

## 침탄처리한 Ni-Cr-Mo강의 마찰-마모특성

백 승 호  
 성남기능대학 금속기술학과

### Friction-Wear Properties of Carburized SNCM

Seung Ho, Baek  
 Department of Metal Technology,  
 Sunnam Polytechnic College, 461-711

#### ABSTRACT

In this study, friction-wear test was carried out on the carburized layer depth of a mechanical structure steel SNCM carburized with RX and LPG for 7hrs at 930°C and also the wear properties of wear loss, wear rate, coefficient of friction, friction force and friction temperature were investigated. The wear properties for carburized layer of SNCM were tested on dry condition at the room temperature by the thrust load of 49~245N range at sliding speed of 0.2m/sec and the sliding speed of 0.2~1.0m/sec range at thrust load of 98N.

Wear loss on the depth of carburizing layer was increased with increasing of thrust load and sliding speed, and with decreasing of hardness.

The condition of worn surfaces were showed mild wear at less than the thrust load of 98N and sliding speed of 0.6m/sec but were showed severe wear at more than 98N and 0.6m/sec. The friction load and temperature were increased with increasing of thrust load but with increasing sliding speed was appeared minimum at 0.6m/sec. With increasing thrust load the wear rate was increased and the coefficient of friction was decreased, but with increasing sliding speed the wear rate and the coefficient of friction were decreased in 0.2~0.6m/sec and increased in 0.6~1.0m/sec, therefore 0.6m/sec in this testing is a transition velocity.

#### 1. 서 론

금속제품을 노후화시키는 주요 현상은 화학적인 부식, 마찰에 의한 마모 및 반복응력에 따른 피로 균열의 발생 등이 있다. 이들 중 마모에 의한 손실을 감소시키기 위하여 작동시 마찰을 수반하는 각종 기계장치의 부품에 대해서 표면경화처리와 윤활제를 적용하고 있으며, 마모현상을 규명하기 위하여 많은 연구가 이루어졌으나 마모에 영향을 미치는 인자가 너무 다양하므로 마모의 mechanism을 정설화하지 못하고 있다. ASM에서는 마모를 "재료 표면간의 상대적인 운동으로 인하여 재료 표면으로부터의 물질 이동이나 점진적인 손실" 이라고 정의하였다. 기계장치의 부품으

로서 서로 접촉상태에서 상대운동으로 미끄럼 마찰을 일으키며 작동하는 각종 gear류나 piston과 cylinder 및 crankshaft와 cam 등은 마찰에 의한 마모 손실이 노후화의 주요인자로 작용하고 있으므로 이들 부품에 대해서 마찰면의 마모손실을 최대한 감소시킬 목적으로 각종 표면경화처리를 시도하고 있다. 마모의 mechanism과 형태에는 여러가지가 있으며 또한 기계부품의 표면경화처리에도 각종 화학적 및 물리적 방법이 적용되고 있으나 본 연구에서는 소재를 침탄(carburizing)처리한 후 연삭마모(abrasive wear)의 mechanism에서 미끄럼 마모(sliding wear) 형태를 적용하여 시험하였다. 금속제품의 작동시 마멸특성은 재료의 종류, 표면경도, 윤활상태, 마찰조건 및 주변 환경

등이 복합적으로 작용하여 나타나므로<sup>9-15)</sup> 이론적 정립이 쉽지 않다.

즉 표면경화처리한 제품도 사용시에는 접촉면에 각종 윤활유를 공급해 주므로서, 또한 가압력과 작동속도를 조절하므로서 마찰에 의한 소음과 열의 발생 및 마모손실을 최소화할 수 있기 때문이다. 그러나 윤활유를 사용하는 습식조건하에서의 마모시험은 소재 자체의 내마모성을 규명하기보다는 윤활유에 따른 마모특성을 시험하게 되므로 본 연구에서는 기계 구조용 특수강재인 Fe-Ni-Cr-Mo강(SNCM)을 가스침탄처리한 후 ring on plate 형식으로 실온의 건식상태에서 가압하중과 마찰속도를 변화시키면서 마찰-마모시험을 실시하여 침탄층의 깊이에 따른 내마모성을 조사하고 그 결과를 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1 시료의 열처리 및 시편제작

본 연구에서 사용한 시료는 기계구조용 특수강인 SNCM 220 침탄강으로서 Spectrometer (Jobin Yvon Co., JY 50E)로 분석한 화학적 성분은 Table 1과 같다.

시료의 열처리는 SNCM 220 압연재를 30×30×5(mm)의 크기로 다량 가공한 후 RX와 LPG를 사용하는 침탄로에서 930°C로 7시간 침탄하고 2시간 확산처리 하였다. 930°C에서 830°C까지는 노냉(FC)하여 30분간 유지한 후 기름 퀴칭하고 다시 190°C에서 2시간 템퍼링하였으며 열처리 cycle은 Fig. 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of specimen. (wt %)

C	Si	Mn	P	S
0.172	0.283	0.867	0.015	0.001
Cr	Mo	Ni	Cu	
0.546	0.293	0.482	0.014	

열처리한 시료는 침탄 표면층으로 부터 각각 0.2mm, 0.8mm, 1.2mm 및 1.6mm 깊이로 평면 절삭 가공하여 마모시편으로 사용하였으며, 상대 시편은 기계구조용 탄소강인 SM45C 를 ring 형으로

가공하여 산화 및 탈탄방지 처리를 한 후 845°C로 가열하여 10분간 유지하고 기름 퀴칭하므로서 표면경도가 HV 695인 시편을 사용하였다. Fig. 2에는 마모시편과 상대 시편의 형상과 치수를 나타내었다.

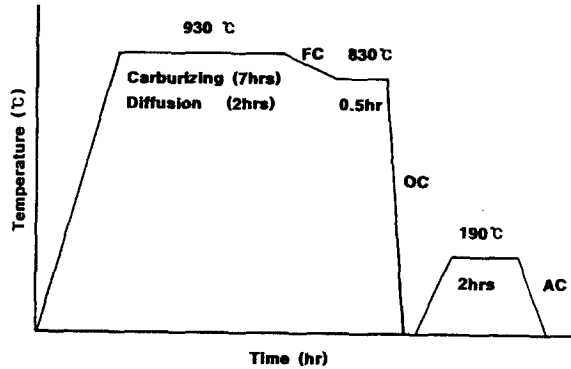


Fig. 1. Heat treatment cycle of specimen.

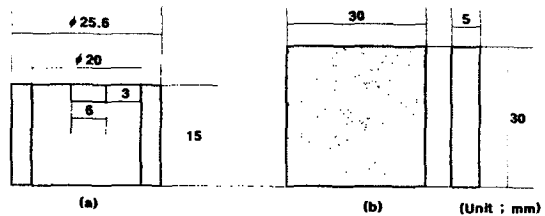


Fig. 2. Schematic diagram of (a) upper fixed relative specimen and (b) lower rotation specimen.

2.2 마모시험

본 시험에서 사용한 마찰-마모(friction wear) 시험기는 일본 ORIENTEC Co.의 EFM-III -F Model 로서 그 개략적인 구조는 Fig. 3과 같다.

Thrust load cell은 100Kg(980N), torque(friction) load cell은 10Kg(98N) 용량을 적용하였으며 Fig. 4에 나타난 바와 같이 상대시편의 회전축 중심으로부터 torque(friction) load cell의 ball 까지 거리인 R은 100mm이며 상부 고정시편의 평균반경인 r은 11.4mm이다. 마모시험 시 가압하중(thrust load),

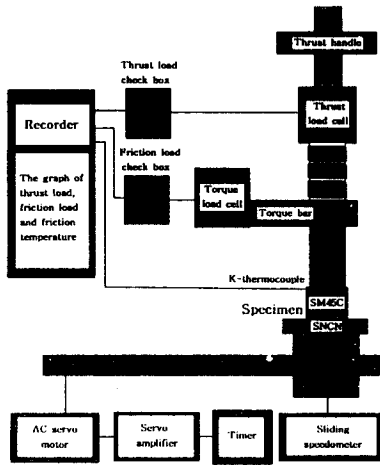


Fig. 3. Schematic diagram of the friction-wear testing machine.

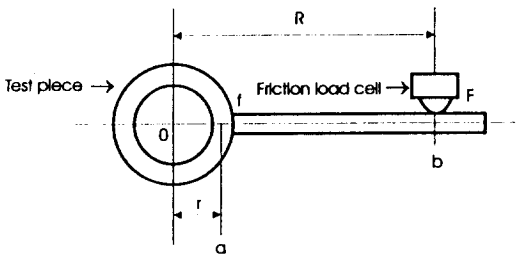


Fig. 4. Schematic diagram for relation between the relative specimen and the friction (torque) load cell in the friction-wear testing machine.

마찰하중(friction load) 및 마찰온도(friction temperature)의 변화를 roll 기록지상에 그래프로 나타내주는 automatic balance recorder(AR-6000)의 calibration은 thrust load cell과 torque(friction) load cell의 각 check box를 사용하여 정확히 조정하였다. 한편 상대시편인 상부 ring 형 시편(SM45C)과 마모시편인 하부 plate 형 시편(SNCM 220)의 마찰부 표면은 #1000의 emery paper로 평면 연마한 후 상, 하부의 holder에 각각 장착하고 상부시편의 측면 hole에는 마찰온도를 측정할 수 있는 K-thermocouple를 삽입하였다.

침탄층의 깊이별 마모시편을 실온의 건식상태에서 상대시편과 접촉시킨후 먼저 마찰속도(sliding speed)를 0.2m/sec로 고정하고 가압하중을

49N(5Kgf), 98N(10Kgf), 147N(15Kgf), 196N(20Kgf) 및 245N(25Kgf)로 변화시키면서 각각 4분간 시험하여 마모량(wear loss), 마찰력(friction force), 마모율(wear rate) 및 마찰계수(coefficient of friction)등을 측정하였다.

다음에는 가압하중을 98N으로 고정하고 마찰속도를 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 및 1m/sec로 변화시키면서 각각 4분간 시험하여 상기와 같은 마모특성을 측정하였으며, 침탄층의 깊이별 시편에 대한 마모시험조건인 가압하중과 마찰속도가 변할 때마다 각기 새로운 시편을 사용하여 시험결과를 얻었다.

시험시 기록계의 기록지 흐름 속도는 30mm/min으로 조정하였으며 시험후 각 하부시편의 마모손실량은 10<sup>-4</sup>gr 단위까지 측정할 수 있는 전자저울을 사용하여 mg단위로 정밀측정 하였으며 마찰부 표면의 마멸상태는 금속현미경을 사용 50배율로 관찰하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 경도

Table 2는 침탄처리후 퀴칭-템퍼링한 SNCM의 표면으로부터 깊이별 경도(Hv)를 나타낸 것으로서 침탄층으로부터 약 0.5mm 깊이 이내에서는 Hv700 이상의 높은 경도를 보이고 있으나 탄소량이 점차 감소하는 내부층으로 갈수록 경도는 감소하였다. 한편 침탄층의 현미경조직은 표면으로부터 1mm 깊이까지는 미립의 탄화물(Fe<sub>3</sub>C)이 다량으로 분포된 미세입자의 마르텐사이트가 보였

Table 2. Vickers hardness on depth from surface of carburized SNCM.

Depth From Surface	HV
0.2mm	727
0.4mm	711
0.6mm	695
0.8mm	672
1.0mm	645
1.2mm	553
1.4mm	496
1.6mm	442

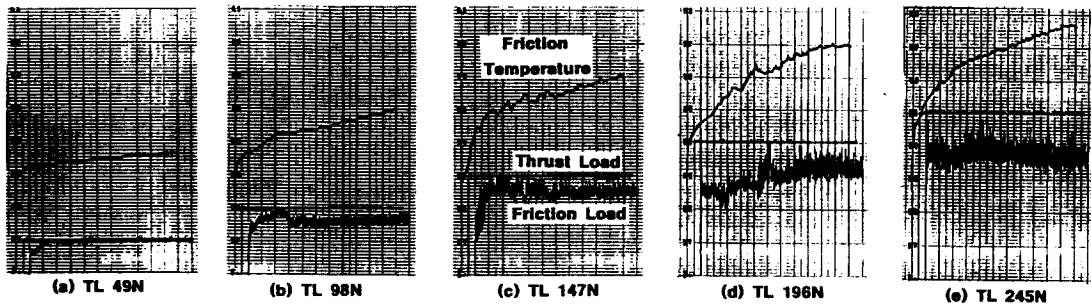


Fig. 5. Variation of the friction load and temperature on increasing thrust load for the 0.2mm depth specimens.

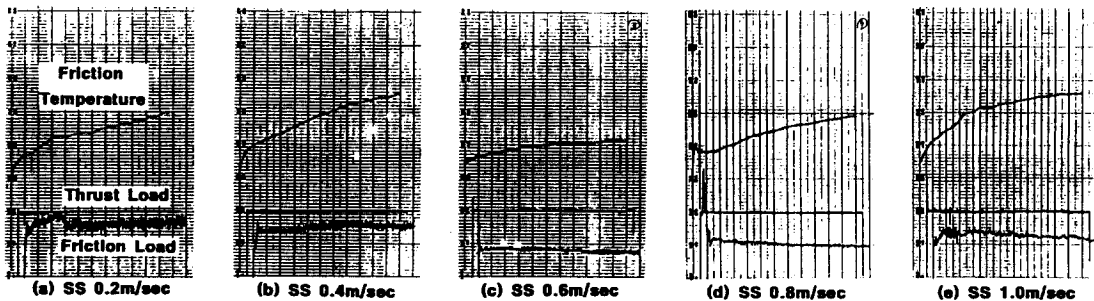


Fig. 6. Variation of the friction load and temperature on increasing sliding speed for the 0.2mm depth specimens.

으며, 1mm 이상의 깊이에서는 템퍼드 마르텐사이트와 하부 베이나이트가 혼재되어 나타났다.

## 3.2 마모특성

### 3.2.1 마찰하중 및 온도의 변화

Fig. 5는 마찰속도를 0.2m/sec로 하고 49~245N의 범위에서 49N씩 증가시킨 각 가압하중 별로 침탄층의 0.2mm깊이에서 채취한 각 시편에 대해서 4분간씩 건식으로 마모시험하였을 때 얻어진 마찰온도와 마찰하중(friction load)의 변화를 나타낸 것으로서 마찰온도는 가압하중이 증가할 수록 또한 마찰시간이 경과할 수록 21°C에서 77°C까지 증가하였다. 한편 마찰하중의 변화는 가압하중이 낮을 때는 진폭이 적고 균일하게 나타났으나 가압하중이 증가할 수록 진폭이 커지고 불균일한 변화를 보였으며 가압하중이 49N에서 245N으로 증가함에 따라 마찰하중은 4.7N으로부터 18.1N까지

증가하였다.

또한 Fig. 6은 가압하중을 98N으로하고 0.2~1m/sec의 범위에서 0.2m/sec씩 증가시킨 각 마찰속도별로 침탄층의 0.2mm 깊이에서 채취한 각 시편에 대해서 4분간씩 건식으로 마모시험하였을 때 얻어진 마찰온도와 마찰하중의 변화를 나타낸 것으로서 마찰온도는 마찰속도가 0.4m/sec에서는 55°C까지 증가하였으나 0.6m/sec에서 41°C로 감소한 후 마찰속도가 1.0m/sec로 증가함에 따라 다시 56°C까지 증가함을 보였다. 한편 마찰하중의 변화는 0.2m/sec의 마찰속도에서 7.84N로서 비교적 높은 값을 보이며 진폭도 크고 불균일 하였으나 마찰속도가 증가함에 따라 감소하여 0.6m/sec에서 3.9N으로 최소의 값을 보였으며 진폭도 감소하고 균일하게 나타났다. 그러나 1.0m/sec의 마찰속도에서는 마찰하중이 6.1N으로 증가하고 진폭도 다소 불균일한 양상을 보였으며 마찰온도가 증가하였다. 이러한 현상은 마찰속도가 증가할 수록 마찰

면의 가공경화현상이 증가하여 표면경도가 상승하는 반면 마찰열의 증가에 따른 연화현상이 동시에 수반되므로 산화물층이 제거되고 연삭에 의한 소성변형이 발생<sup>9)</sup>하여 마찰면의 상태가 불균질해지는데 기인한다고 사료된다.

### 3.2.2 마찰면의 상태

SNCM의 침탄층 0.2mm 깊이 시편에 대해 0.2m/sec의 마찰속도하에서 49N~245N의 가압하중으로 각각 4분간 건식으로 마모시험한 마찰면과 98N의 가압하중하에 0.2m/sec~1.0m/sec의 마찰속

도로 각각 4분간 건식으로 마모시험한 마찰면을 50배율의 광학 현미경으로 관찰한 상태를 Fig. 7에 나타내었다. 마찰속도가 일정한 상태에서 가압하중이 49N일 때는 마찰면에 마모 scratch가 미세하게 나타나고 소량의 암적색 산화철( $Fe_2O_3$ )분말이 발생하여 전 표면에 얇게 응착되었으며 가압하중이 98N에서는 scratch와 산화철 분말이 다소 증가하였으나 mild 마멸상태를 보였다. 그러나 147N이상의 가압하중에서는 마모 scratch와 마멸입자(debris)가 증가하였으며 마멸입자는 미분쇄되어 산화한 후 마찰열에 의하여 응집되는 severe

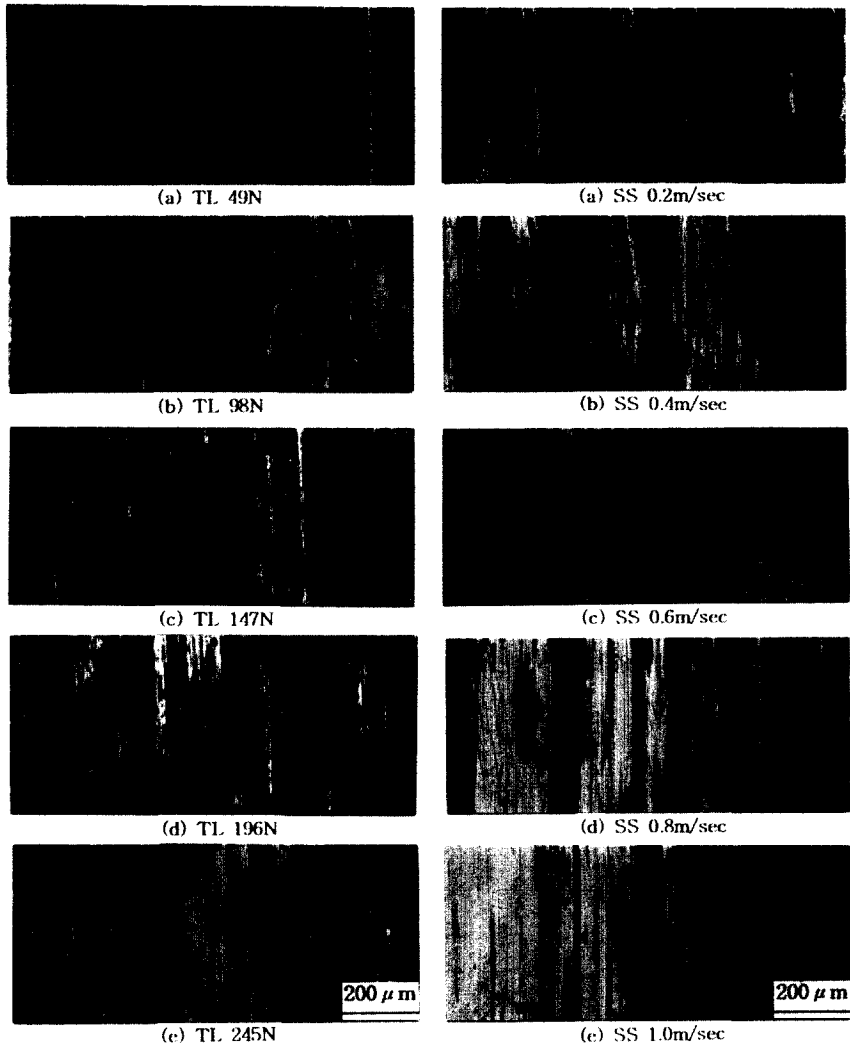


Fig. 7. Optical microscopy of the worn surfaces on increasing the thrust load(TL) and the sliding speed(SS) for 0.2mm depth specimens.

마멸상태를 나타내었다.

한편 일정한 가압하중하에 0.2~0.4m/sec의 마찰 속도에서는 비교적 마모 scratch가 적고 균질한 mild 마멸상태를 나타내었으나 0.6m/sec이상의 마찰 속도에서는 연삭 마모면이 크게 증가하며 산화철 분말도 응집되는 severe 마멸상태를 보였다.

Severe 마멸상태에서는 소재의 마찰표면에 연삭에 의한 소성변형이 발생하며 이때 생성된 금속성 마멸입자는 가압력과 회전력에 의해 미분쇄되고 마찰열에 의해 산화되어 마찰면의 오목부에 응착되는데 사진에서는 흑색으로 보인다. 마찰속도가 0.6m/sec이하에서는 산화 마모된 암적색의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 분말이 발생하였으나 0.6m/sec이상에서는 마찰온도 상승이 산화를 가속시키므로서 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 함께 흑색의 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 분말이 혼재하여 나타났다.<sup>16)</sup>

### 3.2.3 마모량 및 마모율

본 시험에서 측정된 마모량(wear volume) V는  $V = Wa - Wb$  (mg)의 식으로 산출하였으며 Wa는 마모시험전 SNCM 시편의 중량이고 Wb는 시험후 시편의 중량으로서 전자저울을 사용하여 0.0001gr 단위까지 칭량하였다.

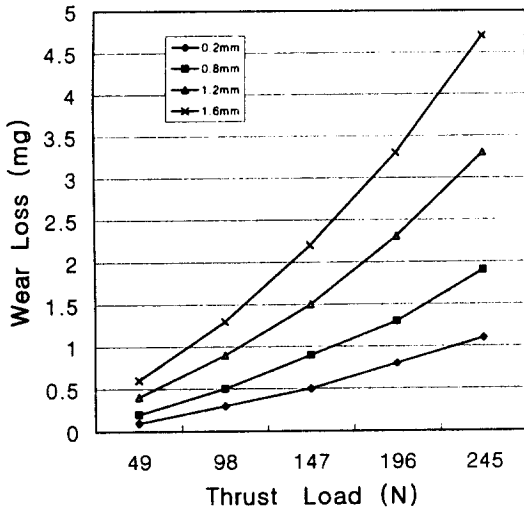


Fig. 8. The wear loss vs. the thrust load for the specimens of 0.2, 0.8, 1.2 and 1.6mm depth from carburizing surface.

Fig. 8과 Fig. 9는 각각 가압하중과 마찰속도 변화에 따른 마모량의 변화를 나타낸 것으로서 평면 절삭 깊이가 0.8mm이하인 경도가 높은 시편은 마모량이 적은 반면 평면절삭 깊이가 1.2mm이상으로 경도가 낮은 시편은 마모량이 상당량 증가하였으며, 가압하중과 마찰속도가 증가함에 따라 전반적으로 마모량이 비례적으로 증가함을 보였다.

마찰하중 및 속도가 증가할 수록 마찰면의 가공경화 현상이 증가하여 내마멸성이 향상될 수 있으나 마찰열의 증가로 표면연화가 수반되므로 마멸량은 마찰하중과 마찰속도가 일정범위내에서 증가함에 따라 점차 증가하게 된다.<sup>9-10)</sup> Fig. 9에서와 같이 가압하중이 일정할 때 마찰속도가 0.6m/sec까지는 마모량의 증가가 비교적 완만하였으나 0.6m/sec이상에서는 마모량의 증가가 컸다. 한편 마모율(wear rate) Vs는  $Vs = V / P \times L$  (mg/Nm)의 식으로 산출하였으며 V는 마모량(mg), P는 가압하중이다. 또한 L은 평균 마찰거리(m)로서 마찰속도에 시험시간(sec)을 곱한 값이며 본 시험에서의 시험시간은 240sec이다.

Sliding speed =  $d \times \pi \times \text{RPM} / 60$  (mm/sec)로 산출할 수 있으며 여기서 d는 상대 ring형 시편의 평균 직경으로서 22.8mm이다. Fig. 10에서와 같이 가압하중과 마모율의 관계는 비례적 변화를 보였으며 표면경도가 낮을 수록 마모율이 높았

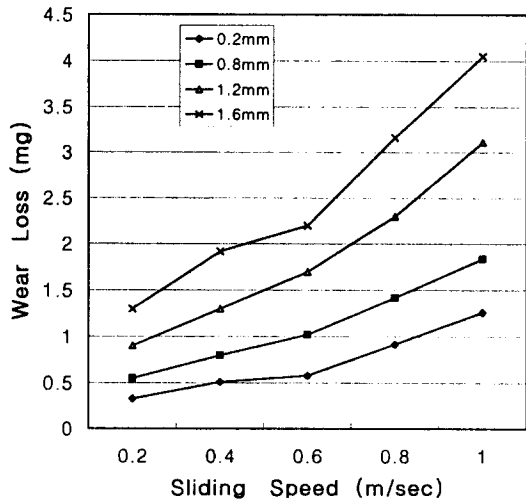


Fig. 9. The wear loss vs. the sliding speed for the specimens of 0.2, 0.8, 1.2 and 1.6mm depth from carburizing surface.

다. 그러나 마찰속도와 마모율의 관계는 Fig. 11과 같이 0.6m/sec까지는 마모율이 감소하는 반비례관계를 보였으나 0.6m/sec이상에서는 소폭의 마모율 증가를 나타내었다. 그러므로 본 시험의 경우 가압하중이 일정할 때 0.6m/sec의 마찰속도를 마모율에 대한 천이속도로 볼 수 있다. 이것은 마찰속도가 0.6m/sec까지 증가함에 따라 마멸입자의 산화물이 마찰 표면에 응착하여 윤활작용을 하므로서 마모율이 감소하였으나 0.6m/sec이상의 속도에서는 고속회전에 의하여 마멸입자의 산화된 응착물이 마찰표면으로 부터 이탈되므로서 기계적 마멸이 증가하기 때문에 마모율이 점차 증가한다고 사료된다.<sup>17)</sup>

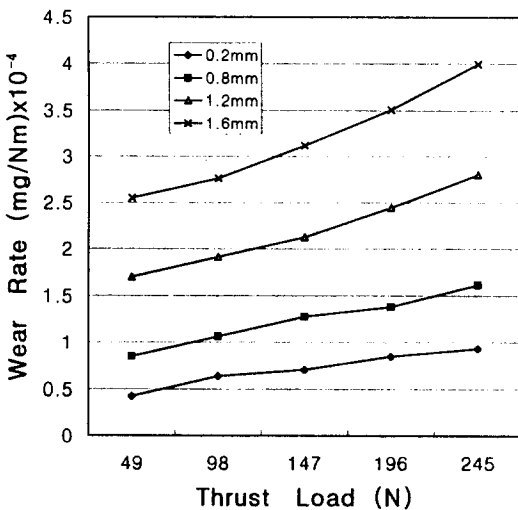


Fig. 10. The wear rate vs. the thrust load for the specimens of 0.2, 0.8, 1.2 and 1.6mm depth from carburizing surface.

### 3.2.4 마찰계수

본 시험에서 마찰계수(coefficient of friction)  $\mu$ 는  $\mu = f / P$  로 산출하였으며  $f$ 는 마찰력이고  $P$ 는 가압하중이다. 여기서 마찰력  $f$ 는 Fig. 4에서  $f = F \times R / r$  (N)의 식으로 계산되며  $F$ 는 마찰하중

값으로서 시험기록지의 그래프 진폭에서 평균치를 적용한다.

또한  $R$ 은 torque arm의 길이로서 본 시험의 경우 100mm이며,  $r$ 은 ring형 상대시편의 평균반경으로서 11.4mm이다. Fig. 12와 Fig. 13은 SNCM의 칩탄깊이별 각 시편의 가압하중과 마찰속도 증가에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 것으로서 가압하중이 증가함에 따라 마찰계수는 Fig. 12와 같이 다소 감소하였으며 표면경도가 낮을 수록 높은 값을 보였다. 그러나 마찰속도 증가에 따른 마찰계수는 Fig. 13과 같이 0.2m/sec로 부터 0.4m/sec까지는 소폭의 감소를 보였으나 0.6m/sec로 증가함에 따라 큰 폭의 감소를 나타내었다. 그리고 마찰속도가 0.6m/sec로부터 1.0m/sec로 증가함에 따라 점차 증가되므로서 0.6m/sec가 마모율에서와 같이 마찰계수의 천이속도로 나타났다.

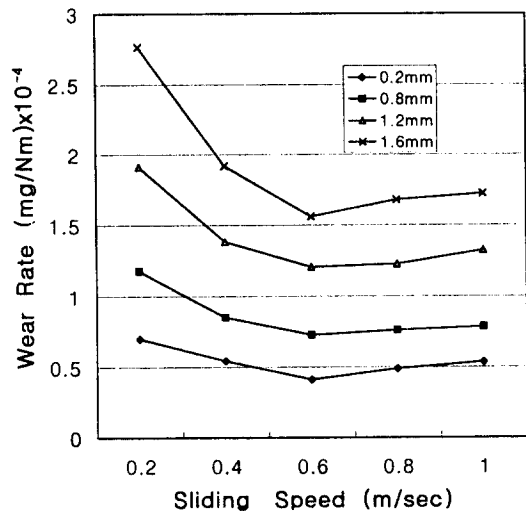


Fig. 11. The wear rate vs. the sliding speed for the specimens of 0.2, 0.8, 1.2 and 1.6mm depth from carburizing surface.

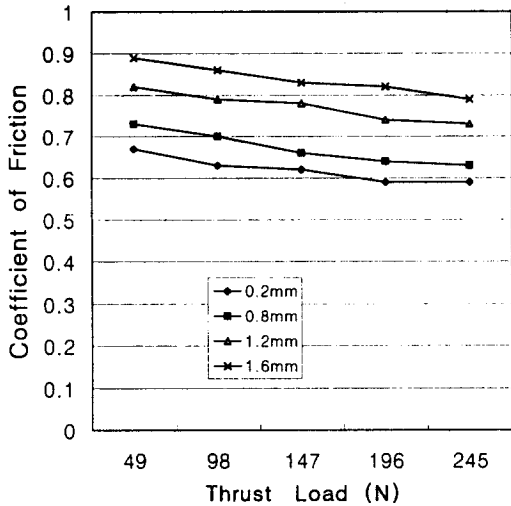


Fig. 12. The coefficient of friction vs. the thrust load for the specimens of 0.2, 0.8, 1.2 and 1.6mm depth from carburizing surface.

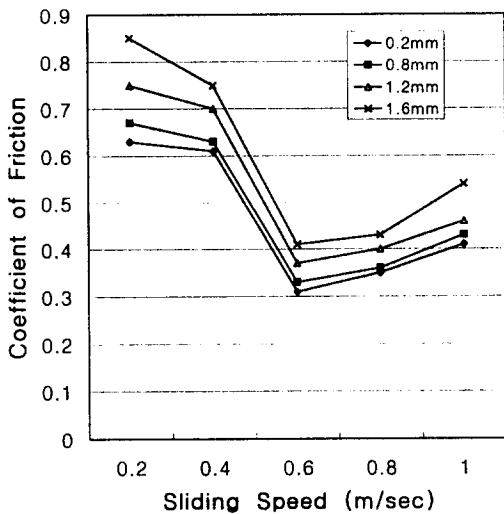


Fig. 13. The coefficient of friction vs. the sliding speed for the specimens of 0.2, 0.8, 1.2 and 1.6mm depth from carburizing surface.

#### 4. 결론

기계구조용 특수강인 SNCM220을 가스침탄처리 후 침탄층의 깊이별 시편에 대해 실온의 건식 상태에서 켄칭한 SM45C를 상대시편으로하여 가압하중과 마찰속도를 변화시키며 마찰-마모시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 마찰속도가 일정할 때 가압하중이 증가하면 마찰하중과 마찰온도가 계속 증가하며 진폭도 커지고 불균일 하였으나 가압하중이 일정하고 마찰속도가 증가할 때는 마찰하중이 0.6m/sec까지는 감소한 후 그 이상 속도가 증가함에 따라 점차 증가하였으며 진폭도 작고 균일하였다.
2. 98N이하의 가압하중과 0.6m/sec이하의 마찰속도에서는 마찰면의 scratch가 균질하고 마멸입자가 적은 mild wear 거동을 보였으나 그 이상에서는 거친 연삭 scratch와 마멸입자의 미분쇄 산화물이 불균일 응착된 severe 마모 거동을 나타내었다.
3. 마모량은 가압하중과 마찰속도가 증가함에 따라 증가하였으며, 마모율은 가압하중 증가에 따라서는 비례적으로 증가함을 보였으나 마찰속도가 증가할 경우는 0.6m/sec까지 감소한 후 그 이상 속도가 증가함에 따라 소폭으로 증가함을 보였다.
4. 마찰계수는 가압하중의 증가에 따라 0.6~0.9 범위 내에서 소량 감소하였으나 마찰속도 증가에 따라서는 0.3~0.85 범위에서 큰 변화를 보였다. 즉 0.6m/sec까지는 급감한후 그 이상의 속도에서는 점차 증가하므로써 0.6m/sec를 천이속도로 볼 수 있다.
5. SNCM 침탄층의 건식상태에서의 내마모성은 경도가 높은 표면으로부터 0.5mm깊이 이내에서 가장 우수하였으며 경도가 감소하는 내부 층으로 갈수록 감소하였다.

#### 5. 참고문헌

1. A.D. Sarkar : Wear, 90 (1983) 39
2. M. Antler : Wear, 7 (1964) 181
3. A.W.J. De Gee and J.H. Zaat : Wear, 5 (1962) 257



4. T. Akagaki and K. Kato : *Wear*, 143 (1991) 119
5. 김용현, 김대영, 이광학 : *주조*, Vol. 16, No. 3 (1996) 65
6. 김창규, 김중배, 장영석 : *주조*, Vol. 16, No. 3 (1996) 74
7. 강신철, 서인교, 김윤호 : *대한금속학회지*, Vol. 34, No. 3 (1996) 312
8. ASM : *Metal Hand Book*, 8th, Vol. 10, P. 134
9. A.D. Sarkar and J. Clarke : *Wear*, 75 (1982) 71
10. C. Subramanian : *Wear*, 151 (1991) 97
11. R. Shivanath, P.K. Sengupta and T.S. Eyre : in *Wear Materials* 1977
12. Karl-Heinz. Zum Gahr : *Microstructure and Wear of Materials*, Elsevier, 1987
13. J.P. Pathak, S.N. Tiwari and S.L. Malhotra : *Wear*, 112 (1988) 341
14. K. Razavizadeh and T.S. Eyre : *Wear*, 79 (1982) 325
15. 나영상, 박노광 : *대한금속학회지*, Vol. 34, No. 3 (1996) 342
16. 오길환, 채병두, 김학윤, 연윤모, 송건, 박종진 : *재료시험법, 기전연구사* (1997) 334
17. 이현계, 진철, 조경목, 박익민 : *대한금속학회지*, Vol. 33, No. 2 (1995) 242