Vickers Indentor를 이용한 고마찰, 고압 실린더의 정밀마모측정에 관한 연구

A Study on the Precision Wear Measurement for a High Friction and High Pressurized Cylinder by Using Vickers Indentor

엄재천* 정동윤* 공호성**
Eom, Jae-Cheon Chung, Dong-Yoon Kong, Hosung

군사과학대학원* 한국과학기술연구원 **

ABSTRACT

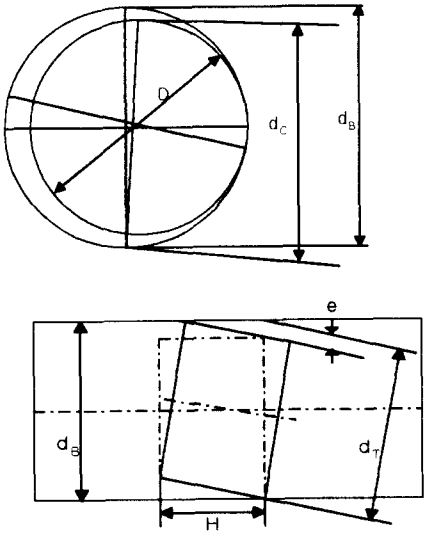
A precision wear tester is developed to measure the wear rate of a high friction and high pressurized cylinder. The tester consists of indentor system and optical measuring system. The indentor system has two diamond indentors so that they make indents on the inside of the cylinder by using compressed air system. The X-Y-θ stage of the measuring system can trace the positions of the indents and can measure the diameters of them. The variation of the diameter of each indent after test is converted into the wear rate.

Key Words : precision wear tester, wear rate, indentor system, optical measuring system.

1. 서 론

고온, 고압의 사출작용에 의하여 고마찰 상태에서 사용되는 실린더의 경우 내경의 마모상태를 확인하는 것은 대단히 중요하고도 어려운일이다. 마모상태의 판단은 실린더의 수명을 결정하는 근거가 된다. 이러한 실린더의 내경에 대한 마모량의 측정은 일반적으로 bore gage 등을 이용하여 이루어졌다. Bore gage의 원리는

LVDT를 이용하여 실린더 중심축을 따라 이동하면서 직경의 변화를 측정하는 것이다.[1] 그러나 이러한 방법은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 실린더의 내경이 마모됨에 따라 중심 축선 오차(Centering error)와 경사도 오차(Tilting error) 등의 많은 오차의 소지를 안고 있어서 계측자마다 다른 값을 읽을 수 있는 소지가 있다.[2] 또한 오차범위도 1/1000 인치나 되어서 정확한 마모량을 측정하기 위해서는 오랜 사용시간이 요구된다.[1] 이에 따라 본 연구에서는 새로운 측정방법을 개발하여 적은 사용시간을 통해서도 실린더의 마모량을 정밀 측정할 수 있는 측정기법을 개발하였다. 즉 실린더의 내면에 Vickers indentor에의한 압흔(壓痕)을 형성하고, 일정 시험후 압흔의 형상 변화를 측정하여 마모량으로 환산하는 기법이다. 압흔에 의한 마모량 계측은 몇차례 발표된 바 있다.[3,4] 이한영등은 Rockwell과 Vickers indentor에 의한 압흔의 소성 변형에 대한 연구를 발표하였다.[3] Downs등은 실린더 내면에 계측용 센서를 설치하고 그 표면에 Knoop경도계에 의한 압흔을 형성하였으며 시험후 센서를 제거하고 압흔의 형상 변화를 측정하였다.[4] 그러나 이러한 방법은 실린더를 훼손해야 할 뿐만아니라 시험후에 나타난 압흔의 형상이 원형의 모습과 다르게 변형되어 있으므로 마모 깊이의 환산이 불가능 한 것으로 보고되어 있다.



d_B:Cylinder diameter
d_T:Diameter with tilting error
d_C:Diameter with centering error

Fig. 1 Measurement errors of the bore gage.

2. 측정기기의 제작

2-1. 측정방법의 개념

OECD에서 분류한 12가지의 마모기구 중에서 실린더내에서 일어날 수 있는 마모기구는 침식마모(erosive wear), 절삭마

모(cutting wear) 및 응착마모(adhesive wear) 등으로 압축될 수 있다.[5,6] 이러한 마모기구는 모두 진행성 마모기구이므로 사용시간이 늘어남에 따라서 마모량이 누적되어 나타난다. 그러므로 사용기간에 따른 마모량의 예측이 가능하다.

마모량을 결정하는 가장 일반적인 방법은 마모무게를 측정하거나 마모부피를 측정하는 것이다. 마모무게의 측정은 대상물의 사용전과 사용후의 무게차를 측정함으로써 가능하다. 또한 마모부피는 대상물의 단면적에 대한 마모깊이를 측정하여 계산할 수 있다. 이와 같은 방법은 대상물이 작은 경우 실험실과 같은 곳에서만 이루어질 수 있는 방법이다. 그러나 본 시험의 대상물인 대형 실린더 구조물의 경우는 사용 전후의 무게차를 측정할 수 없다. 물론 무게차를 측정할 수는 있지만 마모량이 너무 작아서 오차의 범위 내에 들기 때문에 의미가 없다. 또한 마모입자들을 모아서 마모량을 측정하는 방법도 불가능하다. 왜냐하면 고압의 가스가 사출되면서 동시에 대부분의 마모입자도 실린더 밖으로 배출해 버리기 때문이다.

본 연구에서는 단위 사출횟수 당 정밀 마모량을 측정하기 위하여 측정부위에 Vickers indentor를 이용하여 압흔(壓痕)을 만들고 Fig. 2에 나타난 바와 같이 이것의 기하학적 변형량을 측정하여 마모량으로 환산하였다. 즉 실린더의 표면이 마모됨에 따라 다이아몬드 형상을 이루고 있는 압흔의 축의 길이를 측정한 후에 평면도에 나타난 역 삼각형의 높이로 환산함으로써 마모량을 측정할 수 있다.[7]

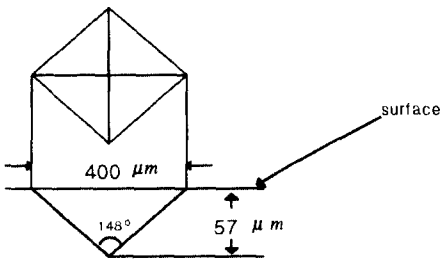


Fig. 2 Geometry of an indent.

2-2. Indentor 기구의 제작

본 연구에 사용된 실린더는 직경이 155mm, 경도가 45HRC인 특수강으로 제작되었다. 실린더의 마모량을 측정하기 위해서는 먼저 압흔을 실린더 내면에 정확히 형성하여야 한다. 이를 위하여 Fig. 3에 나타난 바와 같이 실린더 내부형상과 정확히 일치하는 지그실린더를 제작하여 Vickers indentor를 설치하였다. 그리고 실린더 내부의 좁은 공간으로 인하여 기존의 사하중 방법으로는 Indentor를 효과

적으로 가압할 수 없으므로 가압을 위한 공압시스템을 제작하였다. 그러나 공압에 의하여 충격 하중이 가해질 경우 Indentor가 깨어지기 쉬우므로 속도 조절밸브를 이용하여 785KPa (8kgf/㎠)의 공압을 서서히 가압하고, 1분동안을 유지함으로써 경도 시험기와 같은 사하중에 의한 가압 효과를 얻을 수 있었다.

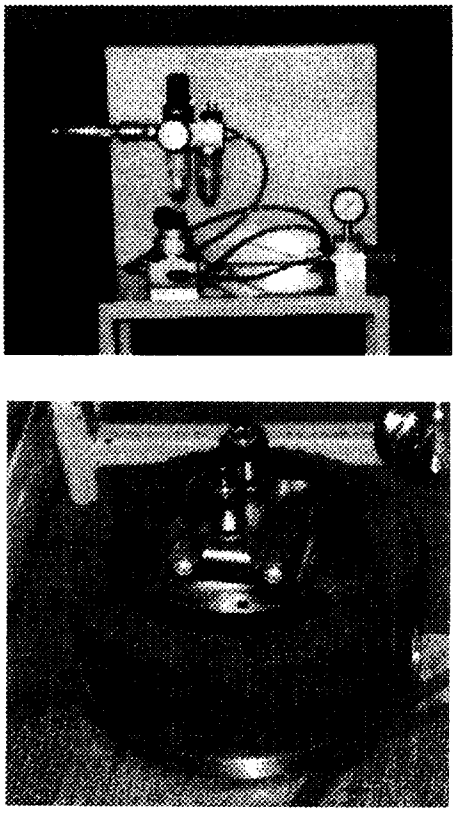


Fig. 3 Pneumatic indentation system.

2-3. 정밀 마모계측 시스템의 제작

본 시험에서 무엇보다도 중요한 것은 상대적으로 넓은 실린더내에서 어떻게 200μm~500μm 크기의 미소 압흔을 신속하게 찾아낼 것인가하는 것과 어떻게 정확하게 압흔의 크기를 읽을 것인가 하는 것이다. 이를 위하여 본 시험에서는 Fig. 4와 같은 정밀 마모계측 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 이송기구와 광학센서로 구성되어 있다. 이송기구는 X-Y-θ 방향으로 광학센서를 이송시키고 360° 회전이 가능하므로 실린더 내에서 신속하고 정확하게 압흔을 찾아내게 한다.

광학센서는 광섬유와 분광기 및 광학렌즈로 구성되어 있다. 압흔의 계측을 위하여 먼저 광섬유를 통해 들어온 빛이 분광기에 의해서 90° 굴절되어 실린더의 표면에 수직하게 보내어진다. 표면에서 정반사된 빛은 광학 렌즈를 통하여 CCD Camera로 보내어진다. 여기서 찾은 영상은 모니터상에 200배율로 확대되어 나타나며 비디오 프린터로는 약 82배율로 출력된다. 또한 녹화된 영상은 Image analyser를 이용한 분석도 가능하다.

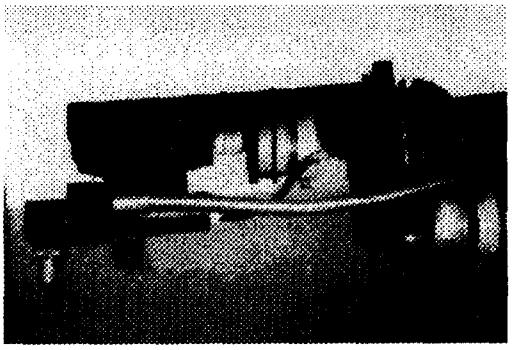


Fig. 4 Optical precision wear measurement system.

3. 정밀 마모측정 및 분석

본 연구에서 제작한 정밀 마모계측 시스템을 고마찰, 고압하에서 미끄럼 운동을 하는 실린더에 적용한 결과가 Fig.5와 Fig. 6에 나타나 있다. Fig. 5는 시험전 실린더에 초기 압흔을 형성해 놓은 것을 나타내고 있다. 이상적인 정밀 마모량의 측정을위해서는 압흔이 정확한 마름모 형상이어야 한다. 그러나 실린더 자체가 곡률반경을 가지고 있으므로 실제 압흔의 형상은 Fig. 5와 같이 한 축이 더 긴 형상을 나타내고 있다. 그러나 단축의 길이를 측정함으로써 압흔의 초기 깊이를 계산할 수 있다. Fig. 6은 200MPa의 압력으로 12회에 걸쳐서 사출 시험을 한 후 Fig. 5의 압흔을 다시 찾아서 측정한 결과이다. 그림에서 나타난 바와 같이 시험 후의 압흔의 형상이 시험전의 압흔의 형상과 동일한 모양을 유지하고 있으면서 크기가 감소한 것으로 나타났다. 그러므로 형상의 변화량으로부터 마모량을 환산하는 방법은 타당하다고 하겠다. Fig. 5와 Fig. 6에 나타난 바와 같이 시험후 압흔의 단축 직경은 95±5μm가 감소하였다. 이것을 Fig. 2와 같은 방법으로 환산한 결과 두께 방향으로 17μm의 마모가 발생한 것을 알 수 있다. 그러나 이것은 예상치보다 매우 큰 값으로서 압흔 주변의 소성변형에 기인한 것으로 판단된다. 압흔의 형상 변화에 의한 마모량의 계측 방법은 초기 압흔을 형성할 때 발생하는 모서리주변의 소성변형에 의하여 정밀도가 감소한다.[3]본 시험에서는 압흔 주변에서 발생하는 소성변형의 정도를 측정하기 위하여 동일한 재질의 실린더에 압흔을 형성하고 그 부분을 절단한 후 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰하였다. Fig. 7은 압흔의 표면 형상과 수직방향의 절단면 형상을 보여주고 있다. 이 압흔의 더욱 정밀한 대각선의 길이와 깊이를 표면조도계(Long range profilometer)로 실측한 결과가 Fig. 8에 나타나 있다. 4회에 걸친 측정의 평균으로부터 압흔이 소성변형 된 높이는 8.7μm이었다. 따라서 앞의 환산된 마모량에서 소성변형의 높이를 제거할 경우 실제 마모량은 8.3μm으로써 단위사출 당 마모율은 1.38μm이다.

소성변형된 부분의 재료는 매우 불안정한 상태로써 시험압력하에서는 1회 정도의 사출에 의해서도 제거될 수 있으므로 마모량을 계산할 때 제외하는 것이 타당하다고 판단된다.

Fig. 6 The surface image of the indent after the test.

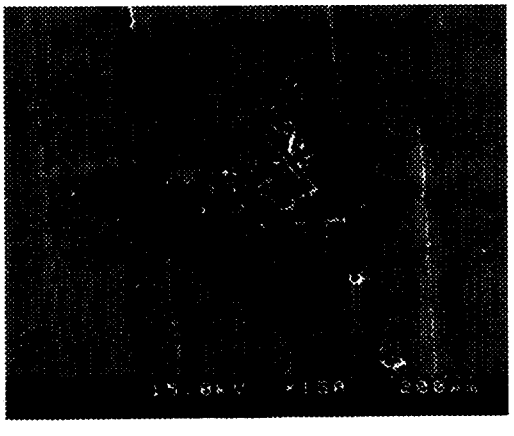


Fig. 5 The surface image of an indent before the test.

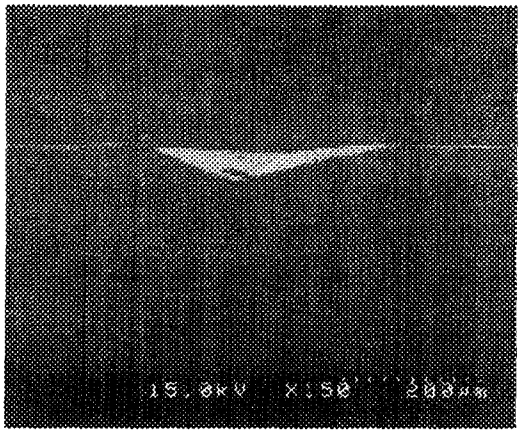


Fig. 7 The surface image of an indent and cross sectional view.

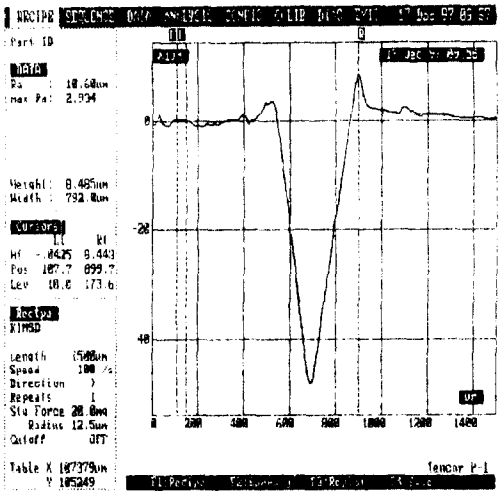


Fig. 8 The surface profilo of an indent

4. 결 론

본 연구에서는 경도시험용 Vickers indentor와 광학 시스템을 이용한 정밀 마모계측 시스템을 개발하여 고온 및 고압의 사용조건 하에서 고마찰이 발생하는 실린더의 마모량 측정에 적용하였다. 실린더의 내면에 형성된 다이아몬드 형상의 압흔은 시험 후에도 동일한 모양을 유지하므로 형상의 변화량을 측정하여 마모량으로 환산하였다. 측정의 정밀도를 확인하기 위하여 주사전자 현미경과 표면조도계를 사용하였으며 소성변형량을 마모량에서 제외하였다. 이 시스템을 이용하여 보다 정밀한 마모량의 측정이 가능하였으며 기존의 bore gage에서 나타나는 오차를 제거할 수 있었다.

참 고 문 헌

1) Evaluation of Cannon Tubes, TM9-1000-202-14, 1976.

2) AVL, "Barrel Gage system", 1994.

3) 이동엽, 이한영, "구름접촉 피로에 미치는 압흔의 영향", 제25회 춘계학술대회, 한국윤활학회, 1997, pp.74~79

4) D. S. Downs, J. A. Lannon, L. E. Harris, "Prediction of Wear Characteristics of Artiller Propelling

Charges," : Arlcd-Tr-80016, U.S Army Armament Research and Development Command, March 1981.

5) 정동윤외, "신편 병기공학", 청문각, 1996,

6) R. S. Montgomery, F. K. Sautter, "Erosion and Its Control," : Arlcb-Tr-82040, U.S Army Armament Research and Development Command, December 1982.

7) 염영하, 재료시험법, 동명사, pp198-201, 1979.