

표면경화된 SM53C강의 마모특성에 관한 연구

박원조 · 송태훈* · 허정원[†] · 송홍태^{***}

경상대학교 기계항공공학부 해양산업연구소 · *경상대학교 대학원 정밀기계공학과

^{**}안산공과대학 기계설계과 · ^{***}태창기업(주)

(2008. 1. 7. 접수 / 2008. 2. 21. 채택)

A Study on Wear Characteristics of Surface-Hardened SM53C Steel by High Frequency Induction

Won-Jo Park^{***} · Tae-Hoon Song^{*} · Chung-Weon Hur[†] · Hong-Tae Song^{***}

Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Gyeongsang National University Institute of Marine Industry

^{*}Department of Mechanical and Precision Engineering, Graduate School of GyeongSang National University

^{**}Department of Mechanical Design, Ansan College of Technology

^{***}Taechang Enterprise Co., Ltd

(Received January 7, 2008 / Accepted February 21, 2008)

Abstract : The abnormal wears such as unfair-wear and early-wear happen in the cam shaft surface of automobiles. These abnormal wears make efficiency of engines decrease and threaten safety of automobiles. The wear characteristics of the cam shaft is very important for the automobile safety. The cam shaft is surface-hardened by the high frequency induction. In this study, we investigated the wear characteristics of the hardened surface with a SM53C steel. The wear characteristics is examined according to the hardened depth and the amount of load.

Key Words : cam shaft, wear, high frequency induction, hardened depth

1. 서 론

자동차 공업 등에서 많이 사용되는 기어, 크랭크축, 캠, 스핀들 등의 기계부품들은 충격 하중이 작용하는 환경에서도 안전하게 기능을 수행해야 한다. 이들 부품들이 운행 중에 파손된다면 인명과 재산상의 대형 손실로 이어진다.

이들 부품들의 안전성을 확보하기 위한 방법이 재료 내부는 인성이 큰 상태로 유지하면서 표면은 고경도로 내마모성을 갖게 하는 것이다. 이러한 급속성질을 얻기 위한 표면처리방법 중 고주파열처리 방법이 있다.

1953년 항공기의 크랭크샤프트에 대한 고주파 유도가열을 이용하여 열처리를 실용화에 성공한 이후로, 고주파열처리가 가지는 많은 장점들로 인하여 각종 기계부품 제조에 급속히 확대되고 있다. 고주

파유도가열은 요구하는 재료의 표면층만을 급속 가열하여 냉각하므로 필요한 깊이까지 표면부의 조직이 경화되고 미세하게 되기 때문에 내마모성 및 피로강도를 향상시킨다^{1,4)}.

고주파열처리로 표면경화된 SM53C강 소재의 자동차용 캠샤프트는 최근 엔진의 고풍력화에 따라 가혹한 면압으로 표면의 비정상적 마모현상(편마모 및 조기마모)이 자주 발생하여 자동차의 안전을 확보하기 위해서 소재의 마모특성에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 고주파열처리로 표면경화된 SM53C강의 표면경도에 대한 마모특성을 알아보기 위하여 건식 마찰 마모 실험을 실시하고 그 마멸특성에 대하여 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. 재료

본 연구에서 시험편은 상용자동차용 캠샤프트 재

[†] To whom correspondence should be addressed.
benhur@act.ac.kr

Table 1. Chemical compositions of specimen (wt%)

Mat.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
SM53C	0.55	0.22	0.63	0.017	0.027	0.02	0.02	-	0.03

료인 SM53C를 이용하였으며 Table 1은 이 재료의 화학적 조성을 나타낸 것이다.

2.2. 열처리

Fig. 1은 고주파열처리의 원리를 나타낸다. 고주파 열처리는 주파수(Hz), 사용전력(kW), 코일이송 속도 등의 변수를 적용하는데 본 실험에서는 코일이송속도를 변화시켜 조건을 설정하였다. 쿨링 경도는 변태점 이상으로 가열하여 급냉시킴으로써 얻을 수 있다.

캠사프트 경우 노즈 부위와 저널 부위의 경도값이 680Hv 이상이 되어야 한다. 경도에 따른 특성을 비교하기 위해 고주파열처리의 코일이송 속력을 조절하여 대략 540Hv(A Type)와 715Hv(B Type) 경도값을 갖는 시험편을 준비하였다. 재료의 각각에 대한 고주파 열처리 조건은 Table 2와 같다.

2.3. 마모시험

마모시험은 Ball on Disc형 미끄럼마찰마모시험기(PDI02)를 이용하였다. 모재 시험편과 고주파열

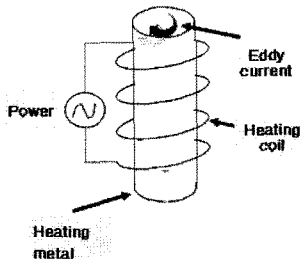


Fig. 1. Principle of high-frequency induction hardening.

Table 2. Experimental condition for progressive high frequency case hardened

Working condition	Conditions heat treatment	
	A Type	B Type
Electric Power(kW)	120	
Travel Speed(mm/sec)	6.2	7.0
Layer Hardened(mm)	1.10	0.55
Hardness(Hv)	500-640	600-800
Frequency(kHz)	70	
Temperature(°C)	850-870	
Tempering(°C)	180	280

처리 시험편의 마모특성과 하중조건에 따른 마모특성을 비교해 보았다. 시험편은 지름 30mm 높이 10mm의 디스크형상이며, 사용된 볼은 경도가 1000Hv 이상인 ZrO₂를 사용하였다. 시험 전 시험편의 표면은 샌드페이퍼(#400~#1500)를 이용하여 정밀연마한 후 Al₂O₃ 분말(0.3μm)을 이용하여 광택연마를 하였다. 마찰마모시험의 총 미끄럼길이는 3km, 회전 속도는 100rpm, 하중은 50N, 100N, 150N이었다. 무윤활 상태에서 실시하였으며, 마모량은 마모트랙의 일정 거리(500m)마다 한번씩 0.1mg 분해능을 가지는 전자저울을 사용하여 마모전과 마모후의 시험편의 중량을 비교하여 측정함으로써 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 경도 및 미세조직

경도는 마이크로비커스 경도계(Mitutoyo MVK-GI)를 이용하여 하중 500gf, 하중유지시간 10sec 조건에서 측정하였다. 모재, 열처리 A타입 및 B타입의 표면 평균경도값은 240Hv, 715Hv, 540Hv 이었으며, 열처리재의 중심부 경도는 250Hv으로 모재와 유사하였다. 이는 중심부는 열처리 영향을 받지 않았음을 알 수 있다.

Fig. 2는 고주파 열처리한 SM53C의 경화층과 비경화층의 조직을 나타낸 것이다.

경화층의 표면부 (A)에서는 급속냉각에 의해서 전면이 걸쳐서 균일하고 미세한 마르텐사이트 조직으로 구성되어 있는 것을 볼 수 있으며, 약간의 잔류 오스테나이트도 잔존하고 있는 것으로 생각된다.

(B)와 (C)에서는 내부로 갈수록 기저조직이 완전히 오스테나이트로 변태할 수 있는 온도와 시간이 불충분하여 오스테나이트화 과정에서 탄화물의 고용량이 감소하며, 또한 초석페라이트가 거의 분해되지 않고 그대로 존재하고 있음을 관찰할 수 있었다.

(D)에서는 경화층과 비경화층의 경계를 지나 열 영향이 전혀 없는 소재 조직인 초석페라이트로 구성되어 있다.

(E)는 경화층과 비경화층의 경계를 나타내고 있다.

(F)는 절단면을 나타내고 있다. 어두운 부분이 고주파 열처리를 한 경화층 부분이며, 가운데 밝은 부분이 비경화층 부분이다⁹⁾.

Fig. 3은 시험편의 표면에서 깊이방향으로 경도 분포를 나타내고 있다. 고주파 열처리에 의해서 경화층과 비경화층에서 경도의 구분이 분명하게 나타나고 있음이 확인된다.

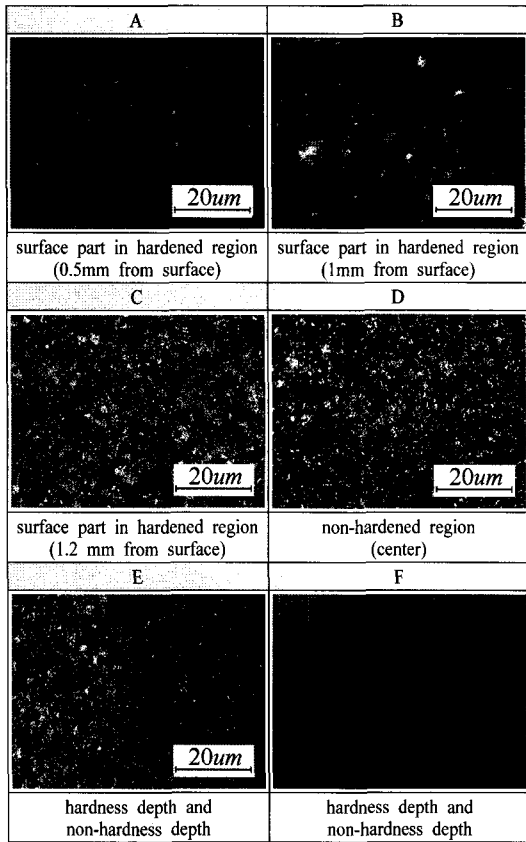


Fig. 2. Optical microstructure of hardened SM53C.

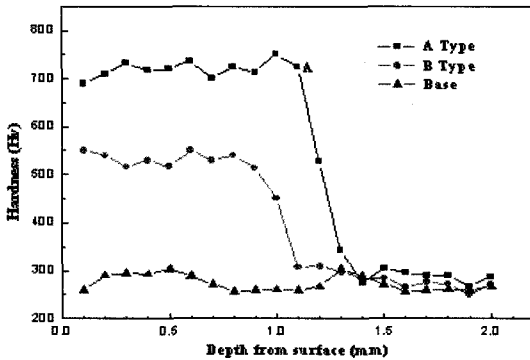


Fig. 3. Relation between hardness and depth from surface.

(A)형은 경화층 경도가 715Hv, (B)형은 540Hv 그리고 모재 및 비경화층은 240Hv 경도값을 확인할 수 있다.

3.2. 마모시험

3.2.1. 하중에 따른 마모량 비교

Fig. 4 (a)~(c)는 미끄럼길이에 대한 마모량의 변화를 시험편 종류에 따라 각각 나타내었다.

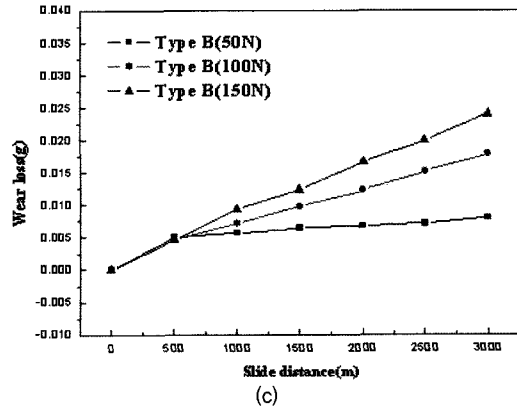
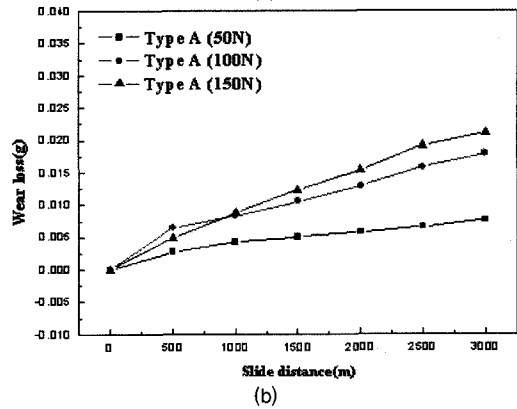
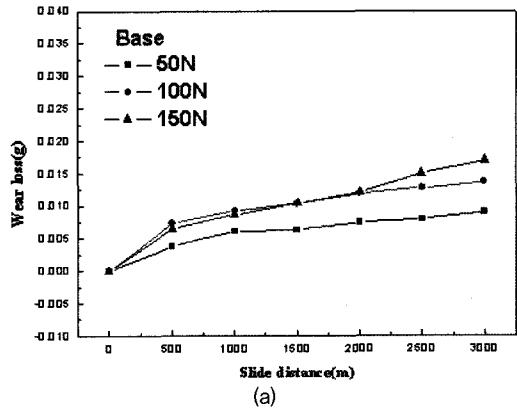


Fig. 4. Relationship between wear loss and slide distance.

(a)는 모재의 마모량을 (b), (c)는 열처리재 A 타입과 B 타입의 마모량을 나타낸다. 세 시험편 모두 미끄럼길이가 증가함에 따라 마모량이 완만하게 증가하고 있으며, 동일 시험편에서 하중(P) 크기에 따라서 마모량 차이는 크게 나타나서 분명한 차이를 보인다.

열처리에 따른 마모특성의 변화를 알아보기 위해 각 시험편에 대한 마모시간에 따른 마찰계수를 조사하였다.

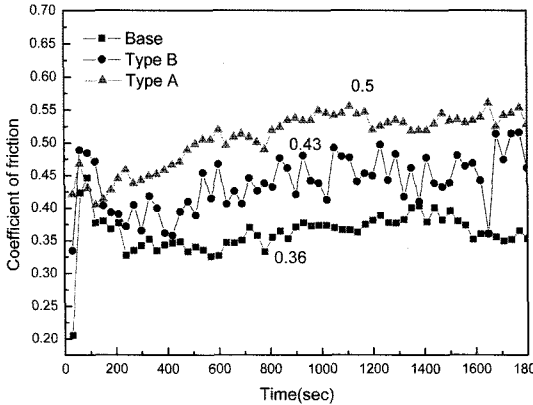


Fig. 5. Variation of coefficient of friction according to time.

Fig. 5는 하중 50N 조건에서 시간의 흐름에 따른 각 시험편에 대한 마찰계수의 변화를 나타내고 있다. 모재와 B 타입의 경우, 초기 마찰계수가 급격히 상승을 하나 시간이 지남에 따라 안정되어 전체적으로 조금씩 상승하는 경향을 보인다. A 타입 경우는 초기의 마찰계수 변화가 다소 적음을 보인다.

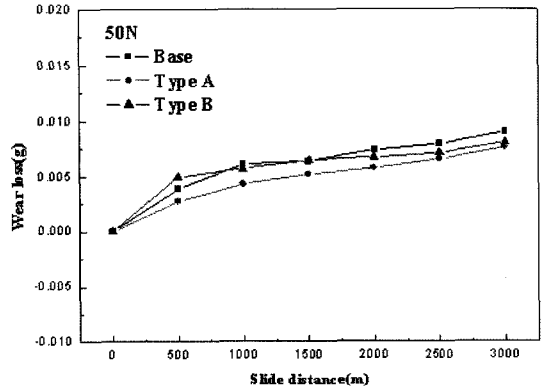
시간이 경과함에 따른 마찰계수값 증가는 모재의 경우는 거의 변화가 없으며, 열처리재는 대체로 상승하며 A 타입이 가장 뚜렷하게 보인다.

각 조건에서 평균마찰계수값은 모재, A 타입, B 타입이 각각 0.36, 0.50, 0.43으로 나타나서 A 타입 시험편이 가장 높은 마찰계수값을 나타내고 있다.

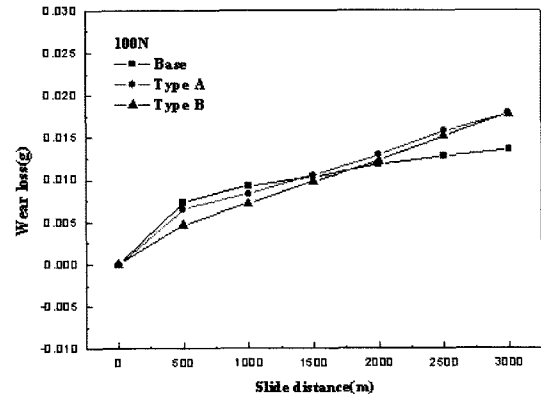
Fig. 6(a)는 50N 하중조건에서 각 시험편에 대한 미끄럼길이에 따른 마모량을 나타낸 것이다. 경도가 가장 높은 A 타입이 가장 적은 마모량을 나타내었으며, B 타입과 모재는 비슷하게 나타났다. 즉, 50N 하중조건 하에서는 일정정도의 경도 이상에서 내마모성이 향상됨을 확인할 수 있다.

Fig. 6(b) 및 (c)는 100N, 150N 하중조건에서 각 시험편에 대한 미끄럼길이에 따른 마모량을 나타낸다. 50N에서와는 달리 열처리를 한 A 타입과 B 타입은 모재보다도 오히려 많은 마모량을 나타내고 있다. 이러한 현상이 일어난 것은 고주파열처리에 의해 경도가 증가했음에도 불구하고 연삭마모의 저항성이 오히려 낮아지는 경우인데 이는 경한 재질의 재료에서 나타나는 연삭마모라는 것이 종래의 절삭개념으로 설명하는 것은 어렵다는 것을 나타내주고 있다^{6,7)}.

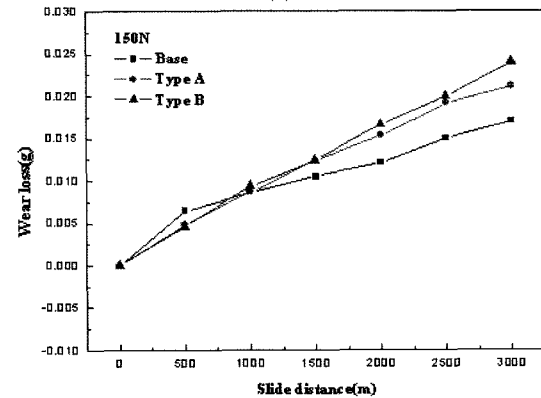
이의 원인으로 2가지를 고려할 수 있다. 첫 번째로 응착에 의한 경우와 두 번째로는 경한 마모분에 의한 연삭마모의 가속화로 생각되어진다. 경도가 높은 열처리재에서는 연삭마모가 주로 나타나지만 열처리를 하지 않은 모재의 경우 상대재인 세라믹볼



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. Relationship between wear loss and slide distance.

의 마모분과 시험편의 마모분의 응착에 의해 상대적으로 적은 질량감소를 나타낸 것으로 생각되어진다.

3.2.2. 마모면의 미세기구 해석

앞 절에서 설명한 Fig. 4-6의 하중에 따른 마모량의 변화 원인을 알아보기 위하여 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 마모파면을 관찰해 보았다. Fig. 7은 모재, 타입 A 및 타입 B 하중증가에 따른 파면양상을

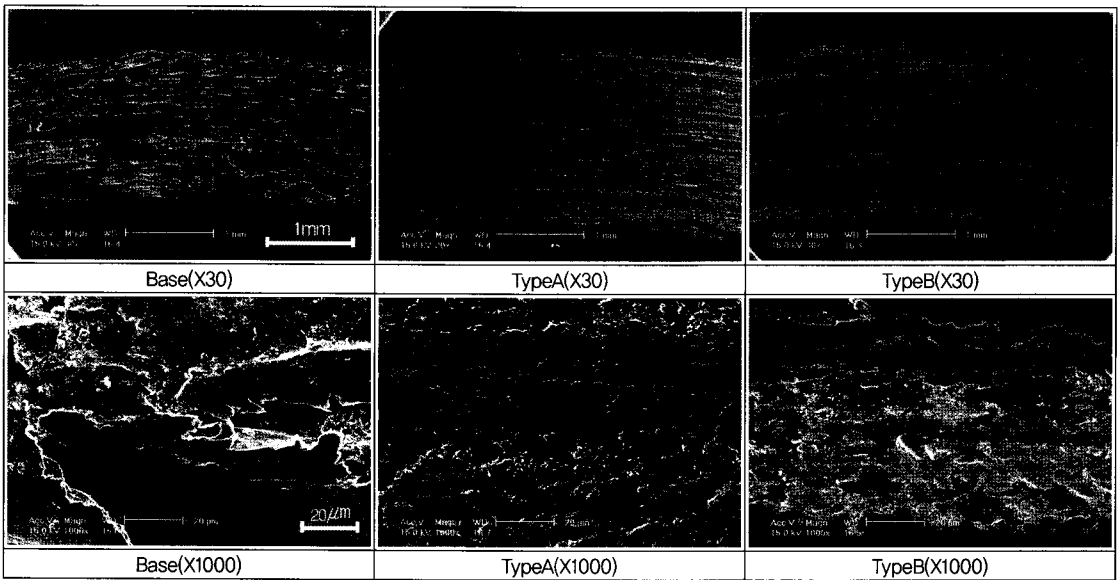


Fig. 7. SEM image of base specimen.

나타내고 있다. 상단사진은 배율을 30배로 관찰한 것이고, 하단사진은 1000배로 하여 관찰한 것이다. 하중이 증가함에 따라 표면이 거칠어지며, 연삭마모로 보이는 파면들이 응착마모화 되어가는 것을 알 수가 있다. 우측으로 갈수록 마모트랙이 모재보다 열처리 재가 오히려 트랙의 폭이 더 큰 것을 알 수 있다.

이는 상대재를 경도 1000Hv 세라믹볼을 사용했음에도 불구하고 이 세라믹볼이 열처리를 한 A 타입, B 타입에 의해 마모가 되면서 그 접촉면적이 넓어져 마모트랙 폭이 커졌음을 알 수 있다. 접촉면적이 커짐으로써 마모량이 많아진 것으로 생각되어진다. 또한 상대적으로 경도가 낮은 모재에서는 응착마모 흔적이 많이 나타났으며 반복되는 응착과 그 응착된 마모분이 탈락한 것이 쉽게 발견되었다. 또한 세라믹의 마모분으로 보이는 형태가 보이고 있다. 이 응

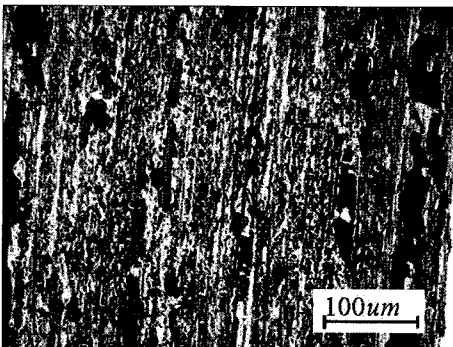


Fig. 8. Surface of wear track(Base).

Elmt	Spect	Inten.	std	Element	Sigma	Atomic
	Type	Corn.	Corn.	%	%	%
Si	ED	0.750	1.04	0.26	0.07	0.52
Mn	ED	0.979	1.00	0.55	0.16	0.56
Fe	ED	1.001	1.00	96.20	0.27	97.07
Zr	ED	0.685	1.05	2.99	0.21	1.85
Total				100%		100%

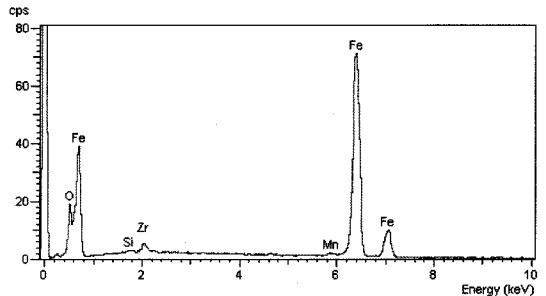


Fig. 9. Result of EDX analysis.

착된 마모분이 모재의 질량에 더한 것으로 생각된다.

Fig. 8은 모재의 마모트랙을 나타내고 있다. 하얗게 보이는 응착분이 세라믹의 마모분으로 생각되고 EDX분석을 실시한 결과 Fig. 9와 같이 지르코니아 성분이 검출 되었다. 이러한 응착분이 모재와 열처리 재와의 관계에서 모재의 상대적으로 적은 마모량 증가에 영향을 미치는 세라믹의 응착을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 고주파열처리를 이용하여 상용자

동차용 캠샤프트 재료인 SM53C에 대한 경도와 하중에 따른 표면 마모특성에 대해 검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 고주파 열처리부의 경도값은 각각 540Hv와 715 Hv로 얻었으며 표면에서는 높은 경도값을 보이다가 각각의 고주파 열처리부와 기저부의 경계로부터 급격하게 감소하는 것을 알 수 있었다.

2) 저하중(50N)에서는 세 시험편 모두 미끄러짐길이 증가함에 따라 그 마모량이 증가하였으며, 열처리에 의해 일정 정도 이상의 경도 (714Hv)에서 내마모성이 향상되었다.

3) 고하중(100N, 150N)으로 갈수록 모재보다도 열처리재가 오히려 마모량이 증가하였는데 이는 열처리재의 경도가 향상됨으로써 상대재인 세라믹볼 (ZrO₂)의 마모량이 많아짐으로써 모재에 세라믹마모분의 응착에 의하여 모재의 상대적인 질량감소 저하가 그 원인으로 나타났다.

감사의 글 : 본 논문은 산자부 및 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업과 경상대학교 2단계 BK사업으로 수행된 연구결과이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) S. L. Semiaton and D. E. Stutz, "Induction Heat Treatment of Steel", American Society for Metals.
- 2) KIMM, "Development of Dual Frequency Phase Heat Treatment Technology", KIMM Report BSM235-1637.C, Korea, 1991.
- 3) Sudook A. Kim and Ward L. Johnson, "Elastic constants and internal friction of martensitic steel, ferritic-pearlitic steel, and α iron", Materials Science and Engineering, Volumes 452-453, pp. 633~639, 2007.
- 4) Y. K. Kim, "Induction Heat Treatment of Steel", J. of the Korean Society for Heat Treatment, Vol. 3, No. 2, pp. 10~19, 1990.
- 5) G. D. Na, "Characteristics of Induction and Laser Surface Hardening of SM45C Steel", J. of Korea Society of Engineering, Vol. 23, No. 7, pp. 987~992, 2006.
- 6) J. Y. Yoon, J. C. Choe and S. K. Hong, "Wear Resistance of Metal Matrix Composites", Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 16, No. 1, pp. 10~19, 1990.
- 7) "Know-How of Wear test", R&B Co., Ltd., Seoul, Korea, 2003.