

## 금속용탕면 높이 측정을 위한 거리센서의 특성

\*이 왕하, 임 태균, 박 상덕

산업과학기술연구소 로보트연구팀

### Abstract

In a CGL (Continuous Galvanizing Line) in steel making plants, zinc-coated steel sheets are produced. These sheets are used where long running corrosion resistivity is required. During the coating process top dross is produced, being harmful to the quality of the coating. To collect and remove this top dross, an automation system is developed consisting of a robot and its carriage system, a pot level sensor, a system controller, and special tools. For the first, the level of the pot must be measured and fed back to the robot controller to avoid submersion of the robot hand in the hot pot. In this paper, acoustic and laser distance sensors are tested for the appropriate pot level sensor, especially the former in the view point of hot environment.

### 1. 서론

가전제품의 몸체, 자동차의 차체에로 주로 사용되는 냉연강판의 내식성을 향상시키기 위해서 일반적으로 아연도금을 후처리하여 많이 사용하고 있는데, 도금라인의 종류에는 연속도금(Continuous Galvanizing Line)과 전기도금(Electro-Galvanizing Line)으로 나눌 수 있다.

본 연구에서는 CGL라인에서 사용되는 zinc pot (용융아연욕)의 상부에 부유하는 top dross를 제거하는 로보트 시스템을 개발하는데, 정확한 탕면측정으로부터 zinc pot top dross를 제거하기 위한 로보트 Tool의 이동궤적이 결정되므로 정확한 높이 측정이 선행되어야 한다. 이렇게 탕면 높이의 변화에 대응하여 로보트가 능동적으로 로보트 tool의

zinc pot 내로의 장입깊이를 변경하여야만 작업의 효율성, 로보트의 수명 연장, 안전 작업 등이 효율적으로 이루어 질 수 있다.

일반적으로 zinc pot에서는 아연괴를 Resistant Heating 방식으로 녹여서 zinc pot에 일정량의 zinc 공급에 따라 약 20 cm 정도의 탕면 변화가 발생하고 있다. 따라서 아연 욕조의 탕면 높이를 측정하여 로보트에 알려주는 적합한 측정 시스템을 개발하여야 한다. 이때, 아연욕조의 분위기는 약 450 °C의 고온으로 측정 거리, 측정 범위와 함께 센서의 내열성과 측정값에 대한 분위기의 영향도 고려하여야 한다.

일반적인 거리측정용 센서로는 레이저센서와 초음파센서를 많이 사용하는데, 레이저센서는 비교적 정밀하게 측정할 수 있으나 측정범위가 일반적으로 작다. 초음파를 이용한 거리센서는 비교적 저렴한 경비로 실현이 가능하나, 발생 초음파 주파수에 따라서 일반적으로 주파수가 높으면 측정범위는 줄어들지만 분해능은 향상되고, 주파수가 낮으면 측정범위는 늘릴 수 있지만 분해능이 매우 불량하여 정밀측정에는 부적합하며, 아울러 현장과 같은 열악한 환경에서는 주위의 발생 Noise로 인하여 측정이 거의 불가능한 경우도 있다. 이 논문에서는 용융 아연욕 상부의 부유물 제거용 로봇시스템을 구성하는데 있어서 초음파 센서와 레이저센서의 특성을 실정하여 용융아연욕의 level 측정용으로 적합한 센서를 선정하고자 한다.

### 2. 전체 시스템 구성

Zinc pot top dross 제거용 로봇 시스템은 냉연부 용융아연 도금공장의 CGL (Continuous

Galvanizing Line, 연속아연도금공정) 라인에 설치되어서, 아연도금 작업중 발생하여 zinc pot 상부에 부유하는 dross 를 모으고 떠서 회수통에 버리는 일련의 작업을 수행하는 로봇, 주변장치 및 그 제어기이며, top dross 를 모으는 작업과 떠서 회수통에 담는 작업을 수행한다. 전체시스템의 개략도는 Fig.1 과 같다.

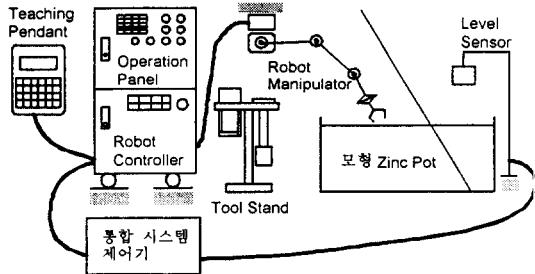


Fig.1. 전체 시스템 구성 개략도

### 3. 초음파 거리센서의 특징

#### (1) 초음파의 특징

초음파는 사람의 귀로 들을 수 없는 보통 20 kHz 이상의 주파수로써, 초음파 센서는 초음파를 공중으로 전송하고, 물체에 반사되어 오는 파를 검출한다. 일반적으로 초음파 센서의 응용 분야는 매우 많다. 예를 들면, 침입 경보 시스템, 자동 door 개폐기 그리고 각종 전자장비의 원거리 조종 등이다. 프로세싱 기술의 급속한 발전으로 새로운 분야, 예를 들면, 공장 자동화, 자동차 전장 관련이 점차 커지고 있다.

#### 가) 파장의 길이 그리고 속도

음파의 지연 속도는 주파수와 파장에 비례한다. 전자파의 속도는  $3 \times 10^8$  m/s 이다. 그러나 대기 중의 음파의 전달 속도는 약 344 m/s 만큼 느린다. ( $20^{\circ}\text{C}$  일때)

#### 나) 반사

물체의 존재를 인식하기 위한 초음파는 물체상에서 반사한다. 금속, 나무, 콘크리트, 유리, 고무, 종이 등에서는 초음파가 거의 100 %나 반사되기 때문에 이런 사물들을 쉽게 찾을 수 있다. 옷, 솜, wool 등은 초음파를 흡수하기 때문에 검출하기 힘들다. 표면에 큰 외곡이 있으면 반사가 불규칙하기 때문에 검출이 또한 힘들다.

#### 다) 온도의 영향들

음파의 진행 속도 C는 다음과 같이 일반적으로 표현된다.

$$C = 331.5 + 0.607 t \text{ (m/s)}, \quad t=\text{temperature}$$

즉, 주위의 온도가 변함에 따라서 속도가 바뀐다. 물체를 정밀하게 측정하기 위해서는 측정하려는 분위기에 대한 온도를 항상 확인해야 한다.

#### (2) 초음파 거리 센서의 특징

이상과 같은 초음파의 특징을 이용하여 거리의 측정을 목적으로 만든것을 초음파 거리 센서라고 말하는데, 초음파 거리 센서는 제품마다 고유의 초음파 주파수가 있다. 따라서 주위의 작업 환경에서부터 나오는 노이즈성 신호가 만일 초음파 주파수와 비슷한 경우에는 측정시에 출력값의 오류가 발생되는 경우가 있다. 따라서 초음파를 적용할 때는 사전에 주위의 노이즈 주파수 범위를 파악하는 것이 필수적이다. 또한, 초음파 거리 센서는 고유 주파수의 정도에 따라서 측정 범위와 분해능이 결정된다. 예를 들면 주파수가 높으면 측정 범위는 작아지지만 측정 분해능은 높아지고, 반대로 주파수가 낮으면 측정 범위는 커지만 분해능은 매우 불량해지는 것이 일반적이다. 따라서 사용 목적에 맞는 센서 주파수의 선택이 중요하다. 또한 초음파는 레이저와는 달리 매우 작은 한점의 값을 표시하지 못하고 그 주변의 값을 나타낸다. 따라서 측정 부위가 매우 좁고 주위의 높이 변화가 심한 경우에는 정확한 출력을 얻기가 어렵다. 따라서 초음파 거리센서를 사용하기 적당한 경우는 사용 주변 온도나 측정 부위가 상온에 가까우면서, 측정 부위가 어느 정도 넓고, 주위의 노이즈가 심하지 않는 경우에 적당하다.

#### (3) 본 연구에 사용된 초음파 센서의 사양

제 품 명 : UD-320 (KEYENCE)

측정범위 : 200~1300 mm

분 해 능 : 1 mm

아날로그 출력 : 4~20 mA

응답 성 : 10 Hz

최소검출물체 : 20 mm

전 원 : DC 24 V

사용온도 :  $-25^{\circ}\text{C} \sim +75^{\circ}\text{C}$  (센서부),

$0^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$  (Amp 부)

중 량 : 190 g (센서부), 450 g (Amp 부)

본 제품은 센서부와 Amp 부가 독립되어 있어서 설치가 용이한 장점이 있다. 다만, serial interface 를 위해서는 추가 Amp 가 필요한 단점이 있다.

#### 4. 초음파센서의 특성 실험

##### 4.1. 초음파 거리 센서

###### (1) Noise 측정 실험

전술한 바와 같이 초음파 센서를 사용할 때에는 적용 환경 주변의 noise 의 성분을 사전에 파악해 두어야만 센서의 결과를 신뢰할 수 있다. 본 실험에 사용한 초음파 센서는 작동 주파수가 40 kHz 이다. 따라서 주변의 noise 주파수가 40 kHz 정도의 성분이 존재하면 센서의 결과를 신뢰하기 어렵다. 그래서 spectrum analyzer 기능을 가진 machine analyzer 로 zinc pot 주변의 noise 를 분석해 보았다.

i) machine analyzer 는 0~50 kHz 정도의 주파수를 분석할 수 있는 것으로 외부의 noise 를 마이크로폰으로 입력 받아서 화면에 display 하고, 경우에 따라서 display 된 것을 출력할 수 있고, display 화면중에 noise level 순서로 10 개까지 level 과 주파수 정보를 알수도 있다. Fig. 2 는 zinc pot 의 front 측면으로써 주파수가 높아져서 50 kHz 주변의 noise level 이 가장 작아짐을 알수 있다. Fig. 3 는 zinc pot 중앙 부근의 통로 근처에서의 실험 결과로 거의 비슷한 결과를 얻었다. Fig. 4 은 zinc pot 의 뒷부분으로써 앞의 두 경우보다 noise level 이 전반적으로 낮게 나타나는데, 특히 20 kHz 이상 주파수 대역에서는 매우 낮은 noise level 을 나타내고 있다.

이상과 같은 현장 noise 실험 결과는 주변 noise 가 초음파 센서의 주파수인 40kHz 에서는 noise level 이 매우 낮게 나와 초음파 센서를 적용해도 noise로부터의 외란은 무시할 수 있을 정도임을 확인했다.

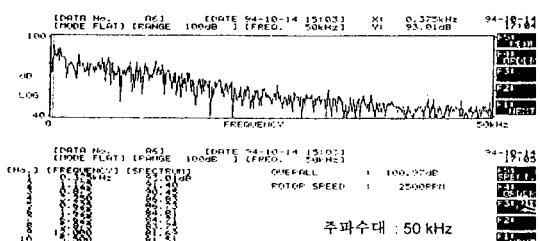


Fig. 2 운전실 쪽 Front side 의 Noise spectrum

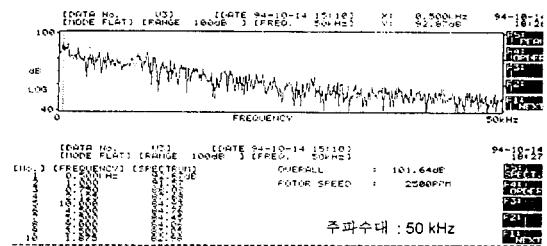


Fig. 3 Zinc pot 중앙통로부근의  
Noise spectrum

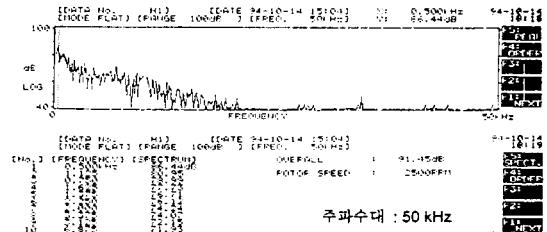


Fig. 4 Zinc pot 후면부(로보트 설치대 부근)의  
Noise spectrum

###### (2) Linearity 실험

초음파 센서의 linearity 를 확인하기 위한 실험 을 camera calibration table 상에서 실시하였다. 그 실험 장면을 Fig. 5 에 나타내었다. Fig. 5 에서 1 번은 초음파 센서부이며 2 번은 table 상에서 측정하려는 목표물이며, 3 번은 실측할 수 있는 linear scale 이며, 4 번은 linear scale 의 값을 육안으로 읽을 때 paradox error 를 줄이기 위한 tool scope 이며, 5 번은 초음파 센서의 Amp 부를 나타내고 6 번은 초음파 센서와 computer 사이의 serial 통신을 위한 meter 이다. 그리고 7 번은 초음파 Amp(5 번)에 전원을 공급하는 전원부이다.

Table 상에서 목표물을 이동시키면서 linear scale 상에서 실측한 값과 Amp 로부터 출력되는 측정치를 거리에 따라 측정한 결과를 Fig. 6 에 나타내었다. 그림에서 실측한 값을 X 축상에 표시하고 측정치를 Y 축상에 표시했는데, 선형성이 매우 우수함을 알 수 있다.

###### (3) Silicon oil 을 이용한 실험

초음파 센서의 측정값은 온도에 의해 영향받는 것이 일반적이다. 실제 본 연구에 적용될려면 고온 측정시에도 안정한 결과를 나타내어야만 한다. 그래서 물보다 비등점이 높은 silicon oil 을 비아커에 넣

고 heater로 가열시키면서 온도의 변화에 따라 센서의 출력을 측정해 보았다. 그 대략적인 scheme은 Fig. 7에 나타내었다.

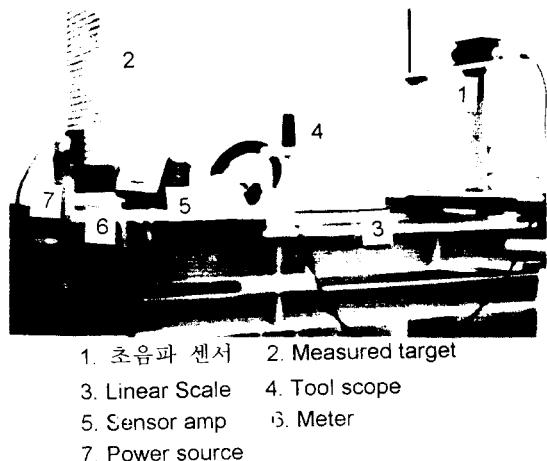


Fig. 5 초음파 센서의 선형성 실험장치

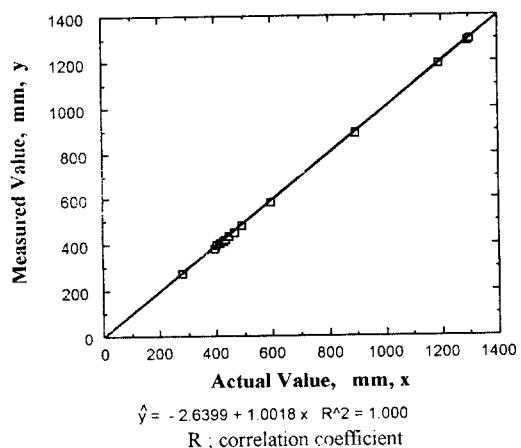


Fig. 6 초음파 센서의 선형성 실험결과

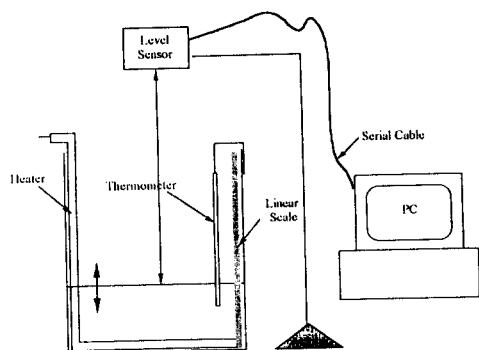


Fig. 7 초음파 센서의 온도 영향 실험 개략도

Silicon oil의 온도를 측정하기 위한 수은 온도계(최고 300 °C 까지 측정)를 준비하고 온도에 따른 부피의 팽창으로 인한 실제 높이의 정도를 알기 위해서 바이커에 linear scale을 만들었다. 실험 장면은 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 1번은 초음파 센서부이고, 2번은 수직높이 가변을 위한 linear slide이고, 3번은 silicon oil을 가열하기 위한 heater이고, 4번은 silicon oil의 온도를 측정하기 위한 수은 온도계이다.

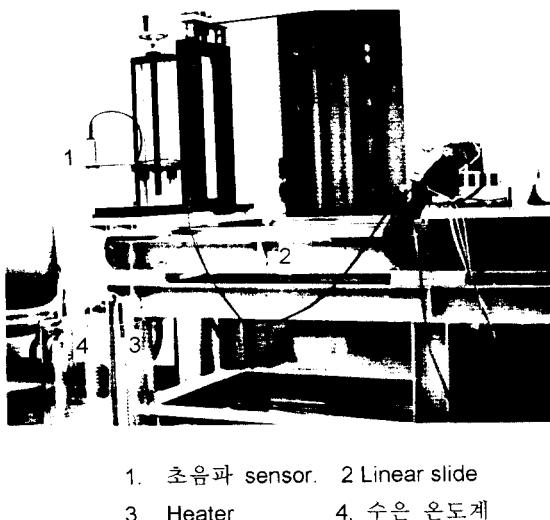


Fig. 8 초음파 센서의 온도 영향 실험

Table 1 Sensor output 과 실제 거리의 변환값

Sensor output (mA)	10	12	14
거리 (mm)	612.5	750	887.5

실험 데이터의 기록은 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 serial port를 통해 personal computer에 바로 저장하였다. Table 1은 sensor output (mA)와 실제 거리와의 변환 값이다. 실험 결과의 그림에는 sensor output으로 도시되어 있는데 Table 1을 이용하여 거리의 값으로 환산할 수 있다.

Fig. 9은 한 시점에서 silicon oil 면의 높이를 측정하여 얻은 결과로써 signal hunting이 발생함을 알 수 있다. 일정한 거리에 놓고 500 개의 데이터를 얻은 결과이다. 용탕 온도가 244 °C 일 때 탕면 위의 공기가 자연 대류인 상태로 놓았다. Fig. 10는 같은 온도에서 silicon oil에서 발생하는 증기를 제거하기 위해 송풍 장치로 강제 송풍하여 얻은 결과이다. 이

경우 안정된 측정값을 보여 준다. Fig. 11은 silicon oil을 상온에서부터 270 °C 까지 가열하면서 데이터를 출력한 것으로 고온으로 갈수록 signal hunting이 심해지고 그 값도 전반적으로 커짐을 보여 준다. 이 그림에서 온도의 증가에 따라 sensor 출력값이 조금씩 증가하였는데, 이는 silicon oil의 열 팽창에 의한 부피 증가로 볼 수 있다.

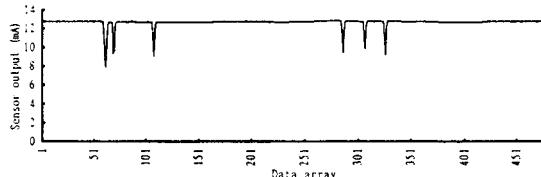


Fig. 9 탕면위가 자연대류 상태일 때의 센서 측정값  
(용탕 온도 : 244 °C)

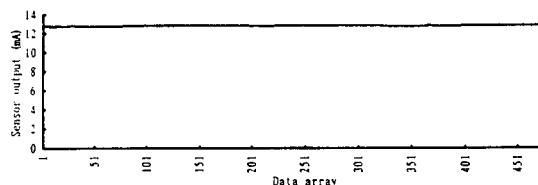


Fig. 10 탕면위를 강제 송풍할 때의 센서 측정값  
(용탕 온도 : 244 °C)

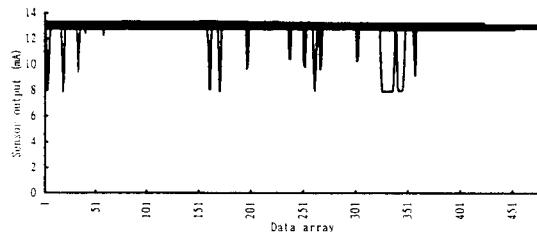


Fig. 11 탕면위가 자연대류 상태일 때의 센서 측정값  
(용탕 온도 : 상온~270 °C)

#### 4.2. 초음파 센서실험 결과 및 토의

이상의 여러가지 실험 결과를 종합하면, 초음파 센서의 경우에 상온에서부터 약 300 °C 정도까지의 실험에서 온도의 증가에 따라 signal hunting이 증가함을 알 수 있었다. 따라서, 실제 zinc pot의 조업 온도인 약 450 °C 정도에서는 signal hunting의 정도가 더욱 커지리라고 예상된다.

### 5. 레이저 거리센서의 실험

#### 5.1. 레이저 거리 센서

##### (1) 레이저의 종류

레이저(Laser)는 “방사의 유도 방출에 의한 빛의 증폭”이라는 영어 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation의 머리글자로 만든 합성어로써, 최초의 레이저 광은 1960년에 인조 루비의 단결정으로 만들어졌다. 길이 수 cm인 루비 막대의 양끝을 평행 평면으로 연마해서 반사경을 붙여, 주위에서 강한 플래시 램프로 조명하니, 끝면에서 파장 0.69μm의 가늘고 강한 빨간 광펄스가 발생했다. 이런 종류의 고체 레이저는 대출력의 광원으로 많이 이용되고 있다. 또한, He과 Ne을 혼합한 He-Ne 기체 레이저는 가시광을 포함해서 여러가지 파장의 빛이 얻어져, 안정된 연속 발진을 하므로, 화상처리 분야에 널리 사용되고 있다. 한편 반도체 다이오드의 순방향으로 전류를 흘렸을 때 생기는 발광과정에서도 레이저 작용이 이루어지는데 이것을 일반적으로 반도체 레이저라고 말하고 광통신, 콤팩트 디스크, 정보 기록 등의 분야에 많이 이용되고 있다.

##### (2) 레이저의 특징

Table 2에 여러가지 레이저의 종류와 그 특징들을 나타내었다.

① 지향성 - 파면은 평면 또는 약간의 곡률을 가진 구면을 하고 있어서, 다른 방향으로 나아가는 파동은 섞여 있지 않다. 따라서 매우 좁은 각도의 범위에 에너지가 집중되어 있다.

② 수렴성 - 파면이 흐트러져 있지 않으므로, 수차가 적은 렌즈로 수렴하면, 파장 정도의 차수의 점에 모을 수 있다.

③ 단색성 - 파동으로서 연속한 빛을 만들 수 있다는 것이다. 시간이 경과해도 파동의 파장은 변하지 않고, 스펙트럼 쪽이 대단히 좁은 단색성의 좋은 빛이 얻어진다.

④ 짧은 광펄스 - θ 스위칭이나 모드 동기의 기술을 사용하면, 시간적으로 에너지가 집중된 광 펄스를 만들 수 있다.

Table 2 여러가지 레이저의 종류와 그 특징

종류	고체 (절연체)	기체 (금속증기 함유)	반도체	액체 (색소)
특징	소형으로 피크 출력이 크다. 증폭해서 큰 펄스 출력이 얻어진다.	연속 발진이 용이하다. 간접성이 좋은 빛이 얻어진다. 발진 파장역이 넓다.	크기가 작다. 전류로 직접 변조할 수 있다.	파장을 바꿀 수 있다. 초단펄스가 만들어 진다.
주된 재료	루비, YAG, 유리	He-Ne, Ar <sup>+</sup> , Kr <sup>+</sup> , He-Cd, CO <sub>2</sub>	GaAlAs/GaAs, GaInAsP	로더민 6G
발진 파장 범위	0.55~2.6 μm (0.63~1.06 μm)*	0.21~770 μm (0.32~10.6 μm)*	0.33~31.2 μm (0.78~1.5 μm)*	0.32~1.2 μm (0.4~1 μm)*

\* ( )의 값은 자주 사용되는 범위

### (3) 본 연구에 사용된 레이저 센서의 사양

제품명 : DME 2000

전원 : 18 V ~ 30 V (DC)

전력소비 : ≤ 6 W

광원 : Laser diode (red light)

수명 : 50,000 hr (at 25 °C)

Analog 출력 : 0에서 20 mA/  
4에서 20mA (선택 가능)

Serial interface : RS-232C

Baud rate : 4.8/9.6 kBaud (선택 가능)

작동온도 : -10°C에서 45 °C

무게 : 약 980 g

### 5.2. 레이저 거리 센서 linearity 실험

Fig. 12는 vision camera calibration table에 레이저 센서를 고정시키고 거리를 이동시키면서 실제 거리와 센서 출력 값을 출력한 결과를 graph로 나타낸 것이다.

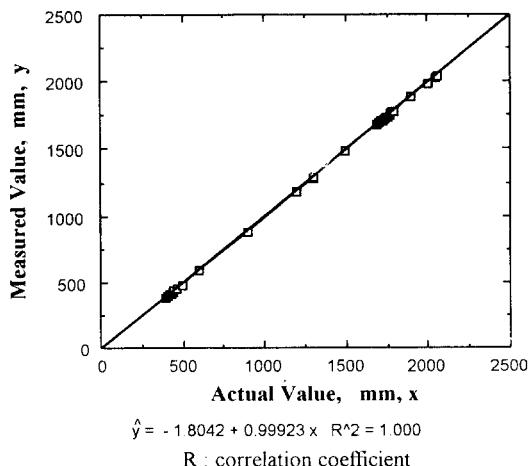


Fig. 12. 레이저 센서의 선형성 실험 결과

Fig. 12의 결과로부터 laser sensor의 우수한 선형성을 알 수 있다.

### 5.2 레이저 센서실험결과 및 토의

이상의 실험결과로 레이저 센서 또한 선형성이 우수하게 나타남으로써, zinc pot 탕면 높이 측정용 센서로 사용할 수 있음을 나타낸다. 또한, 이 레이저 센서는 물을 순환시켜 cooling 시킬 수 있어서 내열성에도 문제가 없다. 그리고, 레이저 센서는 초음파 센서와 달리 파동 전달의 매질의 환경에 영향을 받지 않는 장점이 있다. 그러나, 일반적으로 레이저를 이용한 거리 센서는 레이저 발생 장치와 신호 처리 장치 때문에 고가이다. 레이저 센서의 경우는 실제 zinc 탕면 실험에서도 매우 안정된 값을 나타내는 것을 알 수 있었다.

### 6. 결론

본 연구를 통하여, 이제까지 일반적으로 알려진 바와 같이 초음파 센서의 측정값은 음파 전달 매질의 분위기에 영향을 받는 것을 확인하였다. 따라서, 측정 대상이 고온인 환경에서는 초음파 센서는 거리 센서로 부적합하다. 최종적인 zinc 탕면 높이 측정을 위한 센서로는 laser 형의 거리 센서가 적당하다는 결론에 이르렀다. 그러나, laser 센서는 센서 표면의 상태에 따라서 신호의 정도가 매우 달라질 수 있으므로 항상 깨끗한 표면 상태로 유지하는 것이 앞으

로의 속제이다.

#### 7. 참고문현

1. 영일만에서 광양만까지, 포항제철 25년사
2. Zinc Pot Top Dross 제거용 Robot 개발,  
RIST 연구보고서
3. 초음파변위센서 Manual, KORENCE 사
4. Laser 변위센서 Manual, SICK 사