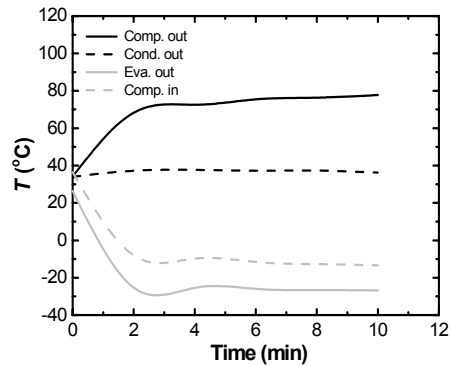


Fig. 6. Temperature change during ice cream formation (charge 1000g, exp. valve opening "0")

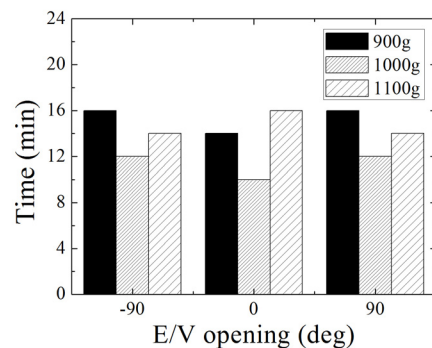


Fig. 7. Time consumed for ice-cream formation at various refrigerant charge and valve opening

다. 즉, 최적의 냉매 충전량과 밸브 개도가 존재하게 되는데 본 제품의 경우는 충전량 1000g, 밸브개도 “0”에서 최적임을 보여준다.

Fig. 8에 아이스크림이 형성되는 동안 소비 전력의 변화를 나타내었다. 소비 전력은 사이클이 안정되는 초기 2 분간은 급격히 증가하다가 사이클이 안정되면 완만하게 증가함을 보여준다. 또한 시간 평균 소비전력은 아이스크림 제조 시간이 증가할수록 다소 감소함을 보여준다.

아이스크림 제조기의 성적계수 (COP)는 아이스크림 제조에 필요한 열량을 소비전력량으로 나눈 값으로 구할 수 있다. 아이스크림 제조기에는 25°C 의 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,

$$\begin{aligned} m_w c_{pw} \Delta T_w &= m_{ice} \Delta h_{ice} \quad (1) \\ 0.38 \text{ kg} \times 4.2 \text{ kJ/kgK} \times (79-25) \text{ K} \\ &= 0.3 \text{ kg} \times \Delta h_{ice} \\ \Delta h_{ice} &= 287 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

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.

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

여기서 원액 투입량 (아이스크림 질량)은 1.9 kg이고 소비 전력량은 Fig. 8의 소비전력 곡선을 적분하여 구할 수 있다. Table 3에 냉매 충전량과 밸브 개도에 따른 아이스크림 제조 시간, 소비 전력량과 COP를 나타내었다. 아이스크림의 제조시간과 COP는 대체로 반비례하고 최대의 COP는 아이스크림 제조시간이 제일 짧은 경우 (충전량 1000g, 밸브개도 “0”)에 얻어졌다.

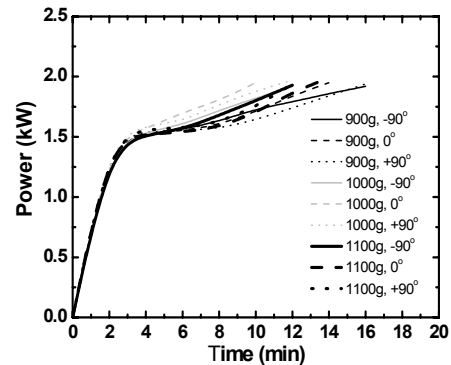


Fig. 8. Power consumed for ice-cream formation at various refrigerant charge and valve opening

Table 3. 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	0	10 min 5 sec	957.9	0.57
1000	90	12 min 24 sec	1179	0.46
1000	-90	12 min 30 sec	1146	0.48
900	0	14 min 12 sec	1335	0.41
900	90	16 min 20 sec	1536	0.35
900	-90	16 min 34 sec	1552	0.35
1100	0	15 min 58 sec	1340	0.41
1100	90	14 min 35 sec	1131	0.48
1100	-90	14 min 48 sec	1128	0.48

3. 아이스크림 제조기 성능 평가

소프트 아이스크림 제조기의 성능 평가에 대해서는 별도의 규격이 존재하지 않는다. 따라서 아이스크림 제조기 업체에서 자체 규격을 개발하였다.[1] 성능 평가는 무 간격 연속 판매 시험, 30초 간격 연속 판매 시험, 극한 시험으로 구성된다.

3.1 무 간격 연속 판매 시험

Table 4에 무 간격 연속 판매 시험 시, 개당 아이스크림의 무게가 나타나 있다. 무 간격 연속 판매 시험은 초

기 판매 개시 후 연속하여 아이스크림 판매 시 아이스크림 무게의 변화를 측정하는 시험이다. 본 실험 사용된 아이스크림 제조기 (Fig. 1)는 냉각기 출구에 타이머에 의해 작동되는 아이스크림 자동 투출 장치가 설치되어 있어 투출 시간이 일정하게 유지된다. Table 4는 아이스크림 개수 20 개까지는 아이스크림의 무게가 90 g에서 110 g ($\pm 10\%$) 사이에 있음을 보여준다. 20 개 이후로는 무게가 감소하고 품질이 저하되었다. 실험은 표준조건 (32°C , 65% RH)에서 수행되었다.

3.2 30초 간격 연속 판매 시험

30초 간격 연속 판매 시험도 수행하였다. 이 시험은 30초 간격을 두고 아이스크림을 판매하는 시험이다. Table 5에 시험 결과를 나타내었다. 시험 결과 아이스크림 무게 $100\text{ g} \pm 10\text{ g}$ 에서 무한대로 판매가 가능함을 확인할 수 있다. 실험은 60개 판매까지 수행되었다. 시험은 표준조건 (32°C , 65% RH)에서 수행되었다.

3.3 극한 시험

아이스크림은 옥외에서 판매가 이루어질 수도 있으므로 여름철과 겨울철의 극한조건 (43°C 50% RH, -10°C 95% RH)에서도 제조가 가능하여야 한다. Table 6에는 극한 시험 결과가 나타나 있다. 외기온도가 43°C , 50% RH일 경우 아이스크림 제조에는 30분 56초가 소요되었고 -10°C , 95% RH에서는 5분 35초가 소요되었다. 따라서 여름철, 겨울철 모두 판매가 가능한 것으로 나타났다.

Table 4. Ice cream mass when ice cream making is continuous with no interval

No.	mass (g)	No.	mass (g)
1	102	11	102
2	110	12	97
3	100	13	104
4	106	14	109
5	96	15	103
6	105	16	115
7	98	17	112
8	102	18	96
9	90	19	92
10	106	20	96

Table 5. Ice cream mass when ice cream making is at 30 seconds interval

No.	mass (g)	No.	mass (g)	No.	mass (g)	No.	mass (g)
1	103	16	103	31	98	46	103
2	105	17	102	32	96	47	105
3	107	18	105	33	95	48	107
4	105	19	107	34	98	49	106
5	106	20	103	35	102	50	103
6	105	21	96	36	104	51	104
7	105	22	94	37	103	52	98
8	107	23	102	38	101	53	97
9	109	24	95	39	102	54	99
10	102	25	105	40	98	55	101
11	103	26	103	41	96	56	98
12	105	27	102	42	94	57	96
13	101	28	101	43	95	58	100
14	106	29	100	44	99	59	101
15	98	30	101	45	101	60	103

Table 6. Performance of the ice-cream machine at extreme test conditions

Test condition	Average power consumption (kW/min)	Ice cream formation time
26°C RH 65%	1.56	11min 23sec
43°C , RH 50%	1.67	30min 56sec
-10°C , RH 95%	1.28	5min 35sec

4. 결 론

본 연구에서는 냉각기 체적 2.8 리터인 R-404A를 사용하는 소프트 아이스크림 제조기에 대하여 최적화와 성능평가를 수행하였다. 최적화는 적정 냉매량 및 팽창밸브의 개도를 찾는 데 주안점을 맞춰 수행되었다.

- (1) 냉매 충전량과 팽창 장치의 개도를 변화시키며 시험한 결과 충전량 1000 g, 밸브 개도 “0” (제조사 세팅치)에서 최단 시간 10분 5초 만에 아이스크림의 제조가 가능하였다. 이 때 최적화된 제품의 COP는 0.57로 나타났다.
- (2) 이 제품에 대하여 무 간격 연속 판매 시험, 30초 간격 연속 판매 시험, 극한 시험을 수행하여 성능을 평가하였다. 무 간격 연속 판매는 20개까지 가

능하였고 30초 간격 연속 판매는 무한대로 가능하였다. 또한 여름철 및 겨울철 환경에도 아이스크림 판매가 가능한 것으로 나타났다.

- (3) 본 연구 결과는 냉동식품 제조기를 비롯한 여타 냉동 사이클의 최적화에도 활용될 수 있을 것이다.

References

- [1] H.-C. Park, "Development of an Ice-Cream Machine for R-404A," Final Report to ITEP, CFC Alternative Material Development Program, Se-A E&C, 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] UNEP, "Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer," United Nation Environmental Programme, 1987.
- [9] 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>
- [10] J. M. Calm, G. C. Hourahan, "Refrigerant Data Summary," Engineering Systems, vol. 18, no. 11, pp. 74-88, 2001.
- [11] ASHRAE Handbook, 1997 Fundamentals, ASHRAE, 1997.

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