한국정보전자통신기술학회논문지(jkiiect)'19-4 Vol.12 No.2
논문 19-12-02-113 http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2019.12.2.113

적응화 평활화법을 이용한 다기능 마찰력 측정기의 성능 분석

김태수*, 김광수**

Analysis of Performance of Multi-functioned frictional force measuring instrument using adaptive smoothing

Tae-Soo, Kim*, Gwang-Su, Kim**

요 약 우리는 선행연구로 다기능 마찰력 측정기를 개발해 왔고 본 논문에서는 적응화 평활화 방법을 적용하여 마찰력 측정기의 성능을 개선하고자 하였으며, 스크래치 테스트를 통해 시편에 대한 마찰력과 마찰면의 모니터링 기능을 심도 있게 분석하였다. 일반적으로 강판을 가공하여 사용하고자 할 때 마찰을 줄이기 위해서 윤활유를 사용하지만, 윤활유는 환경오염의 큰 원인이기 때문에 본 연구에서는 윤활강판을 사용하였다. 특히, 윤활강판의 마찰계수는 유기, 무기 등의 시편의 종류 및 코팅층의 상태에 따라 변화하기 때문에 합금화 용융아연도금강판과 같은 다양한 시편에 대한 정밀한 실험을 통해 분석하였다. 이를 토대로 적응화 평활화법을 이용하여 잡음이 제거된 정확한 마찰계수를 측정할 수 있는 측정기의 성능을 향상시킬 수 있음을 검증하였다. 그 결과로서 마찰계수 0.16에 대하여 적응화 평활화법을 이용한 경우 저감률이 0.0417%임을 보였다.

Abstract We have developed the multi-functioned friction measuring instrument for the previous research. In here, we improved the performance of friction measuring instrument by applying the adaptive smoothing method and analyzed the friction of plate and monitoring function of friction surface through scratch tests. We substituted lubricant steel plate to lubricant oil used for reducing the friction when fabricating steel plate because lubricant oil was regarded as one of the major causes for the environmental pollution. In particular, the functions of various plate such as galvannealed steel sheets were analyzed because friction coefficient could be changed depending on the type of organic/inorganic plate or state of coating layer. Therefore, we demonstrated that adaptive smoothing method could enhance the accuracy of measuring instrument which eliminate the noise. As a result of using the method, it showed the reduction rate 0.0417% for the friction coefficient 0.16.

Key Words : Adaptive Smoothing, CCD Camera, Friction Coefficient, Multi-Functioned, Scratch Test

1. 서론

자동차 산업의 발달과 더불어 자동차 부품 및 철강을 취급하는 산업현장에서는 기존에 사용하던 강판에 표면 처리된 강판을 개발하여 사용하고자하는 경향이 증가하고 있다. 또한 강판을 가공하여 사용하는 경우에 마찰력을 줄이기 위하여 윤활유를 사용하나 이러한 경우에 작업환경의 열화, 탈지 작업시 프레온 등의 사용에 따른 환경오염과 더불어 사용상의 불편 등의 이유로 윤활유의 사용을 줄이고자 윤활강판을 개발하여 시판하고 있다[1-2]. 윤활강판의 주요한 이점으로는 사용상 불편한 작업환경을 개선하고 특히 환경오염을 줄일 수 있고 가공성 향상, 내지문성 및 내식성 향상을 시킬 수 있다. 일반적으로 윤활강판은 첨가제를 넣어 코팅층을 형성시키는데 마찰계수를 줄이기 위한 반응형 크로메이트를 사

This paper was supported by a grant from the Academic Research Program of Uiduk University in 2018.
*Department of IT Convergence, Uiduk University
**ComtecKorea Co. Ltd,
Received February 26, 2019 Revised March 09, 2019 Accepted March 09, 2019

용하게 된다[2]. 지금까지 이러한 마찰계수를 정확하게 측정하기 위한 다양한 연구가 진행되어 왔다[1-4]. 그러나 윤활강판의 코팅층의 존재로 가공시에 마찰로 인한 코팅층의 손상, 강판의 표면 특성변화로 윤활조건의 변화 등이 문제점으로 제기된다. 이렇게 제기되는 문제점을 해결하기 위해서 다양한 시도가 있어 왔으며 정밀한 측정을 위해서 개별적으로 측정장치를 제작하여 사용하고 있다[1-3]. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위한 측정장치를 제작하여 유기계 및 무기계 등의 시편에 대하여 성능을 분석하고 기존에 시편 마찰면을 주로 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 관측하던 것을 CCD카메라를 이용하여 모니터링 하며 특히 기존의 기계적인 마찰계수를 측정방법을 개선하기 위하여 측정신호에 포함되어 있는 잡음 성분을 제거하여 보다 신뢰성 있는 마찰계수 측정 방법을 제안하고 실험을 통하여 우수성을 검증하고자 한다.

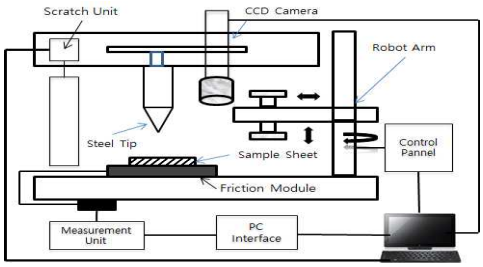


그림 1. 다기능 마찰력 측정장치 개요도
Fig. 1. Schematic of Friction Power Measurement Device

2. 실험 방법 및 장치

2.1 실험장치 구성

본 실험에서는 마찰력에 의한 마찰계수를 측정하는 시스템의 개요도는 그림 1과 같으며 이에 따른 실제적인 장치의 레이아웃을 그림 2에 나타낸다.

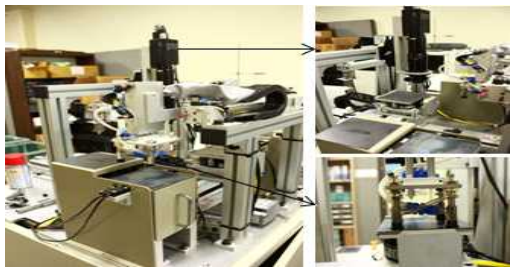


그림 2. 마찰력 측정장치 레이아웃
Fig. 2. Layout of Friction Power Measurement Device

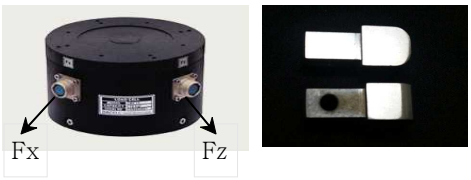
그림 2의 마찰력 측정장치는 마찰력 측정 모듈과 CCD 카메라 부분으로 크게 나눌 수 있으며 그림 2의 우측에 별도로 확대해서 나타냈다.

2.2 실험 장치의 하드웨어 및 실험 조건

실험을 위해서 본 연구에서 사용한 장치의 하드웨어 구성은 다음과 같다.

2.2.1 하드웨어 구성

- PC : Intel Core Duo E8400, 3.0Ghz, 2Gb(Dual)
- CCD Camera : Cl-M4+CL, Scanning progressive 1060 lines 24 frames/sec
- Lens : ML-Z07545D, 5.4 μm
- Graber Board : Grablink Expert2
- Servo Drive : FDA7001
- Servo Motor : FMACJ01-AB00
- A/D Converter : SCC-68 DAQ
- PLC : LS MASTER-K K200S
- Robot : DRM80-S-100-I-L10-ST400-L2, Base width 80mm, Lead 10mm Speed
- 다축 로드셀: 그림 3.(a)의 정격출력은 1.0mV, 인가전압은 10V, 절연저항이 200MΩ으로 Fx는 수평축에 대한 힘, Fz는 수직축에 대한 힘에 대하여 로드셀의 값을 출력하게 된다.
- 압입자: 그림 3(b)의 반구형의 7mm Dia.



(a) (b)

그림 3 다축 로드셀과 압입자
Fig. 3. Multi Component Load Cell and Indenter

2.2.2 실험 조건

실험의 조건은 다음의 표 1에 나타낸다.

표 1. 마찰계수 측정 조건
Table 1. Friction Coefficient Measurement Conditions

측정 항목	측정 조건
Specimen Size	100x100 mm^2
Friction Stylus Tip	SKD11 steel
Friction Stylus Tip Size	10 mm
Friction Stylus Tip type	One Side
Sliding Speed	25mm/min
Normal Load	20N

2.3 실험 방법

마찰력에는 정지해 있는 물체에 작용해 접촉면에 대하여 힘을 반대로 작용하는 정지 마찰력과 반대로 움직이는 물체에 대하여 작용하는 운동마찰력으로 나눌 수 있다. 마찰계수의 측정기법으로는 일반적으로 Pin-on-Disk, Ball-on-Disk 기법 등이 있으나 [3] 본 연구에서는 스크래치 타입의 장치로서 압입자를 수직방향으로 힘을 인가하여 측정하고자 하는 시편 표면에 밀착, 수평방향으로 힘을 부여시 획득되는 힘의 변화량을 측정해서 정량화된 마찰력을 측정하도록 하였다.

압입자와 시편 사이에 서로 작용하는 수직력과 마찰력은 다축 로드셀 Fx, Fz로 측정하며 여기서 측정된 신호는 신호증폭기에 의해 0~40mV로 증폭되어 A/D 컨버터를 통해 디지털신호로 변환되어 PC로 전달되며 실시간으로 측정이 되도록 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

이전 2장에서 설명한 내용을 기반으로 마찰력을 보다 정확하게 측정하기 위하여 다양한 조건하에서 실험을 수행하고 분석을 행하였다.

3.1 측정장치의 성능

다양한 윤활강판에 대하여 마찰계수의 변화와 강판의 상태를 측정하기 위해서 압입자의 재질이 중요한 변수로 작용하며 압입자의 크기에 따른 변화는 적다. 따라서 압입자의 재질을 선택하기 위해서 가장 많이 사용하는 두 종류의 압입자에 대하여 실험을 통해서 결정하였다.

우선 압입자의 재질 및 크기로 지름 7mm의 SKD11(JIS)과 SUJ2(JIS)를 이용하여 실험을 수행하였다. SKD11은 높은 크롬, 고 탄소강에서 게이지 및 프레스 금형 등에 이용되는 공구강이며[5], SUJ2은 Ball Bearing Steel이다[6].

이들 압입자를 이용해서 냉연강판(Cold Rolled Carbon Steel Sheet, CR), 아연도금강판(Galvanized Steel Sheet, GI), 합금화용융아연도금강판(Galvannealed Steel Sheet, GA)에 대해 측정한 마찰계수 그래프를 다음 그림 4와 그림 5에 나타낸다.

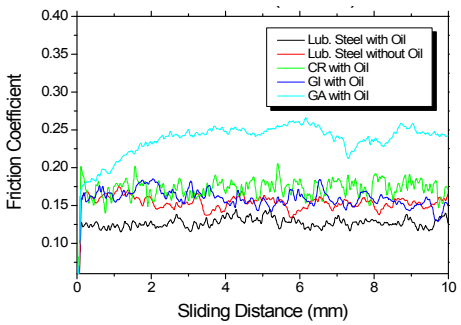


그림 4. 강판 종류별 SKD11에 의한 마찰계수 측정치
Fig. 4. Friction Coef. Measurement Values using SKD11 for Steel Plates.

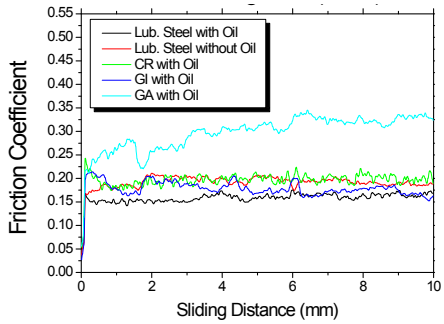


그림 5. 강판 종류별 SUJ2에 의한 마찰계수 측정치
Fig. 5. Friction Coef. Measurement Values using SUJ2 for Steel Plates.

상기 그림 5에서 오일처리된 시편에 대하여 10mm까지 Sliding 거리 대비 압입자의 재질에 따른 마찰계수의 변화에 대해서 시편별 마찰계수의 평균과 표준편차를 다음 표2에 나타낸다.

표 2 압입자 재질과 강판 종류별 마찰계수 비교
Table 2. Friction Coef. Comparison of Indenter Material and Several Steel Sheets

Indenter / Specimen	SUJ2		SKD11	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차
Lub. Steel	0.15	0.028	0.13	0.057
CR	0.18	0.018	0.17	0.034
GI	0.18	0.002	0.16	0.027
GA	0.39	0.110	0.24	0.055

표 2에 나타낸 바와 같이 압인자의 종류에 따른 비교에서 SUJ2에 비하여 SKD11의 마찰계수가 모든 중류의 시편에 대해서 낮아 두 재질 중에서 SKD11의 재질이 본 측정장치에 적당하다고 할 수 있다.

다음은 강판의 재질에 따른 보다 구체적인 변화를 측정하기 위하여 상기 표 1의 조건을 기반으로 유기계/무기계 윤활강판, GA에 OIL을 인가하였을 경우와 인가하지 않았을 경우에 대하여 마찰계수를 측정하여 이에 따른 변화량을 조사한 결과를 다음 그림 6에 나타낸다.

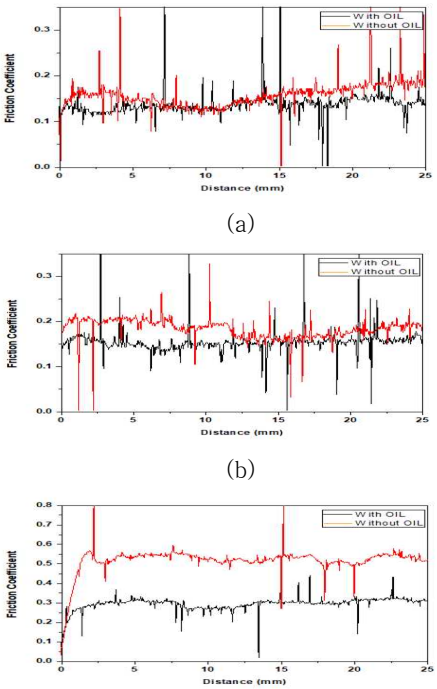


그림 6. 윤활강판의 OIL처리/미처리 시트의 마찰계수 비교, (a)유기계, (b)무기계, (c)GA
Fig. 6. Comparison of Friction Coefficient of Lubricated Steel Sheet with/without OIL handling, (a)Organic, (b)Inorganic, (c)GA

그림 6(a)에서는 유기계 윤활강판, 그림 6(b)는 무기계 윤활강판, 그림 6(c)는 GA강판에 대하여 각각 OIL처리 한 시편과 OIL을 처리하지 않은 시편에 대하여 마찰계수를 나타내고 있다. 유기의 경우는 OIL을 처리한 시편과 그렇지 않는 시편과의 마찰계수 차이가 0.01정도의 차이를 보이지만 데이터의 변동되는 진폭의 경우 OIL처리하지 않는 시편의 경우가 심하게 나타난다. 이는 강판의 도금층의 손상이라기보다는 표면에 존재하는 이물질의 영향이라고 볼 수 있다. 그리고 그림 6(b)의 무기 윤활강판의 경우는 OIL처리한 효과가 유기에 비하여 크게 나타나며 이는 무기계가 유기계에 비하여 코팅층의 열악한 상태를 제공함을 알 수 있다. 또한 GA강판의 경우는 OIL처리한 시편의 경우가 그렇지 않은 경우에 비하여 큰 차이를 보이는데 이는 코팅층이 다른 윤활강판

에 비하여 더 열악함을 알 수 있다. 본 연구에서는 마찰계수의 측정과 동시에 시편의 상태를 CEM을 사용하지 않고도 CCD카메라를 이용하여 모니터링이 가능하도록 구축하였다. 모니터링을 위한 시스템의 화면을 그림 7(b)나타낸다.

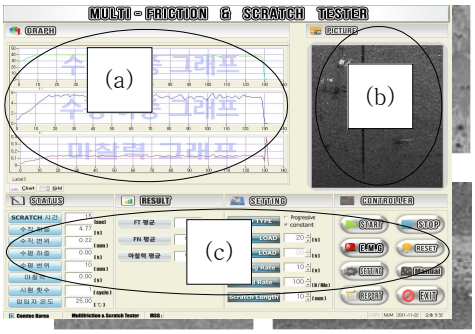


그림 7. 다기능 마찰력측정시스템 주화면, (a)그래프, (b)측정 이미지, (c)셋팅 및 측정값
Fig. 7. Multi-friction Measurement System, (a)Graphs, (b)Measurement Image, (c)Setting and Measurement Values

그림 7(b)의 측정이미지로 그림 8에 나타낸 부분이 이물질, 크랙(Crack)에 해당하는 부분이다.

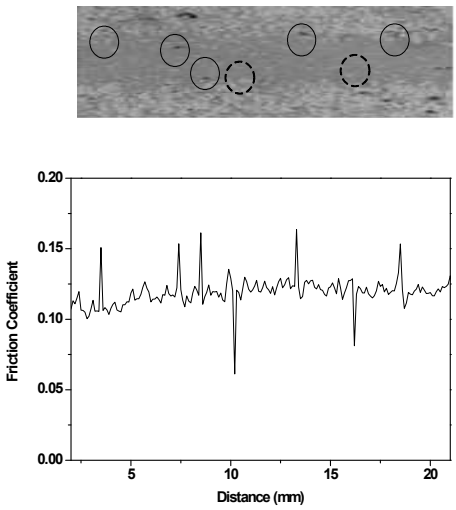


그림 8. 크랙의 모니터링
Fig. 8. Monitoring of Crack

3.2 적응화 평활화법에 의한 분석

잡음이 포함된 측정파형으로부터 원 신호성분 만을 정확하게 추출해 내는 것은 거의 불가능한 일이나 신호와 잡음 성분의 성질을 어느 정도 아는 경우에는 잡음성분을 제거하는 방법을 통해서 신호 성분을 추출하는 것도 가능하다. 이러한 방법으로 주로 사용되는 평활화를 이용한 방법 중에 적응화 평활화법과 Savitzky-Golay 필터를 이용한 방법이 있다[7-9]. 마찰력으로부터 얻어지는 측정파형은 고주파 성분을 포함한 측정과정에서 발생하는 불규칙 정상 잡음을 갖는다고 볼 수 있기 때문에 잡음 제거를 위해서 이와 같은 평활화 방법을 적용하는 것은 타당하다[7]. 우선 적응화 평활화법과 Savitzky-Golay 필터의 평활화 성능을 비교화기 위하여 표 1의 조건에 따른 마찰계수 0.16을 갖는 시편에 대한 측정신호를 그림 9에 나타낸다. 그림 9의 측정신호에 대해 잡음제거 방법을 적용한 결과를 그림 10과 그림 11에 나타낸다.

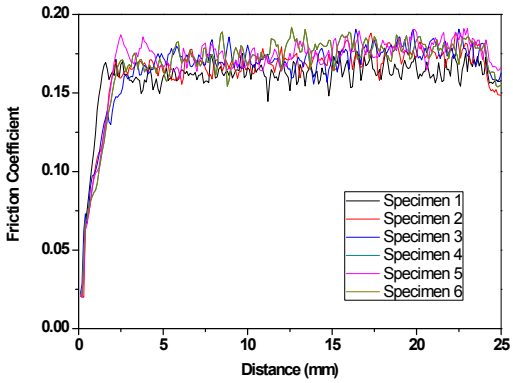


그림 9. 윤활강판 마찰계수
Fig. 9. Friction Coefficient of Lubricated Steel

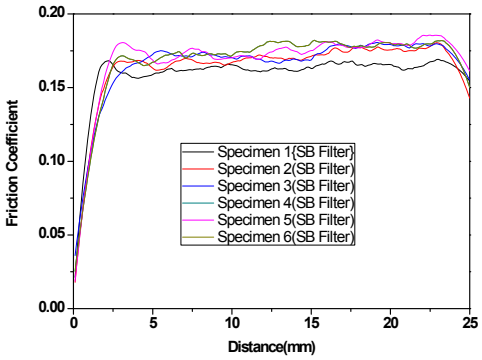


그림 10. 윤활강판 마찰계수(Savitzky-Golay Filter)
Fig. 10. Friction Coefficient of Lubricated Steel((Savitzky-Golay Filter)

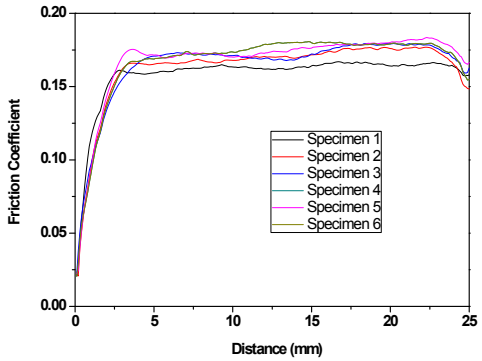


그림 11. 윤활강판 마찰계수(적응화 평활화)
Fig. 11. Friction Coefficient of Lubricated Steel(Adapt -ive Smoothing)

상기 그림 11에 나타난 결과에서 적응화 평활화법이 피크 파형의 근처에서는 피크 파형에서 그림 10에 나타낸 Savitz ky-Golay 필터를 이용한 방법보다 평탄한 특성을 가지며 보다 정확한 마찰계수에 근접한다고 할 수 있다. 다음 그림 12는 윤활강판에 대한 마찰계수 0.11, 0.13, 0.16에 대하여 Savitzky-Golay 필터와 적응화 평활화법을 적용한 결과를 나타냈다.

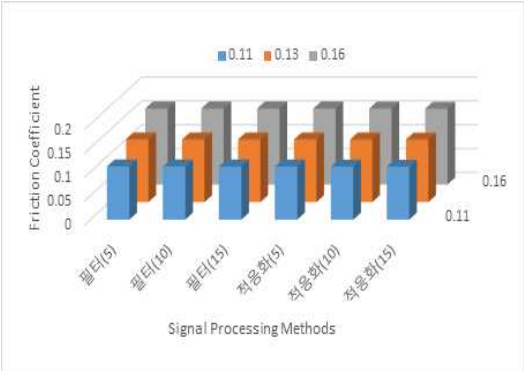


그림 12. 필터 및 적응화 평활화법 적용 마찰계수 비교
Fig. 12. Friction Coefficient Comparison applying Filter and Adaptive Smoothing

이 결과에서 두 방법 모두 큰 차이는 없으나 필터의 윈도우 사이즈가 5인 경우에 비하여 15의 경우가 적응화 평활화법에서 더 큰 저감률을 보임을 알 수 있으며 이 관계를 표 3에 나타냈다.

표 3. 윈도우 사이즈에 따른 마찰계수 비교
Table 3. Friction Coef. Comparison of Window Sizes

Method / Coef.	필터 (15-5)	적응화 (15-5)	저감률 (%)
0.11	0.0017	0.0426	0.0409 ↑
0.13	0.0023	0.0312	0.0289 ↑
0.16	0.0008	0.0425	0.0417 ↑

표 3에 나타낸 바와 같이 마찰계수가 0.11의 경우 Savitzky-Golay필터에 비하여 적응화 평활화법을 이용한 경우가 저감률로 볼 때 0.0409정도 높으며 0.13과 0.16의 경우에도 0.0289 및 0.0417정도가 각각 더 높게 나타난다. 따라서 적응화 평활화법이 마찰계수 측정에 더 효율적임을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 산업현장에서 강판을 가공하여 사용하는 경우에 마찰력을 줄이기 위하여 윤활유를 사용하나 환경오염 등을 줄이기 위해서 윤활유를 사용하지 않는 윤활강판에 대해서 그 특성을 조사하기 위한 측정장치를 개발하였다.

윤활강판 특성의 기준이 되는 마찰계수와 모니터링 기능을 포함한 다기능 마찰력측정기를 제작하여 다양한 시편에 대하여 마찰계수를 측정한 결과 우수한 마찰력 측정기의 성능을 확인했다. 또한 시편의 상태를 CCD카메라를 이용하여 모니터링 할 수 있음을 보임으로써 다기능의 역할도 확인하였다. 그리고 마찰계수를 보다 정확하게 측정하기 위해서 측정신호에 대하여 잡음을 제거하기 위한 신호처리로 적응화 평활화법을 이용한 결과 마찰계수 0.16의 경우에 다른 방법에 비하여 0.0417% 정도 우수한 특성을 가짐을 검증했다.

REFERENCES

[1] Jae Wook Kwon, Insoo Kim, Dong Nyung Lee, "Measurement of Friction Coefficient in Stretching of Coated Steel Sheets", Transactions of Materials Processing, Vol. 1, No. 1, pp.75-86, 1992

[2] Man Sik Seo, Young Pil Koo, Yong Joo Cho, "An Experimental Comparison Study on Performance Evaluation for the Hydraulic Pin-on-disk Type Tribotester", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 16, No. 5, pp. 194-199, 1999

[3] C. S. Park, Y. G. Geong, S. G. Noh, "Quality Characteristics of Lubricated Steel Sheets", The Conference of The Korean Institute of Surface Engineering, pp. 55, 1995

[4] Lee Sunwoo, "Development of a friction measurement system and it's characteristics", Journal Korea Physical Society, Vol. 2. No. 1, pp.69-75, 1983

[5] http://blog.daum.net/sp_ht/16(SKD-11)

[6] H.J. Kim, "A Study on Heat Treatment for Improving Cold Forgeability of a Bearing Steel, SUJ2", Journal of KSMP, Vol. 8, No. 1, pp. 24-30, 2009

[7] S. Minami, Waveform Data Processing for Science Measuring, CQ Publisher, pp. 99~102, 1989

[8] A. Dexi, Z. Donghua, "Robust adaptive smoothing Algorithm for nonlinear stochastic systems", Journal of Jilin Univ. Engineering and technology edition. v.34 no.3, pp.433 - 438, 2004

[9] J. Luo, K. Ying, P. He, J. Bai. "Properties of Savitzky-Golay digital differentiators", Digital Signal Processing. pp.122-136, 2005

저자약력

김 태 수(Tae-Soo Kim) **[정회원]**

- 1987년 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1991년 요코하마국립대 전자정보공학과 공학석사
- 1995년 요코하마국립대 전자정보공학과 공학박사
- 1996년~현재 위덕대학교 IT융합학과 교수

〈관심분야〉 디지털신호처리, 유먼인터페이스, 임베디드시스템

김 광 수(Gwang-Su Kim) **[비회원]**

- 2012년 위덕대학교 정보통신공학과 공학사
- 1992년~1998년 (주)중앙강재 과장
- 2001년~2006년 ㈜하나테크 부장
- 2009년~현재 ㈜컴텍코리아 대표이사

〈관심분야〉 신호처리, 3D CAD, 자동화용 측정장치