

CO₂ 환경하에서 접촉 표면에 적용한 마이크로 딥플 패턴이 마찰 및 마멸에 미치는 영향 연구

전홍규 · 한규철 · 최진호* · 김규만* · 조성욱** · 이영제†

성균관대학교 기계공학부, *경북대학교 기계공학부, **삼성전자 Digital Appliance Network Business

Friction and Wear Characteristics of the Micro-dimple Surfaces in Rotary Compressor with Carbon Dioxide as Refrigerants

Hong-Gyu Jeon, Kyu-Cheol Han, Jin-Ho Choi*, Gyu-Man Kim*, Sung-Ouk Cho** and Young-Ze Lee†

School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University

School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

Digital Appliance Network Business, Samsung Electronics

(Received August 7, 2008; Revised October 20, 2008; Accepted October 24, 2008)

Abstract – Due to the environmental concerns, especially the greenhouse effect and GWP (Global Warming Potential), the carbon dioxide was investigated as an alternative natural refrigerant to replace HFCs (HydroFluoroCarbons) in refrigerator or air conditioning systems. Because new compressor with carbon dioxide is going to be operated under the high pressure, the tribology of sliding surfaces in the compressor becomes very important. To improve of wear resistance in compressor parts, especially rotary type, the friction and wear characteristics of improved sliding surfaces between vane and flange were evaluated in this paper. The method of reformed sliding surface, such as micro-dimple processes, was applied on surfaces in order to improve the tribological characteristics, and their performances were evaluated experimentally. The vane-on-flange type lubricated sliding tests were performed with a high pressure wear tester using carbon dioxide. Test results showed that the reformed surfaces were very effective to reduce the friction and the wear amounts of vane surfaces. The method of improved surfaces showed good tribological properties at vane and flange.

Key words – rotary compressor, carbon dioxide, micro-dimple, photolithography, electrochemical etching.

1. 서 론

현재까지 CFC계 및 HCFC계와 같은 합성물들이 냉매로써 널리 이용되어 왔다. 그러나 이러한 냉매가 성층권의 오존층의 파괴를 유발함에 따라 사용이 점차 제한되었다[1]. 따라서 오존층을 파괴하지 않는 HFC계 혼합냉매가 대체냉매로 사용되기 시작하였다[2-3].

한편 오존층 문제와 더불어 중요한 환경문제는 지구 온난화 현상이다. HFC계 혼합냉매는 오존층 파괴를 유발하지 않지만 높은 지구온난화지수(Global Warming

Potential; GWP) 때문에 계속 이용할 수 없다는 의견이 제기되었다. 지구온난화지수란 기준이 되는 하나의 기체와 비교했을 때 각각의 기체가 지구온난화에 영향을 미치는 정도를 상대적인 수치로 나타낸 것이다. 이에 따라 대체 냉매에 대한 연구의 초점은 지구온난화 지수가 낮은 유체로 변화였고, 점차 자연냉매에 대한 관심이 증가하게 되었다.

물, 암모니아, 질소, 이산화탄소 등은 인공화합물이 아닌 지구상에 자연적으로 존재하는 물질이므로 자연냉매라 하며, 지구 환경에 추가적으로 악영향을 미치지 않는다. 따라서 최근에 이러한 물질을 냉매로 적용하는 방법을 적극적으로 검토하고 있다[4]. 이들 자연냉매 중

†주저자 · 책임저자 : yzlee@skku.edu

가장 각광을 받고 있는 것은 이산화탄소(carbon dioxide; CO₂)이다.

이산화탄소는 안정성이 뛰어나고 무취, 무독, 부식성이 없으며, 연소 및 폭발성이 없는 물질이다. 하지만 이산화탄소는 포화압력이 높기 때문에 냉매로써 압축기 및 냉동 공조시스템에 적용할 경우 고압 사이클의 작동 환경이 필요하게 된다. 따라서 시스템 전체적인 내압 설계와 내압성 재료의 선택이 필요하며, 압축기 내의 응력 해석과 윤활해석 및 윤활특성의 재검토가 필요하다[5]. 고압 환경을 형성하는 CO₂의 특성으로 인하여 압축기 내부의 구동부는 다른 냉매를 사용하는 압축기 보다 더욱 가혹한 윤활환경에서 작동하게 된다.

따라서 이번 연구에서는 압축기 구동부의 접촉 표면에 마이크로 덩플 패턴 기술을 적용하여 마찰 및 마멸 특성을 향상에 대한 연구를 수행하였다. 윤활유로는 PAG (polyalkyne glycol)를 사용하였고, 고압마멸시험기를 이용하여 오일과 냉매의 혼합환경을 형성하여 마찰 및 마멸 특성을 평가하였다.

2. 실험

2-1. 실험 장치 및 시편

Fig. 1의 고압마멸시험기를 이용하여 실제 압축기의 작동환경을 구현하였다. 압력용기에 냉매를 주입하여 윤활유와 냉매의 혼합환경을 형성하였다. Pin과 disk 시편은 시험편 홀더에 고정되며, disk 시편을 통하여

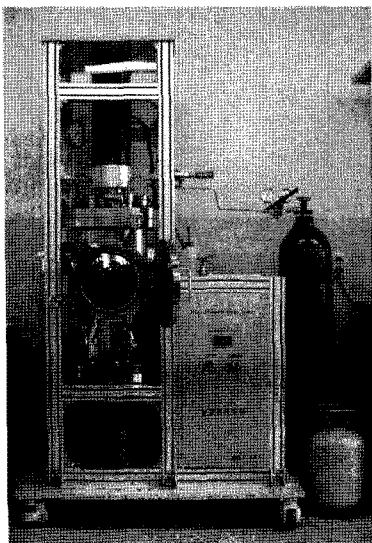


Fig. 1. High pressure wear tester.

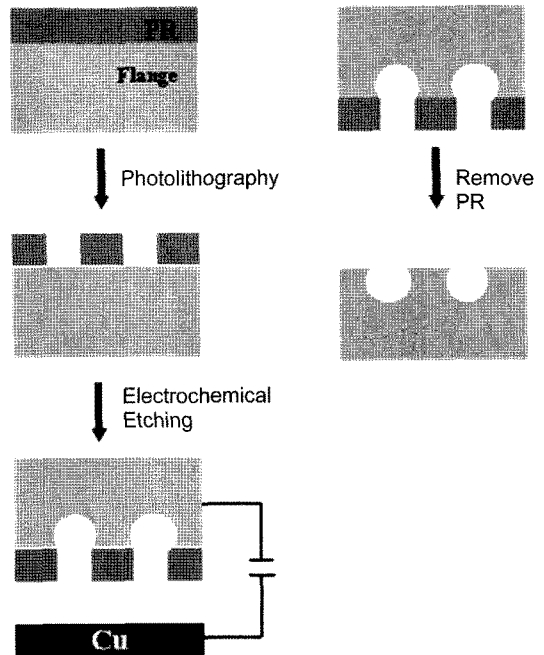


Fig. 2. Overall procedure.

수직하중이 가해지고, pin 시편이 회전함으로써 미끄럼 실험을 수행한다. 수직하중은 스프링을 통해 가해지도록 하여 수직하중의 변동을 줄였으며, 안정된 회전속도를 얻기 위해 샤프트 회전에 서보모터를 사용하였다.

접촉표면은 포토리소그래피(photolithography)와 전해 에칭(electrochemical etching)을 이용하여 마이크로 덩플을 제작하였다. 포토리소그래피는 일반적으로 표면 위에 포토레지스트(photoresist;PR)를 얇게 입히고, 마스크(mask)로 패턴의 형상을 결정한 후 빛을 이용하여 패턴을 형성하는 방법이다[6]. 이를 다시 전해가공하면 패턴의 형상대로 표면이 가공되는 것을 확인할 수 있으며, Fig. 2에 가공과정을 나타내었다.

Fig. 3은 포토리소그래피와 전해에칭을 이용하여 접촉 표면에 가공한 마이크로 덩플의 SEM 사진이다. 덩플의 지름은 100 μm의 크기로 형태로 가공하였으며, 에칭 가공의 시간을 달리하여 덩플의 깊이를 1~5 μm, 5~10 μm, 10~15 μm로 가공하였다.

미끄럼 실험은 PAG 오일과 CO₂ 혼합환경에서 수행하였으며, 냉매는 0.5 MPa의 압력에서 1시간 동안 냉매와 윤활유가 충분히 혼합되도록 하였다. 실험조건은 200 N의 하중과 100 rpm의 미끄럼 속도, 15 min의 실험 시간을 적용하였다.

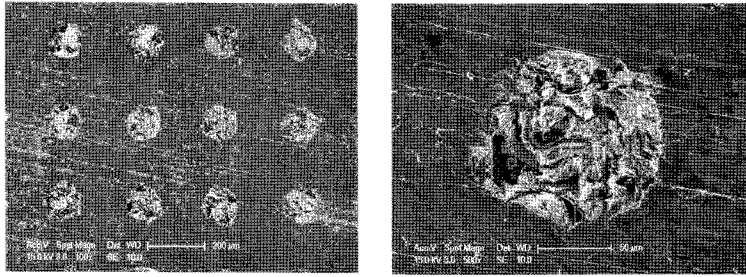


Fig. 3. SEM image of the micro-dimple patterning surfaces.

3. 실험 결과

CO₂ 환경에서 접촉 표면에 가공한 마이크로 디플이 마찰 및 마멸에 미치는 영향을 알아보기 위하여 마이크로 디플 가공을 적용하지 않은 시편, 마이크로 디플의 깊이를 다르게 가공하여 실험을 수행하였다.

Fig. 4는 미끄럼 실험 수행 후 각 조건에 따른 마찰계수를 나타낸다. 마찰계수는 실험 시간 동안의 평균을 나타내었으며, 마이크로 디플의 적용에 따라 약 6%의 마찰계수 저감 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

마찰 실험 후 각각의 실험 조건에 따라 pin과 disk의 마멸량을 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. 마이크로 디플 가공을 적용한 시편의 마멸량을 살펴보면 디플 가공으로 인하여 내마멸성이 크게 향상된 것을 확인할 수 있다. 또한, 마멸 저항성이 우수하게 나타나는 최적의 디플 깊이가 있는 것을 확인할 수 있었다.

미끄럼 실험 후 마멸 표면에 대한 SEM 분석을 시행하였다. 마이크로 디플을 적용 여부에 따른 disk시편의 마멸 표면을 Fig. 6에 나타내었다. 실험 후 접촉 표면의 디플 형상이 온전히 남아있는 것을 확인할 수 있

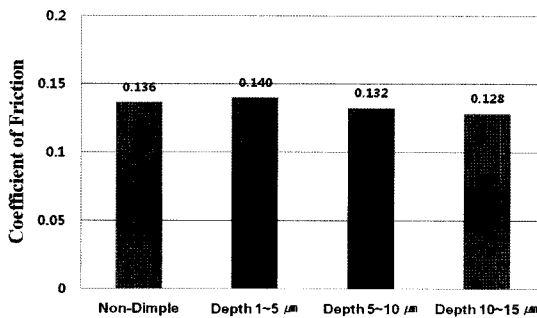
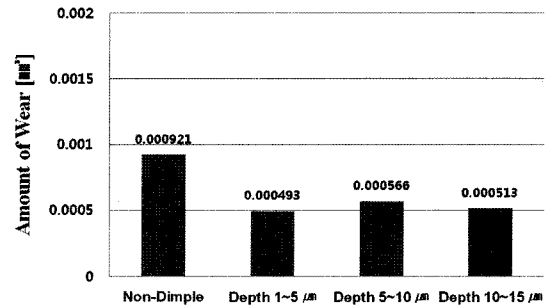


Fig. 4. Coefficient of friction for non-dimple and dimple specimens under CO₂/PAG mixed environment.

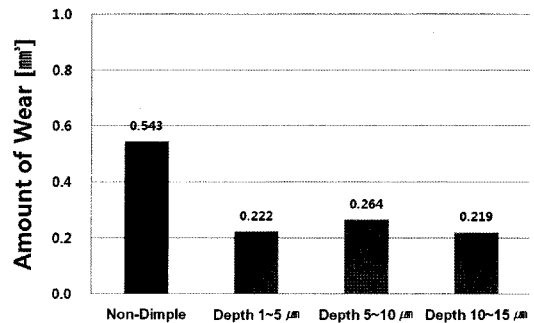
으며, 디플을 적용하지 않은 시편에서 보다 더 많은 스크래치 자국이 관찰되는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

CO₂와 PAG 오일의 혼합 환경에서 접촉 표면에 가공한 마이크로 디플이 마찰 및 마멸에 미치는 영향을 알아보기 위한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.



(a) wear volume of pin specimen



(b) wear volume of disk specimen

Fig. 5. Wear volumes of non-dimple and micro-dimple processed specimens.

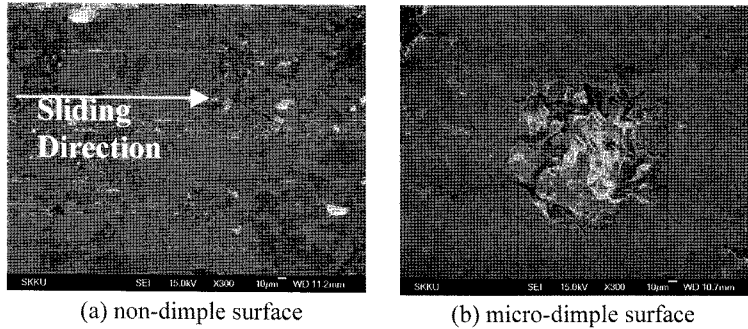


Fig. 6. SEM analysis for the worn surfaces after sliding test under CO₂/PAG mixed environment.

접촉 표면에 마이크로 딥플 가공을 적용함으로써 약 6%의 마찰 감소 효과를 나타내었으며, 내마멸성 효과도 우수하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 1~5 μm 의 딥플의 깊이에서 가장 우수한 내마멸 성능을 나타내는 것을 통하여 윤활 성능이 우수한 최적의 딥플 깊이가 존재하는 것을 알 수 있었다. 마이크로 딥플 적용에 따른 윤활 성능 향상 원인으로서는 딥플이 윤활유 저장 역할과 미끄럼 환경에서 윤활유 유동에 따른 오일 펌프 효과로 인하여 마멸 부피가 감소하는 것으로 판단된다.

후 기

본 연구에 도움을 주신 지식경제부, 삼성전자 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고 문헌

1. United Nations Environment Programme, Mont-real

Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer. Final Act, 1989.

2. Jonsson, U.J., Lubrication of Rolling Element Bearings with HFC-Polyolester Mixtures, *Wear*, Vol. 232, pp. 185-191, 1999.
3. Lee, Young-Ze, and Oh, Se-Doo, Friction and Wear of the Vane/Roller Surfaces Depending on Several Sliding Conditions for Rotary Compressor, Proceedings of 2002 International Compressor Engineering Conference at Purdue, Paper No. C10-1, 2002.
4. G. Lorentzen, The use of natural refrigerants: a complete solution to the CFC/HCFC predicament, *International Journal of Refrigeration* Vol. 18, pp.190-197, 1995.
5. M. H. Kim, J. Pettersen and C. W. Bullard, Fundamental process and system design issues in CO₂ vapor compression systems, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 30, pp. 119-174, 2004.
6. Marc J. Madou, *Fundamentals of micro fabrication*, pp. 1-69, CRC Press, 2002.