

저온열원 활용을 위한 유기랭킨사이클의 열적 특성에 관한 연구

진재영*, 김경훈**

*금오공과대학교 대학원(jjy1902@naver.com), **금오공과대학교 기계공학과(khkim@kumoh.ac.kr)

Study on the Thermal Characteristics of Organic Rankine Cycles for Use of Low-Temperature Heat Source

Jin, Jae-Young* Kim, Kyoung-Hoon**

Graduated School, Kumoh National Institute of Technology *(jjy1902@naver.comkumoh.ac.kr)
Department of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology *(khkim@kumoh.ac.kr)

Abstract

Low-grade waste heat has generally been discarded in industry due to lack of efficient recovery methods. In recent years, organic Rankine cycle(ORC) has become a field of intense research and appears as a promising technology for conversion of heat into useful work of electricity. In this work thermodynamic performance of ORC with superheating of vapor is comparatively assessed for various working fluids. Special attention is paid to the effects of system parameters such as the evaporating temperature on the characteristics of the system such as maximum possible work extraction from the given source, volumetric flow rate per 1 kW of net work and quality of the working fluid at turbine exit as well as thermal efficiency.

Keywords : ORC(유기 랭킨 사이클), Low-temperature energy source(저온 열원), Patel-teja equation of state(Patel-Teja 상태 방정식),

1. 서 론

저온의 산업체 폐열을 활용하여 동력을 생산하는 경우 기존의 시스템으로는 시스템의 효율이 매우 떨어지기 때문에 경제성이 없다¹⁾. 저등급 에너지로서는 저온의 산업체 폐열 뿐만 아니라 태양열, 지열, 해수온도차 에너지 등이 있다. 최근 들어 저등급 열원을 이용한 동력 생산에서 암모니아와 물의 혼합물을 작동유체로 하는 열동력 시스템²⁻⁴⁾과 유기 랭

킨 사이클(organic Rankine cycle, ORC)⁵⁻⁸⁾이 크게 주목받고 있으며 많은 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 아홉가지 작동유체를 대상으로 다양한 관점에서 열역학적 성질들을 비교 분석하고, 증발온도의 변화가 시스템의 열적 성능에 미치는 영향을 분석한다. 또한 본 연구에서는 소수의 기초 데이터를 사용하여 다양한 물질들의 열역학적 상태량 계산에 신뢰성이 인정된 Patel-Teja의 상태

방정식을 이용하여 ORC의 열적 성능을 해석한다⁹⁻¹⁰⁾.

2. 시스템 해석

본 연구에서는 NH₃, R123, R134a, R143a, R152a, iso-C₄H₁₀, iso-C₅H₁₂, C₆H₆, C₈H₁₀ 9개의 작동 유체를 대상으로 하였다. 이 데이터는 표1¹¹⁾에 주어진다.

이 작동유체에서 R123, isoC₄H₁₀, C₆H₆, C₈H₁₀은 건유체(Dry fluids)이고 R134a, R143a는 등엔트로피유체(isentropic fluids)이며 NH₃와 R152a는 습유체(Wet fluids)이다.

본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 응축기(Condenser), 펌프(Pump), 예열기(Preheater), 증발기(Evaporator), 과열기(Superheater), 터빈(Turbine)을 구성으로 한 시스템에 대하여 해석한다.

본 연구의 주요 가정은 다음과 같다.

- 1) 열교환기에서 열교환 이외의 열손실은 무시한다.
 - 2) 펌프와 터빈은 등엔트로피 효율 η_p 와 η_t 로 거동하며 그 이외의 압력 변화는 무시한다.
- 시스템의 주요 변수값들은 기본값으로 응축기 출구 온도 $T_L = 20^\circ\text{C}$, 터빈의 입구 온도

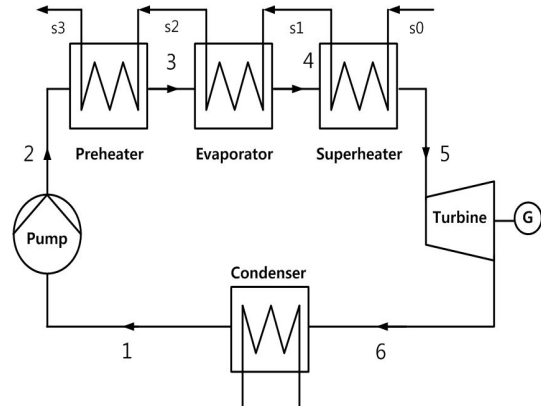


그림 1. 시스템 구성도

$T_H = 90^\circ\text{C}$, 펌프의 효율 $\eta_p = 0.8$, 터빈의 효율 $\eta_t = 0.8$ 을 사용한다.

3. 결과 및 토의

그림 2에서는 터빈입구온도에 따른 출구에서의 엔탈피비를 보여준다. 여기에서 엔탈피비는 건도를 의미한다. 입구온도가 감소할수록 출구에서 엔탈피비가 낮아지는데 이것은 과열증기가 증가하기 때문이다. 엔탈피비는 R143a, isoC₄H₁₀과 isoC₅H₁₂가 높

표 1 작동유체 열역학적 성질

| | M (kg/kmol) | Tc (K) | Pc (bar) | ω |
|------------------------------------|----------------|-----------|-------------|----------|
| NH ₃ | 17.031 | 405.65 | 112.78 | 0.252 |
| R123 | 136.467 | 456.9 | 36.74 | 0.282 |
| R134a | 102.031 | 380.00 | 36.9 | 0.239 |
| R143a | 84.041 | 346.25 | 37.58 | 0.253 |
| R152a | 66.051 | 386.6 | 44.99 | 0.263 |
| iso C ₄ H ₁₀ | 58.123 | 408.14 | 36.48 | 0.177 |
| iso C ₅ H ₁₂ | 72.150 | 462.43 | 33.91 | 0.228 |
| C ₆ H ₆ | 78.114 | 562.16 | 48.98 | 0.211 |
| C ₈ H ₁₀ | 106.167 | 617.17 | 36.09 | 0.304 |

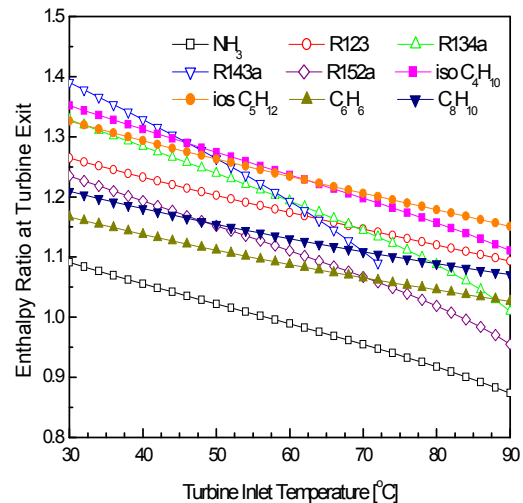


그림 2. 터빈입구온도에 따른 출구에서의 엔탈피비

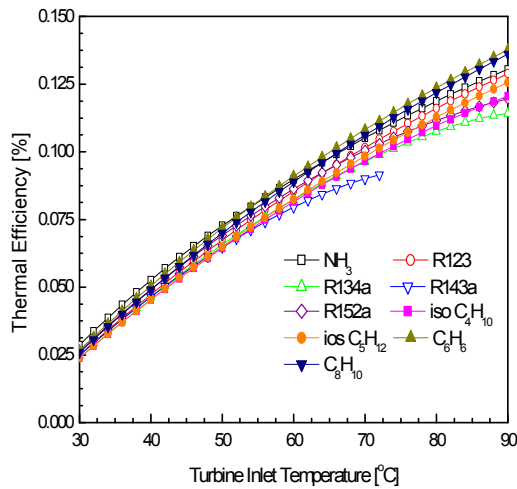


그림 3. 터빈입구온도에 따른 열효율

고 습유체인 NH_3 와 C_6H_6 가 낮은 것으로 나왔다. 여기에서 NH_3 와 C_6H_6 는 특정 온도 이하일 때는 엔탈피비가 1보다 크기 때문에 작동유체에서 제외하는 것은 고려해야 된다.

그림 3에서는 터빈입구온도에 따른 열효율의 변화를 보여준다. 열효율은 온도가 상승

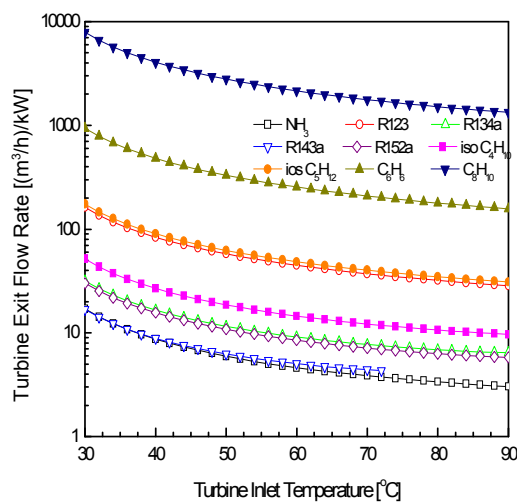


그림 4. 터빈입구온도에 따른 체적 유량

하면서 모든 작동유체들이 상승하는 것을 보인다. 그중에서 C_6H_6 , C_8H_{10} 이 가장 높은 열효율을 나타내며 R143a 가 가장 낮은 열효율을 보인다. 또한 작동유체에 상관없이 온도가 낮아질수록 수렴하는 모습을 보인다.

그림 4에서는 터빈입구온도에 따른 1kW 당 체적 유량을 나타낸 것이다. 모든 작동유체는 입구온도가 상승할수록 체적 유량은 낮아진다. C_6H_6 와 C_8H_{10} 은 다른 작동유체에 비해 1kW당 체적 유량이 높기 때문에 열효율이 높아도 경제성이 좋지 않다.

4. 결 론

저온열원을 활용을 위한 유기 랭킨 사이클의 열적 특성 연구에서 다음의 주요 내용을 주어진다.

- (1) C_6H_6 와 C_8H_{10} 은 열효율은 좋으나 체적 유량이 크기 때문에 경제성이 낮다.
- (2) NH_3 의 경우 일정 온도 이하일 때는 엔탈피비가 1보다 크고 순 생산일이 좋기 때문에 작동유체에 완전히 제외하는 것은 고려되어야 한다.
- (3) 열효율과 순 생산일이 좋다고 해서 작동유체를 선정해서는 안되고 압력비와 체적 유량 등 여러 조건에서의 상태를 비교하여서 작동유체를 사용하여야 한다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0007355)

참 고 문 헌

1. Hung, T.C., Shai, T.Y., Wang, S.K., "A review of organic Rankine cycles (ORCs) for the recovery of low-grade waste heat," Energy, Vol. 22, 1997, pp.

- 661~667.
2. 김경훈., 한철호., “저온 열원 활용을 위한 암모니아-물 재생 랭킨 사이클의 성능 해석,” 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 31, 2011, pp. 15~22.
 3. Roy P., Desilets M., Galanis N., Nesreddine H., Cayer E., “Thermo- dynamic analysis of a power cycle using a low-temperature source and a binary NH₃-H₂O mixture as working fluid,” Int. J. Thermal Sci., Vol. 49, 2010, pp. 48~58.
 4. Lolos, P. A., Rogdakis, E. D., “A Kalina power cycle driven by renewable energy sources,” Energy, Vol. 34, 2009, pp. 457~464.
 5. Larjola, J., “Electricity from industrial waste heat using high-speed organic Rankine cycle (ORC),” Int. J. Production Economics, Vol. 41, 1995, pp. 227~235.
 6. Drescher, U., Brueggemann, D., : “Fluid selection for the organic Rankine cycle (ORC) in biomass power and heat plants,” Applied Thermal Eng., Vol. 27, 2007, pp. 223~228.
 7. Hettiarachichi, H.D.M., Golubovic, M., Worek, W.M., “Optimum design criteria for an organic Rankine cycle using low-temperature geothermal heat sources,” Energy, Vol. 32, 2007, pp. 1698~1706.
 8. Chacartegui, R., Sanchez, D., Munoz, J.M., Sanchez, T., “Alternative ORC bottoming cycles for combined cycle for power plants,” Applied Energy, Vol. 86, 2009, pp. 2162~2170.
 9. Yang, T., Chen, G.J., Guo, T.M., “Extension of the Wong-Sandler mixing rule to the three-parameter Patel-Teja equation of state: Application up to the near-critical region,” Chem. Eng. J, Vol. 67, 1997, pp. 27~36.
 10. Gao, J., Li, L.D., Zhu, Z.Y., Ru, S.G., “Vapor-liquid equilibria calculation for asymmetric systems using Patel-Teja equation of state with a new mixing rule,” Fluid Phase Equilibria, Vol. 224, 2004, pp. 213~219.
 11. Yaws C.L., “Chemical properties handbook,” McGraw-Hill, 1999.