

자동 표고 측정 장치 개발에 관한 연구

A Study on the Development of the Automatic Level Measurement System

김종안*, 김수현*, 곽윤근* (한국과학기술원)

J. A. Kim*, S. H. Kim*, Y. K. Kwak*

* : Dept. of Mechanical Engineering

Korea Advanced Institute of Science and Technology

ABSTRACT

In this research, the automatic level measurement system used in land leveling was developed. By using a laser transmitter and a receiver as measuring equipments, level was measured automatically. The driving part of this system was composed of stepping motor, timing belt and pulley. It drove the laser receiver to track laser beam generated from the laser transmitter.

The level measuring experiments were performed about three level change shapes(step, random, sine). This system could measure step level change of which amplitude was 40mm in 0.5s, random level change within ± 5 mm, maximum measurement error. In case of sine level change, experiment was executed with varying the spatial frequency of level change. As a result, this system was able to measure sine level change of which spatial frequency was $0.5m^{-1}$ accurately.

Key Words : level(표고), laser transmitter(레이저 발신기), laser receiver(레이저 수신기), spatial frequency(공간주파수)

1. 서 론

토목 공사나 농경지의 정리 작업시 많은 경우 작업면의 균평 작업이 요구된다. 특히 비 직과 재배를 위한 경지면의 경우에는 균평 작업의 정밀도가 생산량과 직접 관계되기 때문에 전 경지면에 걸쳐 정밀한 균평 작업이 이루어져야 한다.

균평 작업은 스크레이퍼(scraper)를 이용하여 경지의 표면이 외부에 설치된 레이저 발생 장치에서 나오는 레이저 빔과 평행하도록 경지면을 정리(整地)하는 작업이다.

균평 작업기의 전체적인 구성은 Fig. 1과 같다.

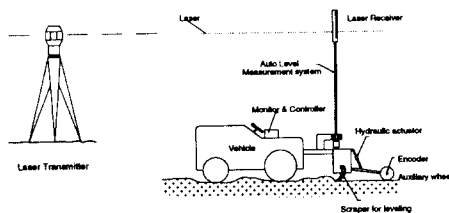


Fig. 1 Level measurement using laser equipment

균평 작업기는 이동 차량의 뒤에 부착되어 균평 작업을 수행하게 되고 경지의 표고를 측정하는 부분, 균평 작업기의 위치를 추정하는 부분, 표고 지도를 작성하는 부분, 스크레이퍼를 작동하여 균평 작업을 수행하는 부분으로 구성되어 있다.

균평 작업을 하기 위해서는 기준이 되는 표고의 설정이 필요하므로 전체 경지의 표고를 일정 간격으로 측정하여 그 값의 평균을 기준 표고로 설정한다. 기준 표고의 설정 후, 현위치의 표고가 이 기준 표고에 비하여 높고 낮은가에 따라 경지면의 깎기 또는 메우기 작업을 하게 된다.

경지의 표고는 Fig. 1과 같이 외부에서 기준 높이가 되는 레이저 빔(laser beam)을 해수면과 평행하게 발생시키고 그것을 레이저 수신기를 이용하여 감지함으로써 측정할 수 있다. 그런데 기존의 레이저 수신기는 수신기의 중심 위치가 기준이 되는 레이저 빔보다 높은지 낮은지 여부만을 감지하여 나타내어 주기 때문에 표고를 측정하기 위해서는 자와 같은 보조 도구를 이용하여 수작업으로 측정하여야 한다. 따라서 넓은 면적의 경지에서의 표고 측정 작업은 대단히 힘든 작업이 될 수 밖에 없을 뿐 아니라 작업의 정밀도도 저하된다.

본 연구에서는 표고의 측정 작업을 자동화하기

위해 제어 장치를 이용하여 레이저 수신기의 중심부가 항상 기준이 되는 레이저 빔을 추종하도록 제어하고 이 때에 발생되는 레이저 수신기의 수직 변위를 측정하여 수치화된 표고값을 얻을 수 있는 자동 표고 측정 장치를 설계하고 제작한다.

2. 설계 및 제작

자동 표고 측정 장치는 수신기를 구동하는 구동부, 레이저 수신기를 고정시키는 수신기 고정부, 그리고 수신기 고정부의 운동을 안내하는 가이드 부분으로 이루어져 있다. 자동 표고 측정 장치의 전체적인 구조는 Fig. 2와 같다.

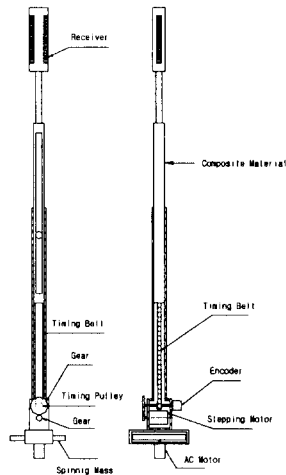


Fig. 2 Structure of automatic level measurement system

자동 표고 측정 장치의 구동부는 스텝핑 모터 (stepping motor), 타이밍 벨트(timing belt)와 풀리(pulley)로 구성되고, 레이저 수신기에서 감지되는 신호에 따라 레이저 수신기의 중심부가 외부에서 발생하는 기준 레이저 빔을 추종하도록 제어할 수 있게 되어 있다. 그리고 타이밍 풀리 축에는 엔코더(encoder)가 부착되어 있어 타이밍 풀리 축의 회전량을 측정하여 표고값을 계산할 수 있다. 제작된 자동 표고 측정 장치의 구동부 모습은 Fig. 3과 같다.

정확한 표고값을 측정하기 위해서는 레이저 수신기가 표고 변화를 빠르게 추종할 수 있어야 한다. 동일한 용량의 스텝핑 모터를 이용하여 보다 빠른 감속과 가속을 하기 위해서는 모터(motor)에 걸리는 관성을 줄일 수 있어야 한다. 제작된 자동 표고 측

정 장치에서는 수신기를 고정시키는 부분을 경량의 복합 재료를 이용하여 제작함으로써 작은 용량의 구동 모터를 사용하면서도 빠른 속도와 높은 정확도로 수직 위치를 추종할 수 있다.

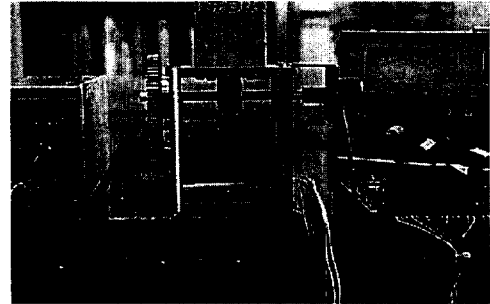


Fig. 3 Driving part of automatic level measurement system

수신기를 상하 방향으로 구동하기 위해서 Oriental Motor사의 Vexta PK268 스텝핑 모터와 SPD4225 2상 스텝핑 모터 구동기가 사용되었다. 모터에서 발생된 토크(torque)는 펄기어를 이용하여 3:1로 증폭되어 타이밍 풀리 축에 전달된다. 두 개의 풀리에는 타이밍 벨트가 걸려 있고 벨트의 한 쪽 면은 수신기를 고정시키는 부분(복합 재료)과 연결되어 있어 풀리의 회전에 따라 수신기가 아래위로 구동될 수 있는 구조이다. 수신기의 구동 범위는 중앙 위치에서 $\pm 30\text{cm}$ 이고 구동 분해능은 스텝핑 모터의 풀스텝(full step) 구동시 0.16mm이다.

표고 측정을 위해서 수신기의 수직 이동 거리를 알아야 하는데 풀리 축과 연결되어 있는 엔코더의 값을 읽어서 거리를 측정할 수 있다. 여기에서 사용된 엔코더의 분해능은 800pulses/rev이다. 이 엔코더를 이용하면 0.1mm 정도의 분해능으로 수신기의 수직 이동 거리 변화를 측정할 수 있다. 제작된 자동 표고 측정 장치의 전체 모습은 Fig. 4와 같다.

Figure. 5는 자동 표고 측정 장치의 전체 구동 시스템에 대한 블럭 다이어그램이다. IBM 486 PC를 주제어기로 사용하고 인터페이스 보드(interface board)를 통해 스텝핑 모터 구동기에 펄스 및 구동 속도, 방향에 대한 명령을 입력해 준다. 또한 레이저 수신기와 엔코더에서 나오는 출력을 디지털 입력 단자와 카운터 입력 단자를 통해서 각각 입력 받게 된다.

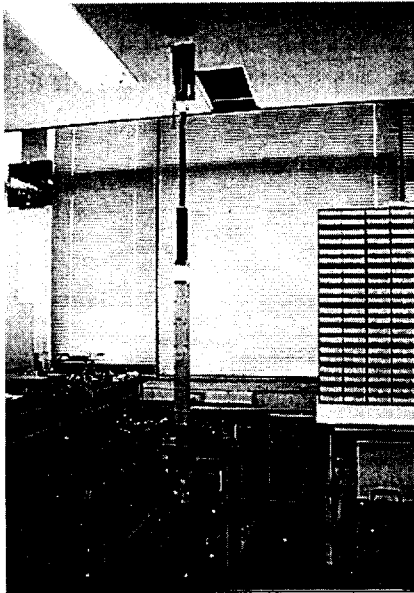


Fig. 4 Automatic level measurement system

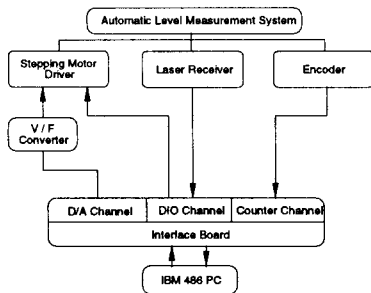


Fig. 5 Schematic block diagram of automatic level measurement system

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 방법

제작된 자동 표고 측정 장치의 표고 측정 성능을 시험하기 위해 다음과 같은 실험을 하였다. 계단 형태, 임의의 형태, 사인(sine) 형태 표고 변화시의 표고 측정 성능을 각각 시험하였다. 실험시의 샘플링 시간(sampling time)은 10ms로 하였다.

표고 측정 장치에 지표의 표고 변화와 유사한 입력력을 넣어 주기 위해서 Fig. 6과 같이 측정 장치를 실험 장치의 회전축에서 일정 거리 L 만큼 오프셋(offset)시켜 고정시킨 뒤 회전축을 중심으로 회전운동을 발생시켜 주었다. 식 (1)을 이용하면 오프셋

된 거리 L 과 엔코더로 측정된 축의 회전량 θ 값으로부터 표고 변화 입력값 d 를 계산할 수 있다.

$$d = L \cdot \sin \theta \quad (1)$$

실험에 사용된 레이저 발신기와 수신기는 각각 Spectra-Physics사의 Laserplane 750과 Grade-Eye RD2S-L이다.

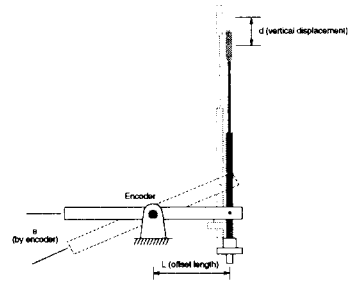


Fig. 6 Schematic diagram of experimental setting for level measurement

3.2 결과 및 고찰

계단 형태 표고 변화 입력시의 표고 측정 실험에서는 40mm 크기의 계단 형태 표고 변화를 입력하고 그 값을 측정하였다. 측정 결과는 Fig. 7과 같다. 결과에서 보면 정확한 값을 측정하기까지의 상승 시간은 약 0.5초 정도로 나타났고 0.5초 가량 시간이 지난 후에는 정확하게 표고를 측정해냄을 알 수 있다. 따라서 표고 측정 장치의 최대 구동 속도는 8cm/sec 정도가 됨을 알 수 있다.

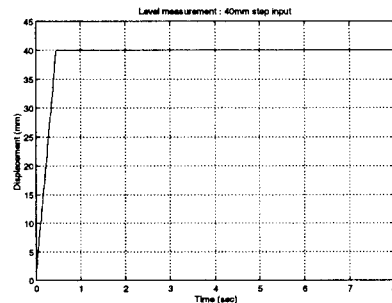


Fig. 7 Measurement of level change in step shape

표고 측정 장치의 구동 속도를 더 높여줄 경우에는 표고값을 정확하게 측정하지 못하고 정확한 표

고값 주위를 진동하는 결과를 나타내게 된다. 그 이유는 표고 측정 장치에 이용된 레이저 발신장치와 수신장치의 샘플링 주기(sampling period)가 100ms로 제한되어 있고 수신장치의 출력이 온-오프(on-off) 형태이기 때문이다. 따라서 구동 속도를 너무 올려주게 되면 정확한 위치에 정지하지 못하고 샘플링 간격 동안에 정확한 위치를 지나쳐 버리게 된다. 이 실험에서는 표고 변화 정도가 크고 작음에 따라 표고 측정 장치의 구동 속도를 조절하여 주는 방법으로 표고 측정 성능을 개선하였다.

임의 형태 표고 변화 입력시의 표고 측정 실험 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 점선은 실제 표고 변화이고 실선은 측정 결과이다. 실험 결과에서 보던 최대 오차 $\pm 5\text{mm}$ 정도의 범위에서 표고를 측정할 수 있음을 알 수 있다. $\pm 5\text{mm}$ 정도의 최대 오차 범위는 경지면의 균평 작업에 이용되기에 적절하다고 생각된다. 이 경우에는 표고 측정 장치의 구동 속도와 샘플링 주기의 제한으로 인해 표고가 급격히 변화할 때 표고 측정 오차값이 크게 발생하는 결과를 나타내었다.

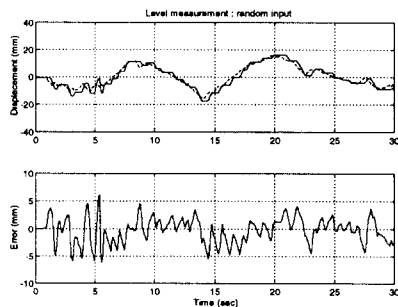


Fig. 8 Measurement of level change in random shape

다음에는 사인 형태의 표고 변화 변화 입력을 넣어주었을 때의 표고 측정 장치의 성능을 시험하였다. 균평 작업시 차량의 진행 속도가 2m/s라 하였을 때 0.05m^{-1} 에서 1.0m^{-1} 까지의 공간 주파수 범위의 표고 변화 입력을 넣어주고 표고를 측정하였다. 표고 변화의 입력 공간 주파수가 각각 0.05m^{-1} , 0.25m^{-1} , 0.5m^{-1} 일때의 측정 결과는 Fig. 9와 같다. 점선은 실제 표고 변화이고 실선은 측정 결과이다.

Figure. 9에서 보면 0.05m^{-1} 와 같이 낮은 공간 주파수의 표고 변화 입력에 대해서는 레이저 수신기의 불감대로 인한 약간의 위상 지연이 있지만 거의 정확한 표고를 측정해낸다. 그러나 0.25m^{-1} , 0.5m^{-1} 로 입력 공간 주파수가 증가하게 되면 위상 지연과 측정 오차가 증가하게 된다.

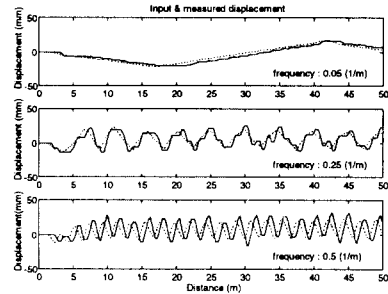


Fig. 9 Measurement of level change in sine shape

Fig. 10은 $0.05\text{m}^{-1} \sim 1.0\text{m}^{-1}$ 범위에서 자동 표고 측정 장치의 보데 선도(bode plot)를 그린 것이다. 0.5m^{-1} 정도까지의 사인 형태 표고 변화는 비교적 정확히 측정하지만 그 이상의 빠른 표고 변화의 경우에는 이득이 감소되고 위상 지연이 크게 증가된다.

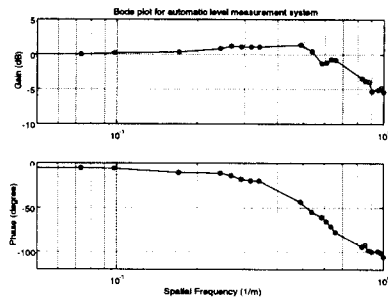


Fig. 10 Bode plot for automatic level measurement system

따라서 제작된 자동 표고 측정 장치의 측정 한계 공간 주파수는 0.5m^{-1} 정도라 할 수 있다. 이 정도의 측정 한계를 가진 자동 표고 측정 시스템은 균평 작업시 차량의 주행 속도가 2m/s 정도의 느린 속도라는 점을 고려했을 때 실제 작업에 적용될 수 있을 것이다. 그러나 보다 빠른 측정 작업에 이용되기 위해서는 구동 속도와 측정 표고 변화 주파수의 한계를 높여 주어야 한다. 이와 같은 문제점은 사용된 레이저 장치의 샘플링 주기가 100ms로 제한된 점과 레이저 수신기가 온-오프 형태의 출력을 내어준다는 점에서 기인되므로 성능의 향상을 위해서는 적합한 레이저 장치의 개발이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 경지 균형 작업시, 기준 표고값 설정과 표고 지도 작성을 위해 수작업으로 이루어지는 표고 측정 작업을 자동화할 수 있는 방법을 제시하였고 레이저를 이용한 자동 표고 측정 장치를 설계, 제작하였다.

제작된 자동 표고 측정 장치를 이용한 표고 측정 실험에서는 계단 형태, 임의 형태, 사인 형태의 표고 변화 입력에 대하여 측정 성능을 실험하였다.

표고 측정 장치의 최대 구동 속도는 약 8cm/s 정도로 측정되었고 사인 형태 표고 변화의 경우에 $0.5m^{-1}$ 정도의 표고 변화 공간 주파수까지 측정할 수 있었다. 실제 균형 작업시의 차량 이동 속도를 고려해 볼 때 이러한 성능의 표고 측정 장치는 실제 균형 작업에 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 김수현, 박윤근, 이대길외 6명, “농업용 다목적 경지 로봇 개발에 관한 연구”, 농촌진흥청, 1996
2. E. O. Doebelin, “Measurement System : Application and Design”, McGraw-Hill, 1990
3. J.L.Fouss and M.Y.Hamdy, “Simulation of a Laser Beam Automatic Depth Control”, Tran. of the ASAE Vol.15, No.4, pp.692-695, 1972