

표면 요철 측정을 위한 광학적 거리 측정기 개발

Development of an Optical Range Finder for Surface Roughness Measurements

嚴正鉉*, 朴賢熙*, 徐東善*, 許雄*, 金峻梵**, 金容坤**
(Jung-Hyun Eom*, Hyun-Hee Park*, Dong-Sun Seo*, Woong Huh*,
Joon-Bum Kim**, and Yongon Kim**)

요 약

고속도로 등의 대형 구조물의 표면 요철을 측정하기 위한 높은 반복율의 광학적 근 거리 측정기를 개발하였다. 삼각 측정법의 원리에 의한 거리 계측을 위해, 광원으로는 발광 다이오드를 사용하였으며 물체에서 반사된 광의 각도 검출기로는 1차원 위치 감응 광 검출기를 사용하였다. 개발된 거리 측정기는 물체의 반사율 변화를 극복하기 위한 자동 전력 조절 기능과 일정한 배경 광잡음은 물론 시간에 대해 변하는 배경 광잡음까지도 제거할 수 있는 전기적 배경잡음 제거기능을 갖고 있다. 거리 측정기의 장착 및 요철의 깊이를 고려하여 설정된 22 ~ 38 cm의 측정거리에 대한 실험결과, 물체의 반사율에 관계없이 ± 1.5 mm 이내의 측정오차를 보였다.

Abstract

We develop a high repetition rate, short distance, optical range finder for surface roughness measurements of large structures, such as a highway road, etc. For range measurement based on a triangulation principle, we use a light emitting diode and an one dimensional position sensitive photodetector for a light source and an angle detector of the reflected light at the object, respectively. The range finder has automatic power control and electrical background noise rejection capabilities which enable it to overcome variations of an object reflectance and to eliminate time-varying, as well as constant, background light noises. Our experimental results show less than ± 1.5 mm of measurement errors regardless of an object reflectance, for 22 ~ 38 cm object ranges which are determined by considering the installation of the range finder and the depth of surface roughness.

1. 서 론¹

*明知大學教 電子工學科
(Dept. of Electronics, Myong-Ji University)
**韓國道路工事 道路研究所
(Highway Research Center, Korea Highway Cooperation)
※ 본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단 대학부설연구
구조 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

초당 천번 이상의 높은 반복 속도로 ~30 cm 내외의 근 거리를 측정할 수 있는 거리 측정기는 생산중인 첩관 구조물의 표면상태 측정장치, 도로 노면의 요철 측정장치, 진동 측정장치, 각종 자동 기계 가공장

接受日: 1998年3月26日, 修正完了日: 1998年7月16日

치, 등에 매우 활발히 이용되고 있다.[1-3] 일반적인 근거리 측정방법으로서 광파를 이용한 광파의 반사각으로부터 거리를 산출하는 삼각 측정법과 초음파를 이용한 비행시간 또는 위상 비교에 의한 거리 측정법이 많이 이용되고 있다. 광파를 이용한 거리 측정기는 지향성이 매우 우수한 송신 광을 고속으로 변조함으로써 높은 반복율로 특정 미세 부분에 대한 순간적인 측정이 가능하기 때문에, 기존의 초음파를 이용한 장치에 비해 고속 및 미세 측정이 가능하여, 고속으로 움직이는 물체에 대한 순간적인 측정이나 매우 작은 요철 측정이 가능하다. 그러므로, 본 논문에서 고려하고 있는 바와 같이 고속으로 양산중인 철판의 요철이나 시속 100 km 정도로 달리는 차량에 장착되어 도로 면의 요철을 측정하기 위한 거리 측정기는 광학적 측정장치가 훨씬 유리하다.[4] 그러나, 이 같은 광학적 측정장치는 광원으로서 반도체 레이저를 이용하고 광 검출기로 각도 검출이 가능한 소자를 사용해야 하며 협대역 광학필터를 사용하기 때문에 가격이 비싸다는 단점이 있다. 본 논문에서는 기존의 반도체 레이저 대신에 발광 다이오드(LED)를 이용하고 배경잡음과 신호 광필스의 시간 특성 차에 의한 전기적인 배경 광잡음 제거기술에 의해 광학 필터의 필요성을 제거함으로써, 가격이 매우 저렴한 광학적 근거리 측정기를 구현하고자한다. 또한, 반사광의 각도 검출기로는 값비싼 어레이 검출기 대신에 값이 상대적으로 싸고 단일 소자인 위치 감응 광 검출기(PSD: position sensitive photodetector)를 이용한다. 구현된 거리 측정기에서도 LED의 출력을 변조함으로써 레이저의 경우와 같이 초당 수 천번 이상의 거리 측정이 가능할 뿐만 아니라, 반도체 레이저에 비해 LED의 출력 전력은 온도에 거의 무관한 장점을 가지고 있어서 도로 노면 요철 측정과 같은 야외 측정 장치에 주로 사용될 수 있다.

2장에서는 PSD를 이용한 삼각 거리 측정의 원리, 광학계 설계 및 전체 시스템의 구성을 다루고, 3장에서는 제작된 시스템을 이용한 거리 측정 결과 및 고찰에 대해 설명하고, 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 거리 측정 원리 및 구현

1. 삼각 측정법에 의한 거리 측정 원리

삼각 거리 측정법은 인간이 두 눈으로 물체까지의 거리를 알아내는 것과 같이, 두 기준 점과 물체가 이루는 각도에 의해 거리를 측정하는 방법이다. 삼각 측정법에서 기준 점은 그림 1에 보인 바와 같이 광 송신기와 광 수신기로 구성되는데, 물체와 이 두 기준 점이 이루는 각 θ_c 는 수신된 광의 영상이 검출기 위에 맺히는 위치에 따라 결정된다. 이 같은 영상의 위치는 영상이 맺히는 위치에 따라 두 노드에 출력되는 전류 값이 다르게 나타나는 PSD를 이용하여 측정할 수 있다.[5,6] 1차원 PSD는 2개의 출력 노드를 갖고있는데, 수신된 광 영상 점 위치에 따라, 영상점에서 가까운 노드에 더 큰 광 전류가 나타나는 특징을 갖고 있다. 즉, 두 개의 노드 1과 2에 흐르는 전류를 각각 I_1 과 I_2 라 할 때, PSD 중앙에서 ΔL 만큼 떨어진 영상 점 위치는 다음 식 (1)을 만족한다.[7]

$$\Delta L = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \cdot \frac{L}{2} \quad \dots\dots (1)$$

여기서, L 은 PSD의 길이를 나타낸다. 수식에서 $(I_1 + I_2)$ 로 정규화한 것은 ΔL 이 수신된 광량에 무관한 값을 갖도록 하기 위함이다.

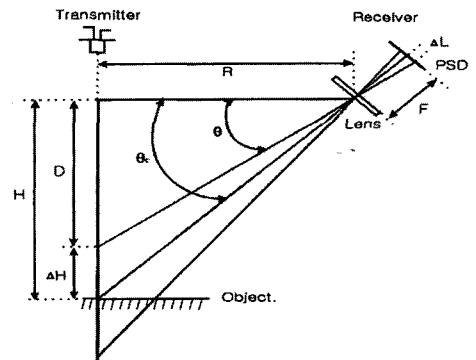


그림 1. 삼각 측정법의 원리에 의한 거리 측정

Fig. 1. Range measurements by a triangulation principle.

식 (1)에서 얻은 ΔL 값을 이용하여 그림1과 같은 삼각 측정법의 원리에 의해 실제 거리를 측정할 수 있다.

그림 1에 보인 바와 같이 물체까지의 거리가 기준 거리 H 에서 ΔH 만큼 짧아 θ 였을 때, 송·수신기와 물체가 이루는 작은 θ_c 에서 θ 로 변하고, 이에 따라 물체에서 반사된 광은 수광부의 렌즈에 의해 PSD 상의 기준 점에서 ΔL 만큼 떨어진 지점에 영상이 맺히게 된다. 이때, ΔH 와 ΔL 은 다음과 같은 관계식을 만족하게 된다.[4]

$$\Delta L = -F \times \frac{\tan \theta_c - \left(\frac{H - \Delta H}{R} \right)}{\left[1 + \left(\frac{H - \Delta H}{R} \right) \tan \theta_c \right]} \dots\dots (2)$$

여기서, F 는 수광 렌즈의 초점 거리이고, R 은 송·수신기 사이의 거리이다. 이제, PSD의 출력과 식 (1)과 (2)로부터 물체까지의 거리 $D(=H - \Delta H)$ 를 도출해 낼 수 있다. 일반적으로 특정 응용 목표에 부합하도록 거리측정 모듈을 시스템에 장착하는 것을 고려하여 H 를 설정한 다음, 측정 가능한 거리범위로부터 ΔH 를 결정하고, PSD의 길이(즉, 최대 ΔL) 및 측정기의 크기를 고려하여 R 과 F 를 결정한다. 송신기의 렌즈는 LED에서 나오는 광이 퍼지지 않도록 하는 역할을 한다. 본 연구에서는 고속도로 등의 대형 구조물의 요철 측정을 염두에 두고 있기 때문에, 구현된 거리 측정기의 장착 및 요철의 깊이를 고려하여 측정 가능한 거리범위(즉, $H \pm \Delta H$)를 최소한 $30 \pm 7 \text{ cm}$ 로 설정하고, 거리 측정기의 크기를 고려하여 R 은 15 cm 로 설정하였다. 이제 측정 범위에 대한 약간의 여유도 까지 고려하여 F 는 3.8 cm 로, 1차원 PSD의 길이 L 은 12 mm (폭은 1 mm)로 정하였다. 이에 따라 송신 렌즈는 $F=3.8 \text{ cm}$, 직경 $d=1 \text{ cm}$ 렌즈를, 수신렌즈는 $F=d=3.8 \text{ cm}$ 렌즈를, PSD는 Hamamatsu의 S3932를 사용하였다.

2. 전자 신호처리부

삼각 측정법에 의해 거리를 측정 및 계산하기 위한 전자 신호처리부의 개략적인 블록 다이어그램을 그림 2에 보이고 있다.

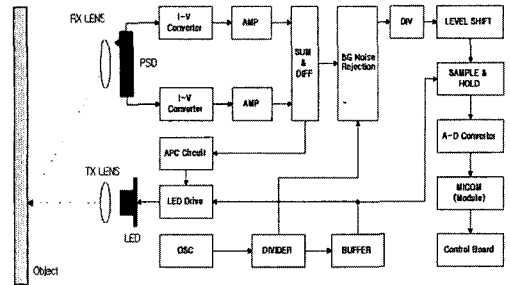


그림 2. 전자 신호처리부의 블록 다이어그램

Fig. 2. Block diagram of the electronic signal processing unit.

LED는 배경 광잡음을 효과적으로 제거하고 충분히 높은 반복 측정 속도를 유지하기 위해, 전자 신호에 무리가 없는 가능한 빠른 속도인 1.25 kHz 의 듀티 비 10% 펄스로 구동하였다. 첨두 전력은 최대 동작거리에서 LED 송신전력에 의한 반사광 신호가 신호처리 후에 태양광의 반사광에 의한 잡음보다 충분히 클 수 있도록 결정하였다. 우선, 맑은 날 지구 표면에 떨어지는 총 태양광 전력은 $\sim 9 \times 10^2 \text{ W/cm}^2$ 이므로,^[8] 이 값으로부터 PSD의 광 스펙트럼 응답특성^[7](70% 응답대역 : $700 \sim 950 \text{ nm}$)과 태양광의 흑체 복사 및 대기 투과 특성^[8]을 고려하여 측정기에 실제적으로 영향을 주는 태양광 전력을 근사적으로 계산한 결과, 대략 $8 \times 10^{-3} \text{ W/cm}^2$ 가 되었다. 한편, 물체거리 38 cm 에서 PSD의 수광부가 볼수 있는 시계 안의 최대 면적은 $1 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ 가 되므로, 이 영역에 조사되는 태양광 전력은 대략 96 mW 가 된다. 광신호 자체의 신호대 잡음비를 1로 유지하고자해도 물체에 조사되는 신호전력(즉, LED 출력의 첨두 전력)은 96 mW 에 이르러야 하나, 태양광은 시간에 따라 거의 변하지 않으므로서 DC 제거에 의해 대부분 쉽게 제거되고 DC 전류로 인한 산탄잡음만이 영향을 미치므로, 실제적인 LED의 첨두 전력은 이보다 훨씬 작아도 된다. LED의 수명을 고려하여 300 mA 펄스 전류로 LED를 동작시켰을

데, 측정된 점두 광 전송 전력을 30 mW로 나타냈다. 그러나, 전자 신호처리부의 전기적 필터링 및 배경잡음 제거에 의해 최종 신호는 충분히 높은 신호대 잡음비를 유지하여, 다음에 논하는 바와 같이 배경잡음의 유무에 관계없이 비교적 정확하게 거리를 측정할 수 있었다.

수신된 광신호는 영상점의 위치에 따른 2개의 신호로 나뉘어 증폭 및 DC 부근의 저주파 잡음 제거된 후에 차동(DIFF) 및 가산(SUM) 회로에 전달된다. 배경잡음은 DC 뿐만 아니라 본 측정기에 도입한 특수회로¹⁹⁾에 의해 신호주파수 1.25 kHz가 아닌 수 100 Hz의 AC 잡음까지도 제거되도록 하여, 불규칙한 교류 잡음도 제거토록 하였다. 배경잡음이 제거된 차동 및 가산 값은 제산(DIV) 회로에 인가되어 식 (1)에 의해 주어지는 PSD 상의 영상점 위치 ΔL 을 결정한다. 제산된 신호는 준위조정 후에 매 데이터 펄스마다 표본화되어 디지털 신호로 바뀐다. 마이컴(MICOM)에서는 측정값과 실제거리 사이의 관계를 보이는 테이블을 갖고있어서, 식 (2)의 관계식 및 각종 비선형 특성을 소프트웨어적으로 보정한 후에 최종 측정거리를 출력하게 된다. 자동 전력조절(APC: automatic power control)회로를 구현하여, 물체의 반사율에 따라 송신 전력을 조절함으로써 물체에 무관한 제산 출력(즉, ΔL)을 얻고자 하였다. 즉, 식(1)에 의하면 물체의 반사율, 즉 $(I_1 + I_2)$ 값과 관계없이 ΔL 값이 일정하게 결정되어야하나, 실제적인 경우 ΔL 값은 $(I_1 + I_2)$ 값에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 따라서, 수신된 광량이 일정하도록, 즉 $(I_1 + I_2)$ 값이 일정하게 유지되도록, 송신광의 출력을 APC 회로를 통해 조절하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

측정된 물체까지의 거리 값이 물체의 반사율에 무관함을 보이기 위해, 반사율이 서로 다른 3가지 물체(흰 색 반사체, 붉은 색 반사체, 검은 색 반사체)를 표본으로 실험을 수행하고, 물체까지의 거리를 변화시키면서 그림 2의 주요 블록의 출력 신호와 최종 측정값을 조사하였다. 그림 3은 동일 거리에서 각각 3번씩

측정한 물체까지의 거리에 따른 가산부(SUM) 출력 전압 값이다. 반사율의 차에 의해 $(I_1 + I_2)$ 에 비례하는 가산부의 출력 값이 다르고, 물체까지의 거리가 멀수록 수신 광전력이 낮아져서 가산부 출력 값은 거리의 제곱에 반비례함을 알 수 있다. 그러나, 이 비례 관계는 거리가 너무 짧아지면 수신광 영상의 초점이 PSD 상에 제대로 맺히지 않아 거리 감소에 따른 가산부 출력 증가세가 둔화되고 마침내는 영상점이 PSD 끝의 비선형 영역을 거쳐 영상의 일부가 PSD 능동영역 밖으로 나가기 때문에 출력 값은 급격히 감소하게된다. 그림 3에 보인 바와 같이 식(2)에 접근하는 이상적인 거리 측정영역은 24 ~ 38 cm임을 알 수 있다. 이상적인 측정영역도 설계 중심인 30 cm에 대해 비대칭적으로 나타나는데, 이는 그림 1 및 식 (2)에서도 쉽게 예측할 수 있다. 즉, 측정된 값은 각도변화 ($\theta_c - \theta$)이나 측정하고자하는 실제거리는 각도변화에 따른 $R \{ \tan(\theta_c) - \tan(\theta) \}$ 값으로 나타나기 때문이다.

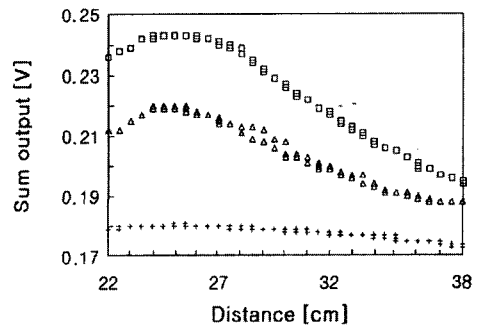


그림 3. 물체 거리에 따른 가산부 출력 전압 (흰색 : □, 적색 : △, 흑색 : +)

Fig. 3. Output voltage of the SUM circuit as a function of the object distance.

(white : □, red : △, black : +)

가산 및 차동 출력은 배경잡음 제거를 위해 배경잡음 제거회로를 통과하게되는데, 그림 4는 수광부 덮개를 인위적으로 열어서 형광등 불빛이 PSD에 직접 조사되는 극한 상황에서 배경잡음 제거회로를 동작시키

기 전(상)과 후(하)의 가산 출력을 보인다.

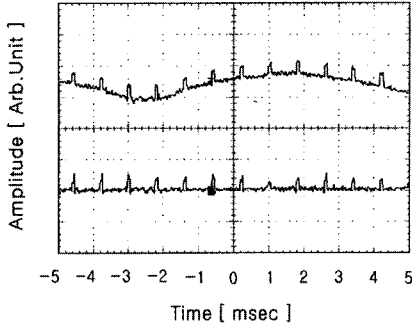


그림 4. 배경잡음 제거회로의 동작 전(상)과 후(하)의 가산부 출력 전압

Fig. 4. Output voltage of the SUM circuit under turn-off (top) and -on (bottom) of the background noise rejection circuit.

원래 신호에는 120 Hz의 커다란 잡음이 존재함을 알 수 있으나 배경잡음 제거회로에 의해 거의 완벽하게 제거됨을 알 수 있다. 이는 거리 측정기를 장착한 노면 요철 측정 차량이 고속으로 그늘진 도로 면을 통과하는 상황이나 형광등 조명이 매우 밝은 환경에서 고속으로 양산중인 구조물의 요철을 측정하는 상황에서도 개발된 측정기를 이용할 수 있음을 의미한다. 반면, 기존 시스템에서는 광원으로 LD를 사용하고 수광부에서 LD의 파장만을 통과하는 고가의 협대역 필터를 사용함으로써, 검출기에 들어오는 배경 광 잡음 자체를 줄이는 기술을 사용한다.

배경잡음이 제거된 가산 및 차동 출력은 제산부(DIV)에 인가되는데, 그림 5는 그림 3과 같이 APC가 동작하지 않는 상황에서 측정된 물체까지 거리에 대한 제산부(DIV)의 출력을 보이고 있다.

식 (2)에 의하면 제산부의 출력은, $(I_1 + I_2)$ 값 즉, 물체의 반사율)에 무관한 특성을 보여야하나, PSD 자체 및 제산 회로 자체의 비선형성에 의해 실제적으로는 그림 5에 보인 바와 같이 물체의 반사율에 크게 좌우되는 것으로 나타났다. 이 같은 물체 반사율에 따른 제산부 출력의 심각한 의존성은 거리 측정 오차의 주요 원인이 된다. 이 같은 가산부의 전압 변화를 보상하기 위해, APC 회로를 이용하여

항상 동일한 가산부 출력 값을 유지토록 하였다. 즉, 반사율이 낮은 물체는 큰 전송전력을 유지하고 반사율이 높은 물체는 낮은 전력을 유지토록 가산부 출력을 LED 구동회로에 부 귀환하였다. 한편, 22 cm 근처의 짧은 측정거리에서는 그림 3에서 설명한 비선형 특성에 의해 출력 증가세가 크게 둔화되었음을 알 수 있다

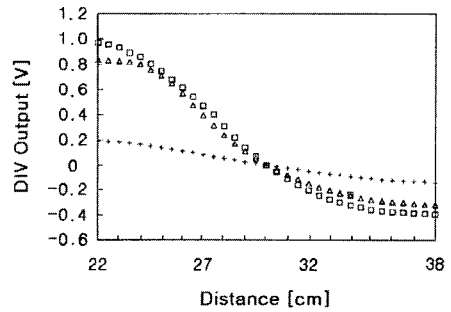


그림 5. APC 회로가 동작하지 않을 때, 물체 거리에 따른 제산부 출력 전압

(흰색 : □, 적색 : △, 흑색 : +)

Fig. 5. Output voltage of the DIV circuit as a function of the object distance, when the APC is disconnected (white : □, red : △, black : +).

그림 6은 APC를 동작시킨 상태에서 3가지 물체에 대해 거리에 따른 제산부의 출력 값을 보이고 있다.

APC 회로의 보상에 의해 반사율에 무관한 값을 보임을 알 수 있다. 참고로 식 (2)에 의해 주어지는 이상적인 특성을 실 선으로 나타내었는데, 22 cm 근처의 짧은 측정거리에서는 앞서 설명한 이유에 의해 이론과 큰 차이를 보이나 그 밖의 영역에서는 이론에서 보여준 경향과 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

이제, 식 (2)에 존재하는 선적인 비대칭성에 의한 비선형 특성 및 PSD의 비선형 특성, 영상의 초점이 흐려지는 것, 등에 대한 보상이 필요한 데, 이는 마이컴에서 비교 테이블에 의해 소프트웨어적으로 보상한

다. 즉, 비대칭성의 보상과 동시에 22 cm 근처의 비교적 큰 비선형성 오차를 비롯한 각종 크고 작은 오차도 동시에 보상한다.

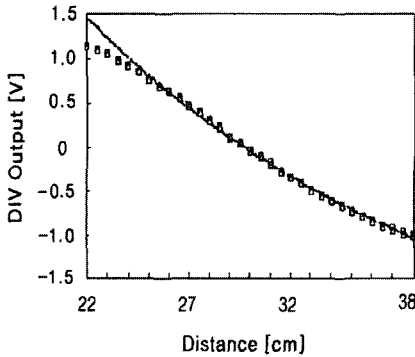


그림 6. APC 회로가 동작할 때, 물체 거리에 따른 제산부 출력 전압 (흰색 : □, 적색 : △, 흑색 : +). 실 선은 식 (2)에 의해 주어 지는 이상적인 경우임.

Fig. 6. Output voltage of the DIV circuit against the object distance under APC operation (white : □, red : △, black : +). The solid line represents the ideal case given by the Eq. (2).

이는, 실험에서 얻는 물체의 반사율과 무관한 그림 6의 거리에 따른 제산부 평균값을 테이블로 저장하여 입력 데이터와의 비교에 의해 역으로 물체까지의 거리를 산출해 냄으로서, 각종 비선형 특성을 효과적으로 보상할 수 있게 한다. 이에 따라, 그림 6에서는 큰 오차가 발생할 것으로 예측된 22 cm 근처도 비교적 정확히 거리를 측정할 수 있다. 그림 7은 실제 거리에 따른 측정된 거리를 나타낸다. 3가지 물체 각각에 대해 동일한 거리에서 각각 4번의 측정을 수행하였다. 물체의 반사율에 무관하게 측정거리 22~38 cm에서 측정오차가 매우 작음을 알 수 있다.

측정 오차를 보다 정밀하게 보기 위해 그림 8에 물체 거리에 따른 측정 오차를 나타내었다. 제작된 장치의 표본화 분해능에 의해 측정된 데이터의 거리 분해

능은 0.1 mm 이다. 최대 오차는 ±1.5 mm임을 알 수 있다. 삼각측정법의 특성에 의해 측정 오차는 거리에 비례하기 때문에, 거리가 짧을수록 감소하는 경향을 나타냄을 알 수 있다.

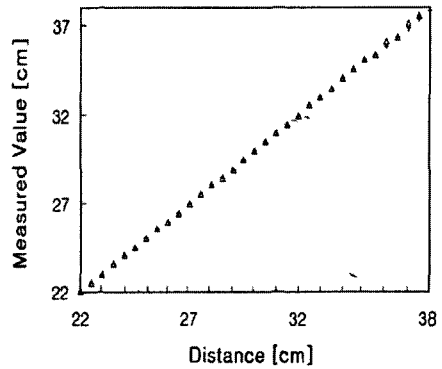


그림 7. 물체 거리에 따른 거리 측정 값 (흰색 : □, 적색 : △, 흑색 : +)

Fig. 7. Measured values as a function of the object distance (white : □, red : △, black : +).

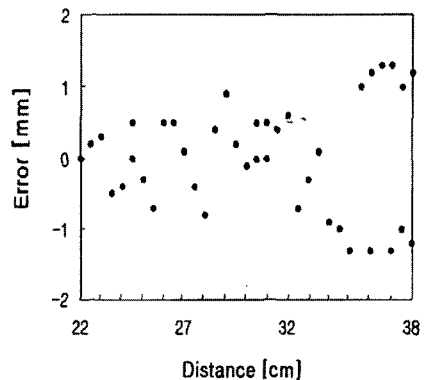


그림 8. 물체 거리에 따른 측정 오차 (흰색 : □, 적색 : △, 흑색 : +)

Fig. 8. Measurement errors as a function of the object distance (white : □, red : △, black : +).

IV. 결론

도로와 같은 대형 구조물의 표면 요철을 고속으로 측정하는 장치에 유용하게 이용될 수 있는, 1.25 kHz의 비교적 높은 반복율로 측정이 가능한 광학적 거리 측정기를 개발하였다. 물체까지의 거리 계측 방식으로서 비 접촉 식의 삼각 측정법을 이용하였는데, 광원으로는 값이 싼 LED를 사용하였고 물체에서 반사된 광의 각도 검출기로는 1차원 PSD를 사용하였다. 물체의 반사율에 무관하게 물체까지의 거리를 정확히 측정하기 위한 APC 회로를 구현하였으며, 광학 필터를 사용하지 않고도 시간에 대해 변하지 않는 잡음뿐만 아니라 시간에 대해 변하는 광잡음까지도 제거시킬 수 있는 전기적 배경잡음 제거회로를 구현하였다. 반사율이 서로 다른 물체에 대한 여러 번의 실험에서 얻은 거리에 대한 평균 측정값을 비교 테이블에 저장한 후에, 새로 측정되는 입력과 비교하여 거리를 결정하였다. 즉, 영상점의 위치와 실제 거리간의 비선형 특성, 검출기 면에 완벽한 초점이 맺히지 못함으로써 생기는 오차, 전자회로 및 PSD의 비선형성, 등의 각종 오차 유발 요인들을 측정결과와 직접 비교하는 소프트웨어적으로 해결하였다. 응용분야에 따른 구현된 거리 측정기의 장착 및 피 측정체 요철의 깊이 등을 고려하여, 송·수신 광학계를 적절히 설계함으로써 30 ± 7 cm 정도의 거리를 측정할 수 있도록 하였다. 실험 결과, 22 ~ 38 cm 측정거리에서 물체의 반사율에 거의 무관하게 ± 1.5 mm이내의 측정 오차를 보임을 확인하였다. 또한, 전기적인 배경잡음 제거기능에 의해 광학적 필터를 사용하지 않고도 직류뿐만 아니라 교류 광잡음에 대해서도 매우 강한 특성을 보임을 확인하였다. 이는 측정장치가 그늘을 고속으로 지나거나 형광등 등의 조명 아래에서도 개발된 시스템이 운용될 수 있음을 의미한다.

참 고 문 헌

- [1] J. Hallett and R. Wix, "Trial of high speed data capture vehicle for New Zealand state highways", Proc. Roads 96 Conf., Part 4, pp. 289-305, 1996.
- [2] H. Prem, "NAASRA roughness meter calibration via the road-profile-based International Roughness Index(IRI)", Australian Road Research Board Report ARR 164, Oct. 1989.
- [3] K. Ksaibati, "Comparison of rut-depth measurements obtained with four different techniques", Road & Transport Research, Vol. 5 No. 2, pp. 80-91, Jun. 1996.
- [4] E. Diaz, C. Koniditsiots, R. Wix, and F. Clerk, "Development and application of a high speed road data collection vehicle for enhanced asset management", Proc. 17th AARRB Conf., Part 4, pp. 271-289, 1994.
- [5] 富田俊彦, "PSD를使つた距離檢出裝置の製作", 트ラン즈스타技術 Special, No. 33, pp. 79-88, May 1992.
- [6] 堀口千代春, "PSD素子用測距ICを使つた距離檢出裝置の製作", 트ラン즈스타技術 Special, No. 33, pp. 89-94, May 1992.
- [7] *Optoelectronic Components Catalog*, UDT Sensors Inc., pp. 8-9, 1990.
- [8] R. D. Hudson, Jr., *Infrared System Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chap. 3, 1969.
- [9] 임정현 외 "PSD를 이용한 거리 측정 장치에서의 배경잡음 제거회로" 특허 출원 중.

저 자 소 개



嚴正鉉 (會員申請中)

1963년 2월 11일생. 1991년 2월 명지대학교 전자공학과(공학사). 1993년 2월 명지대학교 대학원 전자공학과(석사). 1997년 2월 - 현재 명지대학교 전자공학과 박사과정. 연구관심분야는 광계측, 무선통신, 등임



金峻梵 (會員申請中)

1967년 1월 25일생. 1993년 8월 성균관대학교 토목공학과(공학사). 1996년 2월 성균관대학교 대학원 토목공학과(석사). 1996년 3월 - 현재 한국도로공사 도로연구소 연구원. 주관심분야는 포장 유지관리 시스템, 노면 요철 측정, 등임.



朴賢熙 (會員申請中)

1972년 12월 10일생. 1996년 2월 명지대학교 전자공학과(공학사). 1998년 2월 명지대학교 대학원 전자공학과(석사). 연구관심분야는 광계측, 신경회로망, 등임



徐東善 (正會員)

1958년 2월 28일생. 1980년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사). 1985년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과(석사). 1989년 12월 University of New Mexico 전기공학과(박사). 1994년 7월 - 1995년 7월 호주 벨버룬 대학 광자공학연구소 객원연구원. 1990년 3월 - 현재 명지대학교 전자공학과 부교수. 주관심분야는 광통신 시스템, 광자공학, 광계측, 등임.



許 雄 (正會員)

1951년 2월 8일생. 1973년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사). 1985년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과(박사). 1979년 청주대 전자공학과 전임강사. 1989년 8월 - 1990년 8월 일본 동경대학 객원 조교수. 1980년 9월 - 현재 명지대학교 전자공학과 교수. 주관심 분야는 광계측, 의용공학, 정보공학, 등임.



金容坤 (會員申請中)

1964년 10월 22일생. 1987년 2월 서울대학교 토목공학과(공학사). 1989년 2월 서울대학교 대학원 토목공학과(석사). 1993년 12월 University of Texas at Austin 토목공학과(석사). 1997년 8월 University of Texas at Austin 토목공학과(박사). 1997년 10월 - 현재 한국도로공사 도로연구소 책임연구원. 주관심분야는 포장 유지관리 시스템, 포장 평가 및 공용성 조사, 등임