

크레인용 시브 강재의 마멸특성 평가

박용재¹(경북대학교 대학원 기계공학과),
류중복²(경북대학교 대학원 기계공학과),
김석삼³(경북대학교 기계공학부)

The Evaluation on Wear Characteristics of the Crane Sheave

¹Yongjae Park* (Mech. Eng. Dept., KyungPook Univ.) *pyj082@hanmail.net*,

²Jungbuk Ryu (Mech. Eng. Dept., KyungPook Univ.) *jbryoo@korea.com*,

³Seocksam Kim (Mech. Eng. Dept., KyungPook Univ.) *sskim@knu.ac.kr*

ABSTRACT

The sliding wear characteristics of the crane sheave were investigated using a pin-on-disk rig tester. The experiment was conducted using a high carbon steel wire that was upper material, also carbon steel castings and carbon steel for machine structural use that was disk material. There are various operating conditions in this work. At the room temperature, we carried out the wear test under a grease lubrication. The results of wear test showed that carbon steel for machine structural use have lower wear volume, also the wear curves are linearly increased with increasing of sliding velocity. The wear mechanism of a disk is the abrasive, adhesion, and fatigue wear under lubrication.

Keywords : sheave, wire rope, carbon steel castings, carbon steel for machine structural use, wear characteristics

1. 서론

크레인(crane)[1]은 산업현장에서 중량물을 이송하는 경우 일반적으로 이용하는 기계구조물이다. 크레인을 구성하는 핵심요소 중 하나인 와이어로프(wire rope)[2]와 시브(sheave)[3]는 와이어로프의 여러 스트랜드 정점 바깥쪽에 제한된 수로써 시브 홈에 접촉하게 되는데[4] 이때 와이어로프의 인장력에 의한 반발력이 소선의 접촉점에 전달되면서 비교적 높은 압력이 발생하게 되고, 와이어로프가 시브의 홈에서 감기고 풀리는 상대 왕복운동으로 인해 시브에 치명적인 금속적 마멸을 일으키게 된다. 이로 인해 발생한 시브의 손상은 와이어로프의 수명에 절대적인 영향을 주게 된다.

이와 같은 이유로 국내 크레인 검사기준과 일본의 크레인 정기

자주검사지침에 의하면, 시브 홈부의 마멸한도는 주철, 주강재 시브의 경우 와이어로프 직경의 25%까지, 용접제 시브의 경우 와이어로프 직경의 15%범위까지 마모 시는 로프를 교체 시에 시브도 동시에 교체하도록 권장하고 있다.

그러나 실제 사용현장에서는 시브가 와이어로프와의 접촉 시 고하중, 충격력, 그리고 연질재료의 사용 등에 의해 abrasive 마멸저항이 끊임없이 요구되는 재료이기는 하지만 시브 홈부의 마모한도는 이러한 규정치 이상 초과하여 사용해도 성능 상 문제가 없다는 주장을 제기해오고 있다. 따라서 시브의 마모한도에 관한 보다 구체적인 자료가 필요한 실정이다.

국내·외적으로 와이어로프에 대한 수명연구 활동은 과거부터 활발하게 진행되어 왔으나 상대재인 시브는 수명평가를 위해 시브 재료에 대한 하중, 속도, 미끄럼거리, 열처리조건, 경도,

마찰계수 등 트라이볼로지적 관점에서의 연구 활동은 아직도 미미한 실정에 있다.

시브와 로프간의 연구동향을 살펴보면, Verschoof 는 두 재료가 상호 접촉 시 미끄럼접촉의 반복발생에 따른 하중조건의 변화, 시브 재료의 열처리 불만족과 부적절한 윤활요인 등이 주된 결함요인으로 보고하고 있다[5]. 또한, Batchelor 와 Stachowiak 은 와이어로프와 시브의 재질개선을 통하여 로프의 수명을 연장함이 더 효과적임을 강조하였다[6]. Hamblin 등은 로프와 시브 간의 마멸은 사용 환경과 시브의 재질에 따라 변화함을 주장하였다[7]. 따라서 오늘날 다수의 연구자들이 수행해 온 연구과제는 와이어로프의 피로수명 판정을 중심으로 연구 활동이 시도되어 왔을 뿐, 시브 강재의 미끄럼 마멸특성에 대한 트라이볼로지적 연구 활동 및 시브와 로프간의 접촉 조건에 따른 수명예측 연구 활동은 거의 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 크레인용 시브의 실제사용 조건을 적용한 기초실험을 통하여 기존에 사용되어 왔던 탄소주강(SC450)[8] 시브강재와 최근에 널리 사용되고 있는 기계구조용 탄소강(SM45C)[9] 시브강재의 하중, 속도, 상대 소선에 대한 마멸특성을 평가하고자 한다. 이를 바탕으로 하여 크레인용 시브 강재의 사용기준에 보다 구체적인 자료를 제시하고자 한다.

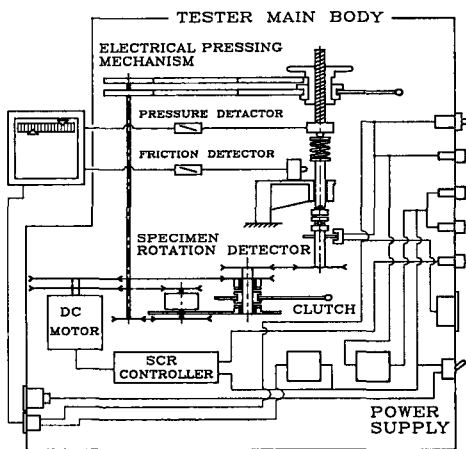


Fig. 1 Schematic diagram of wear testing apparatus

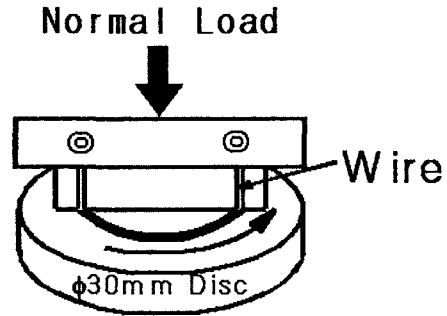


Fig. 2 Schematic illustration of ball on disk type wear tester

2. 실험

2.1 실험장치

실험 장치는 수직하중과 마찰력을 로드셀을 이용하여 작용시킨 미끄럼 마모시험기(TOYO BALDWIN Co. EFM-3-E)를 사용하였으며 Fig. 1 에 개략도를 나타내었다. 상부시험편은 Fig. 2 와 같이 소선을 고정할 수 있는 지그를 제작하였으며, 하부시험편은 Fig. 2 와 같이 디스크 형태로 제작하였다. 상·하부 시험편간의 미끄럼 접촉조건은 회전하는 하부 디스크 위에 상부 소선을 접촉시켜 일정한 하중으로 가압하는 pin-on-disk 타입으로 마모시험을 수행하였다.

2.2 시험편

기초실험에 사용한 시험편은 기계구조용 탄소강과 탄소주강 두 종류를 사용하여 Fig. 2 와 같이 $\varnothing 30\text{mm}$, $t10\text{mm}$ 인 원형 디스크 형태로 제작하였다. 시험편의 열처리는 기계구조용 탄소강은 Tempering 과 표면경화 처리를 하고, 탄소주강은 Normalizing 처리를 하였다. 두 디스크 시험편은 $Ra 0.3\mu\text{m}$ 를 유지하도록 표면을 연마하였다. 탄소주강의 경도는 $Hv 170$, 기계구조용 탄소강은 $Hv 430$ 이다.

상부시험편으로 사용되는 소선은 $6 \times Fi(25)$ IWRC, Z 꼬임, B 중 규격 와이어로프의 소선 중 $\varnothing 0.80\text{mm}$, $\varnothing 0.94\text{mm}$ 두 가지를 선택하여 실험을 실시하였다.

2.3 실험방법

상온, 상압, 윤활 하에서 pin-on-disk 타입으로 미끄럼 마모시험을 실시하였다.

윤활제는 리튬(Lithium) 비누기 그리스(P-crown EP-1)를 사용하였다.

시험하중의 선정은 크레인 시브의 실제 작업조건과 실험 간의 상관관계를 최적화 하기 위해 Drucker[1]의 시브와 와이어로프간의 면접촉 압력식을 적용하였다.

$$P=2 \cdot T/D \cdot d \text{ (MPa)} \quad (1)$$

여기서, P 는 시브의 표면압력, T 는 로프소선의 인장하중, D 는 시브의 직경, d 는 로프소선의 직경이다. 실제 작업조건과 동일하게 다음과 같이 가정하였다. 천장크레인/JIS 2 급, 와이어로프 직경(d) : $\varnothing 14(6 \times \text{Fi}(25) + \text{IWRC}(\text{KS}$ 규격품)), 로프줄수(n) : 2falls, 소선(wire) 직경(2 중) : $\varnothing 0.80\text{mm}$, $\varnothing 0.94\text{mm}$, 시험하중(축하중;Q) : 5,000kg, 후크자중(G) : 150kg, 시브효율(η) : 0.98(베어링축 시브), 시브직경(D) : PCD350, 로프 장력(T) : 25,767N ($T=(Q+G)/n \times \eta$)

위 조건에 의거하여 $P=N/A$ 의 관계식으로 2 중의 소선시험편의 가압하중(N)을 구하면 $\varnothing 0.80\text{mm}$ 의 경우는 0.605N, $\varnothing 0.94\text{mm}$ 의 경우는 0.715N 이다. 그러나 이러한 하중은 너무 미소하여 실험을 수행하기가 곤란하였다. 따라서 산업현장에서는 정격하중 범위 내 다양한 변동하중 하에서 사용되고 있는 점을 감안하고, 기초실험을 통하여 상대적으로 경도가 높은 기계구조용 탄소강의 초기 마모가 발생하는 시점을 기준으로 하중을 20N, 40N, 60N 으로 보다 높게 선정하였다.

시험하중과 로프소선의 인장하중 적합성을 고려하여 미끄럼 속도는 한국공업규격(KS B 6239)에 명시된 크레인의 로프감아올리기 속도범위인 130mm/sec~260mm/sec 사이에서 150mm/sec, 180mm/sec, 210mm/sec, 240mm/sec 의 4 가지를 선택하였다.

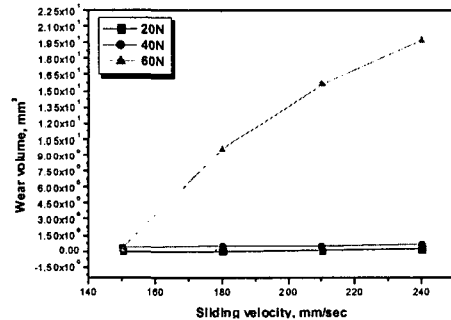
실험순서는 하부시험편(디스크)과 상부시험편(소선)을 10 분간 초음파세척을 한 후 실험 장치에 장착하고 각각의 하중, 속도에 따라 윤활하에서 10 분간 마모시험을 실시하였다. 실험이 끝난 후 다시 두 시험편을 10 분간 초음파세척하고 3 차원 표면형상측정기(Mitutoyo, SurfTest-500)를 이용하여 마모량을 측정한다.

주사형 전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 이용하여 마모면의 미시적 관찰을 수행하였다.

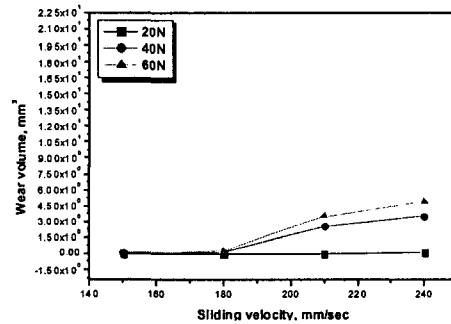
3. 결과

3.1 탄소주강의 마멸특성

Fig. 3 은 탄소주강의 하중과 속도에 대한 마멸량의 변화를 소선별로 나타낸 것이다. Fig. 3 의 (a)는 소선 $\varnothing 0.80$ 일 때, 수직하중 20N 과 40N 에서는 속도가 증가할수록 마멸량이 소폭 증가하는 특성을 보이며, 60N 에서는 속도가 150mm/sec 를 초과하면서부터 마멸량이 급격히 증가하는 특성을 보인다. 이는 고하중에서 속도에 의한 영향이 마멸량에 크게 기여했음을 보이며 속도 150mm/sec 와 180mm/sec 사이에 임계 값이 있을 것으로 추정된다.

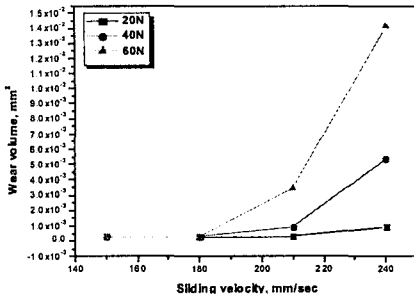


(a) $\varnothing 0.80$

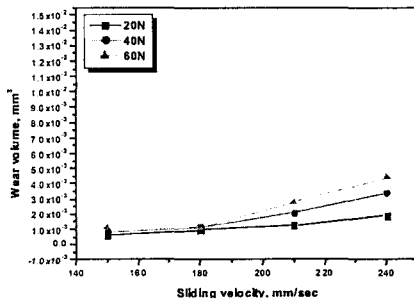


(b) $\varnothing 0.94$

Fig. 3 Variation of wear volume of SC450 as a function of sliding velocity and load.



(a) $\varnothing 0.80$



(b) $\varnothing 0.94$

Fig. 4 Variation of wear volume of SM45C as a function of sliding velocity and load.

Fig. 3 의 (b)는 소선 $\varnothing 0.94$ 의 경우를 나타내고 있다. 속도 180mm/sec 를 초과하면 하중의 증가에 따라 마멸량이 대폭 증가하는 특성을 보인다. 여기서 소선 $\varnothing 0.94$ 의 마멸량이 소선 $\varnothing 0.80$ 보다 상대적으로 작은 것은 소선직경의 차이에 의해 접촉 면압력이 감소했기 때문으로 보여진다.[10-12]

3.2 기계구조용 탄소강의 마멸특성

Fig. 4 는 기계구조용 탄소강의 하중과 속도에 대한 마멸량의 변화를 소선별로 나타낸 것이다. 탄소주강에 비해 상대적으로 큰 경도 값을 가진 기계구조용 탄소강의 마멸량이 대체적으로 낮게 나타났다. Fig. 4 의 (a), (b) 모두 속도가 150mm/sec 를 넘어서면서 마모량이 급격히 증가하는 특성을 보인다. 이것은 탄소주강과 마찬가지로 속도가 시브강재의 마멸에 중대한 영향을 끼치는 것으로 볼 수

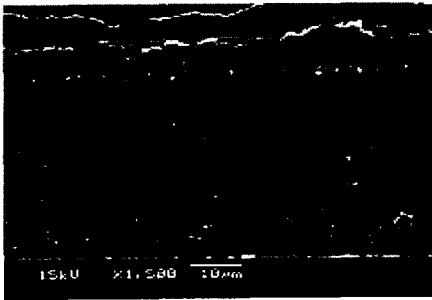
있다. 또한 소선의 직경이 작은 $\varnothing 0.80$ 이 접촉 면압력이 크므로 마멸량이 크게 나타났다.

이와 같은 실험결과 탄소주강과 기계구조용 탄소강 모두 저하중에서는 속도에 의한 영향을 덜 받지만, 고하중이 될수록 속도에 의한 영향으로 마멸량이 크게 좌우됨을 알 수 있다.

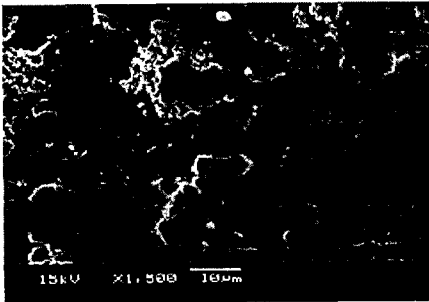
3.3 마멸면의 미시적 관찰

Fig. 5 는 40N, 소선 $\varnothing 0.94$, 각 속도별에 따른 탄소주강의 마멸면을 촬영한 SEM 사진이다. Fig. 5 의 (a), (b)는 각각 150mm/sec, 180mm/sec 의 속도하에서 실험한 결과로 윤활작용에 의한 abrasive wear 가 주를 이루고 있는 것으로 보여진다. Fig. 5 의 (c), (d)는 속도 210mm/sec, 240mm/sec 로 실험한 결과로써 속도가 증가하면서 abrasive wear 위에 adhesion 에 의해 소성변형이 발생해 표면의 손상이 이루어졌음을 알 수 있다. 또한 피로에 의한 표면 파괴와 속도가 증가하면서 유막이 손상되어 마멸이 급격히 진행된 것으로 보여진다.

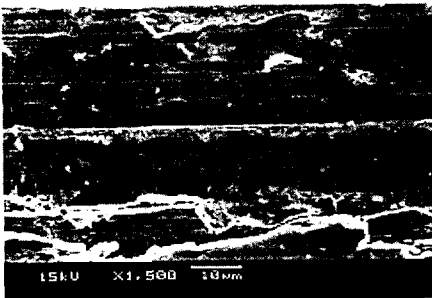
Fig. 6 은 40N, 소선 $\varnothing 0.94$, 각 속도별에 따른 기계구조용 탄소강의 마멸면을 촬영한 SEM 사진이다. Fig. 6 의 (a), (b)는 각각 150mm/sec, 180mm/sec 의 속도에서 실험한 것으로 윤활작용과 열처리된 기계구조용 탄소강의 높은 경도로 인해 경미한 마멸이 이루어졌음을 알 수 있다. 주된 wear mechanism 은 abrasive 와 피로에 의한 것으로 보여진다. Fig. 6 의 (c), (d)는 210mm/sec, 240mm/sec 의 속도하에서 실험한 것으로 속도가 증가하면서 마멸량이 약간 증가한 것으로 나타났다. 그러나 경도 차이로 인해 탄소주강과 같은 심한 마멸현상은 나타나지 않았다.



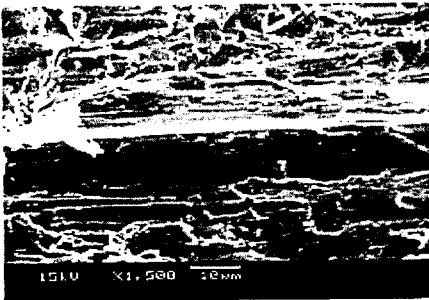
(a) 40N, wire Ø0.94, 150mm/sec



(b) 40N, wire Ø0.94, 180mm/sec

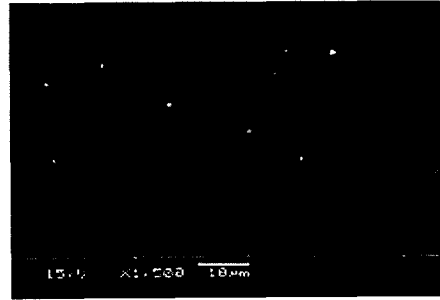


(c) 40N, wire Ø0.94, 210mm/sec

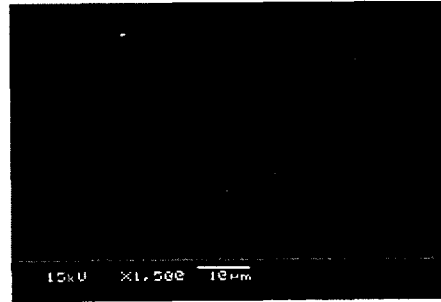


(d) 40N, wire Ø0.94, 240mm/sec

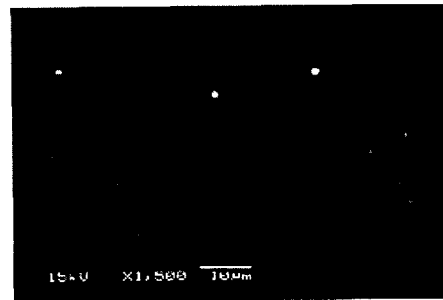
Fig. 5 SEM photographs worn surface of SC450



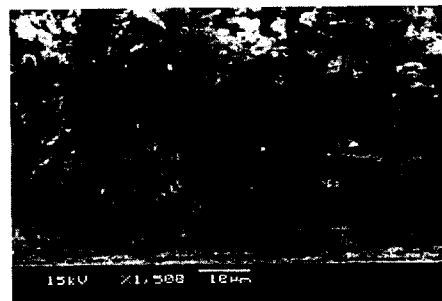
(a) 40N, wire Ø0.94, 150mm/sec



(b) 40N, wire Ø0.94, 180mm/sec



(c) 40N, wire Ø0.94, 210mm/sec



(d) 40N, wire Ø0.94, 240mm/sec

Fig. 6 SEM photographs worn surface of SM45C

4. 결론

크레인용 시브강재의 마멸특성 평가를 위해 기존의 탄소주강 시브강재와 최근에 널리 사용되고 있는 기계구조용 탄소강 시브강재의 하중, 속도, 상대 소선에 대한 미끄럼 마멸실험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 탄소주강과 기계구조용 탄소강 모두 하중, 속도가 증가할수록 마멸량이 증가하는 현상을 나타내었다.
2. 특히 고하중 하에서는 속도가 증가함에 따라 급격한 마멸이 진행되는 마멸특성을 나타내었다. 경도가 낮은 탄소주강의 경우는 그 정도가 더 심하였다.
3. 탄소주강의 마멸기구는 연삭마멸이 주원인이며 하중, 속도가 증가할수록 피로, 응축에 의한 마멸이 발생하였다. 기계구조용 탄소강은 미세적인 연삭마멸과 피로에 의한 마멸이 주원인으로 나타났다.
4. 탄소주강에 비해 기계구조용 탄소강이 내마멸성 면에서 우수하게 나타났으며, 추가적인 연구를 통해 급격한 마멸현상이 나타나는 속도 임계 값을 찾아낸다면 시브강재의 사용기준에 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

후기

본 논문은 Brain Korea 21 사업과 산업기술재단의 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. KS B 0127, “크레인 용어(종류)”, 한국공업규격, 1990.
2. KS D 3514, “와이어-로프”, 한국공업규격, 1997.
3. KS B 4731, “시브”, 한국공업규격, 1994.
4. Roland Verret, Negative impressions of the rope's surface in the grooves of sheaves and drums, Wire Rope Technology Aachen, 1995.
5. J. Verschoof, Cranes Design, Practice, and Maintenance, pp. 1-46, 1999.
6. A. W. Batchelor and G. W. Stachowiak, Extending the life of wire ropes by the Development of Improved Wire Coating and Sheave Materials, Trans of Mechanical Engineering, IE Aust., ME 17, No. 3, pp. 161-169, 1992.
7. M. G. Hamblin and G. W. Stachowiak, Environmental and Sheave Material Effects on the Wear of Roping Wire and Sheave, Tribol. Int., 28, No. 5, pp. 307-315, 1990.
8. KS D 4101, “탄소주강품”, 한국공업규격, 1990.
9. KS D 3752, “기계구조용 탄소강 강재”, 한국공업규격, 1990.
10. Endo, K., and Okada, T. and Iwai, Y., Effect of coldworking and grain size on wear of steel, proceedings of the JSLE-ASLE International lubrication conference, Tokyo, pp. 92-100, 1975.
11. I.M.L. Ridge, C. R. Chaplin and J. Zheng, Effect of degradation and impaired quality on wire rope bending of sheave fatigue endurance, Engineering Failure Analysis, Vol. 8, pp. 173-187, 2001.
12. Schrems, K. K., Wear-related fatigue in a wire-rope failure, Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, Vol. 22, No. 5, pp. 490-499, 1994.