

## R-245fa 및 NOVEC 649 작동유체에 따른 ORC 시스템 성능 변화

장홍순\* · 한영섭\* · 송영길\*\*\* · 김성현\*\*

\*한국산업기술대학교 에너지전기공학과, \*\*㈜거나백

### ORC System Performance Analysis upon R-245fa and Novec 649

Hong-Soon Chang\*, Young-Sub Han\*, Yeong-Kil Song\*\*\*, and Sung-Hyun Kim\*\*

\*Department of Energy & Electronic Engineering, Korea Polytechnic University, Gyeonggi 429-793, Korea

\*\*HNC coLtd, Gyeonggi 463-760, Korea

---

#### Abstract

A test unit for Organic Rankine Cycle (ORC) power generation system was developed and experimentally reviewed the performance of the ORC system. Two different organic fluids (R-245fa & Novec 649) were tested as working fluids for the system. System behavior was measured and analyzed along with the variables, such as temperature, pressure, rpm and shaft power. It is one of the findings that Novec 649 fluid is to be less pressurized than R-245fa in order to up to the heat source (boiler) capacity, that limits the experiment as high as 2 kW in shaft power.

**Key words:** Organic Rankine Cycle(유기랭킨사이클), Working fluid(작동유체), Expander(팽창기), Shaft power(축동력), R-245fa(냉매), Novec 649(냉매)

---

## 1. 서 론

최근 다양한 폐열 및 신재생에너지를 활용한 소규모 발전에 대한 관심이 증가하면서 ORC system의 상용화 개발이 활발히 진행되고 있다. Tchanche 등은 태양열에서 2 kW의 출력을 얻는 것을 기준으로 20종의 냉매를 선정하여 90°C 이하의 열원에 대하여 R134a, R152a, R600 등이 높은 적용성을 갖는다고 했다[1]. Hung 등은 폐열회수를 위한 랭킨사이클

의 작동유체로 R134a와 같은 등엔트로피 작동유체가 낮은 온도를 갖는 열원의 열회수가 가장 좋다고 하였다[2]. Lemort 등은 작동유체로 R-123을 사용하고 무윤활 공기압축기를 개조한 스크롤 팽창기를 적용한 ORC 실험장치를 구성하여 1.8 kW의 팽창기 출력과 68%의 등엔트로피 효율에 도달하였다[3].

이전의 많은 연구 중에서 일부 지면을 통해 연구자들이 추천한 작동유체들을 각각 다른 작동유체들을 추천하였다. 그 이유는 선정한 작동유체의 임계압력과 임계온도 변화 외에 물리적 특징에 따라서 사이클 효율이 달라질 수 있다. 그러므로 작동유체의 특성과 열원의 특성이 일치하는 작동유체를 사용하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 R-245fa와

---

†Corresponding author

Tel.: +82-2-567-8928, Fax: +82-31-701-5811

E-mail: yeong.song@hncnet.com

접수일: 2016년 08월 01일

심사일: 1차:2016년 08월 23일, 2차:2016년 08월 29일

채택일: 2016년 08월 31일

Novec 649를 ORC 발전 System의 작동유체로 사용하였다. Novec 649는 3M사에서 제조한 열전달 매체용 유기물질로서 화학식은  $CF_3CF_2C(O)CF(CF_3)_2$ 이다. 3M사가 개발한 Novec 상표의 제품들은 ODP 및 GWP가 낮아 그동안 CFC 및 HFC계 유체들이 수행하던 일들을 친환경적으로 할 수 있도록 개발된 유기물질이다. 특히, Novec 649는 일종의 친환경 냉매로서 개발되었으나 대기압 상태에서 비등점이 49°C이므로 일반 에어컨이나 냉동기용으로는 적절치 않고 ORC 등에 적용될 수 있다. Novec 649의 오존파괴지수(ODP)는 여타 신 냉매들과 같이 0이며, 지구온난화지수(GWP)는 SF6 계열이나 HFC 계열의 냉매들보다 매우 낮은 1을 기록하고 있다. 기타 Novec 649의 물리적 특성을 Table 1에 나타내었다. 아래의 Table 1에서 보듯이 Novec 649가 R-245fa보다 분자량이 크므로 동일 조건일 때 터빈을 구동하는 운동에너지가 크다. 또한, 증발(응축)온도가 비교적 높아 열병합 발전용 ORC 시스템의 응축기에서 비교적 높은 온도의 온수를 생산할 수 있는 장점이 있다. 특히, 증발잠열이 단위 질량유량 당 R-245fa에 비하여 50% 내외이고, 비열이 적어 적은 에너지로도 쉽게 기화시킬 수 있는 장점이 있다. 다만, 임계압력이 R-245fa에 비하여 낮기 때문에 터빈의 팽창비가 상대적으로 적어지고 냉매의 질량유량이 커져야 할 필요가 있다. 본 고에서는 이러한 차이를 가지고 있는 두 가지의 작동유체를 동일한 시스템에서 동일한 조건으로 작동시켰을 때 충전량, 팽창기입구 온도 등에 따른 축동력 변화량을 관찰하고 그

원인을 규명코자 한다. 본 연구를 통하여 ORC 작동유체로 가장 유명한 R245fa의 작동 범위 안에서 Novec 649가 작동상 어떠한 한계를 갖는가를 고찰하므로 향후 ORC 관련 연구에 보탬이 되고자 한다.

## 2. 본 론

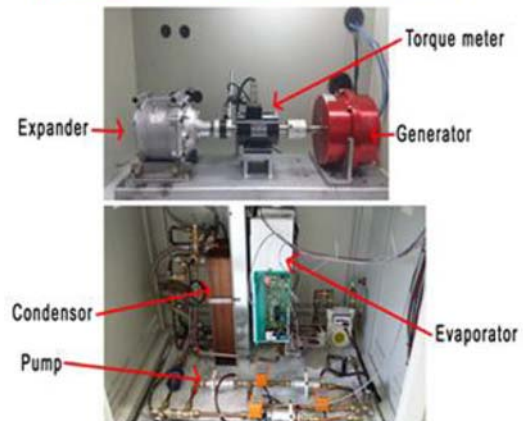
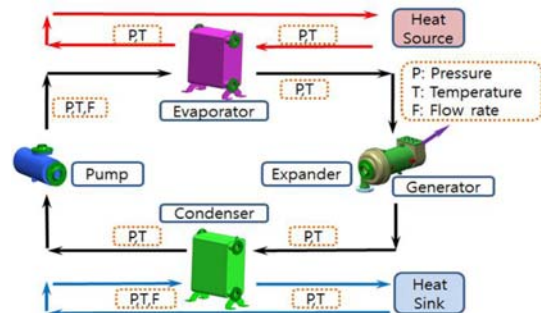
### 2.1 ORC 시험기의 구성

본 실험에서 사용한 소규모 ORC 발전 시스템을 Fig. 1에 나타내었다. 각 부위의 온도는 T-type Thermocouple를 이용하여 측정하였고, 압력은 5 mA ~20 mA 출력을 내는 /Sensys사의 Pressure Transducer를 채택하였다. 냉매 유량을 측정하기 위하여 Tricor사의 Coriolis Mass Flow Meter가 사용되었다.

ORC 발전 시스템을 서로 지정된 요건에 따라 두 종류의 작동유체(R-245fa 와 Novec 649)에 의하여 Cycle을 구성하고 발전 시스템의 회전수를 측정하여 효율을 판단하였다. 본 시스템을 구성하고 있는 주요 부품들은 다음과 같다[4].

**Table 1.** Physical Characteristics of Novec 649 & R-245fa

	Novec 649	R-245fa
Boiling Point (°C)	49.0	15.3
Pour Point (°C)	-108	-103
Molecular Weight (g/mol)	316	134
Critical Temperature (°C)	169	154
Critical Pressure (MPa)	1.9	3.6
Heat of Vaporization (kJ/kg)	88.0	197
Liquid Density (kg/m <sup>3</sup> )	1,600	1,339
Specific Heat (kJ/kg-K)	1.1	1.4
Thermal Conductivity (W/m-K)	0.1	0.1
Solubility of water in Fluid (ppm by watt)	20.0	1,600
Ozon Depletion Potential (ODP)	0.0	0.0



**Fig. 1.** Experimental Apparatus for ORC Power Generation Unit.

증발기 일체형 보일러(Evaporator)는 일반 가정용 온수 보일러(20,000 kcal/h or 23.5 kW)를 채용하여 물 대신에 작동유체가 흐르도록 하였다. 총 가열량이 2 kW 발전량의 10% 이상 될 수 있도록 당초의 열교환기 위에 온수-가스 열교환기를 하나 더 직렬로 연결하였고, R-245fa를 제조하는 Honeywell사의 지침에 따라 국부적으로 250°C를 넘지 않도록 하기 위하여 보일러 운전 전에 펌프를 먼저 가동시키고, 보일러 가동 종료 시 펌프를 제일 나중에 멈추어 유체의 유량을 관리하였다.

보일러에 유입되는 LPG 가스의 유량을 제어하기 위하여 가스 주입구에 솔레노이드 밸브를 설치하여 PID 제어로 가스 유량을 제어할 수 있도록 하였다. 또한, 각 가스 유량에 대한 적정 공기 주입량을 시험을 통하여 정리한 후, 이를 데이터베이스화 하여 가스 제어와 함께 주입 공기량을 제어할 수 있도록 하였다. LPG의 저위발열량과 유량을 통하여 시스템에 가해진 열량을 계산하게 되고, 여기서 구해진 열량의 85%를 유효 가열량으로 삼았다.

팽창기(Expander)는 이 시스템에서 팽창기는 일반 화력 발전의 터빈과 같은 역할을 한다. 고압, 기체 상태의 작동유체가 저압의 기체 상태로 변하며 내어놓는 열에너지는 팽창기 로터를 회전시키는 운동에너지로 변환된다. 스팀 터빈과 다르게, ORC용 팽창기의 특징은 비교적 소형으로서 팽창기 효율은 약 80~85% 수준이다. 이번 연구에서는 아직까지 전 세계적으로 1 kW~3 kW 급의 터빈이 개발된 것이 없으므로, 자동차 에어컨 용 스크롤 압축기를 개조하여 팽창기로 활용하였다. 팽창기로서 66 cc, 86 cc, 106 cc 스크롤 압축기가 개조되었고, 이 중에서 본 연구와 관련된 시험에 사용된 팽창기는 66 cc 압축기를 개조한 것이다. 스크롤 횡수(Turn)가 3회에 그쳐 좀 더 큰 팽창 비를 만들어 내지 못한 부분이 있으나, 이는 앞으로 압축기 제조사들과 계속 협의해 나갈 부분이다. 팽창기에 토크메터를 연결하여 실시간으로 팽창기의 축동력(Shaft Power)을 측정, 데이터화 하였다.

발전기(Generator)는 팽창기 회전축에 올덤 커플링(Oldham Coupling)을 통하여 연결된 발전기는 팽창기의 축 회전토크 및 회전수에 따라 발전량이 변하게 된다. 본 연구에서는 2,000 rpm에서 3 Ø, 200 VAC로 발전하는 발전기를 개발하여 장착하였다. 95%의 발전효율을 갖는 발전기에서 전송되는 교류

는 3상 브리지 다이오드 방식의 DC 정류기를 거치면서 직류로 변환된다. 이 직류 전기는 최종적으로 47 Ω의 로드 뱅크(Load Bank)에 연결되어 열로 발산되며, 그 중간에 선트 저항을 통하여 전류를 측정하게 된다. 이 모든 과정을 거치면서 팽창기의 축동력으로부터 로드 뱅크에서 열로 발산되는 전력간의 효율은 약 94% 이상으로 기대된다.

인버터 등을 통하여 정류될 수 있다. 본 시험에서는 발전기에서 발전된 교류전력을 직류로 변환하여 저항체인 Load Bank에서 소진할 때의 전압 및 전류를 측정하여 축동력이 측정될 수 있도록 하였다.

응축기(Condenser)는 팽창기를 나온 저압(약 200~400 kPa)의 냉매는 응축기를 통과하는 과정에서 기체 상태에서 액체 상태로 상변화가 일어난다. 응축기에서의 열 교환량이 증발기에서보다 적으나, 응축기의 대수평균온도차(LMTD: Logarithmic Mean Temperature Difference) 값이 증발기보다 적기 때문에, 응축기의 크기가 증발기의 크기보다 크다. 본 연구에서 사용된 응축기는 두 개의 판형 열교환기를 직렬로 연결하여 사용하였으며, 열 전달량은 주어진 설계조건에서 25 kW이다.

펌프(Pump)는 ORC 발전 시스템에 설치된 펌프는 저온, 저압인 작동유체를 고압으로 올려주는 역할을 한다. R-245fa 냉매의 경우 약 250 kPa의 압력을 2,500 kPa로 승압시켜야 한다. 작동유체를 승압시키기 위해 시간당 255 LPH의 유량을 이송할 수 있는 Walbro사의 Inline pump GSL392를 펌프를 선택하여 ORC 발전시스템에 설치하였다.

냉각기(Cooler)는 응축기 안에서 작동유체(냉매)로 획득한 에너지를 배출하기 위한 것이다. 실제 ORC 발전 시스템에서는 수냉식 Cooling Tower 혹은 공랭식 Air Fin Condenser 등이 일반적으로 사용되지만, 본 연구에 사용된 ORC 시험기에는 7.5RT의 냉각기를 설치하여 24°C의 냉각수가 응축기로 유입될 수 있도록 하였다. 냉각수 유량은 시험의 성격 및 필요에 따라 수동으로 조절할 수 있도록 하였다.

## 2.2 냉매의 운전 특성

작동유체를 R-245fa로 하여 ORC시스템을 구동시킨 결과에 대한 보고서가 국내에도 다수 있다[6-8]. 그러나 Novec 649를 작동유체로 ORC 시험을 한 예는 찾기가 쉽지 않다. Novec 649의 대기 중 증발은



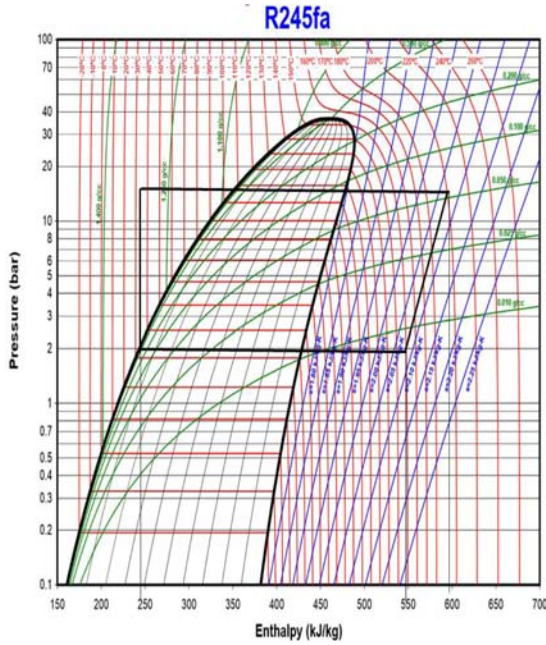


Fig. 2. Cycle Analysis for R-245fa at a given condition.

도가 R-245fa보다 월등히 높기 때문에(Table 1 참조), ORC 사이클에서 냉각을 담당하는 부분에서 흡수식 냉동기를 구동할 수 도 있다[9]. ORC 발전 시스템에 R-245fa 및 Novec 649를 작동유체로 각각 채용하여 운전할 시 예상되는 이론적 사이클을 Fig. 2 및 Fig. 3과 같이 나타내었다[2]. 아래의 두 그래프에서 보듯이 작동유체의 응축기 출구 온도가 낮을수록, 증발기 출구 온도가 높을수록 시스템 효율이 높아지는 것을 확인할 수 있다. 여기에서 Novec 649 특성상 임계압력이 비교적 낮고, 전반적으로 잠열 구간이 적어서 단위 질량유량 당 가해지는 에너지가 적어도 발전을 일으킬 수 있으며 특히, 응축기가 클 필요가 없다는 점이 주목할 만하다. 또한 응축 온도가 상대적으로 높기 때문에 R-245fa보다 좀 더 높은 온도의 온수를 원하는 열병합 발전의 경우 Novec 649를 작동유체로 사용하는 것이 적당하다. 그러나 Novec 649의 경우 동일한 압력 하에서 증발/응축 온도가 타 작동 유체 대비 높다. 예를 들면, 20 bar의 압력 하에서 Novec 649의 증발/응축 온도가 160°C 이상 임계점을 지나서 존재하고, R-245fa의 그것은 약 120°C에 불과하다. 그러므로 동일한 조건에서 운전되는 두 종류의 ORC를 상상해 볼 때, Novec 649 작동유체를 사용하는 ORC의 작동 온도가 R-245fa

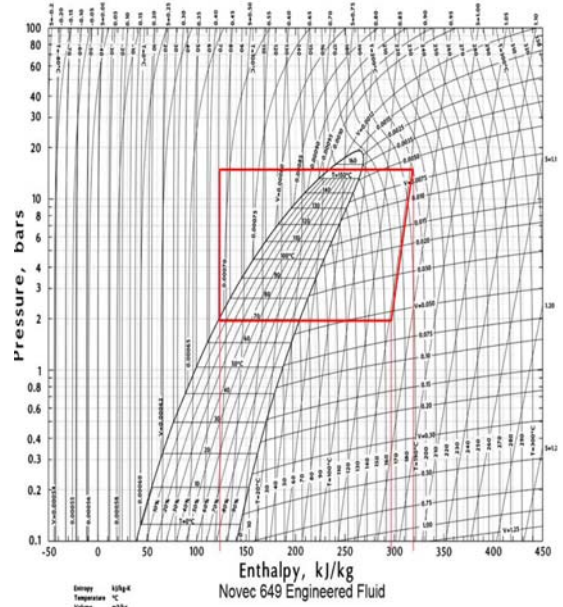


Fig. 3. Cycle Analysis for Novec 649 at a given condition.

Table 2. Cycle Analysis for Novec 649 and R-245fa under the same input conditions

	Novec 649	R-245fa
Expander inlet P&T	1.5 MPa / 200°C	
Condenser outlet P	0.2 MPa	
Work out (Ideal)	25 kJ/kg	45 kJ/kg
Evap. Duty	200 kJ/kg	255 kJ/kg
Cond. Duty	175 kJ/kg	210 kJ/kg
Efficiency	12.5%	17.6%

보다 전반적으로 높은 것을 알 수 있다. 따라서 Novec 649를 이용하여 ORC를 구축할 경우, 증발기 출구의 작동유체를 다시 한 번 가열하는 Reheater의 설치가 추천된다. R-245fa의 임계온도는 Novec 649와 비슷하지만 임계 압력이 90% 가까이 더 높은 편이다. R-245fa는 대기온도가 20°C 이하일 경우 액체 상태 이므로 Novec 649 대비 증발온도가 낮다. 폐열을 열원으로 이용하여 ORC 발전 시스템을 구축할 경우 팽창기 입구 냉매 온도 및 압력을 각각 200°C/1.5 MPa라고 가정하고 Novec 649 및 R-245fa의 사이클 거동을 Fig. 2에서 살펴보면 아래 Table 2와 같다.

두 종류의 서로 다른 작동유체가 운전하는 조건에 따라 약간의 차이는 있겠으나, 하나의 시스템 개념에서 바라보면 R-245fa 작동유체가 Novec 649 보다

효율 면에서 더 좋은 것을 알 수 있다. 다만, R-245fa의 응축온도가 열병합을 통하여 온수를 사용코자 할 경우 낮은 면이 있기 때문에[10-12], 온수 공급이 발전 못지않게 중요한 적용의 경우에는 효율이 조금 낮아도 Novec 649가 훌륭한 작동유체가 될 수 있음을 보여준다.

### 3. 실험방법 및 결과

위에서 언급한 시험기에 두 종류의 냉매를 각각 충전하여 시험을 수행하였다. 먼저 R-245fa에 대한 충전량 대비 성능 변화를 시험을 통해 관찰하였다. Fig. 4는 ORC 시험기에 R-245fa를 각각 6.5 kg, 7.0 kg 및 7.5 kg 충전하였을 때 팽창기 입구 온도에 대한 팽창기 입구 압력의 변화 및 팽창기 축동력의 변화를 나타낸 것이다. 여기에서 팽창기 입구 온도 대비 압력 변화를 관찰의 기준으로 고려하는 이유는 팽창기 출구의 온도 및 압력이 일반 정상적 작동의 경우 거의 일정하기 때문이다. 다시 말하면 팽창기 입구 온도와 압력의 상관관계가 관찰되면 팽창비와 이로 인한 시스템 효율 등이 정성적으로 밝혀진다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 팽창기 입구 온도가 올라가도 압력은 크게 변하지 않는 것을 볼 수 있고, 특히 이 현상은 7.0 kg 충전 시에 가장 두드러지게 나타난다. 또한, 이 충전량에서 팽창기의 축동력이 가장 우수한 것으로 나타난다. 따라서 이 시스템에 가

장 적절한 R-245fa 충전량은 7.0 kg이라 할 수 있다. Fig. 4를 통하여 알 수 있는 또 하나의 사실은 작동유체가 과충진 되었을 때 시스템의 안정성이 현저히 감소한다는 것이다. Fig. 4에서 7.5 kg으로 충전된 상태에서의 팽창기 입구 압력의 변화를 보면 7.0 kg 충전 시보다 압력의 변화가 심한 현상을 볼 수 있고, 이 변화량은 적정량보다 적게 충전된 경우(6.5 kg)보다 더 크게 나타나고 있다. 이는 과충진 시 증발기에서 발생한 기체 상태의 작동유체가 차지하게 되는 체적이 그만큼 줄어들고, 따라서 시스템의 동작 상태에 따라 과민하게 반응하기 때문인 것으로 사료된다.

각 충전량 별 발전효율을 관찰하였다. 여기서 발전효율이란 팽창기에 부착된 토크메타에서 측정된 토크로부터 계산된 축동력을 LPG 가스의 저위발열량(12,000 kcal/kg)의 85% 값으로 나눈 것을 백분율화 한 것이다. 85%라 함은 보일러 효율을 85%로 가정한 값으로 정확한 수치는 아니겠으나, 보일러 제작사의 자료를 통해 확인한 보일러 효율이다.

Fig. 5는 시스템에 실제로 투입된 에너지 대비 축동력의 변화를 팽창기 입구 온도의 변화에 따라 R-245fa 및 Novec 649에 대하여 나타낸 것이다. Fig. 5에서 보듯이 R-245fa의 축동력 변화는 팽창기 입구 온도가 높을수록 증가하다가 140°C에서 최고의 발전 효율(축동력/투입 에너지)을 기록한 후 점차 감소하는 것을 볼 수 있다. 팽창기 입구 온도가 140°C

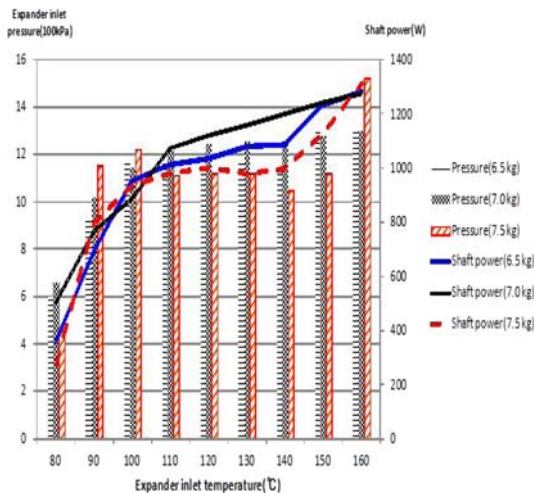


Fig. 4. Expander Inlet Pressure and Shaft Power with respect to Expander Inlet Temperature at Different Charging Volume.

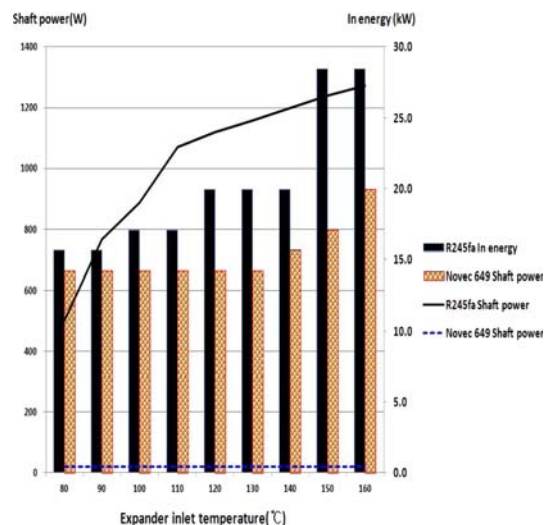


Fig. 5. Variation of Shaft Power with respect to Given Expander Inlet Temperature.

이상으로 올라가도 축동력 증가율은 선형적 증가를 하고 있으나 투입되는 에너지량이 급격하게 늘어나는 현상을 볼 때, 본 시험에 사용된 펌프 양정이 약 1.5 MPa로서 이 압력에서 더 많은 에너지를 투입해도 과포화도만 높아질 뿐 실질적으로 시스템의 효율 향상에는 별 도움이 안된다는 결론에 도달하게 된다.

측정된 축동력 값과 투입에너지로 발전효율을 계산해 보면 팽창기 입구온도가 140°C에서 R-245fa가 6.02%를 나타낸다. 이는 Zimbiani 등[10]이 주장하는 발전효율 7%에 근접한 것이기도 하다. 그러나 Novec 649의 성적은 매우 저조하다. Novec 649를 작동유체로 하는 ORC 시스템에 투입된 에너지는 R-245fa 시스템에 비하여 10%~30% 정도 낮지만 축동력 값은 거의 0에 가깝다. Fig. 6에 Novec 649의 축동력 값이 작게나마 표현된 이유는 아마도 펌프 작동에 의한 것일 가능성이 크다[13].

R-245fa 작동유체의 충전량 시험을 수행했던 ORC 시험기에 이번에는 Novec 649를 7.0 kg 충전한 상태에서 팽창기 입구 온도에 대한 팽창기 입구 압력의 변화 및 팽창기의 축동력 변화 정도를 측정하여 Fig. 6과 같이 나타내었다.

R-245fa의 경우 Fig. 4에서 설명하였듯이 주어진 팽창기 입구 온도가 100°C 이상에서는 팽창기 입구 압력이 12 bar를 조금 웃도는 압력을 유지하는 상태

에서 과포화 증기가 팽창기로 유입되는 것을 알 수 있다. 이에 따라 팽창기의 축동력이 1.2 kW 이상 나타난다. 그러나 Fig. 6에서 보듯이 R-245fa와 같이 7 kg의 Novec 649가 충전된 경우 팽창기 입구 온도가 160°C가 될 때까지 팽창기 입구 압력이 지속적으로 상승하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6에 나타난 Novec 649의 팽창기 입구 온도와 압력을 Fig. 3의 Mollier 선도에 표시해보면 습증기의 질이 0%, 즉 포화액 선을 따라 상승하다가 140°C를 지나서 습증기 구역으로 넘어가지만 아직 완전한 포화증기로 변하지 않았음을 알 수 있다. 따라서 Novec 649를 과포화 구간에서 운전하기 위해서는 일정한 열량을 가해주는 상태에서 팽창기 입구 압력을 줄이거나 더 많은 열을 공급해 주어야만 한다. 이러한 방법 중의 하나가 시험기에서 R-245fa를 작동유체로 운전할 때는 7 kg의 충전량이 적절했지만, Novec 649를 작동유체로 운전할 경우에는 이보다 적게 작동유체를 충전하는 것이다. 실제로 얼마나 적으며, 그 정량적 한계 등에 따른 시스템 거동은 추가적 관찰을 통해 확인 될 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구를 통하여 얻어진 데이터를 바탕으로 앞으로 임의의 작동유체에 대한 최적 충전량 결정 방법을 연구하여 발표할 수 있도록 준비할 예정이다.

#### 4. 결 론

Novec 649와 R-245fa 두 냉매를 ORC 발전 시스템의 작동유체로 사용하여 각각의 충전량 대비 성능 변화를 관찰을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Novec 649 작동유체는 R-245fa에 비하여 잠열 구간이 적어 기화시키는데 필요한 에너지양이 적고 운전 영역의 엔탈피가 R-245fa보다 낮기 때문에 보다 적은 에너지원으로도 발전이 가능할 수 있다.

(2) Novec 649의 잠열 에너지량은 R-245fa의 그것보다 78% 정도로 적으나, 엔트로피 팽창을 가정한 이론 팽창기를 통해 얻는 발전량은 약 56% 정도로서, Novec 649의 발전효율은 R-245fa의 그것에 비하여 상대적으로 적다.

(3) 시스템 내 작동유체가 과 충전될 수록 시스템 운전 안정도가 미흡하게 충전된 경우보다 저하한다.

(4) 동일한 ORC System에 R-245fa 대신 Novec 649를 충전한다고 가정했을 경우, Novec 649의 충전량은 R-245fa의 그것에 비하여 적어야 한다.

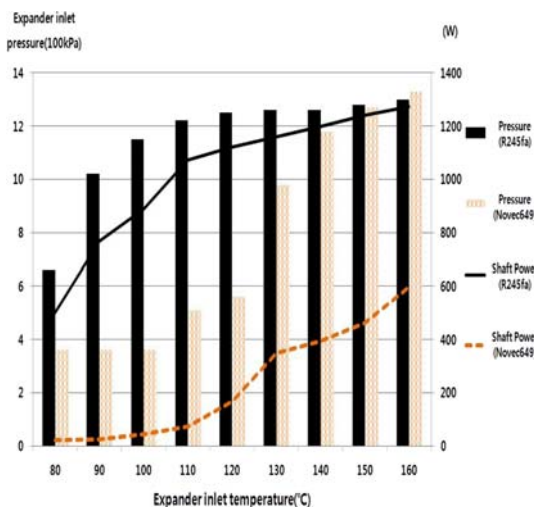


Fig. 6. Comparison of Expander Inlet Pressure and Shaft Power for Novec 649 and R-245fa with respect to Expander Inlet Temperature.



(5) 작동유체의 팽창기 입구온도가 높을수록 발전량이 커지고, 입구온도가 낮을수록 적어진다.

## 후 기

이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0022665).

## References

1. Tchanche, B. F., Papadakis, G., Lambrinos, G., and Frangoudakis, A., 2009, Fluid Selection for a Low-Temperature Solar Organic Rankine Cycle, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, pp. 2468-2476.
2. Tchanche, B. F., Papadakis, G., Lambrinos, G., and Frangoudakis, A., 2009, Fluid Selection for a Low-Temperature Solar Organic Rankine Cycle, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, pp. 2468-2476.
3. Lemort, V., Quoilin, C., Cuevas, C., and Lebrun, J., 2009, Testing and modeling a scroll expander integrated into an Organic Rankine Cycle, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 29, pp. 3094-3102.
4. Chang, H. S., Song, Y. K., and Han, Y. S., 2012, Interim Report on Development of Efficiency Assessment Technology for Secondary Power Generation Systems, KPU, pp. 7-23.
5. Buijtenen, J. V., 2011, Design, Developen and Operation of the Tri-O-Gen ORC Power Unit, Tri-O-Gen, Sep. 2011.
6. Park, H. S., Cho, H. C., and Lee, Y. K., 2001, Development of 1 MW Organic Rankine Cycle System, *Energy Engg. J.*, Vol. 10, No. 4, pp. 318-326.
7. Korea Institute of Energy Research, 1991, For the utilization of waste heat recovery Organic Rankine Cycle Development and Application Research(iii), Korea Institute of Energy Research.
8. Vankeirsblick, I., Vanslambrouck, B., Gusev, S., and De Paepe, M., 2011, Organic Rankine Cycle as Efficient Alternative to Steam Cycle for Small Scale Power Generation, HEFAT2011, July 2011.
9. Kyung, I. K., 2012, Applications of Ammonia/water Absorption Cycle in the United States, Energy Concepts Co.
10. Ziviani, D., Beyene, A., and Venturini, M., 2012, Application of an Advanced Simulation Models to a Micro-CHP ORC-Based System for Ultra-Low Grade Heat Recovery, ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition. November 2012.
11. Simader, G., Krawinkler, R., and Tmka, G., 2006, Micro CHP systems: state-of-the-art Final Report, Deliverable 8 (D8) of Green Lodges Project (EIE/04/252/S07.38608), March 2006, Vienna
12. Durmaz, A., Pugh, R., et al., 2013, Novel Application of Organic Rankine Cycle (ORC) Technology for Waste Heat Recovery from Reheat Furnace Evaporative Cooling System, TMEIC Final Review Report, 2013.
13. Chang, H. S., Song, Y. K., and Han, Y. S., 2013, Performance Analysis of an ORC System for Two Different Working Fluid, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 25, No. 7, pp. 413-417.