

# 탄소주강과 경강선재간의 미끄럼 마멸특성

류중복, 채영훈\* 김석삼\*\*

경북대학교 산업대학원 기계공학전공

\*경북대학교 트라이볼로지 연구소

\*\*경북대학교 기계공학부

## The Sliding Wear Characteristics of Carbon Steel Castings against High Carbon Steel Wire Rods

Choong-poog Ryoo, Young-Hun Chae\* Seock-Sam Kim\*\*

Graduate School of Industry, Kyungpook National University

\*Engineering Tribology Research Institute, Kyungpook National University

\*\*School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

**Abstract** - The sliding wear characteristics of carbon steel castings were investigated using a ball on disk type tester. The experiment was conducted using high carbon steel wire rods as ball material and carbon steel castings as disk material and different operating conditions, at room temperature under a lubrication and dry conditions. The results showed that the carbon steel castings appeared average wear volume is lowered after annealing under a lubrication conditions and wear curve linear increased. The specific wear rate of carbon steel castings increased with wire diameter lubrication and dry also increased 125 times in dry. The sliding wear mechanism were investigated due to fatigue wear lubrications and abrasive wear dries also wire included fatigue and abrasive wear by plastic flow.

**Keywords** - Crane, Sheave, Wire-rope, Pulley, Carbon Steel Castings, High Carbon Steel Wire Rods.

### 1. 서 론

산업현장에서 화물운반 부품으로 사용되고 있는 크레인(Crane) [1-2]은 전 산업부문에서 효율성이 높은 대표적인 기계이다. 이와같이 크레인은 생산공정과 밀착된 연관성을 가지면서, 기업의 제조원가에도 중요한 영향을 미치기도 하며, 또한 안전사고의 위험성도 내포하고 있다. 최근 3개년間に 걸쳐서 사용빈도가 가장 높은 동력크레인에서만 440명이 작업중에 중,경상해를 입었으며 특히, 크레인의 시브(Sheave) [3] 등 기계장치

에 의한 사고가 20%나 차지하고 있는 점을 비추어 볼 때, 이는 막대한 인적, 경제적손실까지 유발하고 있음을 알 수 있다 [4]. 크레인 시브의 작동조건으로는 와이어로프(Wire-rope) [5]를 안내하는 홈 불이 풀리(Pulley)구조의 마찰,마멸의 요구특성으로 인하여, 사용중에는 시브와 로프간의 접촉면 압력에 의해 Fig. 1과 같은 어브레시브 마멸(Abrasive Wear)의 파괴현상을 나타내 보이기도 한다. 특히, 미국 철강협회에서 분석한 자료에 의하면, 시브와 와이어 로프간의 마찰, 마멸요인으로 높은 접촉면압력과 충격

력 그리고 미끄럼 접촉운동의 반복에 따른 하중조건의 변화와 와이어 로프의 접촉각도 불량, 시브의 열처리 불만족과 부적절한 윤회등이 주요 문제점인 것으로 보고하고 있다 [6]. 이렇듯 시브와 와이어로프간의 기존 연구활동으로는 주로 와이어로프의 사용과정에서 나타나는 피로수명등에 한해 집중적인 연구가 시도되어 왔을뿐 시브의 내마멸성에 대한 체계적인 연구는 이루어지고 있지 않다. 그러므로 이러한 트라이볼로지분야에 대하여 산업현장에서 가장 많이 사용하고 있는 금속재료인 탄소강품 [7] 시브와 경강선재 [8] 와이어 로프간에 미끄럼 마멸특성의 연관성을 규명하는 것이 무엇보다도 중요하다 하겠다. 이와 더불어 탄소강품 시브의 내마멸성 향상과 부품의 수명연장을 위한 방법으로 시브 금속표면에 고주파 표면 경화처리를 실시하거나 어닐링 열처리조작을 반드시 거친다음, 사용단계에서는 강력한 극압 내마모제 그리이스(Grease) 도포등이 적극 권장되고 있다.

따라서 본 연구에서는 앞서 언급한 탄소강품 시브와 경강선재간의 특별한 연구활동이 미흡한 실정을 감안하여 윤회와 무윤회하에 탄소강의 마멸특성을 조사하고 또한, 어닐링 열처리 전, 후간의 마멸기구를 비교 고찰하고자 한다.

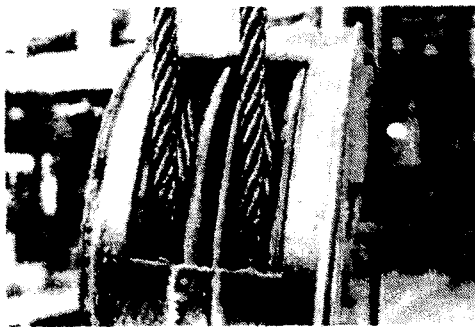


Fig. 1 A surface damage of sheave.

## 2. 실 험

본 연구에 사용한 실험재료로서 상대재인 ball 시험편은 길이 100mm, 소선굵기  $\phi$  0.93mm, 1.56mm, 2.30mm의 경강선재 HSWR72B를 사용하였다. disk 시험편의 형상은 지름 30mm, 두께 8mm의 원형판으로, 탄소강 SC46을 사용하였다.

disk 시험편의 화학적성분과 기계적성질은 Table. 1에 나타 내었다.

Table. 1 Chemical composition and mechanical properties of SC46

Chemical element	C	P	S
Composition (wt.%)	0.24	0.018	0.017
Mechanical Properties	UTS(MPa) 473.3	YP(MPa) 267.3	Elongation(%) 30.2
Hardness	Before annealing		After annealing
	190(Hv)		180(Hv)

실험장치는 Fig. 2와 같이 미끄럼 마찰, 마멸실험장치를 사용하였으며, 시험편간의 미끄럼 접촉은 Fig. 3과 같이 볼 온 디스크(ball on disk)방식의 반복 미끄럼실험을 리튬(Lithium) 비누기 그리스 (P-crown EP 1)을 사용하여 수행 하였다. 이는 회전하는 디스크위에 wire를 얹고 일정한 하중으로 가압하는 방식으로 대기중에서 윤회 그리스속에 소선이 완전히 잠긴상태에서 미끄럼 마멸 실험을 실시하였다.

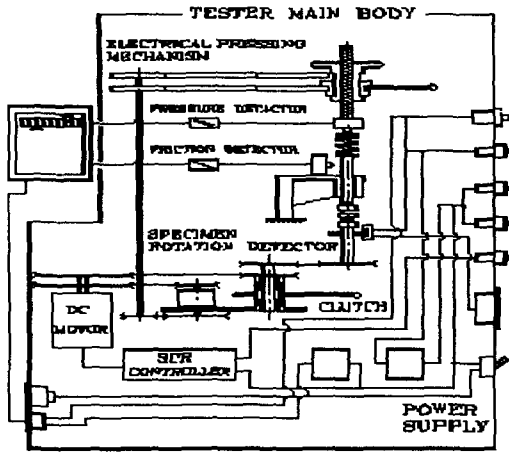


Fig. 2 Schematic diagram of wear testing apparatus.

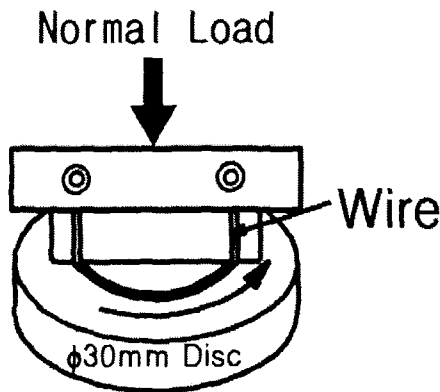


Fig. 3 ball-on-disk type sliding test.

실험조건은 emery paper #1200으로 연마하여 그 표면조도를  $0.5\mu\text{m}$  Rmax로 일정하게 하였다. 그리고 미끄럼속도를 220mm/sec로 고정시킨후 수직하중은 29.4N, 49.0N 및 68.6N의 3단계로 변화시켰다. 실험방법으로는 시험편을 아세톤용액으로 초음파 세척한 다음, 다시 시험편을 실험장치 장착부에 고정시킨후, 접촉점이 윤활그리스에 완전히 잠긴 상태에서 실험을 수행하였다. 실험이 종료된 후에는 시험편에 부착된 마멸분을 다시

초음파 세척하여 표면형상 거칠기로 마멸량을 측정하는 다음, 최종적으로 마멸면을 관찰하였다.

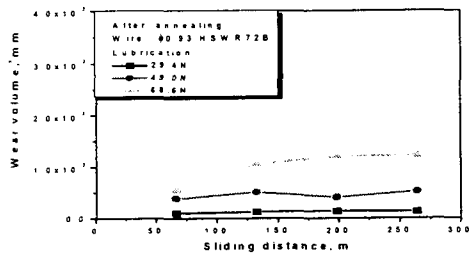
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 윤활하의 탄소주강의 마멸특성

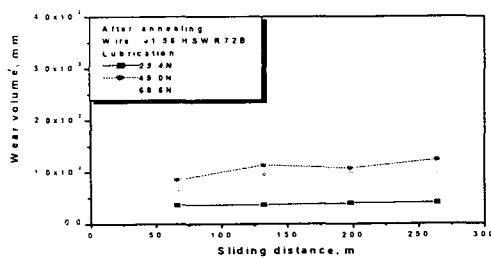
Fig. 4는 윤활하의 어닐링열처리후 탄소주강에 대해 미끄럼거리에 따른 마멸량의 변화를 각 소선별로 나타낸 것이다. Fig. 4(a)는 소선  $\phi 0.93\text{mm}$ 일 때, 수직하중 29.4N과 49.0N에서 미끄럼거리 증대에 따라 정도는 상이하나 고하중 68.6N에서는 마멸초기부터 선형적인 곡선을 그리면서 마멸량이 일정하게 증가하는 특성을 보인다.

Fig. 4(b)는 소선  $\phi 1.56\text{mm}$ 일 때, 수직하중 49.0N이 고하중 68.6N에 비해 초기마멸부터 앞서 진행된후 미끄럼거리 198m이후에서는 다시 기울기가 급격하게 직선적으로 마멸량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 미끄럼거리 증가에 따라 시험편의 미끄럼 윤활표면에 안정된 길들이기(Running-in)과정에서 마찰의 영향으로 미끄럼 표면에서는 잔류응력이 증가하는 반면, 깊이에 따라서는 수직하중의 영향이 그다지 크지 않음을 확인하였다.

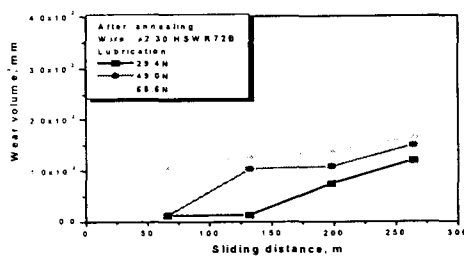
Fig. 4(c)는 소선  $\phi 2.30\text{mm}$ 일 때, 수직하중 29.4N과 49.0N에서 각각 미끄럼거리 132m이전까지는 초기마멸이 진행되고 이후에는 정상마멸로 진행되는 것으로 생각된다. 고하중 68.6N에서는 대체적으로 마멸량이 일정하게 증가하는 경향을 보인다.



(a) Lubrication, wire  $\phi$  0.93mm



(b) Lubrication, wire  $\phi$  1.56mm



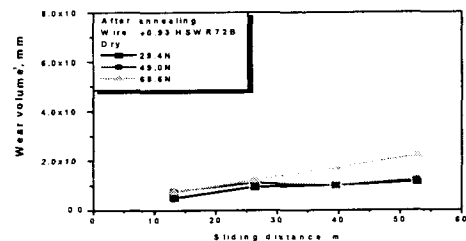
(c) Lubrication, wire  $\phi$  2.30mm

Fig. 4 (a)~(c). Wear volume under a lubrication.

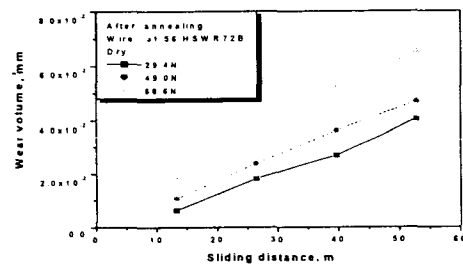
### 3.2 무윤활하의 탄소주강의 마멸특성

무윤활조건하의 마찰, 마멸하에서 미끄럼운동을 하는 금속재료 표면의 특성변화에 관한 연구들이 오래전부터 많은 연구의 대상이 되어왔다. [9-11]. Fig. 5는 무윤활하의 어닐링열처리후 탄소주강에 대해 미끄럼거리에 따른 마멸량의 변화를 각 소선별로 나타낸 것이다. Fig. 5(a)는 소선  $\phi$  0.93mm일 때, 수직하

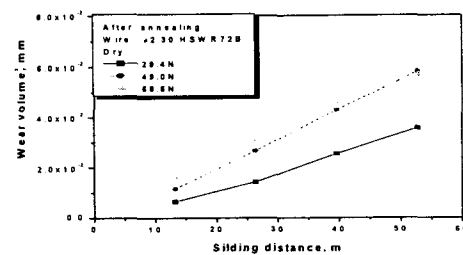
중 29.4N과 49.0N을 제외하고는 Fig. 5(b),(c)의 소선  $\phi$  1.56mm와  $\phi$  2.30mm에서 각각 마멸초기 단계에서 부터 미끄럼거리에 비례하여 마멸량이 급격하게 증가하고 있음을 알수 있었다. 이는 무윤활하에 와이어로프 소선규격이 커질수록 시브에서 마멸량이 더욱 심하게 나타날 수 있음을 암시한다.



(a) Dry, wire  $\phi$  0.93mm



(b) Dry, wire  $\phi$  1.56mm



(c) Dry, wire  $\phi$  2.30mm

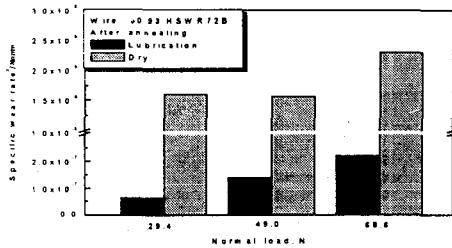
Fig. 5 (a)~(c). Wear volume under a dry.

### 3.3 탄소주강의 비마멸율

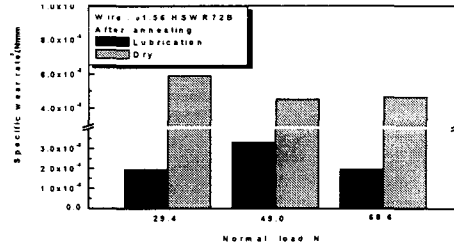
Fig. 6(a)는 소선  $\phi 0.93\text{mm}$ 일 때, 하중증가에 따른 비마멸율의 변화를 나타낸 그래프이다. 윤활과 무윤활하에서 수직하중의 증가에 따라 비마멸율은 서서히 증가함을 나타낸다. 특히, 윤활하의 수직하중 29.4N에서  $1.41 \times 10^6 \text{mm}^3/\text{Nm}$ 의 비마멸율에 비해 무윤활하에서 비마멸율은 125배 증가하였다.

Fig. 6(b)는 소선  $\phi 1.56\text{mm}$ 일 때, 하중증가에 따른 비마멸율의 변화를 나타낸 그래프이다. 무윤활하에서 수직하중의 증가에 따라 비마멸율은 서서히 감소하는 경향을 보였고, 윤활하에서는 수직하중 49.0N에서 약간 증가한 후 다시 감소하였다. 이는 상온에서 미끄럼거리의 증가에 따라 진실접촉점 면적은 넓어져 상대적으로 접촉압력이 감소되어 비마멸율이 감소됨을 알 수 있다.

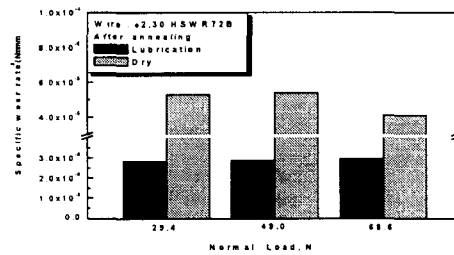
Fig. 6(c)는 소선  $\phi 2.30\text{mm}$ 일 때, 하중증가에 따른 비마멸율의 변화를 나타낸 그래프이다. 윤활하에서 수직하중의 증가에 따라 비마멸율은 거의 일정한 모습을 나타낸다. 무윤활하에서는 수직하중 29.4N과 49.0N에서 일정함을 보이다가 고하중 68.6N에서 다시 감소하였다.



(a) wire  $\phi 0.93\text{mm}$



(b) wire  $\phi 1.56\text{mm}$



(c) wire  $\phi 2.30\text{mm}$

Fig. 6 (a)~(c). Specific wear rate characteristics of carbon steel castings.

### 3.4 마멸면의 미시적 관찰

Fig. 7(a)는 윤활하의 미끄럼거리 264m, 수직하중 49.0N으로 소선  $\phi 0.93\text{mm}$ 일 때, 어닐링 열처리후 탄소주강의 마멸면을 보여주는 SEM 사진이다. 시편표면에서 마멸트랙의 정확한 검출이 어려울 만큼, 작은 트랙이 관찰되었으며 이는 전단과 소성변형에 의한 표면 윤활보호막의 파괴로 보여진다.

Fig. 7(b)는 무윤활하의 미끄럼거리 52.8m, 수직하중 49.0N으로 소선  $\phi 0.93\text{mm}$ 일 때, 어닐링 열처리후 탄소주강의 마멸면을 보여주는 SEM 사진이다. 마멸면이 심한 트랙중 양부에서 미끄럼방향으로 표면보호막의 분리 작용과 산화막이 부서진 찌꺼기(Debris)에 의해 연삭작용이 가해졌음을 알 수 있다.

Fig. 7(c)는 윤활하의 미끄럼거리 264m, 수직하중 49.0N으로 소선  $\phi 1.56\text{mm}$ 일 때, 어

닐링 열처리후 탄소주강의 마멸면을 보여주는 SEM 사진이다. 마멸트랙 중앙부에서 미끄럼방향으로 윤활보호막이 연화되면서 그리이스 극압제와 금속면과의 산화로 마멸입자가 탈락되면서 표면층마다 미세한 균열에 의한 핏팅(Pitting)을 일으키면서 피로마멸이 관찰된다.

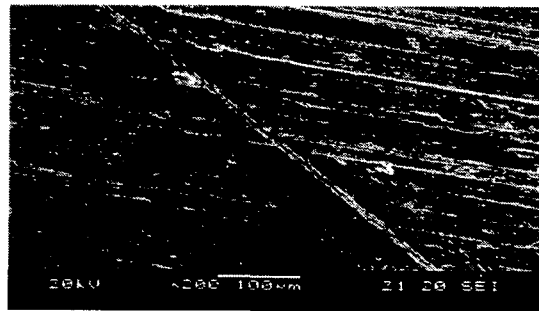
Fig. 7(d)는 무윤활하의 미끄럼거리 52.8m, 수직하중 49.0N으로 소선  $\phi$ 1.56mm일 때, 어닐링 열처리후 탄소주강의 마멸면을 보여주는 SEM 사진이다. 마멸트랙의 곳곳에서 생성된 산화물이 미끄럼방향으로 표면을 쟁기질하면서 플로잉 기구(Plowing Mechanism)를 생성하고 있음을 보여준다.

Fig. 7(e)는 윤활하의 미끄럼거리 264m, 수직하중 49.0N으로 소선  $\phi$ 2.30mm일 때, 어닐링 열처리후 탄소주강의 마멸면을 보여주는 SEM 사진이다. 전체적으로 윤활상태가 가혹하게 되면서 유막의 두께가 얇아지고 국부적으로 소선과의 접촉시 소성변형과 미세한 균열을 일으키면서 피로에 의해 재료가 미끄럼방향의 수평방향으로 밀려나가는 형태를 보인다.

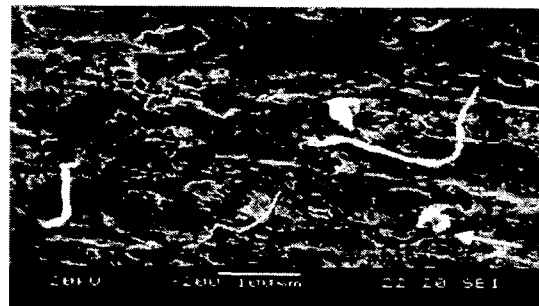
Fig. 7(f)는 무윤활하의 미끄럼거리 52.8m, 수직하중 49.0N으로 소선  $\phi$ 2.30mm일 때, 어닐링 열처리후 탄소주강의 마멸면을 보여주는 SEM 사진이다. 마멸트랙의 중앙부에서 미끄럼방향으로 소성유동과 전단응력이 집중적으로 발생하여 입자가 탈락되면서 표면에 깊은 골이 파여진 부분을 볼 때, 연삭마멸이 쉽게 발생 하였음을 보여준다.

Fig. 7(g),(h)는 상대재인 소선의 마멸면으로 윤활과 무윤활하에서 수직하중 29.4N, 49.0N 및 68.6N에서 미끄럼거리 1924.8m동안 소선 교체없이 실험을 수행하였다. 탄소주강 시험편과의 심한 마찰,마멸로 인하여 마멸입자가 탈락된 후에 곳곳에 흠이 파인 흔적과 주름

무늬모양의 미세한 균열은 소성유동에 의해 피로와 연삭마멸이 동시에 진행된 것을 볼 수 있으며 이와같이 산업현장에서 가혹한 사용조건에서 사용을 한다면 안전사고의 위험성은 배제할수 없다.



(a) Librucation, wire  $\phi$  0.93mm,



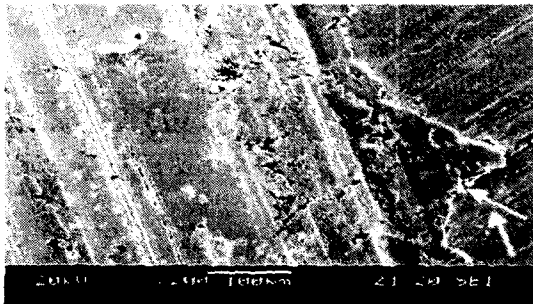
(b) Dry, wire  $\phi$  0.93mm



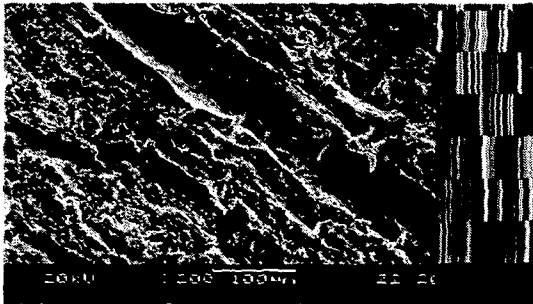
(c) Lubrication, wire  $\phi$  1.56mm



(d) Dry, wire  $\phi$  1.56mm

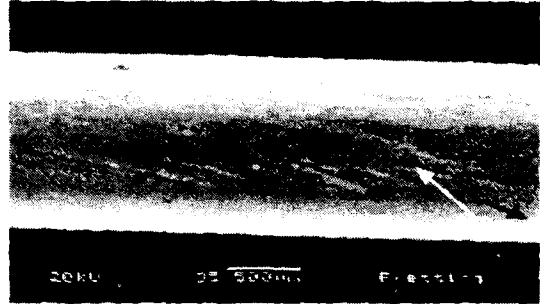


(e) Lubrication, wire  $\phi$  2.30mm

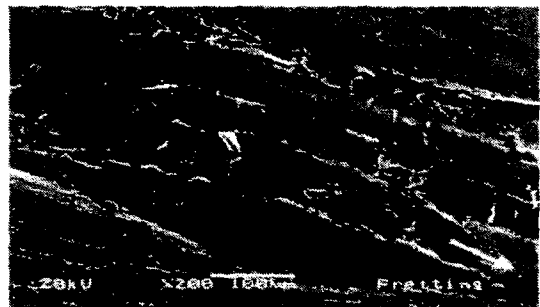


(f) Dry, wire  $\phi$  2.30mm

Fig. 7 (a)~(f). SEM photographs wear surface of carbon steel castings.  
(P=49.0N, V=220mm/sec, Lubrication=264m, Dry=52.8m)



(g)  $\times$ 35



(h)  $\times$ 200

Fig. 7 (g),(h). SEM photographs wear surface of wire. (P=29.4N, 49.0N, 68.6N, S=1924.8m, V=220mm/sec)

#### 4. 결 론

본 연구에서는 전 산업현장에서 화물운반용으로 사용하고 있는 크레인의 시브에 대한 마멸특성과 마멸기구를 고찰하기 위해 SC46 탄소주강과 HSWR72B 경강선재간의 미끄럼 마멸실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 윤활하의 어닐링열처리후 조건에서 탄소주강과 경강선재간의 평균마멸량은  $5.25 \times 10^{-4} \sim 9.43 \times 10^{-3} \text{mm}$  범위로 나타났고, 마멸곡선은 선형적으로 증가하였다.
2. 탄소주강의 비마멸율은 윤활과 무윤활

하의 어닐링열처리후 조건에서 각각 소선의 굵기에 따라 증가하며 윤활하의 소선  $\phi$  0.93mm일 때, 수직하중 29.4N에서  $1.41 \times 10^{-6}$ mm/Nm의 비마멸율에 비해서 무윤활하에서 비마멸율은 125배 증가하였다.

3. 탄소주강의 주된 마멸기구는 윤활하의 경우 Pitting에 의한 피로마멸이 주된 마멸기구였으며, 무윤활하의 경우 연삭마멸로 발생하며 경강선재는 피로와 연삭마멸을 복합수반한다.

Wear, Vol. 121, pp. 95~100, 1988.

11. R.Y. Lee and Z. Eliezer, "On the critical thickness of protective films at sliding interfaces", Wear, Vol. 95, pp 165~175, 1984.

#### 참고문헌

1. 宥隣文, "CRANE I", 韓國産業安全公團, pp. 1~ 86, 1992.
2. KS B 0127, "크레인 용어(종류)", 한국공업규격, 1990.
3. KS B 4731, "시브", 한국공업규격, 1994
4. 勞働部 Home Page "調査對象 災害現況分析", 1994.
5. KS D 3514, "와이어 로프", 한국공업규격, 1997.
6. American Iron and Steel Institute, "Wire Rope Users Manual", second edition, American, pp. 66~136, 1985.
7. KS D 4101, "탄소주강품", 한국공업규격, 1990.
8. KS D 3559, "경강선재", 한국공업규격, 1992.
9. T.F.J. Quinn, D.M. Rowson and J.L. Sullivan, "Application of the oxidational theory of mild wear to the sliding wear of low alloy steel", Wear, Vol, 65, pp. 1~15, 1980.
10. J.L. Sullivan and S.G. Hodgson, "A study of mild oxidational wear for conditions of low load and speed",