



## 고정밀 휴대용 로크웰 경도계 개발

김신곤\*, 류지열\*\*

# Development of High-Precision Portable Rockwell Hardness Tester

Shin-Gon Kim\*, Jee-Youl Ryu\*\*

---

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음

---

### 요 약

본 논문에서는 로크웰 경도 측정 방법을 이용한 고정밀 휴대용 경도계를 제안한다. 제안하는 경도계는 로크웰 경도를 측정할 로크웰 프로브 부와 이를 제어하고 신호처리를 할 제어시스템 장치로 구성되어 있다. 또한 제어시스템 장치는 인터페이스 부, 신호처리 부, 디스플레이 부, 디바이스 제어 부, 통신모듈 부 및 전원 부로 구성되어 있다. 로크웰 경도 측정 방법은 일반적으로 다른 측정 방법에 비해 측정이 더 용이하고 더 정확하다. 이러한 시스템은 현장, 공장 및 연구소 환경에서 거의 제한 없이 활용 가능하다. 제안하는 경도계는 다양한 측정 시편에 대해 기존 시스템 보다 10% 높은 분해능과 20% 높은 측정 정확도를 보였고, 기존 시스템 보다 45%의 가격 절감 특성을 보였다. 이러한 경도계가 금속, 합금, 플라스틱 등 다양한 재료의 경도를 측정해야 하는 기계 및 금속 산업 분야에서 널리 사용되길 기대한다.

### Abstract

In this paper, we propose high-precision portable hardness tester using the Rockwell hardness measurement technique. The proposed hardness tester consists of Rockwell probe part to measure Rockwell hardness and control system unit to control and process signal from this probe. The control system unit also contains interface part, signal processing part, display part, device control part, communication module part and battery part. The Rockwell hardness measurement method is generally easier to measure, and more accurate than other measurement methods. This system is capable of almost unlimited usage in the environments of fields, factories and research institutes. The proposed hardness tester showed higher resolution of 10% and higher measurement accuracy of 20%, and cost effective of 45% for the various test samples as compared to conventional hardness tester. We hope that this hardness tester is widely used in the mechanical and metal industries to measure hardness of a variety of materials such as metals, compound metals, plastics, etc.

### Keywords

Rockwell hardness, hardness tester, Rockwell probe, control system unit

---

\* 부경대학교 정보통신공학과  
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0182-3263>  
\*\* 부경대학교 정보통신학과(교신저자)  
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2343-7056>

• Received: Jun. 30, 2018, Revised: Aug. 07, 2018, Accepted: Aug. 10, 2018  
• Corresponding Author: Jee-Youl Ryu  
Dept. of Information and Communications Engineering, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Namgu, Busan, 608-737, Korea,  
Tel.: +82-51-629-6239, Email: ryujy@pknu.ac.kr

I. 서 론

경도(Hardness)의 가장 일반적인 정의로는 ‘압입에 대한 저항’으로서 금속 및 기계 설계에 있어 중요한 지표중의 하나이다[1]-[3]. 휴대용 경도계는 기계 및 금속의 경도 측정에 적합하고, 금형, 주단조, 열처리, 부품 및 소재산업, 석유, 화학, 기계, 전기 전력산업과 같은 산업분야에 폭넓게 적용되고 있다 [1]-[5]. 이러한 경도계는 대형기계, 좁은 공간, 고정 부품, 금형 내부, 중형 공간, 기계가공, 열처리 부품의 경도 측정과 압력용기, 스팀터빈, 발전기 등 설비의 효력 상실 분석 및 베어링, 롤러, 대형 기어의 측정, 재고 금속재료의 구별 등에 사용이 용이하다 [4]-[8]. 특히 로크웰(Rockwell) 경도계는 얇은 부품의 전용 측정이 가능하고, 다양한 샘플 형상 측정에 적합하다. 또한 넓은 측정 범위와 광범위한 경도 단위(HV, HB, HRC, HRB, HRA, HS)에 적용이 가능하며, 현장, 공장 및 연구소 환경에서 거의 제한 없이 활용이 가능한 장점을 가진다[4][5].

이러한 광범위한 용도를 바탕으로 각종 기계 및 금속의 경도 측정에 있어 실시간으로 정확한 데이터 관리를 통해 산업 분야에 활용 가능한 휴대용 경도계 개발이 필요하다[1][2][9]. 현재 국내 산업현장에 국산은 전무한 실정이며, 스위스 산, 일본 산 및 중국 산이 사용되고 있다. 그러나 일본 산 및 중국 산은 정밀성이 떨어지고, 스위스 산은 정밀성은 우수하나 가격이 너무 높은 단점을 가지고 있다. 따라서 정밀성이 뛰어나며 가격이 저렴한 국산 제품 개발이 절실히 요구되고 있다[1]-[3].

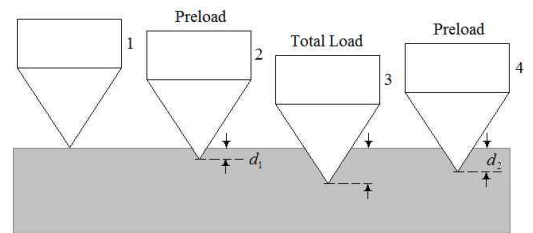
본 논문은 경도 측정을 위한 고정밀 휴대용 로크웰(Rockwell) 디지털 경도계를 제안한다. 개발한 시스템은 로크웰 경도를 측정할 로크웰 프로브 부와 이를 제어하고 신호처리할 제어시스템 장치로 구성되어 있다. 제어시스템 장치는 인터페이스 부, 신호처리 부, 디스플레이 부, 디바이스 제어 부, 통신모듈 부 및 전원 부로 구성하고자 한다. 제작한 경도기를 이용하여 다양한 시료를 측정하고, 그 결과를 분석하였다. 제안하는 경도계는 철, 비철, 합금, 주석, 플라스틱, 판지 등 다양한 재질의 경도 값 측정에 사용 가능하리라 기대한다.

II. 시스템 설계

2.1 로크웰 경도 측정 원리

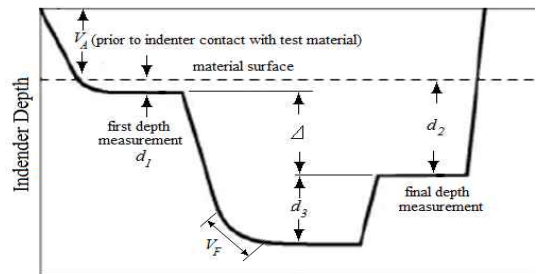
경도는 스크래칭(Scratching)에 대한 저항력 또는 재료의 반발력으로 나타낸다. 대부분의 경도시험은 압흔을 포함한다. 몇몇 압흔 경도 측정 방법에는 로크웰, 쇼어(Shore), 브리넬(Brinell), 비커스(Vickers), ASTM, 다이아몬드 피라미드 충격 테스트, Durometer 방식 등이 존재한다. 로크웰, 브리넬 및 비커스 방식은 서로 다른 모양의 헤더를 이용한 압흔을 이용하여 경도를 측정하고, 쇼어 방식은 일정 크기의 임팩트 볼을 일정 높이에서 낙하시켜 리브(Leeb) 반동 즉, 튀어 오르는 높이를 이용하여 경도를 측정한다 [1]-[5].

휴대용 로크웰의 측정원리는 전통적인 로크웰 정적 측정 방법을 따른다. 그림 1은 정적(압입) 방법에 기반한 로크웰 경도 측정 원리를 나타낸 것이다. 로크웰 경도는 선단 반경 0.2mm의 강구나 꼭지각 (또는 정각) 120°의 다이아몬드 원추체에 붙인 압자를 소정의 하중으로 시편에 압입하고, 그 깊이를 직접 경도로 읽을 수 있는 방법이다.



(a) 경도 측정

(a) Hardness measurement



(b) 압입 깊이 측정

(b) Indentation depth measurement

그림 1. 로크웰 경도 측정 원리

Fig. 1. Principle of Rockwell hardness measurement

로크웰 경도는 두 단계로 그 측정이 이루어진다. 첫 단계에서는 압입자에 미리 정확하게 통제된 힘의 초 하중(또는 기준 하중)( $F_0=10\text{kgf}$ )을 걸어주어 시편에 접촉시켜 표면에 존재할지도 모를 결함에 의한 영향을 없앤다(압입깊이  $d_1$  측정). 두 번째 단계에서는 압입자에 주 하중(또는 시험 하중)( $F=10\text{kgf}+60\text{kgf}$ )을 더 걸어주어 압자 자국이 더 깊어지게 한다( $d_2$  측정). 그 이후 주 하중을 제거하고 초 하중과 주 하중에 의한 압입자국 깊이의 차이로써 식 (1)과 같이 경도를 평가한다. 즉, 2개의 지정된 부하에서 기록된 압입깊이  $d_1$  및  $d_2$ 를 사용해서 차이를 식 (1)로 계산한다. 이것은 전통적으로 소성변형이라고 알려져 있다[5].

$$\Delta = d_2 - d_1 \quad (1)$$

그림 1(b)는 로크웰 프로브에서 압입 깊이를 정확히 측정할 수 있는 방법을 나타낸 것이다. 로크웰 프로브 내의 다이아몬드 누르개를 이용하여 선형측정 원리를 바탕으로 하중을 증가시켜 증가된 깊이를 측정한다. 초기에 가한 기준 하중( $F_0$ )에 의한 누르개 자국 깊이( $d_1$ ), 부가 시험 하중( $F_1$ )에 의한 누르개 자국 깊이( $\Delta+d_1$ ), 부가 시험 하중을 제거한 후의 탄성 회복량에 의한 자국 깊이( $d_2$ )와 가한 총 시험 하중( $F=F_0+F_1$ )으로부터 생긴 침투 깊이의 차이( $\Delta$ )를 각각 측정해서 압입 깊이 및 경도지수를 결정한다.

## 2.2 제안하는 시스템

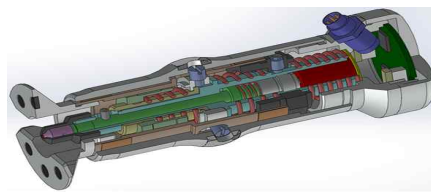
로크웰 경도계는 식 (1)에서 언급했던 것처럼 측정하는 동안 정확하게 통제된 힘을 사용해서 다이아몬드 압자를 시편에 가격하게 되기 때문에 프로브 제작이 아주 중요하다. 이때 경도는 기준시험하중, 부가시험하중 및 누르개의 힘이 합해져서 형성된다. 압입로 경도 산출에 있어서 경도가 높다는 것은 압입 깊이가 얕다는 것을 나타내며, 반대로 경도가 낮다는 의미는 압입 깊이가 깊음을 의미한다.

그림 2는 개발한 로크웰 프로브를 나타낸 것이다. 광범위한 경도 단위의 적용 범위를 갖도록 설계하였다. 측정 값은 필요에 따라 모든 경도 단위(HV,

HB, HRC, HRB, HRA, HS)로 자동 변환되도록 설계하였다. 또한 PC에 직접 연결 가능한 프로브를 구현하였으며, 얇은 부품(두께 2mm 미만) 전용 프로브를 개발하였다. 다양한 샘플 형상에 대해 검사 가능하도록 구현하였고, 현장, 공장 및 연구소 환경에서 거의 제한 없이 활용 가능하도록 구현하였다.

기존 로크웰 프로브[4]에 비해 본 논문에서 제안하는 프로브의 차별성으로는 다음 두 가지를 들 수 있다. 첫째, 로크웰 프로브 내의 신호처리 보드를 제어시스템 장치의 신호처리 부에 통합 설계하여 로크웰 프로브 부피의 감소와 함께 프로브 제작 가격을 줄였다. 기존 프로브[4] 내에는 신호처리 보드가 내장되어 있기 때문에 프로브의 부피 증가와 함께 별도의 신호처리 보드로 인해 프로브 가격이 상승한다. 또한 수백 mN 이하의 압입 하중을 인가하여 누르개의 침투 깊이를 수 마이크로 이하로 제어할 수 있는 프로브를 제작하였다. 이를 통해 프로브의 분해능 및 측정 정확도를 향상시켰다.

그림 3은 로크웰 프로브를 제어하고, 프로브로부터 측정된 데이터를 신호처리할 제어시스템 장치를 나타낸 것이다. 이러한 시스템은 인터페이스 부(Interface Part), 신호처리 부(Signal Processing Part), 디바이스 제어 부(Device Control Part), 디스플레이 부(Display Part), 통신모듈 부(Communication Module Part) 및 전원 부(Battery Part)로 구성되어 있다.

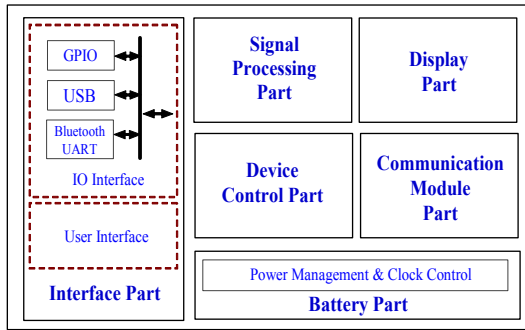


(a) 프로브 내부 구조  
(a) Internal structure of probe

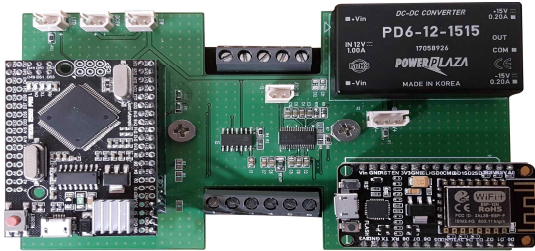


(b) 프로브 외형  
(b) Outward appearance of probe

그림 2. 개발한 로크웰 프로브  
Fig. 2. Developed Rockwell probe



(a) 블록도  
(a) Block diagram



(b) 제작 보드  
(b) Fabricated board

그림 3. 제어시스템 장치  
Fig. 3. Control system unit

기존 제어시스템 장치[4]와의 차별성으로서 다음 세 가지를 들 수 있다. 첫째, 측정 정확도 및 정밀도를 향상키기 위해 신호처리 부 내에 MCU 대신 디지털 필터 내장이 용이한 FPGA를 사용하였다는 점이다. FPGA 칩에는 신속한 측정과 로크웰 프로브로부터 입력된 고주파 잡음을 최소화하기 위해 최적화 회로 및 알고리즘이 내장되어 있다. 둘째, 로크웰 프로브 내의 신호처리 보드를 제어시스템 장치의 신호처리 부에 통합 설계하여 로크웰 프로브 부피의 감소와 함께 시스템 가격을 줄였다. 기존 시스템[4]은 제어시스템 장치에 신호처리 부가 있고, 로크웰 프로브 내에 별도로 신호처리 보드가 내장되어 있기 때문에 로크웰 프로브의 부피가 증가하고 별도의 신호처리 보드로 인한 시스템 가격이

상승한다. 마지막으로, 제어시스템 장치에 안정한 전원을 공급하고 각 부에 효율적인 전원을 공급하며, 전원 및 신호처리 부에 포함된 잡음을 최소화하기 위해 전원 부에 전력 관리 및 클럭 제어 회로 (Power Management & Clock Control)를 내장하였다.

그림 4는 본 논문에서 제안하는 프로그램 가능한 디지털 유한 임펄스 응답(Finite Impulse Response, FIR) 필터에 대한 신호 흐름도를 나타낸 것이다. 이러한 필터는 로크웰 프로브로부터 입력된 고주파 잡음을 최소화하고, 최적화된 신호(측정 데이터) 획득을 위해 그림 3(a)의 신호처리 부 내의 FPGA 칩에 구현하였다. 이러한 디지털 필터에는 자기상관 (Auto-correlation) 함수, 상호상관(Cross-correlation) 함수 및 컨볼루션(Convolution) 함수를 각각 이용한 최적화 알고리즘이 내장되어 있다.

제안하는 알고리즘은 프로그램 가능 즉, 입력 누설 잡음이 가진 다양한 주파수 성분을 파악하여 자동으로 불필요한 주파수 성분을 차단하고 신호 성분만 통과시키는 특성을 가진다. FIR 필터식과 주파수 관련식은 식 (2.1) ~ (2.3)과 같다.

$$y[n]=b_0x[n]+b_1x[n-1]+b_2x[n-2]+\dots+b_Nx[n-N] \quad (2.1)$$

$$f_s=kf_c \quad (2.2)$$

$$f_o=(k/n)f_c \quad (2.3)$$

여기서,  $x[n]$ 은 입력신호,  $y[n]$ 은 출력신호,  $b_0 \sim b_N$ 은 필터 계수,  $f_s$ 은 입력신호의 샘플링 율(Rate),  $k$ 는 샘플링 수,  $f_c$ 는 필터의 차단주파수,  $f_o$ 는 출력신호의 주파수,  $N$ 은 필터 차수를 나타낸다.

고주파 누설 또는 충격 잡음에서 저주파 잡음까지를 효율적으로 제거하기 위해 잡음 제거는 다음과 같이 3단계로 구성되어 있다. 1단계에서는 2차 FIR 필터로 동작(스위치  $S_1$  및  $S_2$  개방)하며, 식 (2.1)은 식 (3)으로 표현된다.

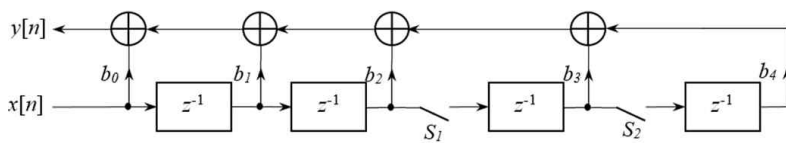


그림 4. 프로그램 가능한 유한 임펄스 응답 필터의 신호 흐름도  
Fig. 4. Signal flow diagram of programmable FIR filter

식 (2.2) ~ (2.3)에서  $k=20$ 으로 설정하고,  $n=2$ 이므로 출력신호 주파수의 10배가 되는 고주파 잡음 ( $f_0=10f_c$ )을 제거할 수 있다. 또한 2단계에서는 3차 FIR 필터로 동작(스위치  $S_1$  도통 및  $S_2$  개방)하며, 3단계에서는 4차 FIR 필터로 동작(스위치  $S_1$  및  $S_2$  도통)한다. 이때 식 (2.1)은 각각 식 (4)과 식 (5)로 표현된다. 2단계에서는 식 (2.2) ~ (2.3)에서  $k=15$ 로 설정하고,  $n=3$ 이므로 출력신호 주파수의 5배가 되는 고주파 잡음( $f_0=5f_c$ ) 제거가 가능하다. 3단계에서는 식 (2.2) ~ (2.3)에서  $k=5$ 로 설정하고,  $n=4$ 이므로 출력신호 주파수의 1.25배가 되는 고주파 잡음 ( $f_0=1.25f_c$ )을 제거할 수 있다.

$$y[n]=b_0x[n]+b_1x[n-1]+b_2x[n-2] \quad (3)$$

$$y[n]=b_0x[n]+b_1x[n-1]+b_2x[n-2]+b_3x[n-3] \quad (4)$$

$$y[n]=b_0x[n]+b_1x[n-1]+b_2x[n-2]+b_3x[n-3]+b_4x[n-4] \quad (5)$$

그림 5는 본 연구에서 개발한 로크웰 경도 측정용 사용자 인터페이스 화면을 나타낸 것이다.

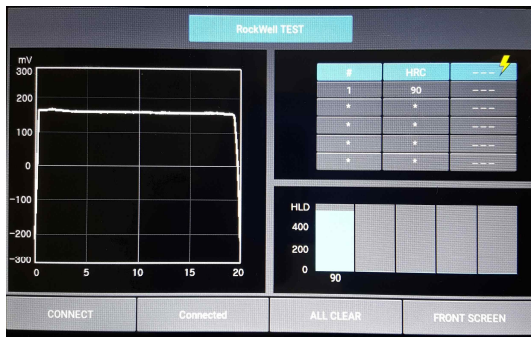


그림 5. 사용자 인터페이스 화면  
Fig. 5. User interface window



그림 6. 측정 시스템 구성  
Fig. 6. Measurement system set-up

광범위한 경도 단위 적용 범위의 데이터 획득에 대한 지원이 가능하도록 설계하였고, 측정 값은 필요에 따라 모든 경도 단위(HV, HB, HRC, HRB, HRA, HS)로 자동 변환되도록 설계하였다. 자연스러운 동작을 위해 정교한 사용자 인터페이스 가능하도록 구현하였다. 또한 고해상도 화면에 단순화 및 향상된 유용성을 갖춘 터치 스크린 기능을 지원하도록 GUI를 개발하였다.

그림 6은 본 연구에서 제안하는 경도기에 대해 경도와 분해능을 측정하기 위한 시스템구성을 나타낸 것이다. 다양한 측정 시편에 대해 기존 시스템과 동일조건에서 비교 실험하였다.

### III. 측정 결과

제작한 경도계를 이용하여 다양한 시편을 실험하였다. 표 1은 본 실험에서 사용한 측정 테스트 블록을 나타낸 것이다. 로크웰 경도계 성능을 평가하기 위해 표 1과 같이 대표적인 3개의 시편을 사용하였다. 이때, 로크웰 경도는 15종류의 시험이 가능하도록 구현하였고, 기준시험하중은 50N, 부가시험하중은 각각 588.4N, 980.7N, 1471N의 3종류를 선택하였다. 누르개는 다이아몬드 누르개(원추각:  $120^\circ \pm 0.35^\circ$ , 선단반경:  $0.2\text{mm} \pm 0.015\text{mm}$ )와 강구 누르개(지름: 1.5875, 3.175, 6.350, 12.70mm)를 사용하였다.

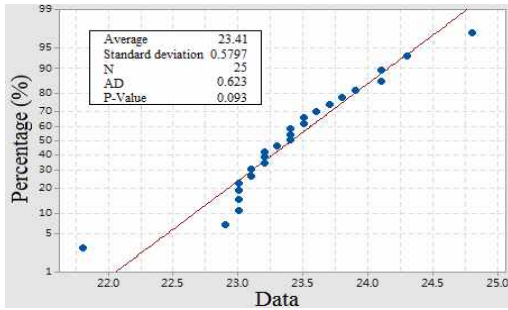
표 1. 측정 테스트 블록 특성

Table 1. Characteristics of measurement test block

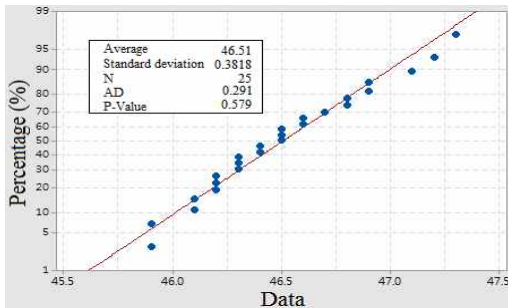
Test block	Characteristics
23.3 HRC	HR20-011-0006
46.7 HRC	HR45-009-0004
62.5 HRC	HR62-023-0014

그림 7은 제작한 경도계에 대해 측정 오차에 대한 정규성 테스트 결과를 각각 나타낸 것이다. 측정부의 측정 오차를 정확하게 판단하기 위해 25번 반복 측정을 하였다[1]. 그림 7로부터 알 수 있듯이 23.3 HRC 시편에 대해서는 23.41의 평균과 약 0.58의 작은 표준편차를 보였고, 46.7과 62.5 HRC 시편에 대해서는 각각 46.51, 62.48의 평균과 약 0.38, 0.70의 작은 표준편차를 보였다. P-값이 0.05 이상일 경우 정규성(Normality)을 가지는 것으로 판단한다.

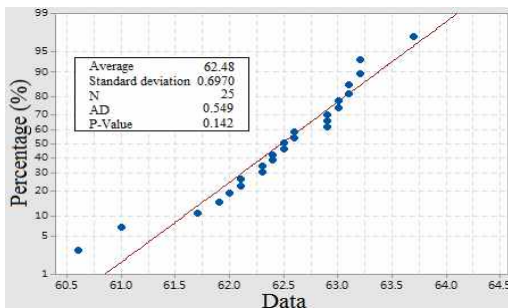




(a) 23.3 HRC sample



(b) 46.7 HRC sample

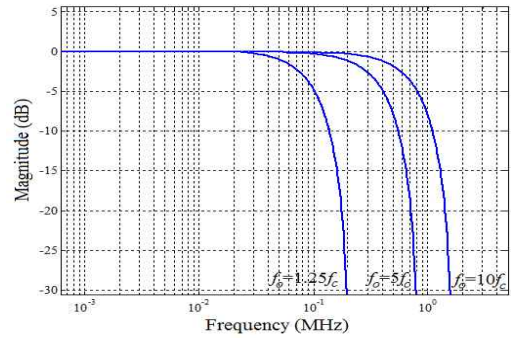


(c) 62.5 HRC sample

그림 7. 시스템 정규성 테스트

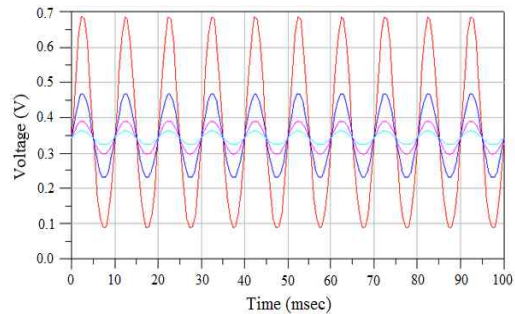
Fig. 7. Normality test of system

그림 8은 잡음제거 알고리즘 및 디지털 FIR 필터에 대한 주파수 및 시간 출력 응답을 나타낸 것이다. 기존 알고리즘을 적용한 필터는 고정된 차단주파수를 가지기 때문에 다양한 주파수 특성을 지닌 누설 잡음에 대해 특정 주파수의 잡음만을 제거할 수 있는 반면 제안 알고리즘은 프로그램 가능 즉, 입력 누설 잡음이 가진 다양한 주파수 성분을 파악하여 자동으로 불필요한 주파수 성분을 차단하고 신호 성분만 통과시키는 특성을 지닌다. 그림 8로부터 알 수 있듯이 다양한 시편, 즉 23HRC, 47HRC, 63HRC 및 85HRC에 대해 로크웰 프로브로부터 입력된 고주파 잡음이 제거된 깨끗한 정현파 응답(측정 데이터)을 확인할 수 있다.



(a) 주파수 응답

(a) Frequency response



(b) 시간 응답

(b) Transient response

그림 8. 디지털 필터의 시간 응답

Fig. 8. Transient response of digital filter

표 2. 기존 측정 방법과의 비교

Table 2. Comparison of conventional measurement method

Performance	Conventional method[4]	This Work
Resolution( $\mu\text{m}$ )	0.1	0.09
Measurement accuracy( $\mu\text{m}$ )	$\pm 0.80$	$\pm 0.64$
Measurement range(HRC)	21-67	23.3-62.5
Max. measurement hardness(HRC)	$68 \pm 0.80$	$63.6 \pm 0.64$
System price(thousand won)	12,000	6,600

표 2는 본 연구에서 개발한 시스템과 기존 시스템(스위스 proceq Equotip<sup>®</sup> 경도기[4])을 비교한 것이다. 그림 3에서 언급했듯이 본 연구에서 개발한 제어시스템 장치는 6개의 부로 구성되어 있다. 표 2에 나타냈듯이 본 연구에서 제안하는 로크웰 경도계는 다양한 측정 시편에 대해 기존 시스템 보다 10% $((0.1-0.09)/0.1)$  높은 분해능, 20% $((0.80-0.64)/0.8)$  높은 측정 정확도 및 45% $((12,000-6,600)/12,000)$  가격 절감 특성을 보였다.

#### IV. 결 론

본 논문은 고정밀 휴대용 로크웰 경도계를 제안하였다. 개발한 경도계는 로크웰 프로브와 제어시스템 장치로 구성하였다. 프로브 제어와 신호처리에 사용한 제어시스템은 인터페이스 부, 디바이스 제어 부, 신호처리 부, 디스플레이 부, 통신모듈 부 및 전원 부로 구성하였다. 이러한 경도계는 다양한 측정 시편에 대해 기존 시스템 보다 10%의 높은 분해능과 20%의 높은 측정 정확도를 보였다. 또한 기존 시스템 보다 45%의 가격 절감 특성을 보였다. 향후에는 무선형 경도계를 개발할 계획이다.

#### References

[1] M. U Seong and J. Y. Ryu, "Development of High-Precision Low-Cost Portable Hardness Tester", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 18, No. 1, pp. 27-33, Jan. 2018.

[2] S. J. Heo, M. U Seong, S. G. Kim, G. H. Choi, A. Siddique, P. Chandrasekar, M. Kurbanov, J. W. Woo, K. P. Kil, C. S. Park, S. H. Noh, M. Yoon, and J. Y. Ryu, "Development of Digital Leeb-Type Hardness Tester", Proceedings of 2017 ICT Contest of Embedded Engineering of Korea, Vol 2, No. 1, pp. 98-100, Jun. 2017.

[3] S. J. Heo, G. H. Choi, M. U Seong, C. S. Park, S. G. Kim, and J. Y. Ryu, "Study for Localzation in Portable Hardness Tester", Proceedings of 2017 Symposium on the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol 6, No. 1, pp. 13-14, Jun. 2017.

[4] Equotip portable metal hardness tester Leeb, Rockwell&UCI, <https://www.proceq.com/compare/equotip-portable-hardness-testing/> [accessed: Nov. 01, 2017.]

[5] Portable Hardness Testing Leeb - Rockwell - UCI - Proceq, [https://www.proceq.com/uploads/tx\\_proceqproductcms/import\\_data/files/Equotip%20550%20Sales%20Flyer%20English\\_high.pdf/](https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/Equotip%20550%20Sales%20Flyer%20English_high.pdf/) [accessed: May 08, 2018.]

[6] [Portable Rockwell Hardness Tester (TH-300)], <http://www.tmttek.co.kr/shop/shopdetail.html?branduid=289&search=&sort=> [accessed: June 11, 2018.]

[7] T. Sugimoto and T. Kawaguchi "Development of an Automatic Vickers Hardness Testing System Using Image Processing Technology", IEEE Transactions on industrial electronics, Vol 44, No. 5, pp. 696-702, Oct. 1997.

[8] Hand Held Digital Hardness tester DHT-100, [http://www.businessline.co.kr/Hardness\\_DHT100.html](http://www.businessline.co.kr/Hardness_DHT100.html) [accessed: June 15, 2018.]

[9] S. H. Noh, J. H. Lim, and J. Y. Ryu, "Development of a New Automatic Fault Diagnosis System for Fine Pattern Transmission Lines", International Journal of Control, Automation, and Systems, Vol. 15, No. 5, pp. 2193-2202, Oct. 2017.

#### 저자소개

##### 김 신 곤 (Shin-Gon Kim)



1994년 2월 : 부경대학교  
전자공학과(공학사)  
2012년 9월 ~ 2014년 8월 :  
부경대학교  
정보통신공학과(공학석사)  
2014년 9월 ~ 현재 : 부경대학교  
정보통신공학과 박사과정

관심분야 : 임베디드 시스템 설계, 임베디드  
시스템-온-칩 설계, 제어시스템 설계

##### 류 지 열 (Jee-Youl Ryu)



1993년 2월 : 부경대학교  
전자공학과(공학사)  
1997년 2월 : 부경대학교  
전자공학과(공학석사)  
2004년 12월 : 애리조나  
주립대학교 전기공학과(공학박사)  
2009년 3월 ~ 현재 : 부경대학교

정보통신공학과 교수  
관심분야 : 시스템-온-칩 설계, 고주파 회로 설계,  
임베디드 시스템 설계