

로타리압축기 실린더 Slot 부의 주조조직에 따른 가공표면 및 마모특성에 관한 연구

김동한

LG 전자 리빙시스템연구소 COMP Team

The Wear characteristics and Machinability to The type of Cast-iron of The Slot part of cylinder for Rotary compressor

Dong-Han Kim

COMP Team, Living System Laboratory, LG Electronics

Abstract—The Part of slot on rotary compressor which plays an important part of the reliability and performance is studied on machinability and the wear characteristics for the specimen made by sand mold and permanent mold. The experiment are used the face cutter of milling machine which make the processing surface like broaching process and roll-block wear test machine. Permanent-mold casting iron is not affected by variation of RPM of milling machine, but sand-mold cast-iron is improved to increasing RPM. Also sand-mold casting iron shows superior wear characteristic to permanent-mold casting iron. This results from harder matrix of pearlite structure and self-lubrication characteristics of graphite. And wear particles in tested oil show shape and size similar to severe wear particles of oil taken from rotary compressor. The material and surface condition of slot play important part of the reliability and performance.

1. 서론

에어컨용 압축기로 쓰이는 로타리 압축기는 대체 냉매 적용 및 효율 향상의 요구에 대응하기 위하여 그 성능과 신뢰성을 확보하기 위한 많은 연구가 행해지고 있다. 또한 가격 경쟁력을 가지기 위한 비용 절감은 간과할 수 없는 과제로 남아 있다.

로타리 압축기의 실린더는 회주철을 사용하여 제조되어지고 있는데 그 주조 방식과 열처리에 따라 실린더의 금속 조직의 차이가 생기며, 그 차이는 생산 원가, 표면 가공 상태, 마모 특성 등에 영향을

미친다. 가장 대표적인 주조 방식으로는 사형 주조와 금형 주조로 나눌 수 있는데, 그 방식에 따라 각각 장단점을 가지고 있으며 Table 1에 나타내었다. 사형 주물은 그 생산공정이 간단하여 생산비용이 적고, 내마모성이 좋은 장점을 가지는 반면, 금형 주물로 제작 시는 실린더 제작 시 공구 마모를 줄일 수 있어 생산 원가를 낮출 수 있다. 이러한 장단점으로 금형 주물과 사형 주물이 사용되어지고 있다.

현재 로타리 압축기 운전 중 기계 손실의 많은 부분이 slot 부에서 발생된다. 실린더의 Slot 부는 Broach tooth를 사용하여 실린더에 Slot 부를 가공한 후 연마 공정 없이 사용되어지며, 이로 인해 발생되어

진 slot 부의 거친 표면이 압축기의 입력 상승 및 주요한 마모 발생의 원인으로 작용하고 있다. 또한, 이때 생긴 마모 입자들은 다른 부위의 2 차적인 마모를 발생시킬 가능성이 크며, 압축기 내 주요 공차 관리부인 slot 부의 거친 표면은 전반적인 압축기 성능 개선을 위해 개선해야 할 여지가 많다. 로타리 압축기의 단면도, 실린더 형상 과 Broaching tooth 을 Figure 1,2 에 각각 나타내었다. 이러한 slot 부는 주물의 재질차 이에 의하여 그 가공 표면과 내마모성이 영향을 받기 때문에 적절한 재질 선택은 무엇보다도 중요하다

본 연구에서는 각 주물의 재질 특성이 Slot 부 가공 시 가공 표면에 미치는 영향과 각 주물의 마모 특성을 파악하기 위하여 실시하였다. 먼저 실린더의 주조 방식에 따른 금속 조직의 차이가 slot 부의 가공성 및 마모 특성을 연구하기 위하여 slot 부와 유사한 가공 방법으로 가공하여 금속 조직이 가공 표면에 미치는 영향을 관찰하였고, 마모 특성을 파악하기 위해 마모 실험을 실시하였다. 또한 각 주물로 제작된 slot 부의 마모가 압축기의 마모에 어떠한 영향을 주는지를 파악하기 위하여 마모 실험 후 오일 내의 마모 입자를 분석하여 수명시험 후 압축기의 오일 내 존재하는 마모 입자와 비교하여 압축기 전체 마모량에 대한 slot 부의 마모량을 측정하여 그 영향을 간접적으로 평가하였다.

Table 1. The comparison between sand-mold and metal-mold gray iron

Mold	Sand	Permanent
cost	Low	High
Wear of wear	High	Low
Anti-wear	High	Low
Hardness	High	Low

2. 실험

2-1. 재료 분석

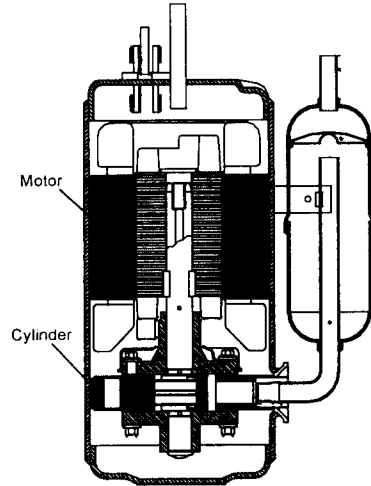
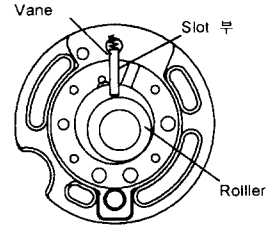


Figure 1. Schematic diagram of cylinder and rotary compressor .

각 주물은 성분, 금속조직 사진과. 경도를 측정하였다, 경도는 Rockwell 경도계 B Scale 로 측정하였다. 금형주물은 주조 후 870 °C에서 1 시간 30 분 annealing 처리하여 취약한 주조조직을 제거하여 사용하였다.

2-2 Slot 부의 표면 상태 관찰

각 주물의 실린더를 broaching 후의 slot

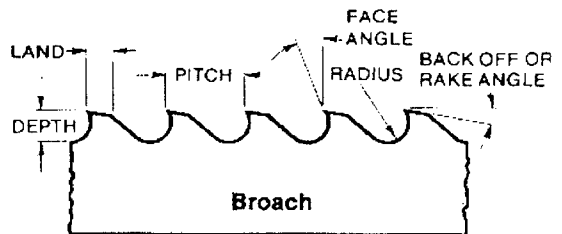


Figure 2. Broach Tooth

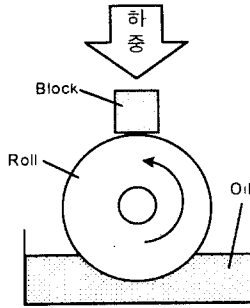


Figure 4. The roll-block wear tester

부를 절개하여 표면 조도를 조도측정기 (surf test 600, Mitutoyo)를 이용하여 측정하였으며, 표면 상태는 전자현미경으로 관찰하였다. 표면의 조도는 broaching 방향과 수직하게 측정하였다.

2-3 가공성실험

Broaching 과 유사한 가공 조건을 만들기 위하여 Milling 기의 Face-Cutter 를 사용하였으며, 가공 조건에 따른 영향을 관찰하기 위하여 Milling 기의 RPM 을 변화 시켰다. Table 2 는 Milling 기의 실험 조건을 나타내었다. 가공 조건에 따른 영향은 조도 측정기와 SEM 으로 관찰하였다.

2-4 마모실험

마모실험은 Roll-Block type 의 마모실험기

Table 3. The condition of wear test

Load	Dry condition : 140N Lubrication : 400, 550, 800 N
Velocity	300 rpm
Time	Dry condition : 500 sec Lubrication : 90 min
Roughness	Block : 3 Rz Roll : 1 Rz

Table 4. The condition of Milling machine

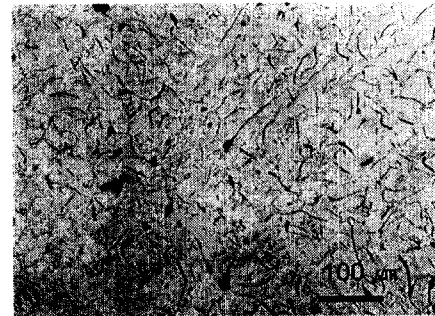
Feeding Velocity	170 mm/min
Cutting Depth	0.2mm
Tool	Tool steel (P30)
RPM	500,800,1100,1600

를 사용하였다. Figure 4 는 그 계략도를 나타낸다. 마모 실험은 무윤활 조건과 윤활 조건에서 실시되었으며, 윤활유는 Ester oil(Ferol a 68NL)을 사용하였다.

마모 시편은 각 주물의 실린더로부터 채취하였으며, 상대재인 Roll 재료는 압축기 베인 재료인 SKH51(경도 HRC=63.5)를 열처리하여 사용하였다. 마모량은 무윤활 조건의 경우 무게 감소량으로 윤활 조건의 경우는 Slider 의 마모폭으로 측정하였다. Table 3 은 마모 실험 조건이다.

2-5 마모입자분석

마모 실험 후 Oil 를 일정량 채취한 후 TCE 로 희석하여 Ferrography 를 사용하여 마모 입자가 크기와 종류별로 slide glass 에 나열되어진 Ferrogram 을 만든 후에 광학 현미경으로 분석하였다. 마모입 자량은 Ferrogram 의 Entry 부분의 마모 입자의 침전 면적을 x50 배의 광학 현미경으로 촬영 후 그 면적을 계산하였다.



(a) sand mold (x100)



(b) permanent mold (x100)

Figure 5. Structure of gray iron

Table 4. Comparison of gray cast iron

Type of mold	Sand	Permanent
Structure of matrix	Pearlite	Ferrite
Type of graphite	A	D+E
Hardness(HRB)	94	84

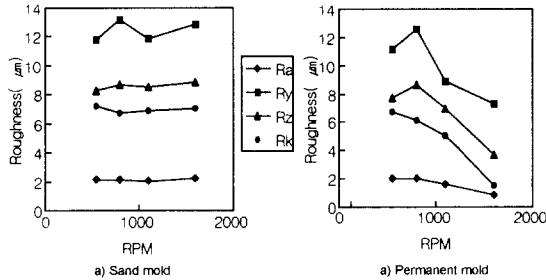


Figure 6. Effect of roughness for RPM

3. 결과 및 고찰

주조 방식에 따른 금속 조직과 그 특성을 Table 4와 Figure 5와 같다. 사형 주조의 흑연 조직은 일종의 고체 윤활제 역할을 하는 것으로 알려져 있으며, 경한 Pearlite 인 기지 조직은 Ferrite 기지 조직인 금철 주물에 비하여 상대적인 공구 마모를 일으키는 원인을 제공한다.

Figure 6은 가공성 실험 후의 조도의 변

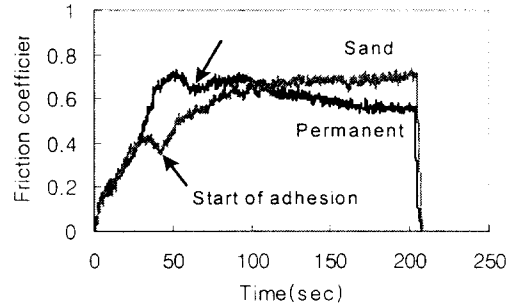
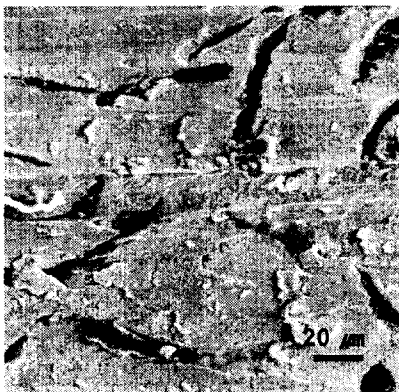


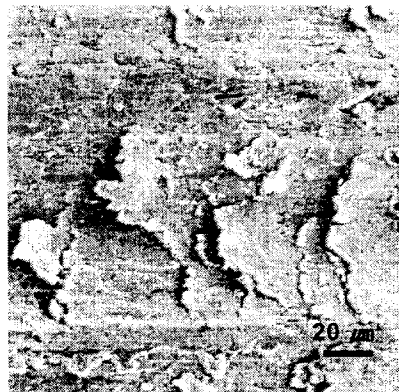
Figure 8. Variation of the coefficient of friction

화를 나타내고 있는데 밀링기의 RPM 증가에 따라 금형 주조의 경우 그 값이 큰 변화가 없는 것에 비하여 사형은 조도 값이 낮아짐을 보여주고 있다. 즉, 사형 주조의 경우 가공 공정 변수를 변화 시킴에 따라 그 가공 표면을 개선할 여지가 있으나 금형 주조는 가공 공정 변수에 대한 영향이 상대적으로 미미하다.

이것은 가공 시 금형 주조의 경우 공구와 응착이 발생하기 때문인 것으로 생각되어진다. Figure 7은 금형 주물의 가공 표면이 가공 방향에 따라 응착되어진 흔적을 보여주고 있다. 이에 반하여 Figure 8의 사형 주물은 심하게 응착되어진 흔적을 찾을 수 없으며 이것은 기지 조직이 경한

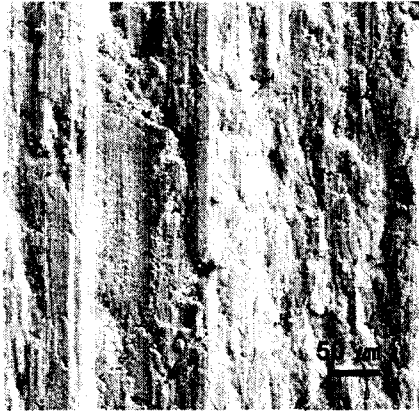


a) Sand mold

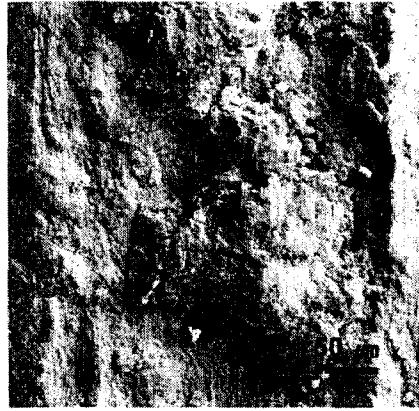


b) Permanent mold

Figure 7. SEM images of milling surface (1100 rpm, x500)



a) Sand mold



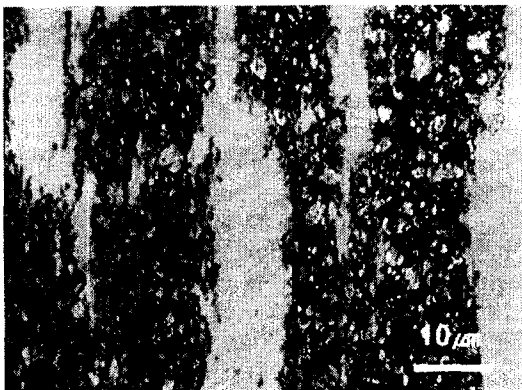
b) Permanent mold

Figure 8. SEM images of wear surface (1100 rpm, x200)

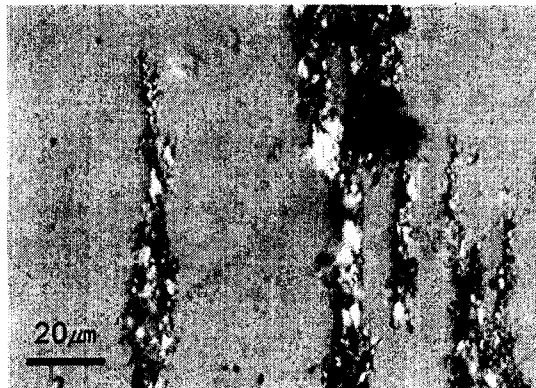
Pealite 이고 흑연이 고체 윤활제 역할을 하기 때문인 것으로 생각되어진다. 실린더를 제작한 후 Broaching 한 Slot 부 표면을 관찰한 결과도 이와 같은 결과를 나타내었다.

마모실 험에 있어서도 비슷한 결과를 나타내고 있는데, 무윤활 마모 실험의 경우 사형 주물은 응착이 발생한 후에도 마찰계수가 감소하며 급격한 마모의 진전을 볼 수가 없었다. 그러나 금형 주물의 경우는 응착 발생과 동시에 마모량이 급격히 진전되었다. Figure 8 과 같이 금형 주물은 초반에 마찰 계수가 증가하다가

감소하는 현상을 보이는데 이때부터 응착 발생하여 본격적인 마모가 진전됨을 관찰할 수 있었다. 사형 주물은 응착이 발생한 후로도 마찰계수가 감소하는 현상을 보여주고 있다. 이는 Pealite 조직의 내마모성과 흑연의 역할 때문으로 생각되어진다. 각 주물의 마모량은 사형 주물의 경우 1.337g, 금형 주물의 경우 0.01g으로 마모량에서도 큰 차이를 나타내었다. Figure 8 은 건마찰 실험 후의 마모 표면을 나타내고 있으며, 금형 주물의 경우 응착에 의해 마모가 발생되어져 표면에 붙어 있는 큰 마모 입자를 관찰할 수 있었다.



a) After wear test



b) After life test of rotary compressor

Figure 10. Optic micrograph of Ferrogram

운할 조건의 경우 사형 주물의 경우가 마모량이 적었으며 그 이유는 무운할 실험과 같은 이유로 생각되어진다. 또한 흑연이 있던 자리는 훌륭한 오일 pocket 역할을 수행한다. Figure 9와 같이 하중 증가에 따른 마모량의 변화는 두 주물에 있어서 비슷한 양상을 나타내고 있다. 그러나 마모 실험 후 오일 내에 존재하는 마모 입자는 금형 주조의 경우가 상대적으로 많았으며, Ferrogram의 Entry의 마모 입자의 침적 면적은 550N 경우 사형 주물의 경우 12%이며, 금형 주물의 경우 91%의 면적을 차지하여 발생되어진 마모 입자의 양도 많음을 알 수 있었다. 또한 마모 형태에 있어서도 Figure 10의 오른쪽 그림과 같이 실제 압축기의 오일 내에서 발견되어지는 심한 마모에 의한 입자 형태가 많이 관찰되어졌다. 이 마모 입자는 주철로 되어진 기계 부품에서 심한 마모가 일어났을 때 발생되어지는 입자이다. 이 입자는 330 °C에서 90 초 정도 가열되어지면 약간 붉은색을 나타내므로 Ferrogram에서 쉽게 마모 입자가 주철임을 확인할 수 있다. 이러한 입자의 존재는 압축기 내의 심한 마모가 발생되어지는 부분은 주로 Slot 부임을 알 수 있으며, 이때 발생되어진 마모 입자는 다른 기계 부품의 마모를 발생시키는 원인을 제공할 수 있다. 이는 실린더 재질 및 Slot 부의 표면 상태가 압축기의 신뢰성에 매우 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

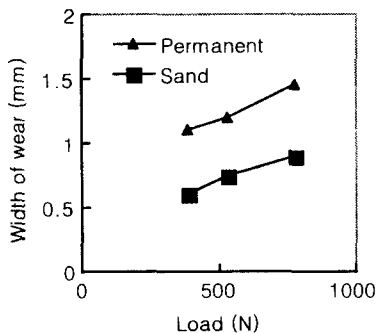


Figure 9. Effect of load on width of wear

4. 결론

실린더의 주조 방식에 따른 재질 차이가 내마모성 및 Slot 부의 가공 표면에 미치는 영향에 대한 연구를 하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 금형 주물의 경우 RPM 변화에 따라 표면 상태가 크게 변화하지 않으나 사형 주물은 조도값이 향상 되었다. 즉, 금형 주물은 가공 변수에 의해 크게 의존하지 않으나, 사형 주물의 경우 가공 공정 변수의 적절한 적용으로 표면 상태를 개선할 수 있다.
2. 사형 주물의 Pearlite 기지 조직의 내마모성과 흑연의 윤활성 때문에 금형 주물보다 우수한 내마모 특성을 나타낸다.
3. 실험 후 존재하는 오일 내 마모 입자의 형태로 보아 Slot 부가 압축기 내에서 심한 마모가 발생하는 부위이다.
4. 실린더 재질 및 Slot 부의 표면 상태는 압축기의 신뢰성에 있어서 매우 큰 영향을 미친다.

참고문헌

1. Bhart Bhushan and B.K.Gupta, "Handbook of Tribology , Material, coating, surface, Treatments", McGraw-Hill Publishing Company.
2. Jin Zhanming, Liang and Jin Yuansheng, " Sliding wear of cast-iron coating and cast-iron-cast-iron pairs in lubricated contact" Wear, 152(1992),152-261.
3. Liu Jia-Jun, Chen Yu and Cheng Yin-Qian , "The generation of wear debris of different morphology in the running-in procees of iron and steels", Wear,154(1992) 259-267.
4. Daniel P.Abderson , " Wear Particle Atlas"
5. Metal Handbook, Vol 1, ASM
6. Barwell, F.T.,Bowen,J.P.,and Westcott,V.C. "The use of temper colors in Ferrography", Wear, 44(1977) 163-171