

<기술논문>

전기도금 롤의 형상 측정시스템 개발

최용준* · 전승배* · 이응석** · 김효성*** · 장지수***

(1996년 12월 6일 접수)

Development of a Profile Measuring System for Conductor Roll

Yong Jun Choi, Sung Bai Jun, Eung Suk Lee,
Hyo Sung Kim and Ji Soo Jang

Keywords : Conductor Roll(전기도금 롤), Surface Profile(형상측정), Linear Guide System(직선 운동장치), Optical Triangulation Method(광삼각측정법), Step-down(단차)

Abstract

In this paper, we developed a surface profile measuring system and a profile measuring software for EGL conductor roll. For the profilometer, we designed a linear guided control system with Laser displacement sensors and developed a 3-dimensional software. Additionally, The AC motor and AC motor driver were used to control the precise position of linear guide system. The measuring principle of the Laser sensor is optical triangulation method. Also, two Laser sensors were used to remove the disturbance and vibration effects of the linear guide system.

1. 서 론

전기도금공정(EGL, Electric Galvanizing Line)에 있어서, 전도롤(conductor roll)의 표면형상은 도금제품의 품질에 중요한 영향을 미친다. 현재 사용되는 전도롤은 약 60°C의 전해조(電解槽)에 도금액이 반쯤 잠겨 회전하고 있으며, 롤의 원주표면은 중앙의 전기적인 도전(導電)부분인 금속부분(metal band)과 양측면의 유연한 탄성 부도전(不導電)부분인 고무부분(rubber band)으로 나누어져 있다. 도금의 원리는 롤에 전기를 가하여 금속부분을 음극으로 작용하게 하고, 양극(anode)판을 전해조에 설치하여 전기도금을 하는 것이다. 이때, 고무부분의 사용목적은 전도롤 표면을 감겨서 지나

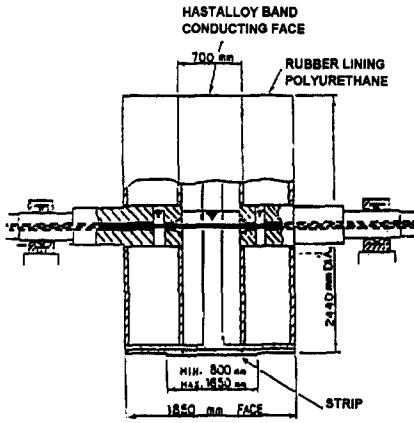
가는 스트립(strip)과 도전체로서 작용하는 금속부분사이에서 전해액을 구속(sealing)시키고 접촉(도금)이 이루어지는 동안 도금부착을 방지하는 역할을 하는 것이다. Fig. 1은 포항제철소 도금공장에서 사용중인 전기도금롤 형상 및 배치도이다.

그러므로, 전도롤의 표면에서는 금속부분과 고무부분의 서로 다른 물질의 특성때문에 온도 및 주위 환경에 따라 팽창, 수축하므로 다양한 높이차를 가지게 된다. 이러한 높이차를 단차(step-down)라 하며, 이 단차가 심하게 발생하는 경우에는 도금불량이 발생하여 심각한 문제를 야기시킬 수도 있다. 특히, 금속부분이 고무부분보다 높아지게 되면 스트립에 자국(bend mark)이 발생하여 제품의 품질을 떨어뜨리고, 반대로 고무부분이 금속부분보다 높아지게 되면 접촉성능이 떨어져 스트립 표면에서 불꽃(arcing)이 튀는 현상이 발생하기도 한다. 현장에서는 이러한 현상을 막기위하여 항상 공정을 직접 감시하며, 전류밀도나 공정속도를 제품의 상태를 확인한 후에 조절함으로써, 생산성이 크게 저

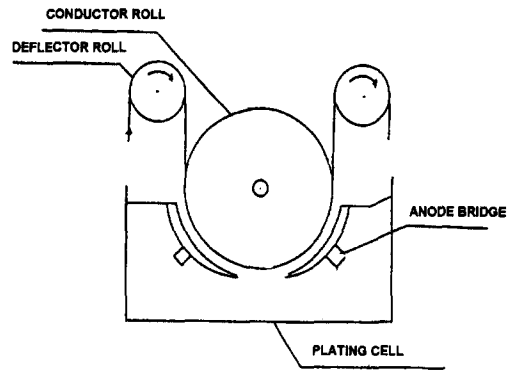
*포항산업과학연구원 기계설비연구팀

**회원, 포항산업과학연구원 기계설비연구팀

***포항종합제철(주), 도금공장



(a) EGL roll



(b) Roll configuration

Fig. 1 The shape and configuration of EGL roll in POSCO

하되는 요인이 되고 있다.^(6,8)

본 연구에서는 전기도금공정에 있어서, 온라인(on-line)으로 롤의 단차 및 표면 형상^(9~11)을 측정하여 단차부분과 제품의 품질과의 상관성을 규명하고 생산성 향상을 위한 공정자동화를 위하여, 측정 가능한 방법을 제시함과 동시에 모형을 구성하여 그 타당성을 입증하고자 하였다. 이를 위하여 측정 센서로 레이저센서를 사용하고, 리니어가이드 모터 시스템(linear guide motor system)을 구성하였다. 또한, 측정시스템에서 발생하는 진동성분을 감소시키기 위하여 2개의 레이저센서를 사용하였다.

2. Profile 측정 및 진동 보상원리

측정물로부터의 거리를 측정하는 간편한 방법으로 Fig. 2와 같은 광삼각측정법(triangulation method)^(1~3)이 있다. 그 원리는 측정물체의 표면에 대해 좁은 폭을 가지는 발광빔이 조사되면 물체 표면에서 빛이 산란하여 그중 일부의 빛이 수광부(detector)에 조사되어 각도에 따라 작은 점(spot)으로 집중된다. 그러므로, 집중된 점과 발광부사이의 거리와 발광빔의 각도 θ 를 알면 측정하고자 하는 측정물까지의 거리를 구할 수 있다. 광삼각법에 의한 측정원리는 피측정물과의 거리를 크게하면서도 측정정밀도를 높일 수 있기 때문에 최근 널리 사용되고 있는 방법이며, 소형구조의 센서로서도 상품화 되고 있다. Fig. 2는 광삼각법 거리측정용 센서의 내부구조로 측정물의 수직변위 d 는 렌즈를

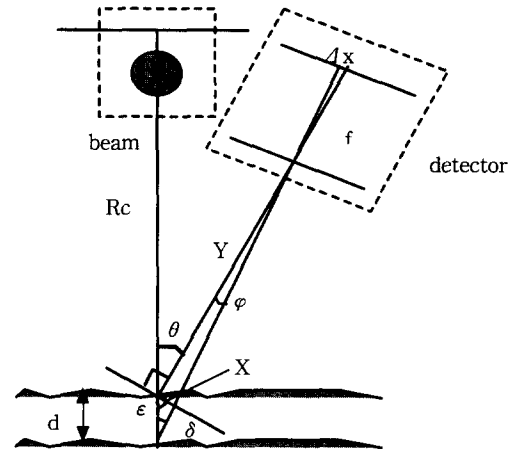


Fig. 2 The principle of optical triangulation method for measuring displacement

통하여 빛이 집중된 후 수광부에서의 변위 Δx 의 점으로 표시된다.

광삼각법의 기하학적인 수식은 다음과 같다. 먼저, 수광부의 초점거리를 f 라 하면, 수광부의 변위 Δx 는 식 (1)과 같고,

$$\Delta x = \tan \phi \cdot f \tag{1}$$

수광부에서 측정물까지의 수직거리를 y 라 하고, y 와 수직인 방향의 선과 수직변위 d 가 있는 후의 측정물까지의 거리와의 만나는 위치까지의 거리를 x 라 하면, $\tan \phi$ 는 x/y 이고, y 를 $R_c/\cos \theta$ 라 가정하면, x 는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$x = \tan \phi \cdot R_c / \cos \theta \tag{2}$$

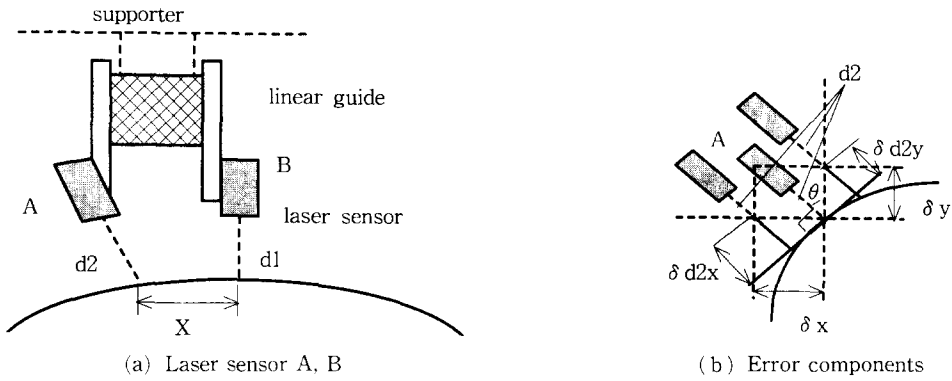


Fig. 3 Compensation method for removing the vibration in the measuring system

또한, $\delta = \theta - \phi$ 이고, ϵ 을 x 와 수직변위 d 사이의 각도라 정의하고, 삼각함수를 이용하면 다음의 식 (3)과 같으며,

$$\frac{x}{\sin \delta} = \frac{\tan \phi \cdot \frac{Rc}{\cos \theta}}{\sin(\theta - \phi)} = \frac{d}{\sin \epsilon} = \frac{d}{\sin(90^\circ + \phi)} \quad (3)$$

식 (3)을 정리하면 식 (4)와 같다.

$$Rc \cdot \frac{\sin \phi}{\cos \theta} = d \{ \sin \theta \cdot \cos \phi - \cos \theta \cdot \sin \phi \} \quad (4)$$

식 (1)을 식 (4)에 대입하면 다음의 식 (5)가 된다.

$$\Delta x = \frac{f \cdot d \cdot \tan \theta}{\frac{Rc}{\cos^2 \theta} + d} \quad (5)$$

그러므로, 수직변위 d 의 거리변화는 측정물까지의 절대거리 Rc 와 초점거리 f , 수광부까지의 각도 θ 의 값이 정의되면, 수광부의 변위 Δx 의 변화로 나타낼 수 있다.

본 연구에서는 측정대상인 EGL 통전롤에 대하여 레이저센서로 표면의 단차 및 형상을 측정할 때, 레이저센서가 장착된 리니어가이드(linear guide) 측정시스템에서 발생하는 진동 및 충격성분을 감소시키기 위해 Fig. 3(a)와 같이 2개의 레이저센서^(4,5)를 사용하였다. 여기서, 통전롤에서 발생하는 진동 성분은 롤 자체가 양끝을 베어링으로 고정하고 있으므로 그 영향이 센서에서의 진동보다 작다고 가정하여 무시하였다.

Fig. 3(a)에서 B로 표시된 레이저센서는 고정식으로 롤의 중심부근에 설치되어 볼과의 거리를 연속적으로 측정하며, 레이저센서 A는 이동식으로 롤표면과 수직으로 설치하여 리니어가이드를 따라서 롤 전체의 표면을 왕복할 수 있으며, 연속적으

로 롤 표면에서의 단차 및 형상을 측정한다.

레이저센서 A, B를 장착한 측정시스템에서 발생하는 진동성분은 크게 수직성분의 진동과 수평성분의 진동으로 나눌 수 있다. 측정시스템이 강체가 가정하면, 측정시스템에서의 수직 및 수평성분의 진동은 레이저센서 A, B에서의 수직 및 수평 성분의 진동과 동일하다고 가정할 수 있기 때문에, 레이저센서로 롤의 형상을 측정할 때의 진동의 보상은 다음의 식 (6)과 같이 같은 진동성분을 포함한 두 센서의 측정값의 차로 정의하면 가능하다.

$$E_{measure} = E_{laserA} - E_{laserB} \quad (6)$$

Fig. 3(b)에서와 같이 먼저, 레이저 센서 A에 대하여 수직진동성분 δx 및 수평진동성분 δy 를 고려하면, 진동성분에 대한 레이저센서의 측정치의 오차성분을 수식으로 표현할 수 있다. 레이저센서의 중심선과 롤 표면을 수직으로 설치하였을 때의 연직방향과의 각도를 θ 라 하고, 수평성분의 진동 δx 가 발생할 때의 레이저센서의 측정오차를 수평성분의 오차 $\delta d2x$ 라고 하면, 다음의 식 (7)로 오차성분을 표시할 수 있다. 마찬가지로 수직성분의 진동 δy 가 발생할 때의 레이저센서의 측정오차를 수직성분의 오차 $\delta d2y$ 라고 하면, 다음의 식 (8)로 오차성분을 표시할 수 있다.

$$\delta d2x \approx \delta x \cdot \sin \theta \quad (7)$$

$$\delta d2y \approx \delta y \cdot \cos \theta \quad (8)$$

그리고, Fig. 3(a)의 레이저센서 B에 대한 진동에 대한 오차성분은 Fig. 3(b)와 마찬가지로의 진동 성분인 δx , δy 가 작용하면, 수평진동성분 δx 에 대

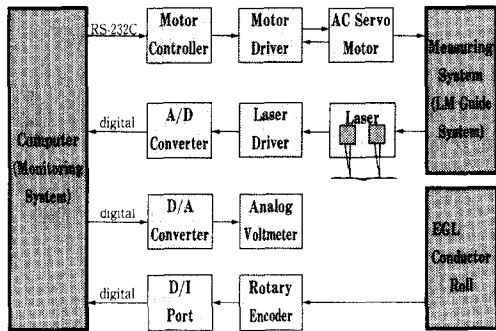


Fig. 4 Block diagram of the measuring system

하여 측정위치가 롤의 중심이기 때문에 롤의 직경이 큰 경우에 있어 그 변화량을 무시할 수 있다고 가정하면 수평진동성분에 대한 오차는 없고, 수직진동성분 δy 에 대해서는 δy 의 값 자체를 오차성분으로 정의할 수 있다.

그러므로, 실제 진동성분 δx , δy 가 측정시스템에 작용할 때, 레이저센서를 1개 사용한 경우, 그 측정값에 포함된 오차성분은 바로 식 (7), (8)에서의 수평 및 수직오차성분인 $\delta d2x$, $\delta d2y$ 가 되고, 본 연구에서와 같이 레이저센서를 2개 사용하면, 식 (6)에서와 같이 식 (7), (8)에서의 수평 및 수직오차성분 $\delta d2x$, $\delta d2y$ 에 대하여 레이저센서 B에서의 오차성분을 제거한 결과가 되어 다음의 식 (9)로 정의할 수 있다. 여기서, δx_{total} , δy_{total} 은 식 (6)을 기초로한 센서 2개를 사용한 경우의 센서 A에 대한 센서 B의 수평 및 수직오차성분의 차를 나타내며, 또한 레이저센서 B에서의 수평 및 수직오차성분은 $\delta d1x$, $\delta d1y$ 라 정의한다.

$$\begin{aligned} \delta x_{total} &= \delta d2x - \delta d1x \\ &= \delta x \cdot \sin\theta - 0 \approx \delta x \cdot \sin\theta \\ \delta y_{total} &= \delta d2y - \delta d1y \\ &= \delta y \cdot \sin\theta - \delta y \approx \delta y \cdot (\sin\theta - 1) \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)의 결과를 살펴보면, 레이저센서를 2개 사용한 경우의 수평오차성분인 δy_{total} 는 레이저 센서를 1개 사용한 경우 식 (7)과 비교하면 같은 값을 가진다. 그러나, 수직오차성분인 δy_{total} 는 1개의 레이저센서를 사용한 경우에 비해 θ 의 값이 작으면, 크게 오차성분을 줄일 수 있는 장점이 있다.

실제 측정예를 들면, EGL 통전롤의 경우에는 직경이 2440 mm이고, Fig. 3(a)의 레이저센서사이의 간격 X가 100 mm일 때, 각도 θ 는 4.686° 가 되며,

수평 및 수직진동성분인 δx , δy 가 각각 $200 \mu\text{m}$, $50 \mu\text{m}$ 로 주어질 때 실제 오차성분은 식 (9)에 의해 수평성분과 수직성분이 각각 $16.4 \mu\text{m}$, $0.167 \mu\text{m}$ 로 계산된다. 이는 레이저센서를 1개 사용하였을 경우 식 (7)에서 계산하면, $16.4 \mu\text{m}$, $49.83 \mu\text{m}$ 가 되어 그 값을 비교하면, 수직진동성분의 오차가 크게 경감되었음을 알 수 있다.

여기서, 수평성분의 진동에 있어 측정물체가 원형이기 때문에 센서 B의 측정치에 비해 센서 A의 값이 크게 변화하므로 레이저센서 A와 B의 간격을 가능한 최소화하면 진동의 성분을 크게 경감시키는 것도 가능하다.

3. 시스템의 구성

3.1 측정시스템의 H/W 구성

본 연구에서 구성한 단차 및 형상 측정시스템의 전체 구성도는 Fig. 4와 같다. 먼저, 컴퓨터를 사용하여 구동부의 제어 및 데이터의 처리 그리고, 사용자에게 분석한 자료를 가시화하고 또는 파일로 제공한다. 컴퓨터로부터 명령을 받은 구동부는 AC 모터계 (AC servo motor units)로 구성되며, 측정시스템의 리니어가이드 (linear guide)에 부착된 측정부를 정밀하게 이송시킨다. 측정부에는 레이저센서가 장착되어 구동부에 의해 일정한 간격으로 정밀하게 이송되면서 측정하고자 하는 형상의 수치를 아날로그의 전압형태로 컴퓨터에 송신한다. 또한, 아날로그신호를 디지털신호로 변환하는 아날로그/디지털신호변환기 (A/D Converter)를 장착하여 아날로그형태의 수직신호를 컴퓨터가 인식할 수 있는 신호로 변환하였다.

또한, 현장조업 중에 측정된 형상을 정량적인 값으로 표시하기 위하여 컴퓨터에서 계산하여 그 값을 전압표시계로 보내어 직접 확인할 수 있도록 하였으며, roll의 각도에 따른 전체 형상을 측정하기 위하여 roll의 회전축에 로터리 엔코더 (rotary encoder)를 설치하였다.

본 연구에서의 측정대상인 EGL 통전롤은 직경이 2440 mm이고 폭방향으로의 길이가 1850 mm인 대형 롤이다. 그러므로, 실제의 롤을 이용하여 연구소 내에서 실험을 수행하기에는 제작상의 어려움이 따르므로, Photo 1과 같은 모형 (simulation roll)을 제작하여 현장조건과 유사한 환경을 만들어 실험을 수행하였다.

모형은 직경이 900 mm이고, 폭방향으로의 길이가 1000 mm이며 금속부분이 700 mm이고 양쪽으로 고무부분이 각각 150 mm 이다. 특히, 금속부분과 고무부분의 경계면에서는 온도 및 여러 변화 요인에 따라서 표면의 차이가 발생한다. 이를 본 연구에서는 단차(step-down)라 정의한다. 또한 물의 구동부분은 2.2 kW의 출력을 가지는 기어모터에 1/20의 감속기어를 부착하였다. 그리고, 모형 물의 회전속도를 자유롭게 가변(可變)할 수 있도록 근접 스위치를 부착하였으며, 온도에 따른 단차의 변화를 확인하기 위하여 온도조절 시스템을 설치하여 현장조건의 온도에 대응할 수 있도록 하였다. 물의 형상측정에 있어서, 물의 각도에 따른 전체의 형상을 확인하기 위하여 물의 회전축에 로터리 엔코더를 설치하였다. (주)Koyo 제품의 절대 위치인식형(absolute type)의 로터리 엔코더로 1024 pulse/rev의 정도를 가지며, 오픈 콜렉터(open collector) 방식의 출력형태를 취한다. 사용가능거리로는 100 m 정도로 그 성능이 우수한 편이다.

Photo 1에서 통전롤의 폭방향으로 레이저센서가 부착된 측정부가 이송하기 위해서 리니어가이드에 타이밍 벨트(timing belt)와 풀리(pulley)를 설치하여 형상측정시 고속으로 측정할 수 있도록 하였다. 리니어가이드는 알루미늄 합금으로 80 mm×80 mm에, 길이가 2200 mm로 통전롤의 폭방향인 1850 mm의 전 영역을 구동할 수 있도록 하였다. 또한 부식을 방지하기 위하여 흑색 아노다이징(anodizing) 처리를 하였다. 타이밍 벨트는 공업용 수지 PUR로 내부에 철심을 내장하며 피치(pitch)는 10 mm이다. 또한 최대하중은 180 kgf이다. 리니어 가이드시스템에서 풀리를 구동시키는 구동부로 Photo 1과 같이 정밀하게 풀리를 이송을 시킬 수 있는 AC 서보모터를 사용하였다. 모터의 사양으로는 (주)미쯔비시의 모델명이 HA-FE 23으로 200 Watt의 정격출력을 가지며, 3000 (r/min)의 정격회전수를 가진다. 또한 1/10의 감속기를 사용하여 구동부의 부하에 대처하도록 하였다. 모터를 구동하는 드라이브(drive)로는 (주)미쯔비시의 모델명이 MR-J20A1을 사용하였다. 그 특징은 입력 전원으로 단상 110 볼트(volt)를 필요로 하며, 제어방식으로는 정현파와 PWM 방식과 전류제어방식을 사용한다. 또한 제어기로는 피드백 PI 제어기(feedback proportional-integral compensator)와 피드포워드 제어기(feed-forward compensator)를 같이 사용한

다. 모터를 제어하는 컨트롤러로는 (주)오움전기의 ODC-1002를 사용하였다. 그 특징은 입력전원으로 +12 Volt를 필요로 하며, 2 μ m의 분해능을 가지는 정현파 펄스를 발생시켜 모터 드라이브로 보내어 모터를 구동시킨다.

물의 형상측정을 위해 측정부에 광삼각법을 이용하여 거리를 측정하는 레이저센서를 사용하였다. 레이저센서로는 (주)키-에스의 레이저 변위 측정기(laser displacement meter)인 LC-2450을 사용하였다. LC-2450은 광원으로 파장이 670 nm이고, 출력이 1.9 mW인 가시형 레이저(Visible Semiconductor Laser)를 사용하는 센서로 수광부로는 PSD(position sensing detector)를 사용하여 0.5 μ m의 고분해능을 가지며, 측정가능범위는 50 mm를 기준으로 ± 8 mm의 상하영역을 가진다. 레이저센서로부터의 출력신호에 대한 노이즈성분의

필터링과 평균을 위하여 컨트롤 유닛인 LC-2400을 사용하였으며, 이를 이용하여 2개의 레이저센서에 대한 출력값의 차를 나타낼 수 있게 하였다. LC-2400은 하나의 신호에 대하여 20 kHz의 변환시간(sampling time)을 가진다. 또한 실제 POSCO 현장조건을 감안하여 레이저센서를 밀폐처리하였으며, 압축공기를 이용하여 내부로 오염 가능성이 있는 가스성분을 차단하였다.

3.2 측정시스템의 S/W 구성

본 연구에서는 측정부인 레이저센서로부터 나온 출력신호를 이용하여 물 표면의 단차 및 형상의 그래픽과 단차 및 형상에 대한 3차원 표면형상의 그래픽이 가능한 소프트웨어(software)를 구성하였다. 소프트웨어의 개발 환경은 현재의 추세가 DOS

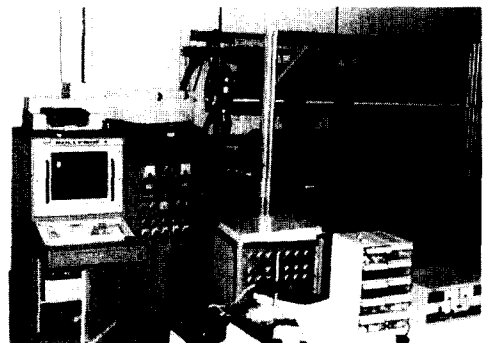


Photo 1 Overview of the simulation roll and measuring system

에서 Windows로 전환되는 시점이므로, 본 과제에서는 Windows 환경하에서 프로그램을 개발하였고, 그에 따른 개발 언어(language)는 C로 하였다. C-language 컴파일러로는 Windows환경하에서 user interface개발과 측정 및 2차원 그래프가 용이한 National Instruments사의 LabWindows/CVI v3.1을 선택하였다.

본 연구에서 개발한 S/W의 구성을 창(Panel)을 중심으로 각각 살펴보면, 초기 Panel의 구성은 Fig. 5와 같다. 우선 개발한 S/W의 명칭인 "EGL conductor roll surface profilometer 단차측정기 (EGL)"와 단차 및 형상 profile의 측정시 원점으로서의 복귀가 가능하도록 하는 원점복귀명령과 단차 및 형상의 측정을 자동적으로 수행하는 자동 mode 명령과 다음 panel로의 전환을 표시하는 next 명령과 program의 종료를 표시하는 out 명령으로 구성되어 있다. 측정 Panel의 구성은 Fig. 6과 같다. 롤의 단차 및 형상을 4 지점에서 확인 할 수 있는 graph화면과 기존의 저장된 data를 볼 수 있는 open 명령과 측정한 data를 3차원 형상의 화면으로 표시하는 3D plot명령과 측정한 data를 저장하는 SaveFile명령과 지정한 graph화면을 print하는 Print명령과 program을 종료하는 Quit명령과 지정한 graph에서 측정한 data를 확대하여 볼 수 있는

Zoom명령과 지정한 graph의 초기 data 화면으로 복원시키는 Restore명령과 초기 측정된 화면을 표시하는 Back명령과 지정한 graph에서 mouse로 표시된 위치의 data의 index와 수치를 표시하는 부분으로 구성되어 있다.

3차원 Panel의 구성은 Fig. 7과 같다. graph에는 롤의 각도에 대한 단차 및 형상 profile을 표시하고, 롤의 금속부분을 기준으로 고무부분과의 높이를 수치로 표시하며, 측정부의 이동거리를 수치로 표시하였다. 단차에 대한 평균치는 graph의 우측 상단에 표시하였다.

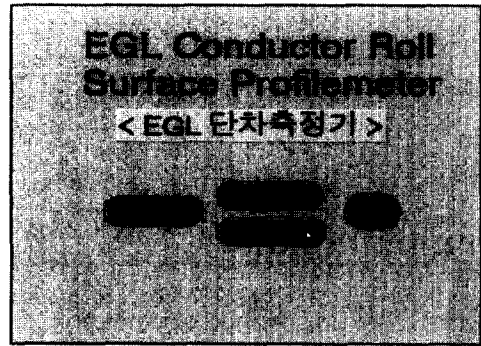


Fig. 5 Configuration of the first Panel for the measuring S/W

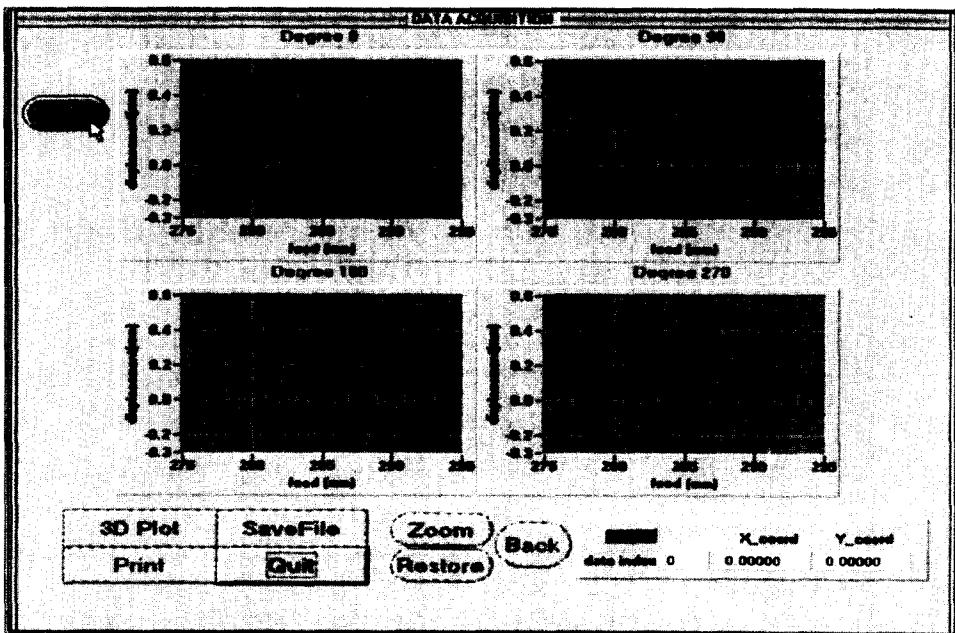


Fig. 6 Configuration of the measuring panel for the measuring S/W

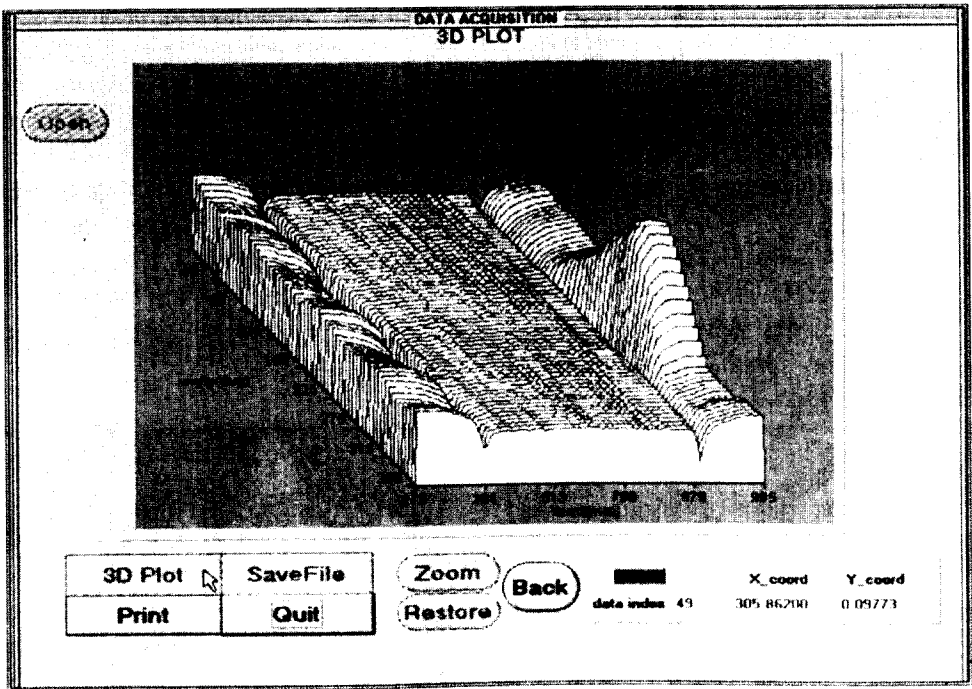


Fig. 7 Configuration of the 3-D Panel for the measuring S/W

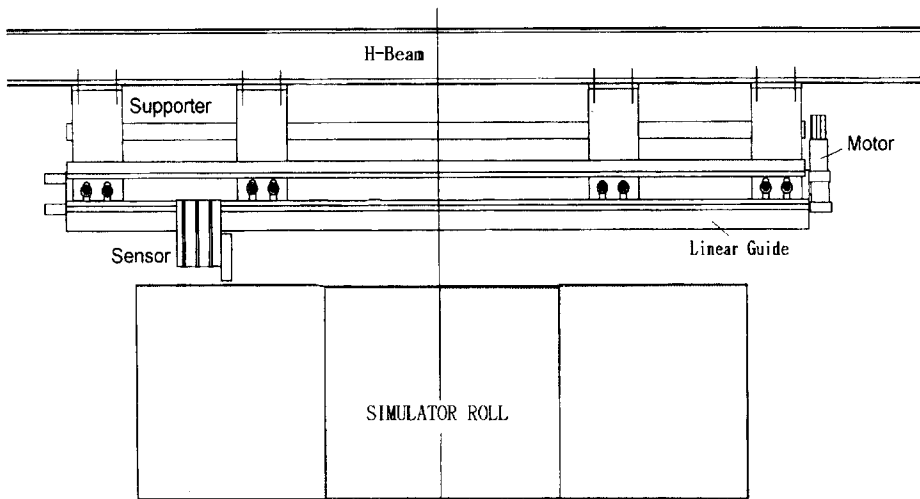


Fig. 8 The outline drawing of measuring system

4. 실험결과 및 고찰

4.1 모형 롤에 대한 실험결과

본 연구에서 구성한 단차 및 형상 측정시스템의 성능을 평가하기 위하여 현장의 전기도금롤(con-

ductor roll)과 비슷한 모형 롤(simulator roll)에 대해 Fig. 8과 같은 측정시스템을 이용하여 실험을 수행하였다. 리니어가이드 및 구동부인 모터시스템과 측정부인 레이저시스템으로 구성되는 측정시스템을 지지할 수 있는 H형 빔(beam)에 4개의 지지대를 이용하여 탈부착이 용이하도록 설계하였다.

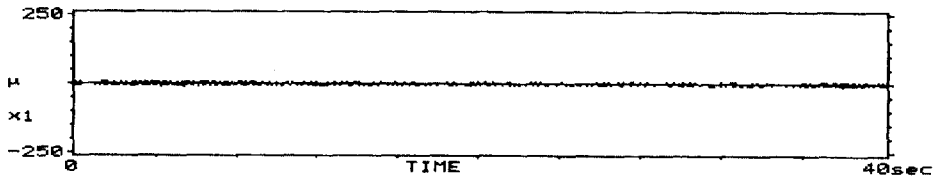


Fig. 9 Measurement result for the horizontal vibration in the measuring system

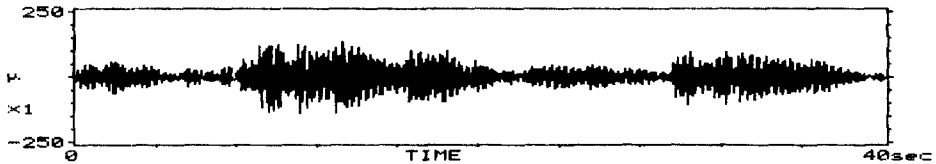


Fig. 10 Applied horizontal vibration in the measuring system

제작한 H형 빔은 현장에 설치된 H형 빔과 같은 구조적인 조건을 갖도록 하였다.

측정시스템을 이용하여 모형 룰의 형상을 측정하기에 앞서 모터 시스템 및 모형 룰의 구동에 의한 측정시스템의 진동성분을 머신 어날라이저를 이용하여 40초동안 측정하였다. 여기서, 측정부위는 Fig. 8에서의 측정부인 레이저센서로 하였다. Fig. 9는 측정시스템의 진동성분을 나타낸 것으로, 모터 시스템 및 모형 룰의 구동이 있을 때 진동성분이 미세함을 확인할 수 있었다. 측정시스템에 Fig. 10과 같은 진동성분이 있을 때 모형 룰의 왼쪽 단차부분의 형상에 대해 측정부로 레이저센서를 1개 사용하였을 때의 측정결과는 Fig. 11과 같다. 측정결과는 본 과제에서 구성한 S/W의 3차원 출력화면을 나타낸 것으로 그 결과를 살펴보면, 고무부분과 금속부분의 구분이 확실히 나타남을 알 수 있고, 평균 단차가 $120 \mu\text{m}$ 로 표시됨을 확인할 수 있다.

본 연구에서 측정시스템에서 발생하는 진동성분을 감소시키기 위해 제안된 2개의 레이저센서를 사용하는 방법에 대한 성능을 확인하기 위하여 Fig. 10과 같은 진동성분을 측정시스템의 수평 성분으로 주었다. 이 진동성분은 측정시스템에 룰 세척장치를 부착하였을 때의 세척장치용 모터가 구동할 때 발생하는 성분으로 그 주기가 40초이며, 최대 수평 진폭은 $150 \mu\text{m}$ 이다. 측정시스템에 Fig. 10과 같은 진동성분이 있을 때 모형 룰의 왼쪽 단차부분의 형상에 대해 레이저센서를 1개 사용하였을 때의 측정결과는 Fig. 12과 같다. 측정결과를 살펴보면, 고무부분과 금속부분의 전 영역에서 진동이 심하게 발생됨을 알 수 있고, 평균 단차가 $131 \mu\text{m}$ 로 그

값이 Fig. 11의 실제의 값과 차이가 있음을 확인할 수 있다.

측정시스템에 Fig. 10과 같은 진동성분이 있을 때 2개의 레이저센서를 사용한 경우 그 실험결과를 Fig. 13에 나타내었다. 측정결과를 Fig. 12과 비교해 보면, 진동성분이 상쇄된 것을 확인할 수 있으며, 단차의 값도 실제의 측정치와 같이 나타남을 확인할 수 있다. 그러나, Fig. 3(a)와 같은 구조를 사용하였을 때는 모형 룰의 직경이 작고, 그로 인해 각도 θ 가 커져 식 (9)의 실제 오차 성분이 너무 커지므로, 2개의 센서를 사용하여도 측정이 불가능하여 본 모형 룰에서는 레이저센서 A, B를 Fig. 3(a)에서 레이저센서 A 위치에 2개를 볼과 평행하게 배치하여 측정하였다. 2개의 레이저 센서를 사용하여 모형 룰의 전 영역의 형상을 측정하였을 때의 측정결과는 Fig. 14와 같다. 결과를 살펴보면, 실제 오른쪽 단차부분에 존재하는 고무의 부풀은 형상도 측정이 가능함을 확인할 수 있으며, 금속부분과 고무부분의 사이에서의 데이터 손실이 발생하지 않음을 알 수 있다.

4.2 현장적용에 대한 실험결과

본 연구의 실제 적용 대상인 EGL 통전 룰에 대하여 측정시스템을 장착하였다. 장착에 있어 밀폐형 상자를 이용하여 레이저 컨트롤러 및 공기노즐의 분기구를 외부의 가스성분에 대해 차단하였다. 실제의 현장 환경은 도금액에서 올라오는 가스성분으로 인해 수증기가 발생하는 조건을 가지므로 레이저 센서의 측정을 방해하는 열악한 환경을 가지기 때문에 측정부인 센서 앞쪽에 에어 노즐을 사용

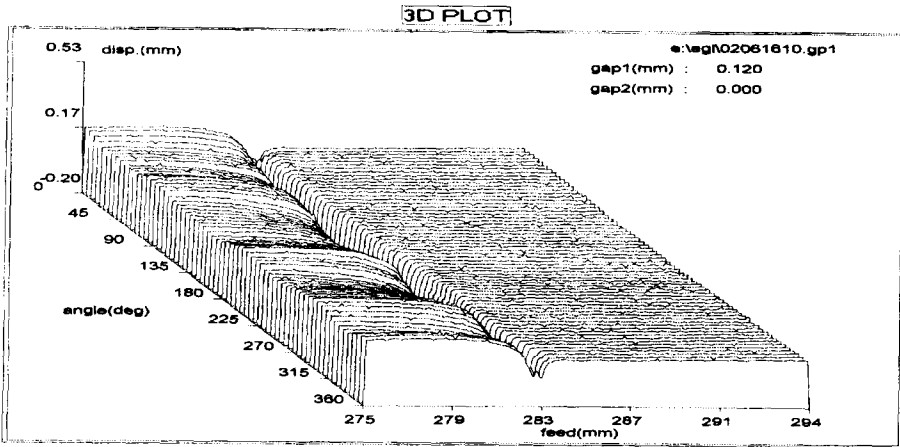


Fig. 11 Measurement result of using one laser sensor for the case of horizontal vibration (Fig. 9)

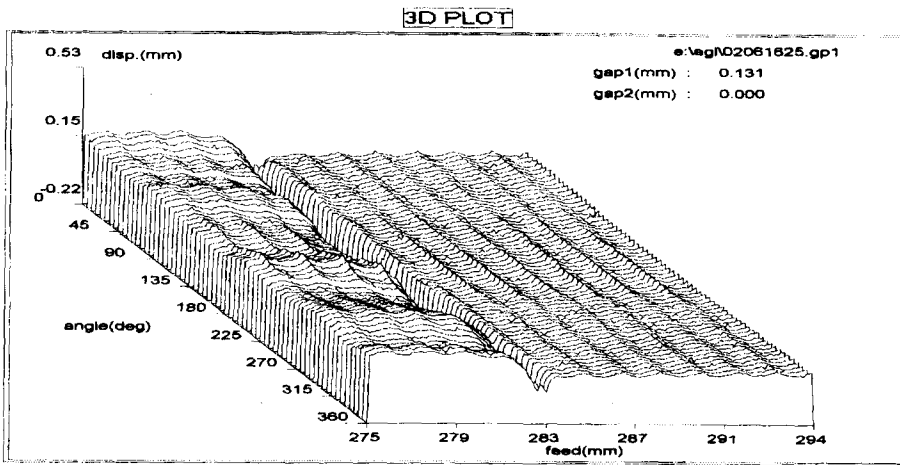


Fig. 12 Measurement result of using one laser sensor for the case of applied horizontal vibration (Fig. 10)

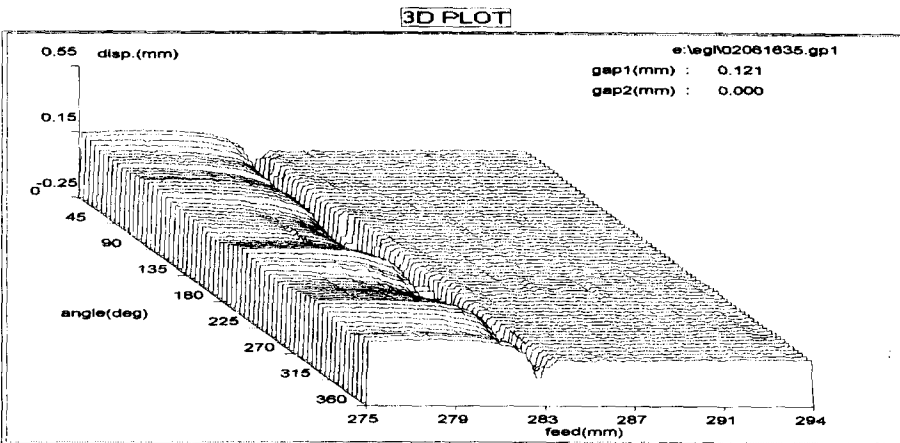


Fig. 13 Measurement result of using two laser sensor for the case of horizontal vibration (Fig. 10)

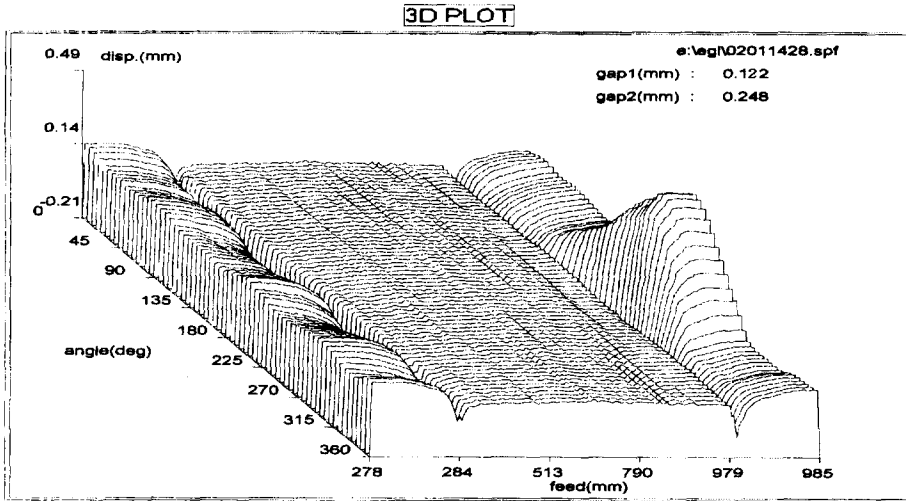


Fig. 14 Measurement result of the roll profile using two laser sensor for the simulation system



Fig. 15 Measurement result for the horizontal vibration in the EGL conductor roll

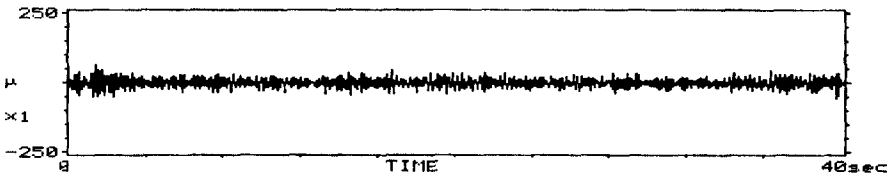


Fig. 16 Measurement result for the vertical vibration in the EGL conductor roll

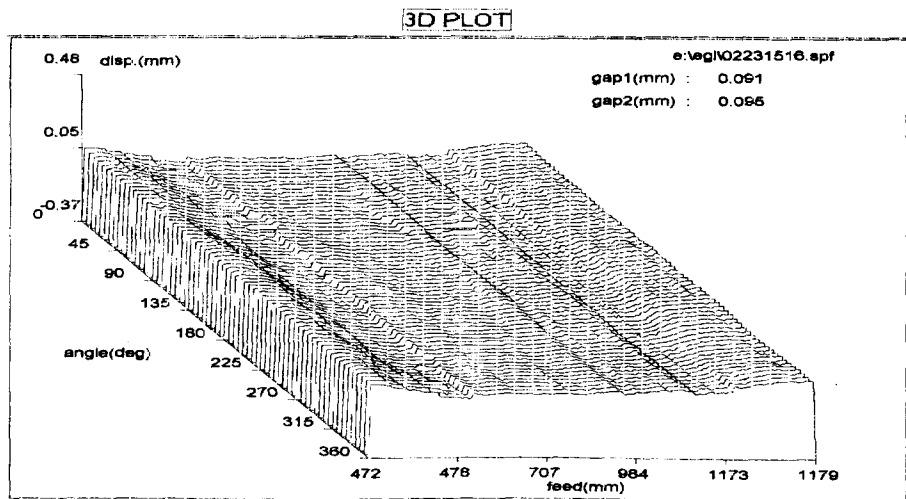


Fig. 17 Measurement result for the profile of EGL conductor roll

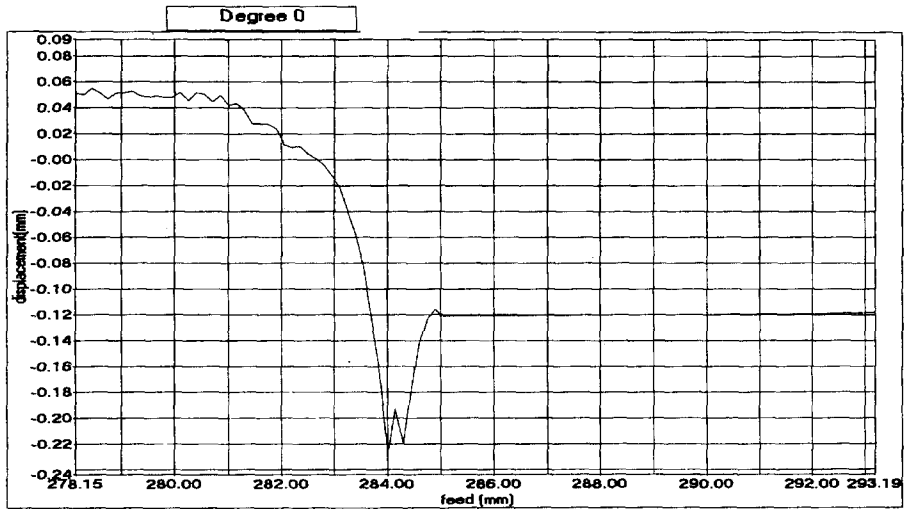


Fig. 18 Measurement result for the left step-down of the EGL conductor roll

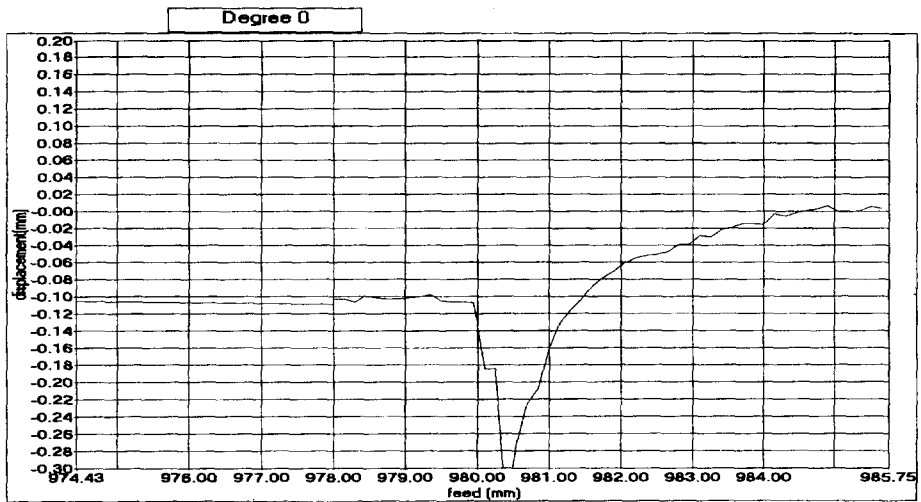


Fig. 19 Measurement result for the right step-down of the EGL conductor roll

하여 수증기의 성분을 제거하였다.

먼저, 측정대상인 통전롤의 수직 및 수평성분의 진동을 Fig. 15, Fig. 16과 같이 측정하였다. 모형롤에 비해 그 값이 작게 나타남을 확인할 수 있었다. 2절의 진동보상식 (9)에 대해서 센서사이의 거리를 100 mm로 하고, 각도 θ 는 4.686° 이며, 진동 성분은 Fig. 15, Fig. 16 으로부터 δx , δy 가 각각 $100 \mu\text{m}$, $50 \mu\text{m}$ 이므로 실제 오차성분은 수평성분과 수직 성분이 각각 $8.2 \mu\text{m}$, $0.167 \mu\text{m}$ 로 계산되어 $10 \mu\text{m}$ 정도의 분해능을 가지는 것을 확인할 수

있다. 실제 통전롤에 대한 측정시스템의 측정결과를 Fig. 17에 나타내었다. 또한 그 때의 단차를 Fig. 18 및 Fig. 19에 나타내었다. 그 결과를 살펴보면, 모형 롤과는 비교하여 단차의 값이 작게 나타남을 확인할 수 있었으며, 열악한 환경임에도 불구하고 측정시스템의 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 전기도금공정에 있어서 통전 롤의 단차부분과 도금된 제품의 품질과의 상관성을 규명하고 생산성 향상을 위한 공정자동화를 위하여 조업중에 온라인(on-line)으로 롤의 단차 및 표면형상을 자동적으로 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이를 위하여 측정센서로 레이저 센서를 사용하였고, 통전롤 표면 전체를 측정하기 위한 리니어 가이드 모터시스템(linear guide motor system)을 구성하였으며, 측정시스템에서 발생하는 진동성분을 감소시키기 위하여 2개의 레이저 센서를 사용하였다. 또한, 개발한 장치를 사용자가 쉽게 구동할 수 있고 측정한 데이터를 2차원 및 3차원으로 확인할 수 있는 윈도우용 소프트웨어를 개발하였으며, 측정시스템에서 2개의 레이저센서의 진동에 대한 영향 및 센서의 측정성능을 확인할 수 있는 모형 롤을 구성하여 그 타당성을 입증하고자 하였다. 이상과 같은 본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같이 요약된다.

(1) 본 연구에서 구성한 측정시스템을 이용하여, 현장의 조업자가 눈으로 확인할 수 있었던 통전롤의 표면상태를 2차원 및 3차원의 형상으로 정확하게 수치분석하는 것이 가능하게 되었고, 조업데이터를 관리함으로써 통전 롤의 단차부분과 도금된 제품의 품질과의 상관성을 규명할 수 있게 되었다.

(2) 종래에는 표면에 수분이 있는 상태에서 고속으로 회전하는 롤의 형상을 비접촉식 레이저광을 이용하여 측정하는 것이 어렵다고 알려져 왔으나, 이번 연구 개발결과 두 개의 레이저변위센서를 사용하여 진동에 의한 영향을 제거하고 롤 형상의 정밀측정이 가능하다는 것을 확인하였다.

(3) 과제에서 구성한 장치의 내환경성은 연구 기

간 동안 충분히 검토하였으나, 실제 도금공장 현장의 조건이 열악하여 장치에 대한 내환경성에 대해서는 앞으로 일정기간 내구성 시험후에 재검토가 필요하다는 것을 확인하였다.

참고문헌

- (1) Ernest O. Doebelin, *Measurement Systems Application and Design*, 4th Edition, McGraw-Hill.
- (2) 이정구, 이종대, 1991. 최신 정밀 측정학, 기전연구사.
- (3) 이종대, 1994. 정밀형상 측정이론과 실제, 성암당.
- (4) 龍岡靜夫, 1993. 레이저와 화상, 기전연구사.
- (5) 김태균, 최형진, 1994. 화상처리기초, 정익사.
- (6) Yuji Adachi, et al., 1991, "Development of a Conductor Roll Profile Meter for EGL," *CAMPISIJ*.
- (7) "Conductor Roll Profile 조사결과 종합," 1992. POSCO.
- (8) 도금공장 EGL Conductor Roll Profile Check 현황, 도금정비과, POSCO, 1993.
- (9) 배성혁, 이화조, 1995, "레이저 거리센서를 이용한 프로파일 측정에 관한 연구," '95 Proceedings of the 10th KACC, Vol. 1, pp. 84~87.
- (10) 박현구, 김승우, 박준호, 1993, "슬릿광 주사방법에 의한 자유곡면의 삼차원 형상측정," 대한기계학회논문집, 제17권, 제5호. pp. 1202~1207.
- (11) Anand K. Asundi, Chan, C. S. and Sajan, M. R, pp. 1994, "360-deg Profilometry: New Techniques for Display and Acquisition," *Optical Engineering*.