

# 컴퓨터 영상처리에 의한 윤활시스템의 상태진단

서영백\* · 박흥식\*\* · 전태욱\*\* · 이종엽\*\*\*

\* 동아대학교 기계공학과 대학원

\*\* 동아대학교 기계공학과

\*\*\* 동의공업전문대 기계설계과

## ABSTRACT

Microscopic examination for the morphological estimation of wear debris on the oil-lubricated moving system is an accepted method for machine condition and fault diagnosis. However wear particle analysis has not been widely accepted industry because it is dependent on expert interpretation of particle morphology and relies on subjective assessment criteria. This paper was undertaken to estimate the morphology of wear debris on the oil-lubricated moving system by computer image analysis. The wear test was performed under different sliding conditions using a wear test device made in our laboratory and wear testing specimen of the pin-on-disk-type was rubbed in paraffine series base oil. In order to describe characteristics of debris of various shape and size, four shape parameters (50% volumetric diameter, aspect, roundness and reflectivity) have been developed and outlined in the paper. A system using such techniques promises to obviate the need for subjective, human interpretation of particle morphology in machine condition monitoring.

**Key Words** : Image Processing(영상처리), Shape Parameter(형태 파라미터), Morphological Estimation(형태평가), Wear Debris(마멸분), 50% volumetric Diameter(50%체적경), Aspect(장단도), Roundness(복잡도), Reflectivity(광택도)

### 1. 서론

각종 생산기계 및 산업기계 등의 윤활시스템을 구성하는 운동면이 상호작용할 때 마멸은 항상 일어나며 그 운동면을 구성하는 재료는 마멸분의 형태로 발생된다. 이 마멸분은 작동중에 있는 윤활유로부터 채취할 수 있고, 이 마멸분의 형태는 그것이 발생된 운동면에 대한 손상상태에 직접적으로 관여하고 있다.<sup>(1)</sup> 따라서 윤활시스템에서 발생하는 마멸입자의 형태특징 추출에 대한 해석이 자동적으로 가능하게 되면 윤활운동계 손상상태를 조기에 감지할 수 있고 또한 작동상태의 진단에도 활용할 수 있다.<sup>(2~4)</sup> 이를 위하여 종래부터 윤활운동계의 condition monitoring을 목적으로 작동유 중에 함유되어 있는 마멸분의 형태특

징의 관찰과 해석이 종래부터 행하여 왔다.<sup>(5~7)</sup> 이것은 내과의 혈액검사와 마찬가지로 작동중에 있는 윤활시스템으로부터 소량의 윤활유를 채취하여 조사하는 것으로 간편한 것이지만 직접 보는 것이 곤란한 윤활시스템의 손상상태를 알기 위해서는 극히 유효한 수단이라 할 수 있다.

그러나 최근 컴퓨터의 memory의 확장에 따라 발전하고 있는 화상처리 기술과 컴퓨터의 이용에 의하여 마멸분의 형태특징과 크기에 대한 정량적인 data를 용이하게 얻을 수 있는 지금에 있어서도 그 data를 사용하는 방법에 대해서는 아직 정성적인 범위에 지나지 않는 경우가 많다. 이처럼 윤활구동계에서 발생하는 마멸분 data의 유효이용을 방해하고 있는 요인은 형태와 크기가 다종다양한 입자의 특징을 정리하는

기술적인 방법이 아직 확립되어 있지 않기 때문<sup>(2-3)</sup>이라고 생각된다.

Roylance와 Raadnu<sup>(8)</sup>는 마멸분 화상해석의 자동화와 그것에 기초한 작동상태 진단에 관한 연구를 진행하여 정상마멸, severe 마멸, abrasive 마멸 등의 마멸형태를 분류하였고, Thomas<sup>(9)</sup>들은 마멸입자의 형태정보를 의하여 컴퓨터의 화상처리 기술을 이용하고 있는 등 마멸분의 특징추출을 위하여 화상처리 기법이 널리 이용되고 있다. 그러나 현재까지 화상처리 기술에 대한 이용은 윤활시스템에서 발생하는 마멸분의 형태정보 분석에만 국한되어 이용되고 있을 뿐이고, 마멸입자 형태의 분류 및 평가를 위하여 분석 data로부터 마멸분의 형태 파라미터(parameter)를 통하여 마멸분 해석에 적용하는 방법에 관한 연구는 아직 진행되고 있지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 윤활시스템을 모의한 pin-on-disc 윤활마찰·마멸실험으로부터 발생하는 마멸분을 membrane filter (공경  $0.45\mu\text{m}$ )가 부착한 마멸입자 채취기구를 사용하여 마멸분을 채취 한 뒤<sup>(5)</sup>, 마멸분 발생시의 작동조건 즉, 기계요소 재료, 작용하중 및 미끄럼거리 등의 변화에 따른 마멸분 형태특징에 대한 수치정보로부터 마멸분 형태 파라미터(50%체적경, 장단도, 복잡도 및 광택도)를 분류, 평가하고 이를 통하여 컴퓨터 영상처리에 의한 윤활시스템의 상태진단에 적용하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 윤활마찰실험

본 연구에 사용한 실험재료로서 pin 시험편은 직경 5.0mm의 베어링 강구 STB2을, disk 시험편으로 기계요소 재료로 널리 사용되는 3종류의 강, SM45C (200Hv),

STS304 (190Hv) 및 STB2 (780Hv)를 사용하였다. disk의 형상은 직경 50mm, 두께 10mm이고, 이를 연삭한 후 emery paper #1200으로 정밀 연마하여 그 표면조도를  $0.2\mu\text{mR}_{\text{max}}$ 로 일정하게 하였다. 그리고 실험에 사용한 윤활유는 무침가 파라핀(paraffine)계 광유(8.2cSt @40°C)를 사용하였다.

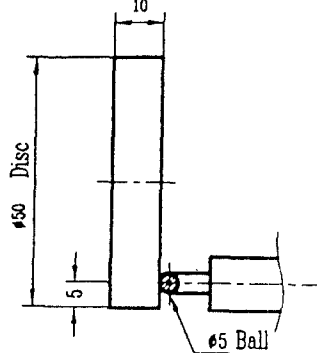


Fig.1 Schematic diagram of pin on disk type wear test.

실험장치는 pin-on-disc형 마찰·마멸시험기<sup>(2-3)</sup>에 의하여 윤활마찰 실험하였으며, 이것은 회전하는 disk 시험편에 베어링 강구를 압착시켜 마찰하는 것으로 이의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 그리고 윤활장치부에는 시험편 접촉점 하부에 oil bath를 설치하고 윤활유 공급은 순환펌프로써 silicon tube를 통하여 시험편 접촉점에 적하시켰으며, pin 시험편은 piano선을 이용하여 사하중을 걸어 disk에 가압하였다. 그리고 마멸분은 oil bath내의 윤활유로부터 공경  $0.45\mu\text{m}$ 의 membrane filter가 부착된 마멸입자 채취기구를 통하여 마멸분을 채

Table 1 Experimental condition

Disk	Load (kg)	Sliding distance (m)
SM45C	1, 3, 5, 7, 9	78, 156, 234
STS304	1, 3, 5, 7, 9	78, 156, 234
STB2	1, 3, 5, 7, 9	78, 156, 234

취하였다. Table 1에는 실험조건을 나타내었으며, 여기서 미끄럼거리는 하나의 시험편의 마찰시간(총 9시간)에서 3시간씩의 미끄럼거리를 세분화하여 0~78m, 78~156m 및 156~234m를 미끄럼거리 초기, 중기 및 말기로 구분하여 실험하였다.

## 2.2 화상처리 시스템

실험조건 별로 채취한 윤활유 중의 마멸분은 마멸분 채취 여과기에 의하여 membrane filter(공경  $0.45\mu\text{m}$ )상에서 채취하였다. 따라서 본 연구에서는  $0.45\mu\text{m}$  이상의 크기를 가지는 마멸분을 대상으로 하였고, 마멸분을 해석하기 위한 화상처리 시스템의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 광학현미경은 반사조명 및 투과조명의 2가지 할로겐 램프를 가지며 관측된 화상은 상부에 부착된 CCD 카메라에 의하여 PC의 frame grabber에 저장된다. 앞서 발표한 연구에서의 화상처리는 현미경의 반사광만을 이용하였지만 이번에는 투과광도 첨가하여 행하여 마멸분의 형태특징을 더욱 분명히 한 것이 특징이다.

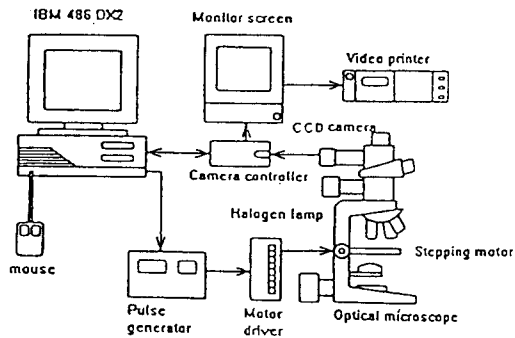


Fig. 2 Schematic diagram of image processing system.

본 연구에 사용한 화상입력을 위한 frame grabber는 화소수 640x480, 화소(pixel)당 분해능은 R(Red), G(Green), B(Blue) 각 8 bit(256 gray level)이고, 정방형 1 화소의

길이는  $0.426\mu\text{m}$ 이다. 이것은 마멸분 채취부분의 filter 직경이 35mm인 것을 고려하면 모니터 1 화면의 면적은 filter의 17,302분의 1이 된다. 그리고 Fig. 2의 화상처리 시스템의 frame grabber의 제어 및 이의 program처리는 모두 C 언어(일부는 기계어)로써 행하였다.

이상의 각 실험조건은 모두 대물렌즈 40배로서 filter내의 50 화면에 포함되는 대표경  $1.345\mu\text{m}$ (10화소이상)되는 마멸분 전체에 대하여 이들의 파라미터를 계산하였다.

## 2.3 화상처리 및 화상해석

마멸분은 발생조건에 따라 다양한 형태를 가지기 때문에 그 형태의 분류 및 평가를 위하여 본 연구에서 이용한 마멸입자의 형태정보를 Fig. 3에서 하나의 마멸입자 대하여 다음과 같이 정의하였다.

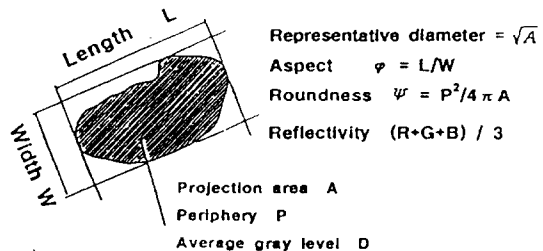
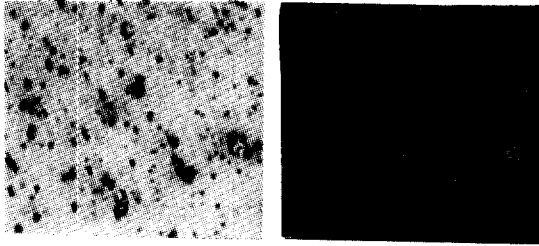


Fig. 3 Shape parameter of wear debris.

- (1) 입자둘레(Periphery) : 연직상방에서 본 화상의 마멸입자 윤곽선의 길이.
- (2) 면적(Area) : 연직상방에서 본 화상의 마멸 입자가 점유하는 부분.
- (3) 대표경(Representative diameter) : 마멸입자의 투영면적의 평방근을 취한 것.
- (4) 농도치(Gray level) : CCD 카메라에 비춰진 마멸입자의 색

여기서 마멸입자의 둘레 및 면적의 측정을 위해서 마멸입자를 백색, 그 외의 부분을 흑색으로 하는 2치화를 행하였다. 이 처

리는 비트(bit)수가 많은 농담화상을 처리하는 복잡을 피하기 위한 것이고 마멸입자의 존재위치와 점유부분을 명확하게 하기 위해서이다. 2치화의 역치(threshold)의 결정은 한 개의 sample의 50화상 중에서 첫 번째와 24번째 그리고 48번째의 3가지 화상에서 눈으로 결정하였다. Fig. 4는 (a)원래의 화상과 이를 2치화한 (b) 2치화 화상을 나타낸 것이다.



(a) Original Image (b) Binary Image

Fig.4 Original Image and Binary Image.

그리고 이렇게 하여 실험조건에 따른 마멸분 입자의 형태정보를 분류하여 화상처리하고, 이것을 이용하여 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 50%체적경, 장단도, 복잡도 및 광택도의 4가지<sup>(2~3)</sup>의 형태 파라미터(parameter)를 화상해석한다. 이의 정의는 다음과 같다.

(a)장단도(Aspect) : 각 마멸분에서 가장 긴 직경을 장경, 그것과 수직으로 교차하는 직경의 가장 긴 것을 단경이라고 하였을 때 단경에 대한 장경의 비율.

(b)복잡도(Roundness) : 마멸분이 원형에 가까운 정도를 나타내 주며, 즉, 마멸분이 원형일때 가장 최소(약  $4\pi$ )가 되고, 원형이 복잡하게 될 수록  $\psi$ 값이 크다.

$$\psi = P^2 / 4\pi A \quad (1)$$

(c)광택도(Reflectivity) : 마멸분으로 부터 렌즈계로 향하여 정반사되는 빛의 백색 기준면의 gray level(200)에 대한 마멸분의 3색 gray level  $R, G, B$ 의 gray

level과의 비율로서, 광택도는 이렇게 구한  $R, G, B$  값의 평균치이다.

(d)50%체적경(50%Volumetric diameter) : 마멸분의 대표경의 분포로부터 구하였으며, 이것은 그 직경 이하의 직경을 가진 마멸분의 체적의 합계가 전체 마멸체적의 정확히 50%가 되는 직경.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 형태 파라미터에 의한 마멸분 형태분류

Fig. 5에는 작용하중 3 kg, 미끄럼거리 초기인 0~78m 구간에서의 3종류 시험편의 총 마멸분 입자를 마멸입자 하나하나의 대표경과 장단도와의 관계를 (a)에, 그리고 대표경과 복잡도와의 관계를 (b)에 나타내었다. 그림에서처럼 각 형태 파라미터는 넓은 범위로 분포되어 있고, 실험조건 마다의 값의 존재범위는 동일하지 않지만 부분적으로 중복되어 있기 때문에 마멸입자 한 개한개의 파라미터 값으로 부터는 그것이 어느 실험조건의 것인지 즉시로 그 형태특징을 평가할 수 없다고 생각된다. 따라서 이를 위하여 마멸입자의 형태특징을 평가하기 위해서는 집단으로서의 성질, 예를들면 평균치 등을 이용하는 것이 더욱 편리하다고 생각된다.

Table 2에는 본 연구를 통하여 계산한 3종류의 시험편 재료에서 작용하중을 7kg으로 하였을 때 미끄럼거리 초기인 0~78m의 형태 파라미터 즉, 50%체적경, 복잡도,

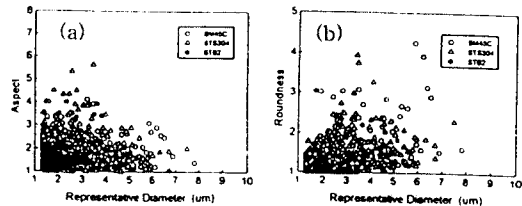


Fig. 5 Shape parameter of wear debris, Load : 3kg, Sliding distance : 0~78m

장단도 및 광택도의 마멸분 전체의 평균치를 표시한 것이다. 그리고 Fig. 6은 이들 값의 대소를 간략화하여 나타낸 선도를 표시한 것이다. 이 그림에서 사각형의 형태가 재료에 따라 각각 다르기 때문에 각 data의 특징을 확실하게 구별할 수 있다. 즉 STS 304가 마멸입자의 크기를 나타내는 50%체

Table 2 Average values of shape parameter, Load ; 7kg, Sliding distance; 0~78m

Material	SM45C	STS304	STB2
50% Vol.dia	3.872	4.825	3.181
Roundness	1.342	1.293	1.141
Aspect	1.964	1.733	1.603
Reflectivity	0.366	0.406	0.399

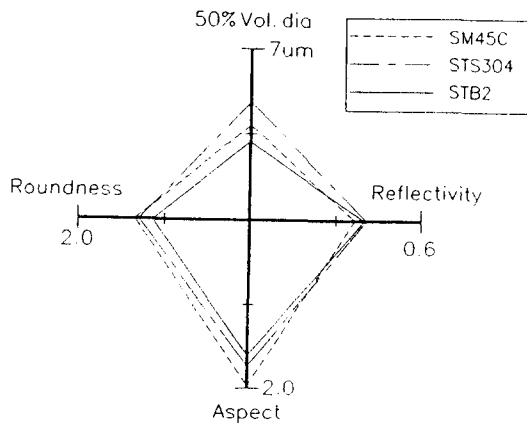


Fig. 6 Diagram of shape parameter.

적경이 4.825 $\mu\text{m}$ 로 가장 크게 나타나며, 복잡도와 장단도의 경우에는 SM45C가 다른 두 재료 보다 큰 값을 가지는 것에서 SM45C의 마멸입자의 형상이 가늘고 긴 형상을 나타내 주고 있으며, STB2는 광택도를 제외한 3가지의 형태 파라미터 모두가 다른 두 재료보다 작다는 것에서 보면 입자 크기가 현저하게 작고 둥글다는 것을 알 수 있다. 3가지 재료에서 STS304의 마멸입자 크기가 가장 크게 나타나는 것은

이 재료의 현미경조직이 연성의 성질을 가지는 오스테나이트(austenite)이므로 이로 인한 소성변형 정도가 가장 크다는 것을 보여 주고 있다고 생각된다. 또한 광택도의 경우에도 3종류의 재료 중에서 역시 STS 304가 가장 큰 값을 가지는 것은 STS304에 함유되어 있는 내식성 원소인 Cr (18%)의 영향으로 인하여 미끄럼거리에 따른 산화반응 속도가 늦게 진행되기 때문이라고 생각된다.

Fig. 7에는 실험조건으로 접촉하중 7kg, 미끄럼거리 초기인 0~78m 구간에서의 3종류의 시험편의 마멸분 형태의 사진을 비디오 프린터로 나타낸 것이다. 그림에서 마멸분의 크기는 (a) STS304가 가장 크고, 경도가 큰 (c) STB2가 극단적으로 작다. 그리고 STS304와 SM45C의 마멸분은 그 형상이 대부분 괴상 또는 박편상이고, 그 길이가 15 $\mu\text{m}$  이상의 큰 입자와 좁고 긴 curl 모양의 연삭(abrasive) 마멸분도 볼 수 있다. 그리고 STS304는 부분적으로 금속광택을 띤 입자를 볼 수 있지만 SM45C의 마멸분은 산화된 흑색이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 STB2의 경우는 가장 큰 마

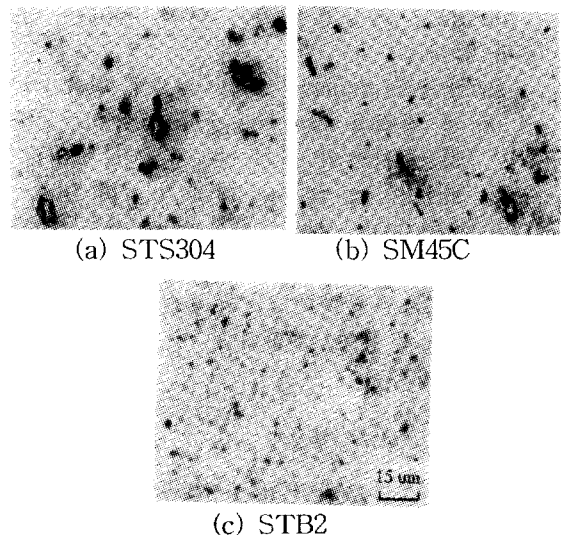


Fig. 7 Photo. of wear debris for specimen, Load: 7kg, Sliding distance: 0~78m.

멸분도 수  $\mu\text{m}$  정도이고, 전체의 마멸분 표면의 색은 갈색 또는 옅은 흑색을 가지고 있었다.

### 3.2 실험조건에 따른 형태파라미터와의 관계

마멸입자의 평균치를 이용하여 비교할 경우 그것을 구하는 sample 수가 문제가 된다. 유한개의 마멸분에 대한 파라미터에 대한 평균치의 분포는 sample 수에 반비례하여 변화하기 때문에 마멸분 총 수가 많은 경우가 모집단의 평균치에 가까운 값을 얻기 쉽다고 생각된다..

Fig. 8은 작용하중 9kg, 미끄럼거리 말기인 156~234m의 구간에서 SM45C의 측정 data로 부터 총 마멸분 중에서 마멸입자의 작은 집단으로 나눈 평균치를 50개, 100개 및 200개 마다의 작은 집단으로 랜덤하게 나누어 이를 형태 파라미터인 (a) 50%체적경과 광택도, (b) 복잡도와 장단도 사이의 범위를 나타낸 것이다. 여기서 각 형태 파라미터의 값에서 마멸입자 50개와 100개 마다의 평균치의 갯수가 200개 마다의 평균치의 갯수 보다 너무 넓게 분포되어 각 작동조건에 따른 마멸분의 형태특징을 정확히 판단하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 마멸분 입자수 200개 마다의 평균치로 나타내는 것이 가장 그 형태특징을 잘 표현할 수 있다고 생각된다. 따라서 이를 실제 기계 윤회운동면의 작동상태 진단에 이를 적용하기 위해서는 총 마멸입자를 구하

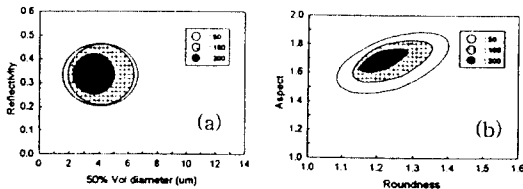


Fig.8 Average value of shape parameter for SM45C, Load; 9kg, sliding distance : 156~234m.

여 이에 적합한 작은집단으로 나누어 그 형태 파라미터의 특징을 구하는 것이 필요하다고 생각된다.

본 연구의 실험조건에 따른 마멸분 입자 형태 파라미터 사이의 특징을 보다 정량적으로 알기 위하여 작용하중 5kg으로 하고, 미끄럼거리를 변화시켜 초기, 중기 및 말기의 구간에서 STS304의 (a) 50%체적경과 광택도, (b) 복잡도와 장단도와의 관계를 마멸입자 총수에서 입자 수 200개 마다의 작은 집단으로 나눈 평균치를 Fig. 9에 나타내었다. 미끄럼거리의 증가에 따라서 4가지 형태 파라미터는 대체로 감소하는 경향을 가진다는 것을 알 수 있다. 이것은 STS304의 현미경조직이 상온에서 불안정한 오스테나이트(austenite) 조직이기 때문에 미끄럼거리의 증가함에 따라 반복되는 소성변형에 의한 가공경화가 진행<sup>(10~11)</sup>되어 마멸입자의 형태가 미끄럼거리 초기에서 주로 발생되는 금속광택을 띤 입자에서 마찰시간의 증가와 함께 산화된 미세한 입자가 생성된 결과라고 생각된다.

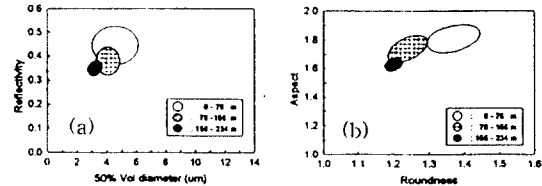


Fig.9 Average value of shape parameter in every 200 wear debris for STS304, Load ; 5kg.

Fig. 10은 STB2의 미끄럼거리 말기인 156~234m에서 작용하중의 증가에 따른 마멸분 형태 파라미터인 (a) 50%체적경과 광택도, (b) 복잡도와 장단도와의 관계를 마멸입자 총수에서 입자 수 200개 마다의 작은 집단으로 나눈 평균치를 나타낸 것이다. 그림에서 처럼 작용하중이 크짐에 따라 전체 마멸분 입자의 총 수도 증가하며, 형태 파라미터에서 50%체적경은 약간씩 증

가하지만 광택도의 경우는 역으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 그리고 복잡도와 장단도도 작용하중의 증가와 함께 대체로 상승하고 있다. 작용하중의 증가에 따라 광택도를 제외한 50%체적경과 복잡도 및 장단도가 점점 크게 나타나는 것은 본 실험의 윤활상태가 경계윤활로서 작용하중의 증가와 함께 소성유동이 증가하여 마멸분 입자의 형상이 복잡하고 불규칙한 형상을 가진다는 것을 나타내 주고 있다고 생각된다. 그러나 광택도의 경우에는 pin의 접촉점이 disk 시험편의 회전으로 인하여 다음 접촉을 할 때까지 노출된 신생면의 산화반응 속도에 크게 의존한다고 생각되며 작용하중의 증가에 따라 광택도가 감소하는 것은 작용하중의 증가에 따라 생성되는 마멸분 입자가 크기 때문에 대기중에 노출되는 신생면의 면적이 증가하여 산화반응 속도가 증가하기 때문이라고 생각된다. 따라서 마멸분 입자의 크기가 클 수록 산화되기 쉽다<sup>(3)</sup>는 것을 나타내 준다고 생각된다.

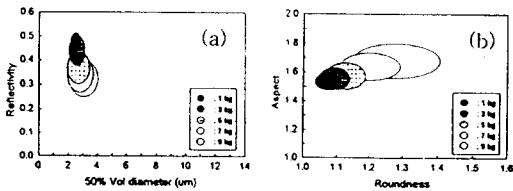


Fig.10 Average value of shape parameter in every 200 wear debris for STB2 :sliding distance ; 156~234m.

### 3.3 작동조건에 따른 추정 마멸체적의 계산

전술한 마멸분 형태정보를 이용하여 각 실험재료의 작용하중에 따른 마멸체적의 추정치를 계산으로 구하였다. 이것은 눈으로 직접 보는 것이 곤란한 윤활시스템을 구성하는 기계요소의 마멸체적을 추정하는데 극히 유효한 수단이라고 생각된다. Fig. 11에는 이것은 3종류 시험편 재료와 작용하중을 총 미끄럼거리 0~234m(총 9시간)

까지 실험한 결과를 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 1화면내의 하나의 마멸입자 체적을  $V_{ij}$ 라하고, 1화면내의 입자갯수를  $n$ 으로 두었을때 50화면 전체의 총마멸체적  $V_t$ 를 식 (2)로 구했다.

$$V_t = \left( \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^n V_{ij} \right) \quad (2)$$

$V_t$ 는 3 종류의 시험편 재료 모두 작용하중의 증가와 함께 증가하지만 STB2의 증가폭이 가장 적고, STS304의 경우는 하중이 5kg 이상에서 마멸체적의 증가율이 작용하중 증가에 따라 급격히 상승한다는 것을 볼 수 있다. 또한 STS304는 고하중인 7kg까지 마멸체적이 증가하지만 9kg에서는 다시 감소하는 것에서 마멸상태가 중마멸(severe wear)에서 경마멸(mild wear)로 천이하는 마멸과정을 볼 수 있다. STS304의 경우 작용하중의 증가에 따라 마멸율이 급격히 증가하는 것은 전술한 바와같이 STS304의 현미경조직이 연성의 오스테나이트(austenite)이므로 고하중의 경우에는 소성변형의 정도가 다른 2가지 재료 보다 크게 작용하기 때문이라고 생각된다.

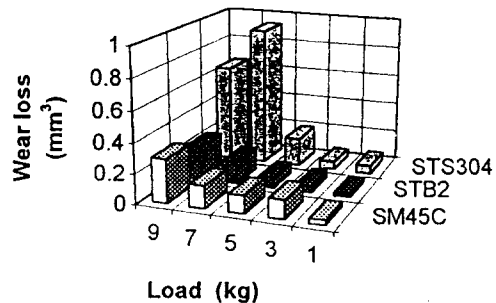


Fig.11 Presumed wear loss for specimen.

본 실험에서 마멸체적의 추정치 계산은 실험 완료 후의 disk시험편을 감도 0.1mg의 천칭으로 실험 전후의 중량감소량으로 측정하여 비교해 보았을 때 작동조건에 따라서 약간의 오차가 나타났지만 본 연구의 마멸량의 계산결과는 충분한 타당성을 가진다고 생각된다. 그러나 앞으로 다양한 작동조건과 기계요소 재료에 대하여 계속적으로 연구를 진행하여 다종다양한 마멸분 data의 축적으로 윤활구동계의 마멸분 형태분석에 대하여 활용하고 싶다.

#### 4. 결론

컴퓨터 영상처리에 의한 윤활시스템의 마멸분 상태진단을 위하여 pin-on-disk형의 윤활마찰 실험장치를 통하여 마멸분 생성시의 작동조건 즉, 기계요소 재료, 작용하중 및 미끄럼거리의 변화에 따른 마멸분을 채취한 뒤 이를 영상처리하여 마멸분을 분류, 평가하고 해석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 컴퓨터 영상처리에 의한 윤활시스템의 작동조건에 따른 마멸분의 형태특징의 분석이 가능하다.
2. 마멸분의 정확한 형태특징을 위해서는 전체의 마멸분 총 수에서 마멸입자 200개 마다의 작은 집단으로 나누어 그 평균치를 이용하는 것이 판단능력이 향상된다.
3. STS304의 경우 마찰시간의 증가와 함께 현미경조직인 오스테나이트의 가공경화로 인하여 4 가지 형태 파라미터는 대체로 감소한다.
4. 작용하중의 증가에 따라 마멸분의 크기와 형상은 복잡해 지지만 광택도는 감소하며, 큰 입자를 가진 마멸분일 수록 산화하기 쉽다.

5. 영상처리를 통하여 실시간으로 윤활면을 구성하는 기계요소 재료의 마멸체적의 추정치 계산이 가능하였다.

#### 참고문헌

- (1) T. B. Kirr, D. Panzera, R. V. Anamalay and Z. L. Xu, 1995, "Computer Image Analysis of Wear Debris for Machine Condition Monitoring and Fault Diagnosis", *Wear*, 181~183, pp. 717~722.
- (2) 박홍식, 전태욱, 서영백, 김형자, 1996, "화상처리에 의한 기계윤활 운동면의 마멸분 형태 해석", 한국윤활학회지, 제 12권, 제 3호, pp. 72~78.
- (3) 서영백, 박홍식, 전태욱, 1996, "기계윤활 운동면의 작동상태 진단을 위한 마멸분 형태 해석", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 A, pp.1143~1148.
- (4) Masaaki Shibata, 1994, "Tribological Characteristics and Diagnosis of Deteriorated Lubricating Oil", *JJST*, Vol.39, No.7, pp. 559~565.
- (5) Yoshitsugu Kimura, 1994, "The Current State and Future Tasks of Maintenance Tribology", *JJST*, Vol. 39, No.7, pp. 553~558.
- (6) Hunt T. M., 1993, "Handbook of Wear Debris Analysis and Particle detection in Liquids", Elsevier.
- (7) W. W. Seferl and V. C. Westcott, 1972, "A Method for the Study of Wear Particles in Lubricating Oil", *Wear*, 21, pp. 27~42.
- (8) B. J. Roylance and S. Raadnui, 1994, "The Morphological Attributes of Wear Particles-Their Role in Identifying Wear Mechanisms", *Wear*, 175, pp. 115~121.
- (9) A. D. H. Thomas, T. Davies and A. R. Luxmoore, 1991, "Computer image Analysis for Identification of Wear Particles", *Wear*, 142, pp. 213~226.
- (10) 小川喜代一, 1981, "金屬の潤滑摩耗とその對策" 養賢堂, pp. 37~46.
- (11) John H. Magee, 1995, "Wear of Stainless Steels", *ASM Handbook*, Vol.18, pp. 710~724.