

터보열펌프의 서지특성에 대한 실험적 연구

김혜림, 김길영*, 정진희*, 송성진
서울대학교 기계항공공학부, LS엠트론(주)*

Experimental Study on Surge Characteristics in Turbo Heat Pumps

Hye Rim Kim, Kil-Young Kim*, Jinhee Jeong*, Seung Jin Song
School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University,
Machinery Research Lab., LS Mtron, Co, Ltd.*

1. 서론

열펌프는 저온부의 에너지를 외부의 기계적인 동력원을 이용하여 고온부로 이동시키는 시스템이다. 특히, 터보 열펌프는 작동유체를 냉매로 하여 원심 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기로 구성된다. 냉매는 증발기의 저온부에서 열을 흡수하여 응축기의 고온부에서 열을 방출한다. 이와 같은 시스템은 건물의 냉방시스템 등에 사용되고 있으며 터보열펌프의 대용량화는 압축기 탈설계점 운전을 수반하여 서지와 같은 불안정화 현상을 유발한다. 서지는 유동 방향으로 유량과 압력이 큰 폭으로 진동하는 현상으로 시스템에서 소음과 성능저하를 유발할 수 있다. 터보 열펌프에서는 서지로 냉매의 역류가 일어나 압축기에 손상을 가져온다.

현재까지 가스터빈에서의 서지에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔다. 대표적으로 Greitzer[1, 2]는 작동 유체가 단상(single phase)이고 기체일 때 압축 시스템에서의 서지와 스톨(stall) 현상에 대해 연구했다. Greitzer 이외에도 외부 동력 없이 작동하는 2상 자연순환회로(two-phase natural circulation loop)에서의 유동 불안정 현상에 관한 연구[3], 개방형 루프에서 2상 유동(two-phase open loop system)의 불안정 현상[4] 등이 발표되고 있다.

그러나 폐루프(closed loop)인 열펌프의 유동은 2상(two phase)이고 응축기와 증발기에서 외부와의 열교환에 영향을 받는 등 복잡한 양상을 보여준다. 열펌프에서의 서지는 제어가 어렵고 이에 대한 연구와 이해가 부족한 실정이므로 시급한 해결책 마련이 필요하다.

이에 필자는 논문을 통하여 내부 유동 측정을 통한 실험적 연구에 바탕이 될 열펌프의 이론적 모델링[5]에서 기본 식을 유도하였고, 이를 수치해석적 방법을 이용하여 서지를 예측했다[6]. 본 논문에서는 동일한 조건에서 서지의 예측 결과와 실험과의 비교를 통하여 모델링의 타당성을 검증한다.

2. 터보 열펌프 서지 모델

압축기 출구로부터 압축된 기체 냉매는 응축기로 들어와 냉각수로 열을 방출하고 액체로 상변화를 한다. 액화된 냉매의 온도와 압력은 팽창 밸브를 통과하면서 낮아지고 증발기에서 열을 얻은 냉매는 다시 압축기로 들어가는 순환과정을 거친다.

모델링에 사용된 지배방정식은 Greitzer의 모델[1]을 확장하여 구한다. 연속 방정식과 운동량 방정식, 에너지 보존식, 압축기 이력현상의 식으로 이루어진다. 이다. 이에 대한 자세한 유도 과정 및 설명은 필자의 논문[6]을 참조하도록 한다.

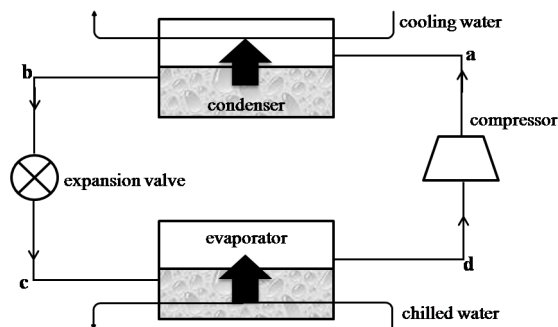
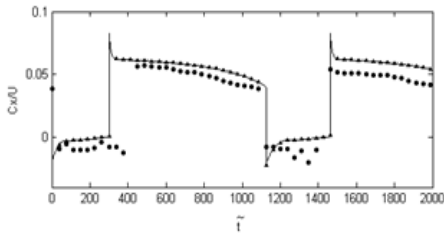


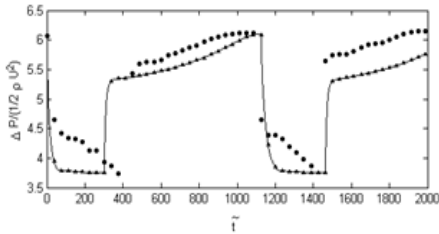
그림 47 터보열펌프 시스템 개략도

3. 실험 결과 예측과 결과 비교

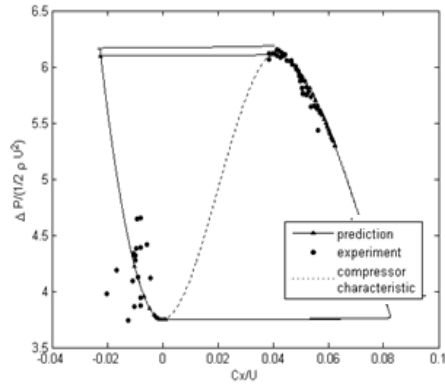
새로운 터보열펌프 모델을 RK4 method로 예측한 것과 LSMtron에서 실시한 실험 결과를 비교해 보았다. 해석에 사용된 무차원 변수와 초기값은 실험과 동일하게 사용하였다.



(a) 시간에 따른 유량



(b) 시간에 따른 압축기 압력상승



(c) 압축기 성능곡선과 서지 사이클

그림 2 서지 예측 결과와 실험 결과의 비교

그림 2는 무차원 시간에 대한 압축기 입구에서의 유량(a)과 압축기에서의 압력차(b)를 무차원화해서 나타낸 그래프이다. 실험결과가 새로운 모델을 통한 예측과 일치하는 것을 볼 수 있다. 그림 2 (c)는 x축이 유량, y축이 압축기 압력상승으로 성능 곡선과 함께 그린 것이다. 이때의 예측값은 딥 서지(deep surge)에 해당하는 그래프 유형을 보인다.

4. 결론

2상 펌프의 터보열펌프에서 시스템의 불안정성을 예측할 수 있는 새로운 모델을 개발하였다. 이를 통해 시스템의 형상과 유동 특성의 초기 값에 따라 압력, 유량 변화를 예측할 수 있다. 실험결과와 비교해 봤을 때 이 모델이 서지를 잘 예측할 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. Greitzer, E. M., Surge and Rotating Stall in Axial Flow Compressors. Part1: Theoretical Compression System Model, *Journal of Engineering for Power*, Transactions ASME, **98**(2), Ser A, 190-198, (1976)
2. Greitzer, E. M., Surge and Rotating Stall in Axial Flow Compressors. Part2 : Experimental Results and Comparison With Theory, *Journal of*

- Engineering for Power*, Transactions ASME, **98**(2), Ser A, 199-217, (1976)
3. Kim, J. M. and Lee, S. Y., Experimental observation of flow instability in a semi-closed two-phase natural circulation loop, *Nuclear Engineering and Design*, **196**(3), 359-367, (2000)
 4. Kakac, S. and Bon, B., A Review of two-phase flow dynamic instabilities in tube boiling systems, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **51**(3-4), 399-433, (2008)
 5. 김혜림, 김진욱, 송성진, “터보열펌프의 서지특성에 관한 모델링”, 에너지공학회, (2008)
 6. 김혜림, 송성진, “터보열펌프의 서지특성에 관한 모델링”, 기계학회, (2008)