

나노유체를 이용한 냉동사이클 효율 향상 과제 소개

김정배^{*1)}, 이규선^{*1)}, 이근안^{**2)}

충주대학교 에너지시스템공학과¹⁾, 한국생산기술연구원²⁾

Overview of Project on COP Increase of Refrigeration Cycle using nano-fluids

Jeongbae Kim^{*1)}, Lee Kyu Sun, and Lee Geun An

^{*1)}Department of Energy System Engineering, Chungju National University, 50 Daehak-ro, Chungju 380-702, Korea

(2011. 07. 10 Received / 2011. 10. 25 Accepted)

Abstract : In this paper, we will introduce the overview of new project dealing how to increase of refrigeration cycle COP using nano-fluids, CuO, TiO₂, Al₂O₃, that are used on similar previous studies. Recently many studies were performed to show the effect of nano-fluids at refrigeration cycle. But, the reason was not cleared yet. In general, the flow phenomena at the evaporator were guessed to be mixed with the partial pool boiling condition and the flow boiling condition from the previous results not published yet. So, we hope that the COP increase of refrigeration cycle will be verified and showed through this project.

Key words : COP(성능계수), Refrigeration Cycle(냉동사이클), Nano-Fluids(나노유체)

1. 서론

차세대(Gen.II) 전기자동차 기반의 그린 수송 시스템 개발을 위해 필요한 공조 냉난방 에너지 loss (기존 20~30%)를 50%(에너지 loss 10-15%)이상 감소시킬 수 있는 HVAC시스템 설계 및 제조 공정 기술 개발이 필요하다. (목표출처 : 지식경제 R&D 전략기획단전기자동차 기반 그린수송시스템 과제)

전기자동차(EV/PHEV) 적용을 위한 HVAC system의 초경량화 & 고효율화 요구는 제한된 배터리 용량에 따라 HVAC system 작동시 최대 주행거리 50% 이상 감소하게 되므로 하절기와 동절기의 1층 전시 안정적인 주행거리를 확보하기 위해서는 최적의 공조시스템이 필요하며 핵심부품 융합설계 및

제조기술이 필수적이다.

특히, 엔진구동에서 전기구동 방식으로 변환되면서 전기자동차용 HVAC는 최적상태를 유지할 수 있어야 한다. 주행거리를 증대시키기 위해서는 전기소모량을 최소화해야 하기 때문에 주요부품인 압축기, 열교환기와 난방장치가 모두 컴팩트화되면서 효율은 극대화 되어야 할 것이다.

압축기가 기계식 구동에서 전동식 구동으로 변환되어야 하며 전기소모량을 최소화해야 하므로, 냉동사이클의 COP 향상은 아주 중요한 문제로 부각되고 있다.

이와 함께, 난방시에 별도의 히터를 작동하지 않고 냉동사이클을 히트펌프의 형태로 운전하는 것 혹은 응축기의 열량을 난방에 활용 가능하도록 공기 유로의 적절한 설계로서 이용되는 것이 합리적이라고 판단이 되므로, 더욱 전동식 압축기를 적용

* Corresponding author. E-mail: jeongbae_kim@cju.ac.kr

Table 1 Summary of research on nano-fluids and refrigerant

Summary of research on nanoparticles and refrigerants.

Year	Investigator	Refrigerant	Nanoparticles	Size of nanoparticles	% volume concentrations	Performance
2007	[13]	R123, R134a	Carbon nanotubes	20nm × 1 μm	1.0%	Heat transfer coefficient enhancement up to 36.6%
2009	[8]	R141b	TiO ₂	21nm	0.01%, 0.03%, 0.05%	Nucleate pool boiling heat transfer deteriorated with increasing particle concentrations
2009	[54]	R113	CuO	40nm	0.15-1.5%	Maximum enhancement of heat transfer coefficient, 29.7%
2009	[61]	R134a	CuO	30nm	0.5%, 1.0%, 2.0%	
2009	[62]	R113	CuO	40nm	0, 0.1%, 0.2%, 0.5%	Frictional pressure drop increased by 20.8%
2009	[63]	R134a	CuO	30nm	0.5%	Enhancement of heat transfer coefficient of between 50% and 275%
2010	[56]	R113	Diamond	10nm	0-0.05%	Nucleate pool boiling heat transfer coefficient increased by 63.4%
2006	[64]	134a	TiO ₂	-	-	Reduction in energy consumption by 7.43%
2010	[59]	R134a	CuO	-	-	No significant pressure drop, Heat transfer coefficient increased by more than 100%
	[65]	NH ₃ /H ₂ O	Al ₂ O ₃ /CNT		0.06%/0.08%	Heat transfer rate was 20% higher than those without nanoparticles

한 냉동사이클의 COP를 향상시키는 것은 매우 중요하다.

이를 위해 최근 나노유체를 직접 냉동사이클에 투입하여 증발기 열전달량을 최대 25% 정도 상승시킨 결과들이 다양한 나노유체에 대하여 표 1과 같이 발표되고 있다.

2011년 7월에 시작된 과제는 R-134a를 작동유체로 사용하는 자동차용 냉동사이클의 COP를 10% 향상시키고, 냉동사이클과의 적합성과 운전 신뢰성을 가진 나노유체의 종류와 농도를 결정하고자 한다.

기에서는 10g 정도로 계산된다.

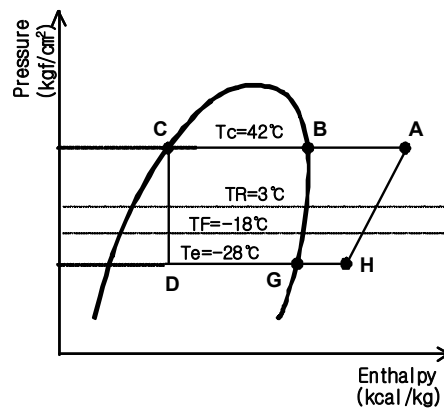


Fig. 1 P-h diagram of standard refrigeration cycle

그리고 실제 유동 가시화에서도 증발기의 존재 냉매량이 작은 이유는 입구 건도가 0.3-0.4이면 유동 상태는 거의 액체가 거의 냉매관 아래쪽으로 처져 성층류의 특성을 보이게 된다.

따라서 건도가 0.3-0.4의 입구상태로 이론적인 계산값은 타당성을 가진다.

그러나, 실제 적정 냉매봉입량은 실험에서 훨씬 더 크게 측정되고, 응축기와 압축기에서의 냉매봉입량에 따라 존재하는 냉매량이 변화하지 않고 증발기에 존재하는 냉매량만이 변화하는 것을 알 수 있다.

2. 냉동사이클 운전 특성

2.1 냉동사이클의 운전 특성

냉동사이클의 운전특성은 아래의 그림 1과 같이 p-h선도로 나타난다.

그림 1과 같이 운전되는 냉동사이클은 압축기에서는 과열증기로, 응축기에서는 과열증기와 이상상태로, 그리고 모세관 혹은 팽창장치는 거의 액체 냉매가 존재하는, 그리고 증발기에서는 입구 건도가 0.3-0.4 에서 출구에서는 과열증기로 냉매가 존재하게 된다.

2.2 냉동사이클의 냉매봉입량

이론적인 계산을 통해 분석하면, 냉장고의 경우에는 응축기는 약 50g, 압축기는 4-5g, 그리고 증발

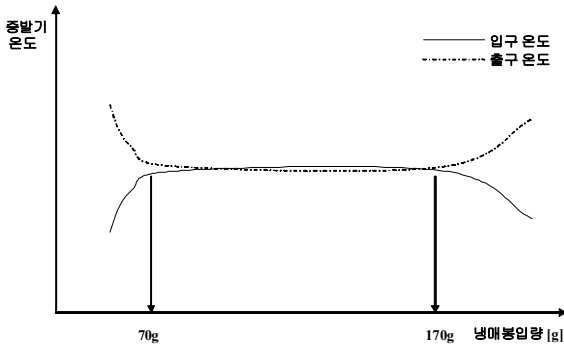


Fig. 2 Evaporator temperature with refrigerant charge

이는 증발기의 유동 가시화를 통해서도 확인할 수 있다. 냉매 충전량이 적을 경우에도 증발기의 아래쪽 열에서는 액체 냉매가 고여있고, 냉매 충전량이 증가하게 되면 성층류에서의 액체 냉매의 높이가 증가하고 더 많은 냉매가 투입되면 점점 위쪽의 냉매관에 액체 냉매가 고여가는 것을 알 수 있다.

3. 나노유체 적용시 열전달 특성 예측

나노유체를 적용한 열전달 실험의 경우에 열전달량 증가 효과의 원인분석이 다양하게 제시되고 있고, 특히 TiO₂, Al₂O₃, 및 CNT 등의 나노입자를 열전달시스템에 적용하여 전열효과를 증대하고자 하는 다양한 연구가 진행되었다. 특히, 나노입자를 풀(Pool) 핵비등 열전달 시스템에 적용하여, 순수물의 CHF와 비교하여 CHF를 약2배 정도 증가시킬 수 있음을 확인하기도 하였다.

나노유체를 적용할 경우에, CHF가 증가하는 이유는 아래의 그림3에서와 같이 가열하는 면의 조건이 나노입자의 농도가 증가할수록 더욱 거칠게 변화되어 가열면적의 증가와 기포생성을 위한 cavity의 증가에 의한 것으로 알려지고 있다.

또한, 나노입자를 가진 유체가 흐름비등에서 열전달 특성을 향상시키는 조건으로 알려지고 있다.

이러한 두가지 열전달 향상이 나노유체를 적용하므로써 가능한 것으로 판단하고 있으므로, 2장에서 소개한 바와 같이 냉동사이클의 증발기에서 흐름비등과 풀비등의 유동양식이 동시에 존재하는 것이

다시 한번 확인된다면 실제 기존의 연구들에서 제시하는 큰 편차의 연구결과들에 대한 타당한 이유와 원인에 대한 분석이 가능할 것으로 판단된다.

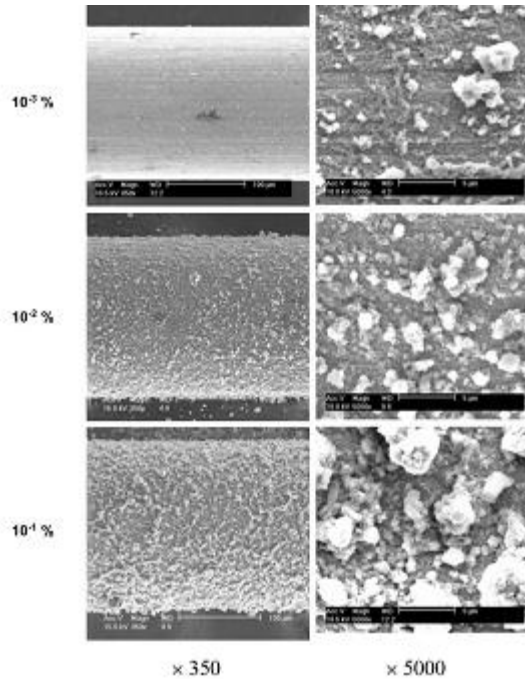


Fig. 3 Pool boiling results with nano-fluids

4. 결론

본 논문에서는 나노유체를 적용하는 냉동사이클의 효율향상을 위한 과제의 개략적인 내용과 예측되는 열전달 특성을 소개하였다.

전체 과제의 목적은 나노유체분말을 이용한 냉동사이클 성능평가 및 신뢰성 평가 체계 구축을 통해 신뢰성 있는 나노유체를 선정하고 이를 통해 COP를 향상시키는 것이다.

- R-134a 냉매와의 적합성을 고려한 최적 나노유체 선정
- 기존 연구들이 추천하는 TiO₂, CuO, Al₂O₃의 나노입자들을 이용하여 기존 연구들이 제시하는 농도를 기준으로 사이클 적합성 평가(운전 안정성, 열전달 능력)를 실험하고 R-134a에 최적인 나노유체 선정(반드시 사이클 운전 상태를 고려하여 적합성 및

열전달 특성 검토 수행)

- 나노유체분말 적용 냉동사이클 성능 및 신뢰성 평가 시스템 구축 : 기본적인 냉동사이클 성능평가를 위한 간이 실험장치를 제작, 다양한 나노입자를 적용 냉동사이클의 제어시스템을 구축하여 3년간 연속 제어 운전

후 기

본 연구는 산업기술연구회 협동연구사업 (B551179-11-02-00)의 지원으로 수행된 결과임.

References

- [1] R. Saidur et al, "A review on the performance of nanoparticles suspended with refrigerants and lubricating oils in refrigerant systems," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, 2011, pp. 310~323.
- [2] H Kim, J. Kim, and M. Kim, "Experimental study on CHF characteristics of water-TiO₂ nano-fluids," Nuclear Engineering and Technology, Vol. 38, No. 1, 2006, pp. 61~68.