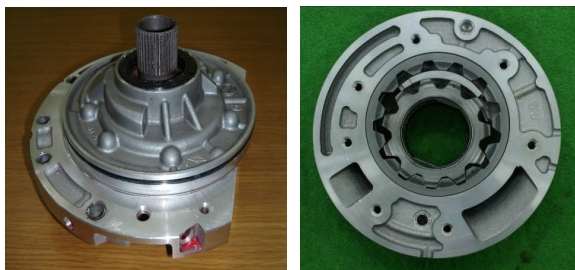


내접기어펌프의 불순물 가속수명시험을 위한 입자 민감도 연구 Experimental Study of Particulate Sensitivity in an Internal Gear Pump for Accelerated Life Test with Contaminants

강보식 · 박종원 · 최병오 · 신정훈
B. S. Kang, J. W. Park, B. O. Choi and J. H. Shin

1. 서 론

먼지가 유입되기 쉬운 기계부품들에서는 필터관리가 제대로 되지 않았을 경우 불순물의 유입으로 인해 현저한 수명저하가 나타난다. 이러한 불순물에 의한 수명저하현상을 역으로 활용하여 제품개발에 필요한 가속시험¹을 위해 인위적으로 불순물을 투입하기도 하는데, 본 해설서에서는 다양한 불순물 입자의 영향에 따른 기계의 수명예측을 위해 JIS규격²에서 규정한 시험용 먼지(test dust)들을 윤활유에 투입하여 자동차 오일공급용 내접기어펌프의 성능열화를 관찰하였다. 본 시험에서는 불순물의 종류를 달리하여 입자의 성분구성과 사이즈에 따라 마모열화특성이 어떻게 달라지는지 관찰하였다. 내접기어펌프는 그림1과 같은 구조를 하고 있는데, 상대운동부 혹은 윤활부는 그림1(c)와 (d)의 외부로터(outer rotor)와 내부로터(inner rotor)가 맞닿아 운동하는 부위와 각각이 측면관과 맞닿아 상대운동하는 부위로 나눌 수 있다.



(a) 조립체 (b) 회전부



(c) 외부 로터 (d) 내부 로터

그림 1 내접기어펌프의 상대운동 부

2. 시험장치 및 시험절차

Fig. 3은 시험대상품목인 내접기어펌프의 누설 및 마찰토크 시험 장비와 유압회로를 나타낸 그림이다. 내구시험은 100리터의 오일탱크와 각 탱크에 맞물린 기어펌프를 실차 부하이력이 반영하여 자체 개발된 시험용 내구하중이력을 1사이클로 정하여 수행한다. 작동오일의 온도는 120°C로 유지한 상태로 총 내구 시험 150사이클 동안 수행하였다. 내구시험 완료 후 누설 및 마찰토크 성능을 측정하였다. 성능시험에서의 토출압력은 최대압력1.57MPa로 설정하였다.

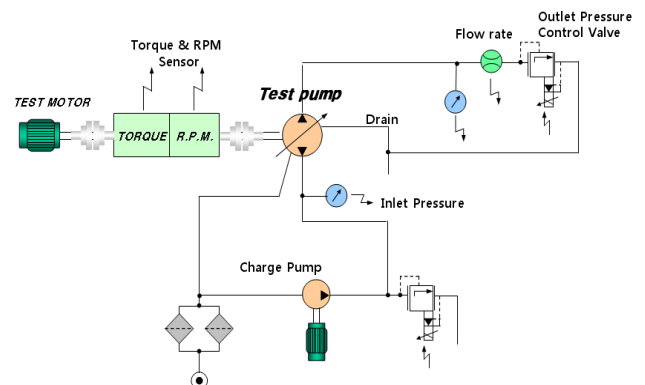


그림 2 펌프의 마찰/누설 시험장치 [ref. 4]

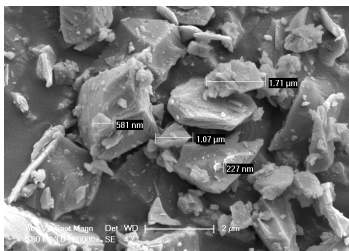
3. 시험용 입자

본 연구에서는 JIS 규격 분체1 중에서 3종류를 선

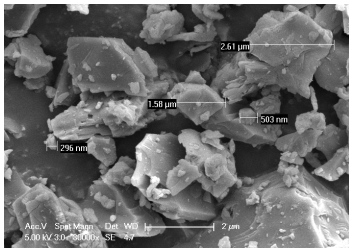
정하였고 (2종, 7종, 8종). 표1은 시험 불순물 각각의 재료성분과 중위지름(Median diameter)의 범위를 요약하였고, 그림3은 각 입자들의 SEM사진들이다. 표에서 알 수 있듯이 2종과 7종의 입자들은 크기와 모양이 동일하고 그 입자의 성분이 다르며, 또 다른 한 쌍인 7종과 8종은 입자의 성분과 모양은 동일하나 입자크기만 다르다. 2종은 7종에 비해 산화철(Fe₂O₃)이나 산화알루미늄(Al₂O₃)이 더 적게 함유 되었다. 시험결과는 이러한 불순물 입자 구성, 입자의 크기, 그리고 불순물의 투입량 순서로 정리 하였다.

표 1 시험용 입자들

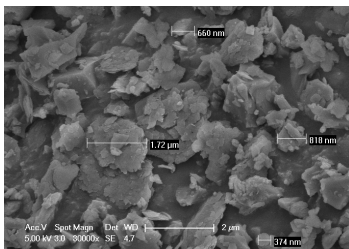
Class	Composition	diameter(μm)
2	석영 모래 (SiO ₂ over 97%)	27~31
7	일본 양토 (SiO ₂ 34~40%)	27~31
8	일본 양토 (SiO ₂ 34~40%)	6.6~8.6



(a) 2 종



(b) 7 종



(c) 8 종

그림 3 입자들의 SEM 사진 (3만 배)

4. 시험결과 및 토론

그림4는 회전부의 불순물에 의한 절삭마모 손상표

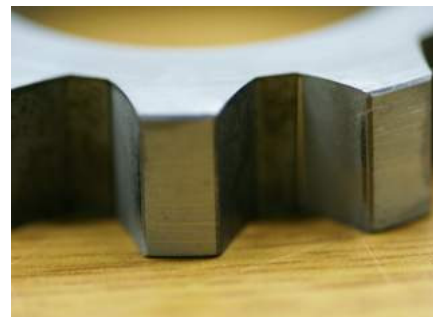
면들을 관찰한 사진들이다. 불순물을 첨가했을 때 기어의 측면과 그 측면들과 상대운동하는 하우징, 고정 지지판의 표면들에서 모두 그림4와 그 정도가 심한 마모형상이 나타났다. 그러므로 특정부위의 마모가 아닌 전체적인 평균마모의 개념을 적용시켜서 열화 분석을 할 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 측판 면



(b) 외부로터 면



(c) 내부로터 면

그림 4 절삭마모 표면 관찰

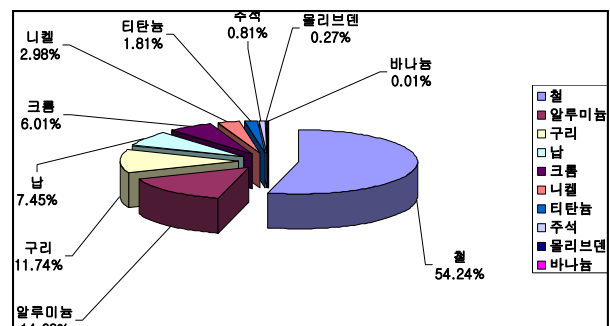


그림 5 내구시험 후 오염유 성분 분석

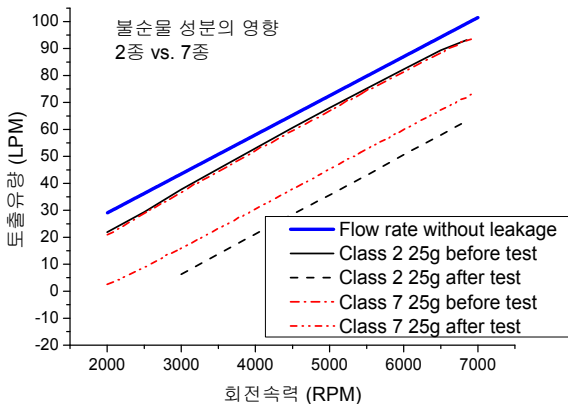
4.1 시험결과

표2는 내구시험 전/후의 누설량을 비교한 결과이다. 기 언급한 대로 표2는 평균마모량의 개념을 사용하여 성능저하를 정의하여 도출한 평균적으로 계산된 누설량 값들이다³. 이것을 위하여 각 시험결과에서 토출유량의 평균차이를 계산하여 누설량을 유추하였고, 그 누설량과 초기 누설량을 비교하면 상대적인 마모 부피 비 혹은 깊이 비를 계산할 수 있다. 그림6와 그림7에 펌프의 전체 평균누설량과 마찰토크

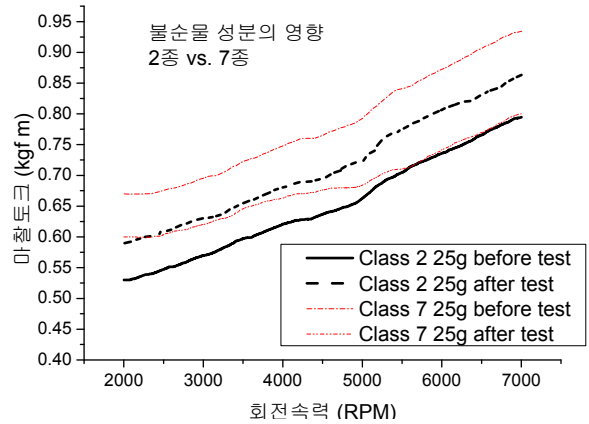
를 불순물 입자 구성, 입자의 크기, 그리고 불순물의 투입량 순서로 나타내었다.

4.2 결과고찰

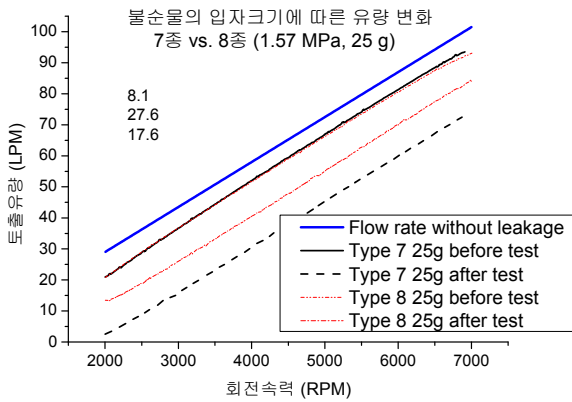
입자성분의 구성비가 상이한 2종과 7종에 대한 그림6(a)의 결과를 보면 연마재로 볼 수 있는 산화규소(Silica)의 양이 늘어난 2종의 평균마모량이 더 큰 것을 알 수 있다. 내구시험전에 유추누설량은 2종과 7 틸세의 평균적인 감소가 있다고 가정하여 내구시



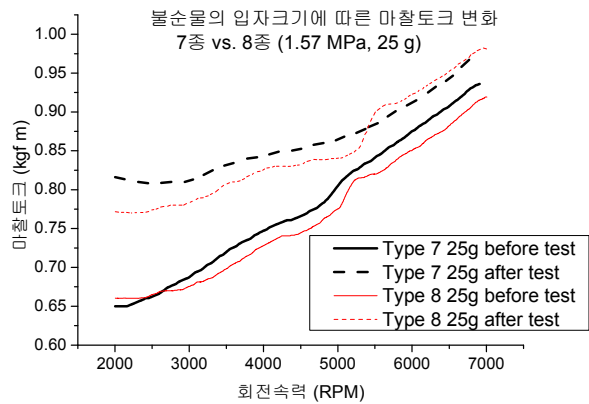
(a) 입자 성분의 영향



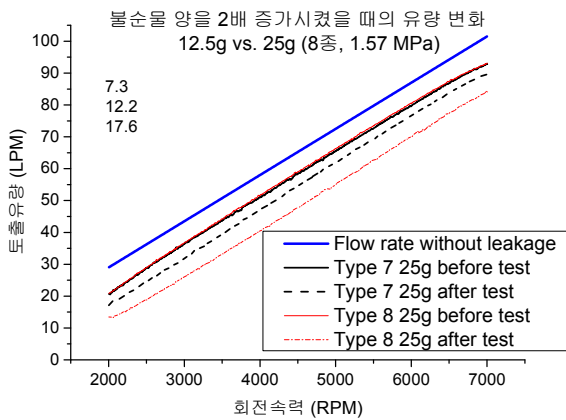
(a) 입자 성분의 영향



(b) 입자크기의 영향

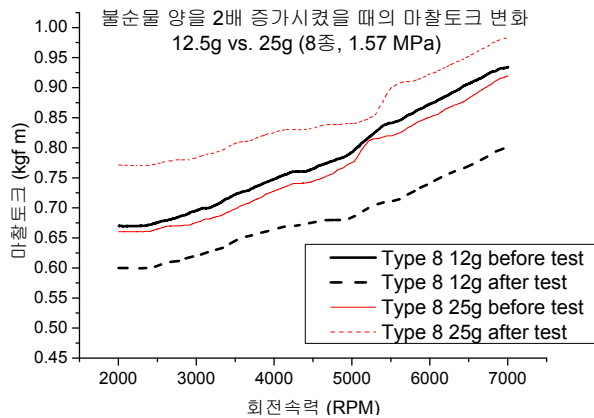


(b) 입자크기의 영향



(c) 불순물 투입량의 영향

그림 6 측정 토출유량 [ref. 4]



(c) 불순물 투입량의 영향

그림 7 측정 마찰토크 [ref. 4]

험전의 누설량은 2종, 7종 각각 5.4 lpm, 6.2 lpm이고, 내구시험후는 2종 36.7 lpm, 7종은 27.3 lpm으로 나왔다. 마모로 인해 상대운동부 틈새의 변동이 발생하게 되는데 일정 두께를 가정하였을 때의 누설유량은 그 틈새의 3승에 비례한다고 할 수 있다. 그래서 2종의 경우 마모 후 간극이 기존 간극의 1.9배가 커졌고, 7종은 1.6배가 커진 것으로 유추된다. 결국 전체적으로 균일하게 간극의 변동이 생겼다고 가정하여 계산된 평균적인 등가 마모 부피는 2종이 7종에 비해 1.18배 가량 큰 것으로 유추된다. 7종의 경우 또 다른 연마재로 볼 수 있는 산화알루미늄(Al_2O_3)이 상대적으로 많아지긴 하였으나 그 양이 작아(3% 이하) 영향은 미미한 것으로 추측이 된다.

8종의 중위지름에 비해 약3배 큰 7종의 성능저하가 두드러지게 나타났다. 이 두 종류의 불순물에 대한 토출량 결과를 이용하여 위와 같은 계산을 수행하면 7종의 경우 틈새가 기존틈새의 1.6배가 커졌고 8종은 1.4배가 커진 것으로 유추되고 평균 마모 부피는 7종이 8종에 비해 1.14배 가량 큰 것으로 유추된다. 입자의 사이즈의 증가에 비해 마모부피는 소폭 상승하였다. 입자투입량을 약2배(12g와 25g)로 투입했을 때는 12g의 경우 기존틈새의 1.2배, 25g의 경우는 기존틈새의 1.4배로 커졌다 그래서 불순물의 투입량을 2배를 했을 때의 평균 마모부피비는 1.17배가 되었다. 불순물의 투입량의 증가에 비해 마모 부피는 소폭 상승하였다.

그림7(a), (b), (c)에서 보듯이 마찰토크는 일정한 경향성을 찾아 볼 수 없었다. 이것은 특정한 형상을 가진 수많은 입자들이 상대운동 면에 끼어 들면서 예상할 수 없는 거동을 하기 때문인 것으로 판단된다. 결론적으로 가속정도를 판단하는 인자로서 마찰토크는 사용될 수 없을 것으로 사료된다.

5. 결 론

이상 3종의 JIS규격 입자를 이용하여 오일 공급용 내접기어펌프의 인위적인 성능열화시험을 수행한 내용을 설명하였다. 불순물 내의 실리카 입자 구성비가 커질수록 마모량은 증가하는 것을 관찰하였고, 입자의 크기와 투입량의 2, 3배의 증가 시켰을 때 유추된 평균마모부피는 각각 1.14배, 1.17배로 소량 증가 한 것을 확인하였다.

참고 문헌

1) Wayne B. Nelson, "Accelerated Testing:

Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis", Wiley & Sons Inc., New Jersey, 2004.
 2) Test powders and test particles, JIS Z 8901, 2006.
 3) Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment, Ch.9~Ch.10, Naval Surface Warfare Center, NWC-98/LE1, Maryland, 2007.
 4) 신정훈, 지경열, 김형의, "불순물 입자의 유형에 따른 내접기어 펌프에서의 마모열화 특성 연구", 한국윤활학회지, 제27권, 제3호, pp. 133-139, 2011.

[저자 소개]

강보식



E-mail: kbs668@kimm.re.kr
 Tel : 042-868-7156
 1962년 08월31일생.
 2009년 한양대학교 정밀기계공학과 박사. 1990년 KIMM 입사, 공기압기 및 신뢰성분야 연구 유공압건설기계학회, 대한기계학회 등의 회원. 공학박사.

박종원



E-mail: jwpark@kimm.re.kr
 Tel : 042-868-7107
 1971년 09월30일생.
 2003년 서울대학교 기계항공공학부 박사과정 졸업. 2003년 한국기계연구원 입사, 유공압건설기계학회, 대한기계학회 등의 회원. 공학박사.

최병오



E-mail: bochoi@kimm.re.kr
 Tel:042-868-7170
 1953년 01월28일생.
 1991년 Missouri-Rolla 대학교 기계공학과 박사. 1992년 KIMM 입사, 인체기계 및 신뢰성분야 연구. 유공압건설기계학회, 대한기계학회 등의 회원. 공학박사.

신정훈



E-mail: shandy77@kimm.re.kr
 Tel:042-868-7407
 1977년 4월1일생.
 2011년 KAIST 기계공학과 석사. 현 한국기계연구원 위촉연구원. 기계부품 윤활, 구조해석, 부품/소재 신뢰성, 한국윤활학회, 대한기계학회 등의 회원. 공학석사.