

화상해석에 의한 기계윤활 운동면의 작동상태 진단

김 형 자* · 박 흥 식**

Operating Condition Diagnosis of the Lubricated Machine Moving Surface by Image Analysis

H. J. Kim* · H. S. Park**

Key words : Computer Image Analysis(컴퓨터 화상해석), Shape Parameter(형태 파라미터), Morphological Characteristic(형태특징), Wear Debris(마멸분), Operation Condition Diagnosis(작동상태 진단)

Abstract

The most part of the faculty drop, a trouble and damage of machine equipment, even if whatever cause they break out, take place at local and trifling place and the factor dominating their trouble is due to wear debris occurred in the lubricated machine moving surface. This study has been carried out to identify morphology of wear debris on the lubricated machine moving system by means of computer image analysis. Namely, the wear debris contained in lubricating oil extracted from movable machine equipment will be filtered through membrane filter(void diameter $0.45\mu\text{m}$) and will be analyzed with its data information, such as 50% volume diameter, aspect, roundness and reflectivity. Morphological characteristic of wear debris is easily distinguished by four shape parameters, it is necessary to divide small class of every 100 wear debris in total wear particles in order to distinguish morphological characteristic of wear debris more easily by computer image analysis. We are sure that operation condition diagnosis of the lubricated machine moving surfaces is possible by computer image analysis.

1. 서 론

각종 생산기계 및 산업기계 등의 기계설비의 기능저하나 손상 및 고장의 대부분은 비록 이들이 고

어떠한 원인으로 발생하여도 손상의 시작은 국소적이고 경미한 곳에서 부터 일어나게 되며, 마침내는 2차적으로 파괴나 치명적인 고장을 초래하게 된다. 이들 기계설비에서 발생되는 손상 및 고장사

* 부경대 기계자동차 공학부(원고접수일 : 98년 10월)

** 동아대 기계공학과

레는 기계운할 운동면을 구성하는 기계요소 부품에 끊임없이 작용하는 응력에 의하여 윤활불량이 발생하게 되면 마멸에 의하여 작동불량이나 오일 누유, 소음과 진동의 발생 그리고 설비의 열화가 진행하여 각종 손상 및 고장이 발생하게 된다.⁽¹⁾

이처럼 기계운할 운동면에서 발생하는 마멸은 윤활유내에 포함되어 있는 오염물질과 기계의 운전에 의하여 분위기 중의 분진이나 경한 입자들이 기계운할 운동면내로 침입하여 작동 중 기계내부로 순환되어 이들이 윤활면을 마멸시켜 마멸분을 발생시키게 된다. 마멸분이 윤활면에 미치는 영향에는 마멸분이 유막중에 침입하여 직접 윤활운동면에 손상을 주는 경우와 윤활유의 유로를 폐쇄시켜 오일부족 현상을 일으켜 간접적으로 윤활면에 손상을 주는 경우가 있다. 그 예로 베어링이나 펌프의 고장은 수십 μm 정도의 비교적 큰 크기의 마멸분이 기여하고 있지만, 유압펌프 특히 스프울 밸브의 경우 스프울과 슬리브의 간격은 서어보 밸브에서는 $5\mu\text{m}$ 이하이고, 밸브의 고장은 이 간격중에 들어가 있는 $5\mu\text{m}$ 이하 크기의 마멸분이나 오일의 산화변질물인 슬러지와 같은 오염물에 의하여 일어나고 있다.⁽²⁾

그러나 만약 기계운할 운동면에서 발생하는 마멸입자의 관찰이나 해석이 가능하게 되면 그 구동계의 작동상태 진단과 평가를 위하여 막대한 정보를 얻을 수 있다는 것은 충분히 인식되어져 있다. 그럼에도 불구하고 마멸입자에 대한 취급은 아직도 정성적인 범위를 벗어나지 못하고 있고 그 정보가 유효하게 활용되고 있는 일은 적다. 이처럼 기계구동계의 윤활운동면에서 발생하는 마멸입자에 대한 정량적인 데이터 정보의 이용을 저해하고 있는 이유는 마멸입자의 형태와 그 크기가 다종다양하며, 또한 이들 입자의 특징을 정리하는 방법이 아직 확립되어 있지 않기 때문이다.⁽³⁾

이를 위하여 각종 기계운할 구동계의 이상을 조기에 예지하고 또 그 원인을 정확히 진단하기 위하여 (a)SOAP법(Spectrometric Oil Analysis Program), (b)Ferography법 등 기계운할 구동계의 condition monitoring을 목적으로 하여 작동유중에 포함되어 있는 마멸분의 형태관찰과 해석이 종래부터 행하여져 왔다.^(4,5) 이것은 내과의 혈액검사

와 마찬가지로 작동중에 있는 기계운할 운동면에서 윤활유를 소량 채취하여 조사하는 것으로 간편한 것이지만 직접 보는 것이 곤란한 마찰손상의 상황을 알기 위하여는 극히 유효한 수단이라 하겠다.

또한 근래에는 on-line에 의한 monitoring system 방법 즉, (1) 자계(磁界)와 광센서에 의한 방법, (2) 자계와 고주파 발진회로를 이용한 방법, (3) 자계와 Hall 효과를 이용한 방법이 연구개발⁽⁶⁾되고 있으나 역시 이들 방법도 전자장에 의한 마멸입자의 채취방법이 비자성체나 미소입자의 채취에는 충분치 않다는 문제점을 안고 있다. 이처럼 기계운할 운동면의 작동상태 진단을 위한 여러가지 기술들이 개발되었으나 실제 산업현장에서 이들 방법을 이용한 고가의 분석기기를 구입하고 이들 기기를 설치할 장소를 마련하는데는 금액과 시설면에서 많은 제약을 받게 된다.

한편 최근에 활발하게 연구되고 있는 컴퓨터 화상처리 기술⁽⁷⁻⁹⁾을 응용한 마멸입자의 해석분야는 이미 영국, 호주 및 미국 등지에서 현재 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야이다. 컴퓨터 화상처리 기술의 본격적인 연구의 시작은 1960년대에 들어온 후 부터였고, 특히 여러가지 분야에 대한 응용이 활발해진 것은 최근 10년간의 일이다. 컴퓨터 화상처리는 2차원 수치 데이터로서 주어지는 화상을 처리하여 별도의 화상이나 인식결과를 출력할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이를 이용하여 주어진 화상구조를 분석하여 그 특징을 추출하는 것이 화상해석 또는 화상인식이다. 화상해석이나 화상인식은 문자인식, 의료용 및 공업용 화상처리 인식, 도면 자동해석, 리모트 센싱, 색채 화상처리 및 컴퓨터비전을 위한 알고리즘이 개발되어 광범위하게 이용되고 있다. 이와같이 화상해석 기술은 정량적이고 수치적인 화상 데이터를 이용하므로 주로 기계운할 운동면의 손상 및 고장을 야기시키는 윤활면에서 발생하는 마멸입자의 특징추출을 위하여 전술한 여러가지의 방법보다 훨씬 간편하게 이용할 수 있고, 또한 실시간(real time)으로 기계구동계의 작동상태의 진단 및 평가가 가능하게 되리라 생각된다. 그러나 지금까지 국외에서는 기계구동계의 윤활운동면에서 발생하는 마멸분 형태 해석을 작동상태 진단 및 손상에 적용하기 위하여

컴퓨터 화상처리 기법이 연구되고 있어 실용화 되고 있지만, 아직 국내에서 이 화상해석을 통하여 기계 윤활운동면의 작동상태를 진단하고 그 손상 상태를 감지하기 위한 연구도 그다지 진행되고 있지 않고 있다.

이상과 같이 기계윤활 운동면의 작동상태 진단 및 손상에측을 위하여는 전술한 바와같이 윤활운동면에서 발생하는 마멸입자 형태의 분류 뿐만 아니라 마멸의 진행상황과 표면생성물 등 마멸입자의 데이터 정보를 상세히 조사하여 윤활운동면의 작동상태의 이상여부에 대한 감지가 우선되어야 한다고 생각된다. 이를 위하여는 크기와 형태가 천차만별인 무수의 입자의 집단을 가진 다양한 특징과 마찰에 관련한 마멸입자와의 인과관계를 고려한 새로운 마멸입자의 패턴인식이 절실히 필요할 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 생산기계 및 산업기계를 모의한 윤활실험장치로 부터 윤활운동면의 작동조건에 따른 유성제인 스테아린 산을 첨가한 윤활유를 사용하여, 마멸분을 채취하고 이를 화상처리 시스템을 통하여 채취한 마멸분의 크기와 분포, 입자수, 마멸분의 형상정보 및 색정보 등의 정량적인 데이터를 화상해석함으로써 기계윤활 운동면의 작동상태의 진단에 이를 적용하고자 하였다.

2. 실험방법

2. 1. 윤활마찰 실험

본 연구에 사용한 실험재료로서 핀(pin) 시험편은 직경5.0mm의 베어링강 STB2(780Hv)을, 디스크(disk) 시험편으로 기계요소 재료로 널리 사용되는 경도가 다른 3종류의 강, 기계구조용 탄소강 SM45C(200Hv), 스테인레스 강 STS304(190Hv) 및 베어링강 STB2를 사용하였다. 디스크의 형상은 직경 50mm, 두께 10mm이고, emery paper #1200으로 정밀 연마하여 그 표면조도를 $0.2\mu\text{m}R_{\text{max}}$ 로 일정하게 하였다. 그리고 실험에 사용한 윤활유는 두 종류로서 무첨가 파라핀계 광유(8.2cSt@40℃)인 기유(base oil)에 유성제인 스테아린산($(\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$, 첨가량 0.1 wt.%)를 첨가하여 사용하였다.

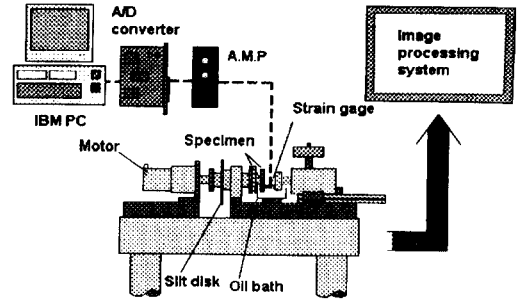


Fig. 1 Fig.1 Schematic diagram of pin on disk type wear test

실험장치는 pin on disk형 마찰,마멸시험기에 의하여 윤활마찰 실험하였으며, 이것은 회전하는 디스크 시험편에 베어링 강구를 압착시켜 마찰하는 것으로 이의 개략도를 Fig.1에 나타내었다. 그림에서 처럼 모터는 무접점 속도제어 모터로서 여기에 감속기어를 부착시켜 그 미끄럼속도를 윤활유의 비산을 방지하기위해 6.28mm/sec로 일정하게 하였고, 작용하중은 5kg, 7kg 및 9kg의 3단계로 변화시켰으며, 미끄럼거리는 하나의 시험편을 마찰시간(총 9시간)에서 3시간씩의 미끄럼거리를 세분화하여 0~78m, 78~156m 및 156~234m를 미끄럼 초기, 중기 및 말기로 구분하여 윤활유를 수거한 후 이들의 마멸분을 채취하였다. 그리고 윤활장치부에는 시험편 접촉점 하부에 oil bath를 설치하고 윤활유의 공급은 순환펌프로써 silicon tube를 통하여 시험편 접촉점에 공급시켰으며, 핀 시험편은 피아노선을 이용하여 사하중을 걸어 디스크에 가압하였다. 그리고 마멸분은 oil bath 내의 윤활유로부터 孔径 $0.45\mu\text{m}$ 의 membrane filter가 부착된 윤활유 채취기구를 통하여 채취하였다

2. 2. 화상처리 시스템 및 화상해석.

본 연구에서는 $0.45\mu\text{m}$ 이상의 크기를 가지는 마멸분을 대상으로 하였고, Fig.2에는 마멸분을 해석하기 위한 화상처리 시스템의 개략도를 나타내었다. 광학현미경은 반사조명 및 투과조명의 2가지 할로겐 램프를 가지며 관측된 화상은 상부에 부착된 CCD 카메라에 의하여 컴퓨터의 프레임 그래브(frame grabber)에 저장된다. 본 연구에 사용한 프

래임 그래브는 화소수 640×480이고 화소당 분해능은 R (red), G(green), B(blue) 각 8bit (256 gray level)이고, 정방형 1 화소(pixel)의 길이는 0.426μm이다. 이것은 마멸분 채취부분의 필터 직경이 35mm인 것을 고려하면 모니터 1 화면의 면적은 필터의 17,302분의 1이 된다. 그리고 화상처리 시스템의 운용 프로그램을 통하여 채취한 마멸분의 형태정보(둘레, 면적, 형상, 크기분포, 입자수 및 색정보)등을 얻었으며, 이들의 계산을 위한 컴퓨터의 프레임 그래브의 제어 및 프로그램의 처리는 모두 직접 제작한 C 언어(일부 기계어)로써 행하였다. 그리고 화상의 출력은 엔코더(encoder)를 통하여 비디오 프린터로 출력하였다. 이상의 각 실험조건은 모두 대물렌즈 40배로서 필터 내의 랜덤한 50 화면에포함되는 대표경 1.345μm(10화소 이상)되는 마멸분 전체에 대하여 이들의 파라미터를 계산하였다. 그리고 Fig.3에서 처럼 50%체적경, 장단도, 복잡도 및 광택도의 4가지의 형태 파라미터를 화상해석한다⁽¹⁰⁾.

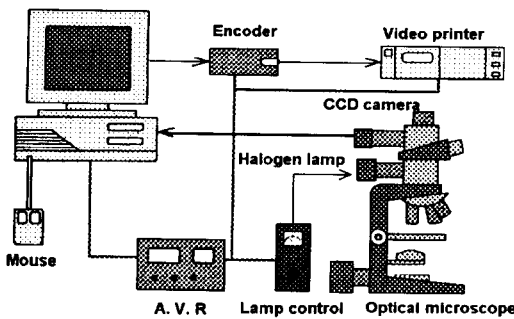


Fig. 2 Schematic diagram of image processing system

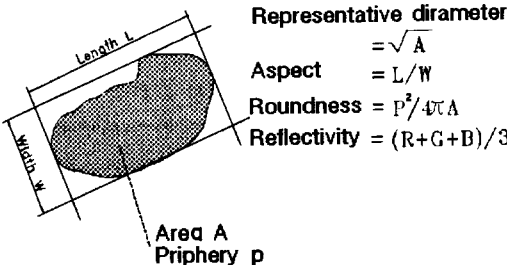


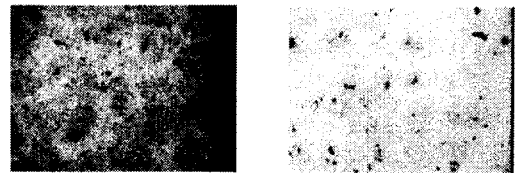
Fig.3 Shape parameter of wear debris

3. 실험결과 및 고찰

3. 1 형태 파라미터에 의한 마멸분 형태 분류

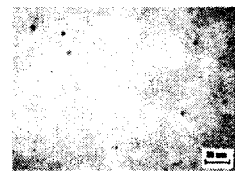
Fig.4는 작용하중 5kg, 미끄럼거리 말기인 156~234m에서의 3 종류 시험편의 마멸분을 나타낸 것이다. 그림에서 (a)SM45C와 (b)STS304의 마멸분 형상은 미세한 산화물 입자와 부분적으로 20μm 이상되는 커얼(curl) 모양의 연삭 마멸입자를 볼 수 있다. 특히 STS304의 경우는 SM45C에 비하여 입자 수는 적지만 금속 광택을 띤 입자가 부분적으로 형성되어 있는 것은 STS304에 함유되어 있는 내식성 원소인 Cr(18%)의 영향으로 생각된다. 그리고 (c)STB2의 경우에는 커얼모양의 연삭 마멸입자는 전혀 찾아볼 수 없고 두 재료와 비교하면 크기도 극단적으로 작고 또한 그 수도 극히 적으며 대부분 구상의 형태를 가진다는 것을 볼 수 있다. 따라서 이들 마멸입자는 재료와 작동조건에 따라 그 형태적 특징이 다르기 때문에 이들 입자의 형태특징을 정량적으로 해석이 가능하게 되면 기계윤활 운동면의 작동조건의 진단에 활용이 가능하리라 생각된다.

Fig.5는 Fig.4와 동일한 작동조건에서의 3종류 시험편의 총 마멸분 입자를 마멸입자 하나하나의 대표경과 장단도와의 분포를 (a)에, 그리고 대표경과 복잡도와의 분포를 (b)에 나타내었다. 그림에



(a) SM45C

(b) STS304



(c) STB2

Fig.4 Photo of wear debris for specimen

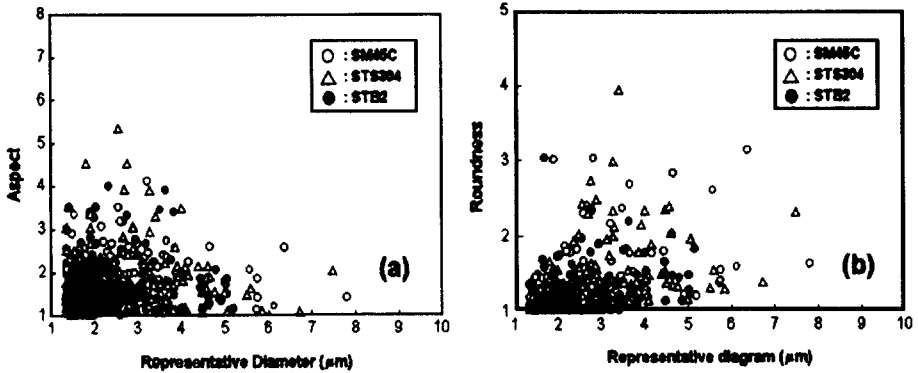


Fig. 5 Shape parameter of wear debris

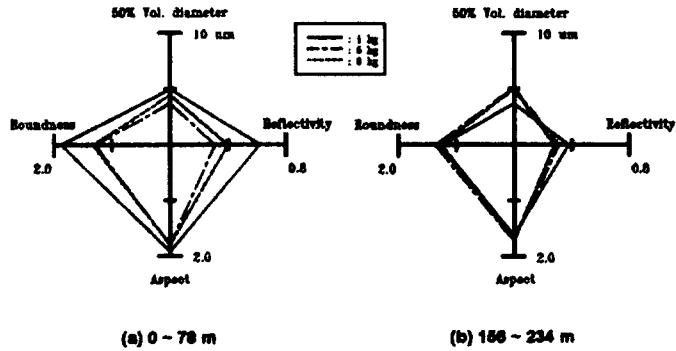


Fig. 6 Diagram of shape parameter ; specimen : SM45C

서 처럼 각 형태 파라미터는 넓은 범위로 분포되어 있고, 또한 작동조건 마다 값의 존재범위는 동일하지 않지만 부분적으로 중복되어 있기 때문에 마멸 입자 한개 한개의 파라미터 값으로 부터는 그것이 어느 작동조건 것인지 그 형태특징을 식별할 수 없다고 생각된다. 따라서 각 작동조건에 따른 마멸분의 형태특징을 알기 위해서는 집단으로서의 성질, 예를들면 마멸분 전체 파라미터의 평균치 등을 이용하는 것이 더욱 편리하다고 생각된다.

Fig. 6은 SM45C의 미끄럼거리 초기인 (a)0~78m와 말기인 (b)156~234m에서 작용하중의 변화에 따른 4가지 형태 파라미터의 평균치를 간략화하여 나타낸 선도이다. (a)와 (b)에서의 마멸분의 형태적 특징을 비교해 보면, (a)에서 저하중인 1 kg일 때의 복잡도와 장단도의 값이 다른 조건에 비하며 매우 큰 값을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 마멸분의 형상이 매우 길고 피상의 형상

이라는 것을 보여주고 있다. 또한, 미끄럼거리의 증가에 따라 각 작용하중에서 광택도의 값이 크게 감소하고 있다는 것은 작동시간의 증가와 함께 마찰면의 변형과 흡착막의 영향¹⁰⁾에 의한 산화의 진행을 나타내 주고 있다고 생각되고, 또한 윤활유는 마찰시간이 증가할수록 서서히 열화변질되어 초기의 윤활성은 감소되기 때문이라고 생각된다. 따라서 본 연구를 통하여 채취한 마멸분의 수가 그 모집단의 특성을 대표하는데 충분한 수였다고 가정하면 이 형태 파라미터의 선도로 부터 작동조건의 변화에 따른 마멸분 입자 패턴의 차이에 의한 특징을 충분히 식별할 수 있다고 생각된다.

3. 2 작동조건에 따른 마멸분 형태 파라미터와의 관계

본 연구에서 각 작동조건에 따라 발생하는 마멸분 입자 한개한개 마다의 파라미터 값으로 부터는

그것이 어느 작동조건의 것인지 직접적으로 판단할 수 없고, 또한 마멸입자 전체의 평균치를 이용하여 비교할 경우에도 그것을 구하는 시료 수가 문제가 된다. 유한개의 작은 집단에 대한 마멸분 파라미터의 평균치 분포는 시료수에 반비례하여 변화하기 때문에 마멸분 총 수가 많은 경우가 모집단의 평균치에 가까운 값을 얻기 쉽다고 생각된다. 따라서 각 작동조건에 따른 마멸분의 형태특징을 명확히 식별하기 위해서는 집단으로서의 성질, 예를 들면 전체 마멸분 입자의 평균치 등을 이용할 필요가 있다.

Fig.7은 STS304의 경우 작용하중 9kg, 미끄럼거리 말기인 156~234m의 마멸분 전체의 평균치를 총 마멸분 중에서 마멸입자의 평균치를 (a)50개와 (b)100개 마다의 작은 집단으로 랜덤하게 나누어 복잡도와 장단도 사이의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 처럼 마멸입자 50개마다의 평균치의 개수가 100개 마다의 평균치의 개수 보다 너무 넓게 분포되어 산란되어 있으므로 각 작동조건에 따른

마멸분의 형태특징을 보다 정확히 식별하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 마멸분 입자수 100개 마다의 평균치로 나타내는 것이 가장 그 형태특징을 잘 표현할 수 있다고 생각된다. 그러나 이 이상의 개수에 대한 마멸분에 대한 모집단의 평균치를 이용할 수도 있지만 본 연구에 사용한 STB2의 경우 전체 마멸입자 수가 적었기 때문에 100개 이상의 모집단의 평균치를 이용하게 되면 단지 2~3개의 점으로 표시되므로 이 이상은 곤란하였기 때문이었다. Fig. 8은 작용한 하중이 5kg, 미끄럼거리를 말기인 156~234m에서의 3종류 시험편 재료에 대한 마멸분 100개 마다의 평균치를 4가지 형태 파라미터 즉, (a)50%체적경과 광택도, (b)장단도와 복잡도의 분포를 나타낸 것이다. 여기서 그 형태적 특징에서 STS304의 경우 (a)50%체적경은 입자의 크기가 다른 두 재료에 비해 크고 또한 (b)장단도와 복잡도에서 보면 그 형상이 복잡하고 길다는 것을 알 수 있으며, (a)광택도에서는 SM45C가 가장 낮고, STS304의 경우는 전술한 바와 같이

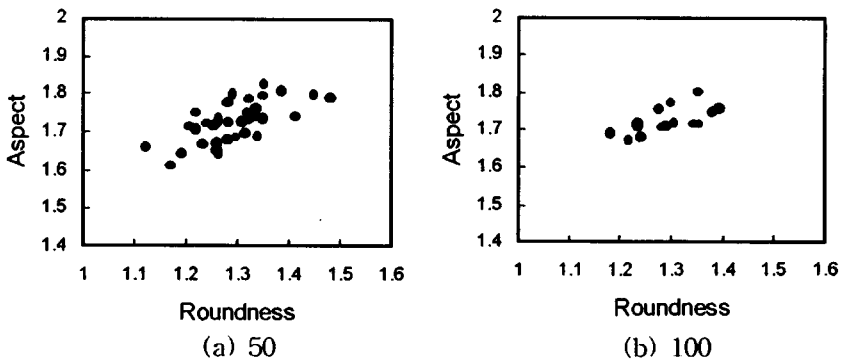


Fig. 7 Average value of shape parameters in every wear debris for STS304

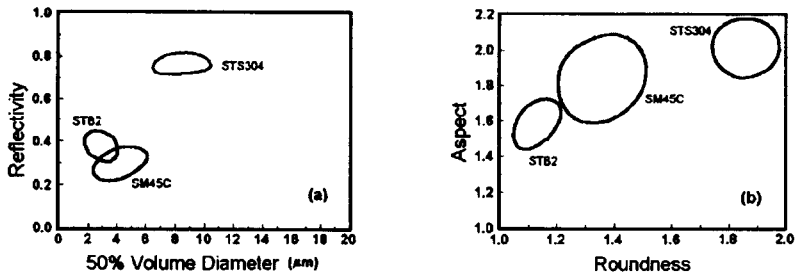


Fig. 8 Average value of shape parameters for specimen in every 100 wear debris, Specimen : STS304

STS304에 함유되어 있는 내식성 원소의 영향이 지배적으로 작용한 결과라고 생각된다. 그러나 STB2는 광택도를 제외한 3가지 형태 파라미터에서 다른 두 재료보다 작기 때문에 입자 크기가 현저하게 작고 또한 둥글다는 것을 나타내 주고 있다고 생각된다. 이와같이 적당한 수의 작은 모집단으로 구성된 이 그림을 이용하게 되면 작동조건에 따른 마멸분의 형태 파라미터의 분포범위를 쉽게 판단할 수 있다고 생각된다. 따라서 이를 실제 기계윤활 운동면의 작동상태 진단에 이를 적용하기 위해서는 총 마멸입자를 구하여 이에 적합한 작은집단으로 나누어 그 형태 파라미터의 특징을 구하는 것이 필요하다고 생각된다.

Fig. 9는 STS304의 미끄럼거리 말기인 156~234m에서 작용하중을 1kg, 5kg 및 9kg에 대한 마멸분 100개마다의 평균치의 분포범위를 나타낸 것이다. 각 작용하중에 따른 형태적 특징은 (a) 50% 체적경에서 작용하중이 증가함에 따라 입자의 크기가 증가하다가 작용하중이 9kg에서는 다시 감소하는 것을 볼 수 있으며, 또한 광택도의 경

우도 역시 동일하다는 것을 볼 수가 있다. 그리고 마멸분 입자형상에 있어서는 (b)복잡도와 장단도에서 보면 작용하중의 증가에 따라 길고, 피상의 형상을 보이다가 작용하중 9kg에서는 오히려 둥글게 나타난다는 것을 알 수가 있다. 이것은 작용하중이 증가하여 5kg에서는 접촉압력의 증가에 따라 소성유동이 증가하여 응착마멸 및 산화된 마멸분의 영향으로 마멸분 입자의 형상이 복잡하고 불규칙한 형상을 가진다는 것을 나타내 주고 있다고 생각된다. 그리고 9kg의 고하중에서는 50%체적경을 제외한 3가지 형태 파라미터가 다시 감소하는 것은 스테아린 산의 흡착막 형성의 영향이 크게 기여한 결과라고 생각된다. Fig. 10은 SM45C, 작용하중 9kg에서의 미끄럼거리의 변화에 따른 마멸분 100개마다의 평균치 분포범위를 나타낸 것이다. 미끄럼거리의 증가에 따른 50%체적경은 큰 변화를 보이진 않고 있지만 광택도, 복잡도 및 장단도의 3가지 형태 파라미터 모두 미끄럼거리의 증가에 따라 감소하고 있다. 이것은 미끄럼거리의 증가에 따른 전술한 바와 같이 마찰면의 변형과 윤

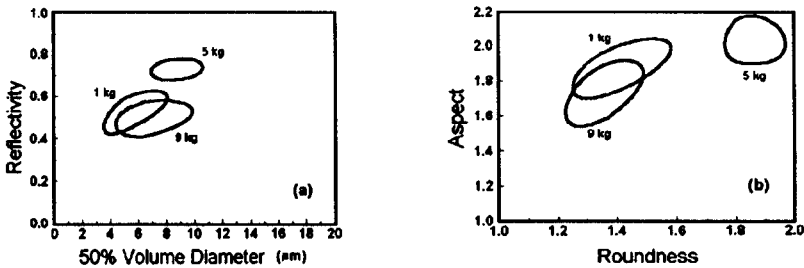


Fig. 9 Average value of shape parameters for applied load in every 100 wear debris, Specimen : STS304

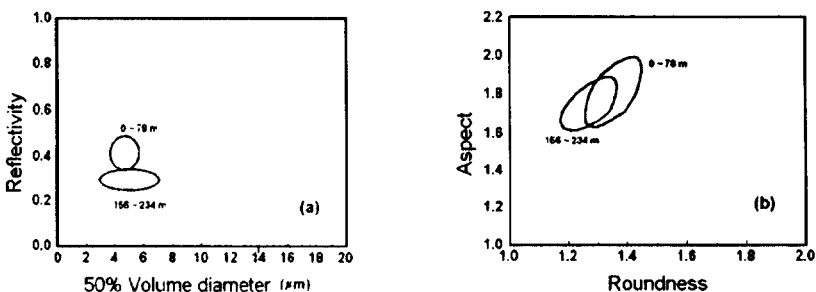


Fig. 10 Average value of shape parameters for sliding distance in every 100wear debris, Specimen : SM45C

활유의 열화변질에 의한 산화의 진행과 흡착막의 생성의 결과라고 생각된다.

3. 3 작동조건에 따른 추정 마멸체적의 계산

전술한 마멸분 형태정보를 이용하여 각 기계요소 재료의 작용하중에 따른 마멸체 적의 추정치를 계산으로 구하였다. 이것은 눈으로 직접 보는 것이 곤란한 기계유회 운동면을 구성하는 기계요소의 마멸체적을 추정하는 데 극히 유효한 수단이라고 생각된다. Table 1에는 3종류 시험편 재료와 작용하중을 총 미끄럼거리 0~234m(총 9시간)까지 실험한 결과의 추정 마멸체적을, Fig.11에는 Table 1의 추정마멸 체적을 나타낸 것이다. 여기서 추정 마멸체적의 계산은 마멸입자의 두께를 Fig.3의 대표경과 대등하다고 가정하고, 마멸입자 면적에 이 대표경을 곱하여 총 마멸체적을 추정하였다. 즉, 마멸분이 분포되어 있는 1화면 내의 하나의 마멸입자 체적을 V_{ij} 라하고, 1화면내의 입자갯수를 n 으로 두었을때 50화면 전체의 총마멸체적 V_i 를 식(1)으로 구하였다.

$$V_i = \left(\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^n V_{ij} \right) \quad (1)$$

총마멸체적 V_i 는 3종류의 시험편 재료 모두 작용하중의 증가와 함께 증가하지만 STB2의 증가폭이 가장 적고, SM45C의 마멸체적이 가장 크다. 또한 작용하중이 9 kg의 경우에 3 종류의 재료의 마멸체적이 모두 급격히 상승하는 것은 스테아린산에 의한 양 금속에서 생성되는 흡착막은 마찰면의 온도가 상승하게 되면 그 효과가 감소^[11,12]하게 되므로 접촉압력의 증가로 인한 접촉계면의 온도 상승에 의한 흡착분자가 탈리하기 때문이라고 생각된다.

본 실험에서 마멸체적의 추정치의 계산은 실험

Table 1. Presumed wear loss(mm³)

Specimens Load(Kg)	SM45C	STS304	STB2
1	0.05236	0.03457	0.01246
5	0.09246	0.07476	0.02806
9	0.28685	0.24364	0.09274

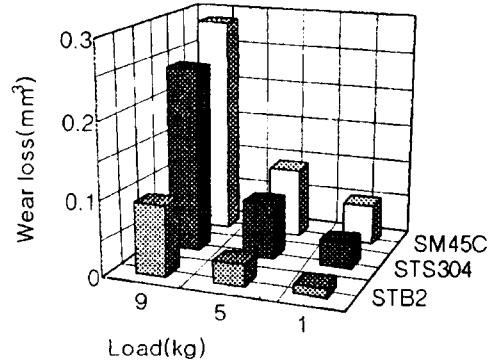


Fig. 11 Presumed wear loss

완료 후의 디스크 시험편을 감도 0.1mg의 천칭으로 실험 전과 후의 중량감소량으로 측정하여 비교해 보았을 때, 작동조건에 따라서 약간의 오차가 나타났지만 이러한 오차는 본 연구에서 채취한 마멸분의 크기가 10μm 이상의 마멸분에 대해서만 계산하였고, 마멸입자의 두께도 2차원적인 대표경으로 계산한 결과이고, 또한 실험 후의 마멸중량 측정치에 따른 오차도 삽입되었을 것으로 생각되지만 대체로 본 연구에서의 마멸량의 계산결과는 충분한 타당성을 가질 수 있다고 생각된다.

4. 결 론

기계유회 운동면의 작동상태 진단을 위하여 pin-on-disk형의 유회마찰·마멸 실험장치를 통하여 대표적인 유성체인 스테아린 산을 첨가한 기유를 이용하여 마멸분 생성시의 작동조건인 기계요소 재료 및 작동조건의 변화에 따른 마멸분을 채취한 뒤 이를 화상처리하여 마멸분을 4가지 형태 파라미터(50%체적경, 복잡도, 장단도 및 광택도)를 분류, 평가하고 해석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 마멸분의 4가지 형태 파라미터를 통하여 작동조건에 따른 마멸분의 형태적 특징을 쉽게 구별할 수 있고, 작용하중과 미끄럼거리의 증가에 따라 50%체적경, 복잡도 및 장단도의 변화는 단순하지는 않지만, 광택도의 경우는 감소한다.
2. 컴퓨터 화상해석으로 기계유회 운동면의 작

동조건에 따른 마멸분 형태특징의 식별을 보다 용이하게 하기 위해서는 전체의 마멸분 총수에서 마멸입자 100개 마다의 작은 집단으로 나누어 그 평균치를 이용하는 것이 식별능력이 향상된다.

3. 기계윤활 운동면을 구성하는 기계요소 재료의 작동시간에 따른 마멸체적 추정치의 계산이 가능하였다.
4. 본 연구의 결과인 컴퓨터 화상해석으로 기계윤활 운동면의 작동조건 변화에 따른 작동상태와 손상상태 진단이 가능하다.

참고문헌

- (1) B.J.Roylance and S.Raadnu, "The Morphological Attributes of Wear Particles - Their Role in Identifying Wear Mechanisms", *Wear*, 175, pp.115~121, 1994.
- (2) A.Sasaki, "Oil Contamination Problems and Oil Cleaning Technology for Contamination Control", *JAST*, Vol.39, No.7, pp.566~571, 1994
- (3) A.D.H.Thomas, T.Davies and A.R.Luxmoore, "Computer Image Analysis for Identification of Wear Particles", *Wear*, 142, pp.213~226, 1991.
- (4) W.W.Sefert and V.C.Westcott, "A Method for the Study of Wear Particles in Lubricating Oil", *Wear*, 21, pp.27~42, 1972.
- (5) M.Shibata, "Tribological Characteristics and Diagnosis of Deteriorated Lubricating Oil", *JAST*, Vol.39, No.7, pp.559~565, 1994.
- (6) M.Kurahashi and M.Sawa, "Tribological Management and Life Estimation of Steel Making Plants", *JAST*, Vol.39, No.7, pp.596~603, 1994.
- (7) 八木伸行, 井上誠喜, 林正樹, "C言語で學ぶ實戰畫

像處理", オム社, pp.2-10, 1992

- (8) 李忠雄, "畫像工學", 集文堂, pp.9~20, 1988.
- (9) 이양범, 강경일, 이용중, "화상처리 응용기술", 技文社, pp.15-36, 1995.
- (10) 杉村丈一, 梅田彰彦, 山本雄二, "摩耗粉解析にもとづく摩擦状態の診断", *JAST*, pp.377~379, 1996.
- (11) 박홍식, 전태옥, 서영백, 김형자, "화상 처리에 의한 기계윤활 운동면의 마멸분 형태해석", 한국윤활학회지, 제12권, 제 3호, pp.72~78, 1996.
- (12) 임우조, 이진열, "윤활공학", 설운출판사, pp.52~55, 1996.

저 자 소 개



김형자(金亨賈)

1941년 5월생. 1968년 동아대학교 공과대학 기계공학과 졸업. 1971년 동아대학 대학원 졸업(석사). 1995년 동대학원 졸업(박사). 1973년~현재 부경대학교 기계자동차공학부 교수. 당학회 회원



박홍식(朴興植)

1953년 7월생. 1981년 동아대학교 공과대학 기계공학과 졸업. 1983년 동아대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1989년 한양대학교 대학원 졸업(박사). 1990년~현재 동아대학교 기계공학과 교수