

구름접촉에 의한 SM55C의 마멸 거동

박범수, 채영훈*, 김석삼**

경북대학교 기계공학과 대학원, *경북대학교 트라이볼로지 연구소, ** 경북대학교 기계공학부

Wear behavior of SM55C steel by rolling contact

Beom-Su Park, Young-Hun Chae*, Seock-Sam Kim**

Graduate School, Department of Mechanical Engineering,

Kyungpook National University, Taegu, Korea

** Engineering Tribology Research Institute in Kyungpook National University*

*** School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University, Taegu, Korea*

Abstract- The rolling wear behavior of SM55C is investigated under lubrication. This is a comparative tribological behavior of heat treatment effect for SM55C. Rolling wear test method is used for Ball-on-disk type. Specimens can be classified into two main groups: as-annealing and non-annealing. As result of wear behavior, flanking initial time of non-annealing specimen keep at retard but it have not under high normal load. One of the notable features of annealing specimen is steady flanking initial time for a normal load in this experiment. Failure mechanism of SM55C is due to the fatigue wear such like flanking, pitting etc.. Flanking leads to abruptly fracture of worn surface. Fracture mechanism has a connection with normal load and polishing direction of specimens.

Key words - Wear, rolling contact, flaking failure,

1. 서 론

현대 산업의 새로운 경향은 정밀화를 지향하고있으며 보다 가혹한 환경에서 정밀도의 요구조건을 충족시키기 위해서 내식성, 내마멸성이 우수한 재료를 사용함으로써 마모에 의한 정밀도의 문제를 해결 하기 위해 노력하고 있다. 한 예로 에너지 효율의 증가를 위한 마찰의 감소, 볼러 베어링의 신뢰성 증대, 영구적인 수명을 가지고, 정밀도를 높이기 위한 마멸 및 파괴 거동이 고도화 시대에 더욱 대두되고 있는 문제라 할수 있다.

특히, 공작 기계 이송장치에 사용되고 있

는 직선베어링은 구름접촉에 의한 마모 및 파괴 현상으로써, 생산품의 높은 정밀도를 추구하기 위해 마모 및 파괴에 대한 특성들이 철저히 요구 된다.

이런 구름 접촉에 의한 마모 및 파괴 현상은 생산품의 정밀도 및 신뢰성에 절대적인 영향을 미치므로 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다.

접촉 응력에 의한 재료의 피로 파괴, 구름 접촉시 접선력과 표면 거칠기가 균열의 발생 및 전파에 미치는 영향, Hertz의 구름 접촉시 접촉부의 응력에 관한 연구 및 소성영역에서의 응력해석 등에 대한 연구가 행하여 졌다[1~6].

공작 기계 이송장치에 사용되고있는 직선 베어링(Linear Motion guide)의 소재인 SM55C는 일반적으로 고주파 담금질 열처리 후 풀림 열처리 수행하고 있다. 이때 담금질 열처리는 강도, 경도, 마모특성을 개선하기 위해서 수행되며, 풀림 처리는 경화된 재료의 내부응력 및 결정립의 균일화와 미세화를 위하여 수행 되어진다.

본 연구는 이렇게 담금질 열처리후 풀림 처리가 되어진 시험편과 담금질 열처리 후 풀림 처리를 하지 않은 시험편 대한 구름 운동에 의한 마모특성과, 마모기구를 실험적으로 고찰하고자 한다.

2. 실험

2.1 시험편

본 실험에 사용된 시험편은 기계구조용강 SM55C에 사용하였다. Table 1은 본 연구에 사용한 SM55C의 화학 성분을 나타내고 있다. 시험편은 인발 가공에 의해서 제작 되었으며, 경도를 높이기 위해 담금질 열처리와 풀림 열처리를 수행한 시험편 (이하 specimen A로 칭함)와 담금질후 풀림 처리하지않은 시험편(이하 specimen B로 칭함)의 2종류를 사용하였다. 여기서 고주파 열처

리는 전압 1.3kV, 전류 57A, 전력 74kW 주파수 30kHz로 수행 되었으며, 풀림 처리는 860℃에서 1시간 유지 후 로냉 하였다. 담금질 열처리 깊이는 2mm이다.

Table 2는 표면거칠기 측정기(MITUTOYO, SURF-500)을 사용하여 각 시험편의 표면조도를 측정하였으며 연마방향이 시험편의 길이 반대 방향으로 이루어 졌으므로 길이 방향 보다 세로 방향이 표면 거칠기가 높은 것을 알 수 있다. 표면경도는 Micro-Vickers hardness(Akash, HVK-H2)로 측정되었다.

Fig. 1은 시험편의 치수와 규격을 보이고 있다.

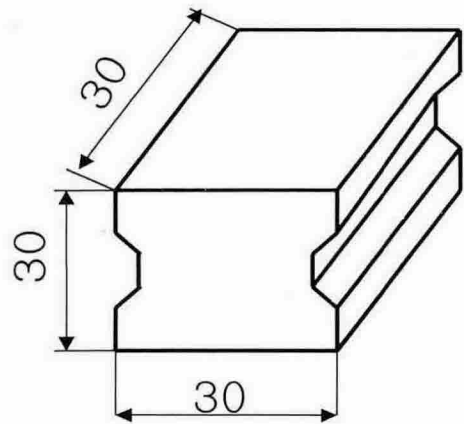


Fig. 1 Size of specimen (unit:mm)

Table 1 Chemical composition of specimen

%	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
SM55C	0.57	0.22	0.65	0.014	0.012	0.05	0.19	0.15

Table 2 Surface roughness and hardness of specimen

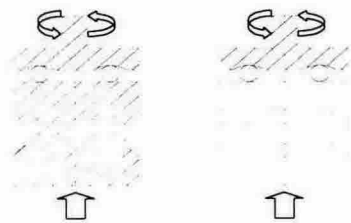
		specimen A	specimen B
surface roughness (Ra, μm)	horizontal direction	0.5	0.5
	vertical direction	0.2	0.2
vickers hardness(kg _f /mm ²)		750 ~795HV ₃₀₀	800 ~870HV ₃₀₀

Table 3 The number of contact and rolling distace

	2 hours	3 hours	4 hours	6 hours
number of contact	48,000	72,000	96,000	144,000
Rolling distant(m)	640	960	1,280	1,920

Table. 4 Normal load per ball

	2000N	2500N	3000N
normal load per ball	500N	625N	750N



(a) Front view (b) Side view

Fig. 2 schematic illustration of ball-on-disk type wear tests

2.2 실험장치

본 실험에서 사용한 시험기는 회전 운동에 의한 구름운동을 하는 마모시험기(Multi purpose Wear Tester)를 사용하였다.

각종 구름요소에서 일어나는 구름운동을 단순화시켜 Fig. 2와 같이 볼 온 디스크 형태로써 사용하였다. 실험장치는 크게 상단부와 하단부 두 부분으로 나눌 수 있으며, 상단부의 회전축에는 구름운동에 안정성을 주고 아랫면의 시험편에 작용하는 접촉압력보다 작게 하여 상대적으로 주된 관심인 아랫면 디스크에 가혹한 상태를 유발하기 위하여 트러스트 베어링의 레이스를 사용하여 회전시켰다. 하단부에 지그를 설치하여 시험편을 고정 하였으며 하단부의 압축기에 의해 하중을 가해지게 된다. 볼의 접촉점은 시험편의 중심에서 17mm의 마멸 트랙(wear track)이 발생하게 된다.

2.3 실험방법

본 실험에서는 Fig. 2에서와 같이 볼 온 디스크 타입으로 실험 볼은 고탄소베어링 강재(STB₂)를 사용하였으며 볼의 표면거칠기는 0.02 μ m, 경도는 700~800HV이고, 볼의 지름은 4.75mm였고 4개의 볼을 사용하였다.

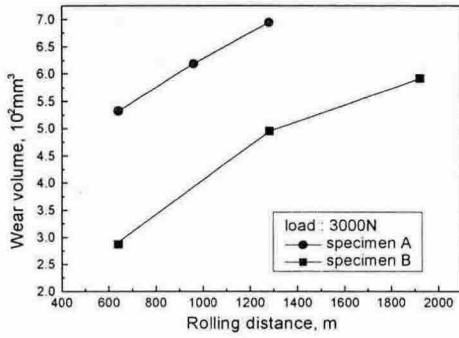
직선베어링에서 사용되는 그리스의 효과와 구름운동으로 인한 시험편의 온도 상승을 막기 위하여 윤활유(ISO VG 68 at 40 $^{\circ}$ C)속에서 실험을 하였다.

시험편인 SM55C위에 트러스트 베어링볼을 놓고 일정한 하중을 가한 후 일정한 속도로 회전시켰다. 실험순서는 초음파세척 → 건조 → 마멸실험(2시간) → 초음파세척 → 건조 → 마멸량측정 → SEM(JEOL-5600) 관찰순으로 수행하였다.

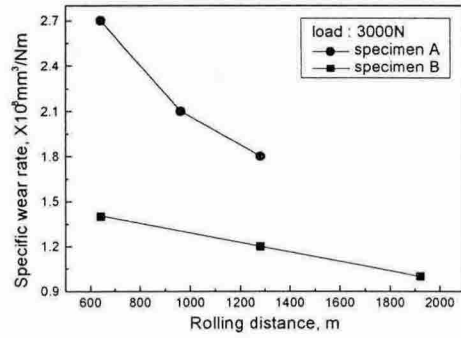
2시간, 4시간, 6시간 간격으로 마멸량을 측정 수행하였으며 시험편의 마멸면 4곳의 단면을 표면거칠기 측정기로 측정하여 평균 마멸면적을 구하고 마멸부피를 프로그램에 의해 계산되었다.

6시간의 실험이 끝난후 파괴(flaking failure)시간 까지 실험하였다. 파괴가 일어나면 본 실험기에서는 파괴 면과 베어링 볼간의 충격으로 인한 미소한 진동이 수반되므로 미소 진동을 다이얼 게이지를 설치하여 지침이 0.01mm의 진폭을 가지고 흔들릴 때 파괴 시간으로 정하였다.

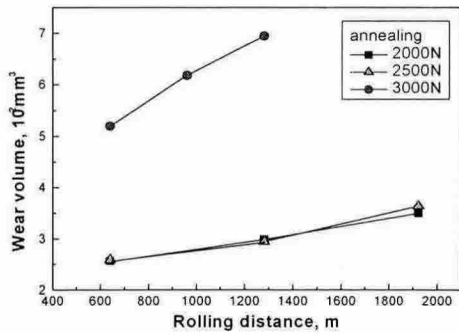
본 실험에서 가혹한 조건을 주기 위하여 3000N의 직선베어링에서 받을수 있는 최대 하중과 최대회전 속도 200rpm을 사용하여 시험편A와 시험편B의 마멸량의 변화를 관찰



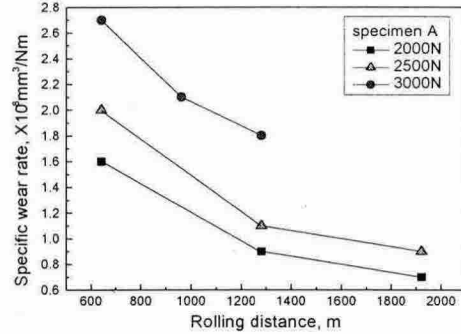
(a) Variation of wear volume of specimen A and specimen B under 3000N



(a) Variation of specific wear rate of specimen A and specimen B under 3000N



(b) Variation of wear volume of specimen A under 3000N, 2500N and 2000N



(b) Variation of specific wear rate for specimen A under 2000N, 2500N and 3000N

Fig. 3 Variation of wear volume for wear test

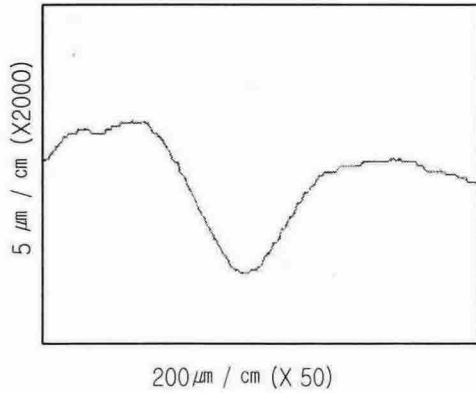
Fig. 4 Variation of specific wear rate for wear test

하였으며 3000N, 2500N, 2000N으로 파괴 시점까지 걸리는 시간을 측정하였으며 파괴 면은 SEM사진으로 분석하였다. Table 3 은 시간당 임의의 마멸면 위의 점에서 볼이 접촉한 수와 구름 거리를 나타낸다. Table 4 는 하중 당 볼1개가 받는 하중은 나타낸다.

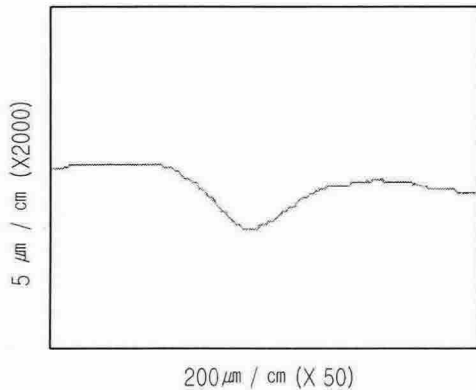
3. 실험결과 및 고찰

3.1 SM55C의 마멸 및 비마멸율 특성

Fig.3 는 구름 거리의 변화에 따른 각각의 하중과 시험편 종류에 의해 마멸량의 변화를 나타낸 그래프이다. 마멸량은 구름거리가 증가할수록 증가한다.



(a) Wear profile of specimen A after 4 hours



(b) Wear profile of specimen B after 4 hours

Fig. 5 profile of worn surface

시험편 A는 구름거리가 증가할수록 마멸량은 증가하지만, 시험편 B는 시험편 A의 증가폭에 대하여 마멸량이 적은 것을 관찰할 수 있으며 시험편 A가 시험편 B보다 더욱 많은 마멸량을 보이고 있는데, 이는 풀림 처리 효과에 의한 표면의 경도차이에 의한 것이라 생각된다. (Fig.4)

또한 시험편 A에서 하중에 따른 마멸량을 살펴보면 LM가이드가 받을 수 있는 최대하중인 3000N에서는 마멸량이 더욱 증대 되는

것을 알 수 있다. 이는 SM55C의 극심한 하중에 의한 마멸면의 소성변형이 더욱 심화 되어 나타나는 것으로 생각되어진다. 하지만 2500N이하의 지점에서는 마멸량이 더욱 안정화 되어지는 것을 알 수 있다.

또한 Fig. 5에서 소성흐름에 의한 돌기가 형성되어 있는 데 이는 베어링 볼의 중심에서 볼이 구를 때 보다 볼 끝 지점에서 구를 때 구름거리의 차이에 의해 기인한다[9].

따라서, 볼 중심에서는 구름이 발생하지만 볼의 중심에서 멀어질수록 미끄럼이 발생 비율이 높아지게 된다. 또한 안쪽지점이 더욱 소성변형이 많은 것은 바깥쪽 트랙 길이가 보다 안쪽의 트랙길이가 적으므로 소성변형이 안쪽의 돌기형상이 바깥쪽보다 더욱 큰 것으로 생각된다.

3.2 파괴시간의 특성

풀림 열처리의 효과가 얼마나 적합한가를 알아보기 위해 각 하중(2000N, 2500N, 3000N)에서 시험편A 와 시험편 B를 파괴시점까지 실험을 행하였다.

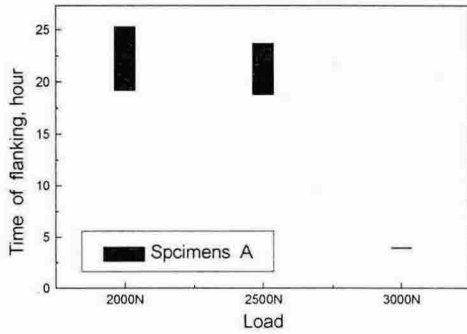
Fig.6은 각 하중에 따른 시험편의 지속시간을 나타내고 있다.

시험편 A 에서 3000N 은 지속시간이 짧은데 비하여 2500N 과 2000N에서는 어느 정도 안정된 면을 보이고 있다. (Fig.6(a))

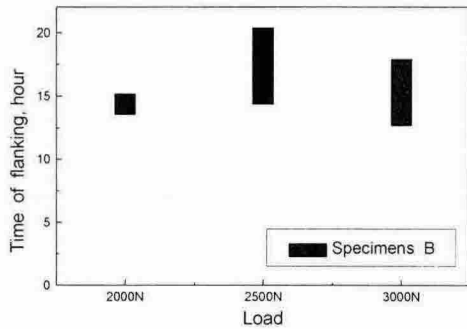
표면 경도가 낮기 때문에 발생하는 소성의 유동에 의해 유발되는 파괴라 볼 수 있다.

시험편 B 에서는 비해서 극심한 하중 3000N 에서도 어느 정도 안정적인 측면을 보이고, 2000N과 2500N에서도 안정된 지속시간을 보이고 있다. 따라서 시험편B의 파괴시간은 하중에 무관하며, 구름시간에 의해 결정 되는 것을 알 수 있다.

또한 시험편A와 B를 비교해 볼 때 3000N



(a) duration of specimen A under 2000N, 2500N and 3000N



(b) duration of specimen B under 2000N, 2500N and 3000N

Fig. 6 duration of specimen A and specimen B

에서는 시험편 B가 지속시간이 길게 나타나는 것으로 하중 3000N에서는 시험편의 표면경도에 큰 영향을 받으며, 2000N과 2500N에서는 표면의 경도 보다는 시험편의 담금질 열처리로 인한 잔류 응력에 의해 영향을 받는 것을 알 수 있다.

3.3 마멸면의 미시적 관찰

마멸면의 미시적 현상을 관찰하여 파괴에 미치는 영향을 밝히기 위해 SEM을 이용하였다.

Fig.7(a),(b)(파괴시간 4시간)는 3000N의 하중 하에서 시험편A 파괴 시작점과 파괴 끝점을 나타낸 그림이다. 표면 경도의 차이에 의해서 이 그림에서 소성 유동이 극심하게 보이지만 Fig7(e)(파괴시간 13시간, 시험편B)에서는 소성 유동을 비교적 적게 나타나는 것을 비교 관찰 할 수 있다.

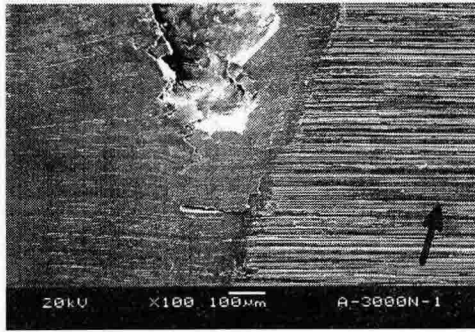
또한 시험편B에서 2000N 하에서도 비슷한 소성 유동을 보이며 파괴시간 또한 비슷한 경향이 있는데 이는 풀림처리를 하지 않음으로 인해서 잔류응력의 때문에 발생하는 것이다.

이 소성 유동에 의해서 파괴가 일어나는 것으로 관찰되며, 파괴 시간에도 많은 영향을 주는 것으로 관찰되어진다.

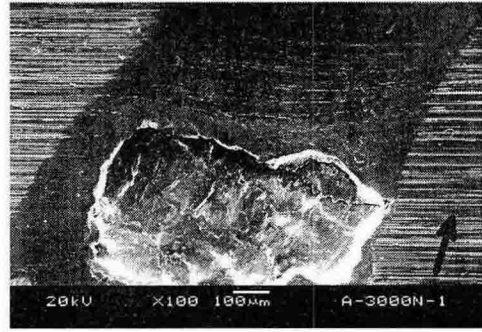
또한 파괴시간이 비교적 긴 2000N하에서의 시험편(Fig.7(c),(d))에서는 소성의 흐름이 거의 보이지 않지만 경도차이에 의한 영향보다 풀림 열처리에 의한 내부 응력이 제거됨으로 의해서 지속시간이 길어질수 있음을 알 수 있다.

크랙(crack)은 표면거칠기 값이 높은 곳에서 발생하게 된다. 구름에 영향을 많이 받는 곳, 즉 표면의 연삭 방향으로 인한 구름저항이 높은 곳에 발생하게 된다.

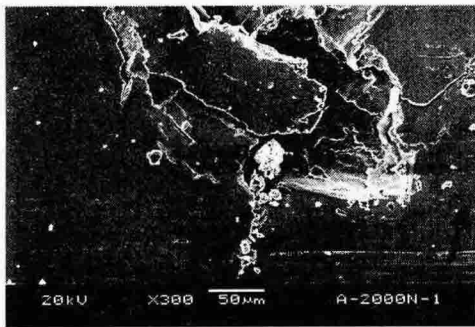
크랙(crack) 진행은 시험편 연삭 방향으로 진행 되어진 후 최종적으로 파괴가 된다고 생각된다.



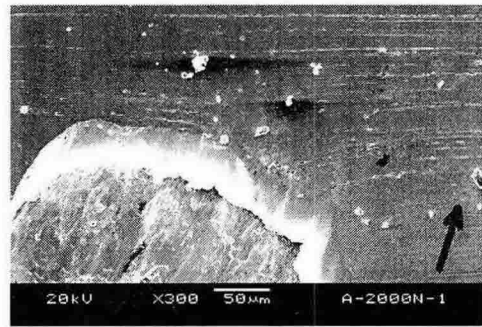
(a) SEM photograph of starting point of flaking failure surface under 3000N for specimen A



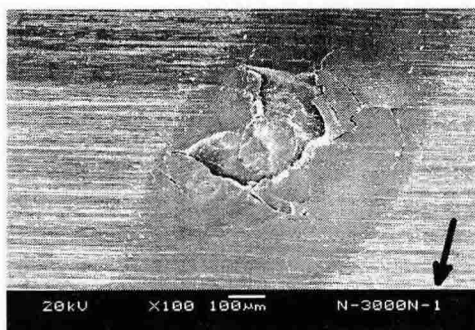
(b) SEM photograph of finishing point of flaking failure surface under 3000N for specimen A



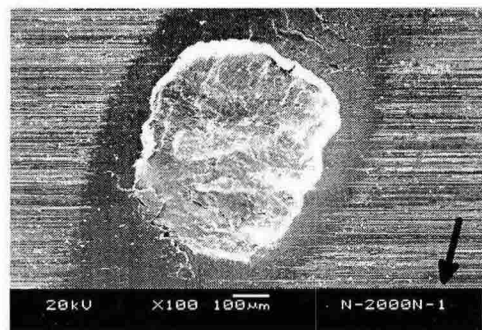
(c) SEM photograph of starting point of flaking failure surface under 2000N for specimen A



(d) SEM photograph of finishing point of flaking failure surface under 2000N for specimen A



(e) SEM photograph of flaking failure surface under 3000N for specimen B



(f) SEM photograph of flaking failure surface under 2000N for specimen B

Fig. 7 SEM photograph of flaking failure surface

4. 결 론

본 연구에서 SM55C의 상온, 윤활 하에서의 볼 온 디스크 타입(ball-on-disk type)구름 마멸실험을 수행 후 SEM 분석으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 담금질 후 풀림 처리가 수행된 SM55C는 담금질만을 수행한 SM55C에 비해 3000N에서는 과도한 마멸과 파괴를 보이지만 2000N, 3000N에서는 안정화된 파괴시간을 보인다.

2. 시험편의 연삭으로 인한 표면거칠기가 크랙 발생과 진전에 영향 준다.

5. 후 기

본 연구는 삼익공업(주)의 시험편 지원으로 실험하였습니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

(1) Tabor, D., 1956 "The Mechanism of Free Rolling Friction," Lubrication Engineering, Vol.12, pp. 379~386.

(2) Drutowski, D., C., 1959 "Energy Losses of Balls Rolling on Plates," J. of Basic Engineering, vol. 81, pp 233~238.

(3) Kimura, Y. and Okada., K., 1981,"Wear during Lubricated Rolling Contact," ASLE. Trans, V of 24, pp. 15~22.

(4) Cheng, H.S. et al., 1989, "Micropitting in Rolling and Sliding Contact under Mixed Lubrication," J. of Tribology, vol. 111, pp. 605~613.

(5) Soda, N. and Yamamoto, T., 1981, "Effect of Tangential Traction and roughness on Crack Initiation/Propagation

Curing Rolling Contact," ASLE. Transaction, Vol, 25, No., 2, pp. 198~206.

(6) Muro, H. and Tsumima., N., 1970, "Microstructural, Microhardness and Residual stress Changes due to Rolling Contact," Wear, Vol. 15, pp. 309~330.

(7) 차금환, 김대은 "구름계의 구름저항 및 표면 파손현상의 실험적 고찰," 대한기계학회논문집 제21권 제12호, pp. 2019~2028, 1997.