

초음파센서를 이용한 과수 체적(TRV) 측정시스템 개발

Development of a Tree-Row-Volume Measurement System with Ultrasonic Sensor

신범수 김상헌 엄영환
정희원 정희원
B.S.Shin S.H.Kim Y.H.Eom

1. 서론

관행적으로 일반 포장이나 과수원에서의 방제 작업은 방제 대상물의 특성에 관계없이 단 위면적 당 일정량의 농약을 살포하는 방식으로 수행되고 있다. 이러한 방식은 필연적으로 농약을 과다하게 사용하게 하여 작업자 및 주변 환경에 심각한 오염을 초래할 뿐 아니라 생산비를 상승시키는 요인이 될 수 있다. 특히, 과수원 방제 작업은 과수 사이를 주행하며 양 쪽 열에 있는 과수에 대하여 약액을 살포하게 되는데, 작업자가 한 줄을 모두 뿌린 후 선회 시 약액 살포 노즐의 밸브를 닫고 선회한 후 새로운 줄에 진입하여 다시 약액을 살포하기 위하여 밸브를 열어야 하므로 방제기의 노즐 부분의 현재 위치를 파악하기 위하여 수시로 후방을 주시하며 운전 조작을 해야 하므로 충돌 위험성이 있을뿐더러 작업 능률의 저하로 생산성이 떨어지는 것을 피할 수 없다.

정밀 농업을 지향하고 있는 현대의 농업에서는 센서기술을 이용하여 방제 대상물의 특성 및 위치를 정확하게 감지하여 꼭 필요한 양의 농약만을 살포하는 것이 요구되며 동시에 안전성 확보와 생산성 제고를 위한 자동화가 필요한 실정이다. 이미 외국에서는 정밀 방제 기술에 관한 연구가 활발히 추진되고 있으며(Lee 등, 1996), Giles 등(1988)은 과수의 특성을 감지하여 적절한 방제를 함으로써 약 50%의 농약절감 효과를 얻을 수 있다고 보고한 바 있다.

본 연구에서는 방제기의 약액 살포를 자동 제어하기 위한 전 단계로서, 초음파를 이용하여 방제 대상인 과수의 반구 형상의 체적을 감지하기 위하여 세 곳의 높이에서 라인 스캔 방식으로 중심선으로부터 나무가지/잎까지의 길이를 구하여 디지털 데이터로 출력하는 시스템을 개발하여, 인공 과수와 같은 특정 목표물에 대하여 시스템의 성능을 평가하는 것을 연구 목적으로 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 측정시스템

1) 초음파 거리 측정장치

가) Polaroid Ultrasonic Ranging Module

사용한 초음파 센서는 미국 Polaroid 사의 Electrostatic Transducer와 6500 Series Sonar

Ranging Module로서 4.5V ~ 6V 의 직류전원으로 구동되며, 모든 신호는 TTL과 호환되므로 인터페이스의 구성이 용이한 장점이 있다. 본 모듈은 single-echo 모드를 사용하여 가장 가까이에 있는 목표물에 의해 반사되어 나오는 반사파만을 받아들일도록 설정되었다. 외부로부터의 INIT 신호에 의해 16개의 49.9KHz 주기를 갖는 초음파를 발사하며, 발사될 때 초음파 센서가 울려 그것이 반사신호로 감지되지 않도록 초음파 수신기로 하여금 INIT 신호 후 2.38ms 동안은 반사신호를 받지 못하도록 되어 있어 최소 측정거리를 약 40cm로 제한된다. 구동모듈은 초음파 반사신호를 받게 되면 echo 신호를 출력하여 외부의 인터페이스 회로에서 이용할 수 있도록 되어 있다. 즉, INIT 신호와 echo 신호의 시간차가 초음파가 목표물까지 왕복하는데 걸리는 시간이므로 거리를 환산할 수 있게 한다.

본 TRV 측정장치는 모두 6개의 초음파 센서가 사용되므로, 외부에서 INIT 신호를 발생시켜 두 개를 하나의 조로 하여 세조의 초음파 센서와 구동 모듈을 순차적으로 작동되게 하였다. 오실레이터로 구성한 펄스 발생기로부터 10Hz 의 펄스를 만들어 INIT 신호로 사용하였고, INIT 신호가 상위 수준에 있을 때만 초음파 센서가 구동을 하게 되므로 하나의 초음파 센서는 50ms동안만 작동을 하게 된다. 50ms는 초음파가 약 8.5m를 왕복하는 거리로서 측정 가능한 최대거리가 되고 이 때 분해능은 3.4cm 정도이다.

나) 거리 측정 인터페이스 회로

Polaroid 사의 초음파 구동모듈을 이용하여 목표물까지의 거리를 계측하기 위한 인터페이스 회로는 직접 개발하여 사용하였는데 본 연구에서는 컴퓨터의 부하를 최소화하고 또한 컴퓨터 시스템의 유연성을 확보하기 위하여, 각 초음파 센서의 거리 측정은 컴퓨터와는 독립적으로 구동 할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 각 초음파 센서의 구동모듈로부터 INIT 신호와 ECHO 신호를 입력받아 그 시간차를 기지의 주파수를 갖는 펄스로 카운트하여 거리를 8bit 데이터로 전환한 후 8255를 통하여 컴퓨터에 입력할 수 있도록 하였다. 따라서, 프로그램은 필요시 언제나 가장 최근의 거리 데이터를 참조할 수 있게 하였다.

초음파 센서를 구동하기 위하여 구동 모듈로 입력되는 INIT 신호는 동시에 거리 측정 인터페이스 회로로 입력되어 반사신호가 수신될 때까지 걸리는 시간을 측정하기 위한 기준이 된다. 그림 1에서 보는 바와 같이 반전된 echo 신호를 init 신호와 AND 시키게 되면 초음파가 발사되어 다시 센서의 모듈로 돌아올 때까지의 시간을 나타내는 신호를 구할 수 있다. 이 신호의 상승에지를 이용하여 4520으로 구성된 8bit 카운터를 Enable 시키고, 하강에서 카운트를 정지하게 하였다. 따라서 카운터는 주어진 시간 동안 주파수를 갖는 펄스를 카운트함으로써 주어진 시간을 측정할 수 있다. 카운터에 입력되는 클럭 펄스는 5kHz의 주기를 갖게 하여 8bit 카운터가 읽을 수 있는 최대값까지 카운트해도 echo 신호가 들어오지 않는 경우에도 4520 카운터가 overflow 되지 않도록 하였다. 한편, INIT 신호가 상위에서 하위수준으로 떨어지면 한 사이클이 완료되므로 이 신호가 하강할 때 4508에 strobe high 신호를 넣어 4520의 데이터를 받아들여 래치 하게 하였고, 그후에 4520이 reset 되도록 구성하였다. 4520이 reset 되거나 작동하는 동안은 데이터 래치인 4508은 disable 상태에 있어 4508의 출력 단자에는 항상 목표물까지의 거리 데이터가 존재할 수 있게 하였다. 4508

래치 Enable 신호가 하위 수준으로 떨어질 때 약간의 지연시간을 지나 4520 카운터는 리셋되어 새로운 사이클을 준비하게 된다.

초음파 센서는 3개의 높이에 좌우로 설치하게 되므로 두 개의 회로를 하나의 철제 박스에 넣어 모두 3쌍의 초음파 거리 측정장치를 제작하였다.

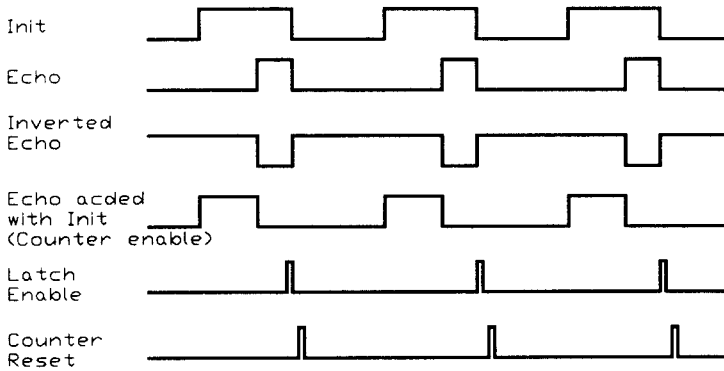


그림 1. 초음파 측정장치에서 거리를 결정하기 위한 카운터 및 래치 작동시간 선도

2) 주행거리 및 속도 측정장치

주행속도 및 주행거리를 계측하기 위한 인터페이스 회로 역시 직접 개발하여 사용하였고, 거리측정장치에서와 같은 논리로 각 주행거리 및 속도 측정은 컴퓨터와는 독립적으로 구동할 수 있도록 하였다. 과수원 방제기의 후륜에 장착된 Rotary encoder(Autronics, 10pulse/rev)로부터 나오는 펄스를 Binary counter인 4040으로 카운트하여 주행거리를 구하였고, 동시에 최하위 bit를 거쳐 나온 신호를 이용하여 그 펄스 폭을 기지의 주파수를 갖는 펄스로 카운트함으로써, 펄스 하나에 대응하는 주행거리에 대한 주행 시간을 구하여 주행속도를 구하였다. 두 데이터는 모두 8bit 데이터로 8255를 통하여 컴퓨터로 입력되도록 하였다. 따라서 제어 프로그램은 필요시 언제나 가장 최근의 주행거리 및 속도 데이터를 참조할 수 있다.

본 주행거리/속도 측정장치가 장착될 방제기 후륜의 원주가 185.4cm이고 Rotary encoder는 1회전당 10개의 펄스를 출력하므로 주행거리 측정시의 분해능은 18.5cm가 된다. 주행속도 측정을 위하여 카운터에 입력되는 클럭 펄스는 500Hz의 주기를 갖게 하였다.

3) TRV 측정장치의 구성 및 프로그램

초음파센서를 이용한 과수의 Tree Raw Volume 측정장치는 6개의 초음파 센서와 구동 모듈, 타켓까지의 거리를 결정하는 디지털 인터페이스 회로로 구성되었으며, 스피드 스프레이어의 주행속도와 주행거리를 측정하기 위해 2개의 encoder, 속도 및 거리를 결정하는 디지털 인터페이스 회로로 구성되었다. 8개의 인터페이스 회로는 8255의 입력포트 9개를 통하

여 컴퓨터로 입력된다. 사용된 컴퓨터는 100Mhz 펜티엄 프로세서가 장착된 CPU 카드 (PCA-6153, Advantech, Taiwan)와 6-slot Node IPC Chassis(IPC-6806S, Advantech), 별도의 외부 입출력 장치 없이 제어 프로그램을 EPROM에 구워 실행시킬 수 있는 Memory card로 구성된 단일 보드 컴퓨터이다. 5V, 12V의 전원으로 구동이 가능하여 스피드 스프레이어의 축전지 전원과 DC-DC converter를 사용하여 시스템을 구동할 수 있게 하였다. 입·출력포트로서 8255의 mode 0을 이용하는 48bit 디지털 I/O card (PCL-731, Advantech) 두개를 단일 보드 컴퓨터에 장착하여, 초음파 거리 측정 데이터 입력을 위하여 8bit port 6개를 할당하고 또한 주행속도 데이터 입력을 위해 8bit port 2개를 할당하며 주행거리 데이터 입력을 위해 8bit port 1개를 할당하여, 데이터를 입력 할 수 있도록 하였다.

측정 프로그램은 후륜에 장착된 로타리엔코더로부터의 펄스신호가 상위 수준에 있는지를 계속 검사하다가 상위 수준에 도달할 때마다 한 번씩 여섯 개의 초음파 센서로부터 과수까지의 거리 데이터를 읽어 오도록 하였다.

나. 실험방법

1) 초음파 거리 측정장치의 성능

초음파 센서 6개 각각에 대하여 인공 목표물까지의 거리를 변화시키며 초음파 거리 측정 장치의 성능을 평가하고 측도 설정을 하였다. 인공 목표물은 높이 200cm, 폭 30cm의 합판으로 초음파 센서에 대하여 직각 방향을 유지하도록 설치하여 거리를 50cm에서 350cm까지 50cm간격으로 이동시키며 3반복을 하여 측도 설정을 하였다.

2) 주행거리 및 속도 측정장치의 성능

실험실에서 로타리엔코더를 부착한 직류모터의 속도를 변화시키며 주행거리 및 속도 측정 장치의 성능을 평가하고, 계산에 의해 주행속도를 2 km/h, 4 km/h, 6km/h에 상응하도록 직류모터를 작동시켜서 장치의 측도설정을 수행하였다.

3) 인공과수에 대한 TRV 측정 성능

TRV측정 실험을 위하여 변속모터와 케이블에 의해 평판이 궤도 위를 주행할 수 있도록 실험장치를 제작하였다. 평판위에 앵글로 프레임을 제작하여 3쌍의 초음파 센서를 부착하였다. 최하위 센서는 지면으로부터 145cm 에 설치하였고 중간 높이 및 최고 높이에 설치한 초음파 센서는 각각 60cm의 간격을 유지하도록 하였다. 인공과수는 프레임과 차양막과 같은 천을 이용하여 원뿔 모양으로 만들어 나무의 중심이 좌측 센서로부터 250cm 위치에 세워 두고 평판의 속도를 0.3m/s로 고정시킨 후 좌측의 센서 3개가 인공과수까지의 거리를 측정할 수 있도록 하였다.

초음파 센서로부터 인공과수까지의 실제 거리는 센서가 설치된 각각의 높이에서 진행방향에 대하여 15cm 간격마다 줄자를 이용하여 측정하였다. TRV 측정 성능은 인공과수에 대하여 측정한 데이터 셀으로부터 정확도와 정밀도를 구하여 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

가. 초음파 거리 측정장치의 성능

각각의 초음파 센서에서 측정된 디지털 값을 아래와 같은 선형 모델에 적용하였을 때, 변환 계수 및 오프셋을 표 1에 나타내었다.

$$Y = \alpha x + \beta$$

여기서, Y = range, cm

x = digital counter output, counts

α = conversion constant, cm/count

β = offset, cm

Table 1. Results from calibration of ranging units with linear regression

| Unit | α | β | r^2 |
|--------------|----------|---------|--------|
| Top Left | 3.51 | 1.92 | 0.9995 |
| Middle Left | 3.48 | 2.21 | 0.9995 |
| Bottom Left | 3.48 | 2.21 | 0.9991 |
| Top Right | 3.49 | 2.14 | 0.9992 |
| Middle Right | 3.46 | 2.10 | 0.9993 |
| Bottom Right | 3.47 | 1.82 | 0.9993 |

각각의 초음파 센서에 대하여 독립적인 변환식을 사용하는 것보다는 전체적으로 하나의 속도 설정식이 바람직하므로 각 센서에 대한 계수들의 평균값으로서 변환계수와 오프셋을 구하여 측정 데이터를 거리로 변환하는데 사용하였다. 속도 설정을 통하여 구한 변환계수 3.48cm/count는 초음파의 속도(343m/sec @ 20°C)와 거리 측정장치의 클럭 펄스의 주기 5kHz로부터 구한 이론적인 변환값 3.43cm/count와 비교하였을 때 약 1.5%의 오차를 나타내었다.

나. 주행거리 및 속도 측정장치의 성능

직류모터를 이용하여 주행속도를 변화시키며 주행거리 및 속도 측정장치의 디지털 출력 값은 표2에 나타내었다. 디지털 펄스수를 주행속도로 변환하는 변환계수는 0.0334 (km/h)/count 이며 오프셋은 7.3604 km/h 로 구해졌으며 이때 R^2 값은 0.9206 이었다.

Table 2. Digital outputs from speed measurement system

| Speed | Theoretical value(count) | Measurement | |
|--------|--------------------------|---------------|----------------|
| | | Mean (counts) | Std. deviation |
| 2 km/h | 165 | 165.3 | 0.456 |
| 4 km/h | 84 | 82.0 | 0.139 |
| 6 km/h | 56 | 54.9 | 0.297 |

다. 인공과수에 대한 TRV 측정 성능

인공 과수에 대하여 TRV를 측정된 결과는 그림 2와 같다. 일반적으로 방제기의 진행 방향에 대하여 인공 과수의 폭(Width)은 약간 넓게 측정되어지며 진행방향에 대하여 직각으로 초음파 센서쪽으로 돌출된 정도(Extension)는 약간 작은 것으로 보여 진다. 초음파 센서의 특성상 초음파는 약 $\pm 9^\circ$ 의 원추 형태로 방사되고 또한 반사수신을 수신하므로, 원추 영역내에 있는 물체에서 가장 먼저 반사되는 신호를 진행 방향의 현재 위치에서 목표물까지의 수직거리라고 간주한다. 따라서, 초음파 센서가 진행방향의 연직 방향에 대하여 아직 과수의 시작점에 도달하지 않았더라도 초음파의 빔폭내에 이미 시작점이 감지될 수 있기 때문에, 그리고 이미 과수의 끝점을 빠져 나간 이후에도 초음파의 빔폭 범위에 과수의 끝점이 감지되고 있기 때문에 과수의 폭이 실제보다 넓은 것으로 측정된다. 센서쪽으로 돌출된 정도에서의 오차는 대체적으로 과수의 반사 특성이 일정치 못한데 따른 오차일 수 있으며 또한 각 센서의 높이에서 실제 거리로서 초음파 센서로부터 인공 과수까지의 거리를 측정할 때의 오차도 포함하고 있기 때문으로 판단된다.

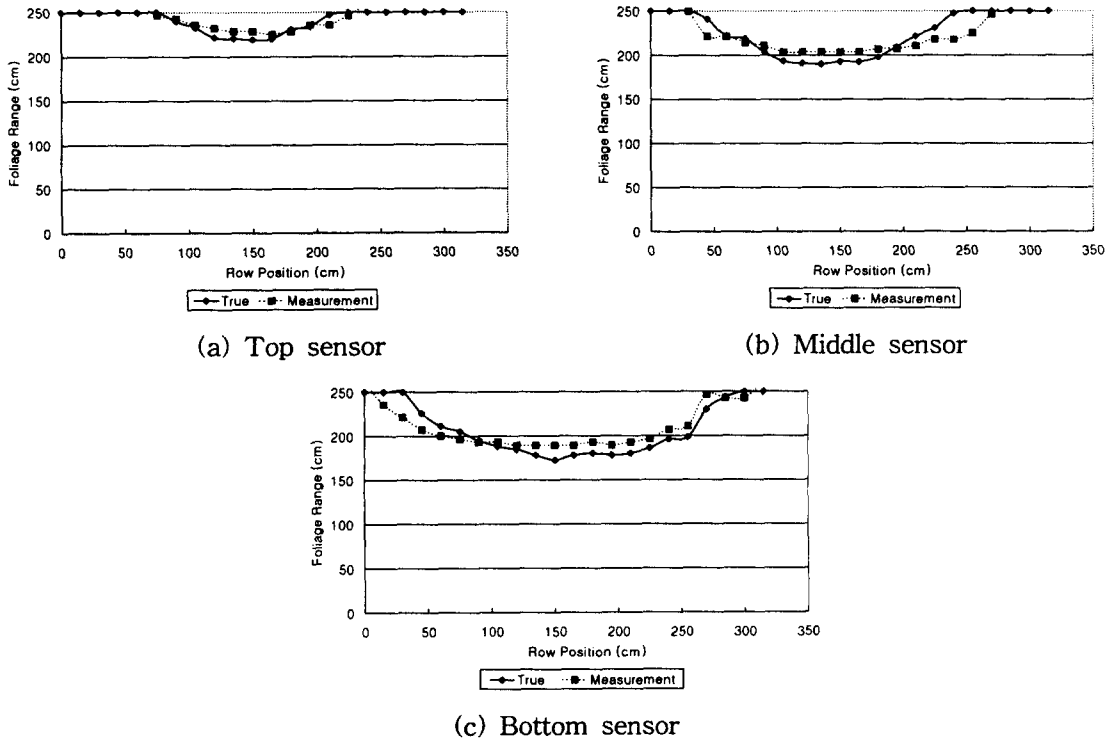


Fig. 2. Artificial tree row profiles from each sensor elevation

표 3은 인공과수에 대한 측정 정확도를 나타낸 것으로 모두 1% 이하의 오차로 비교적 정확하게 인공 과수까지의 거리를 측정할 수 있다고 판단할 수 있다.

측정 장치의 정밀도는 동일한 속도로 2회 반복 실험하여 진행 방향에 따라서 동일한 위

치에서의 두 데이터 셀의 차이를 분석하여 표 4에 나타내었다. 반복간의 상관계수는 0.93 - 0.98로 매우 높은 것으로 나타났으며 센서로부터 인공과수까지의 거리가 멀수록, 즉 가장 위쪽에 있는 센서의 정확도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

Table 3. Measurement accuracy of ranging system

| Sensor position | Dimension | Error*(%) | | | |
|-----------------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| | | Mean | Std.dev | Max | Min |
| Top | Extension | -0.0590 | 0.08 | -0.4286 | -0.0073 |
| | Width | 0.2963 | 0.059 | 0.333 | 0.222 |
| Middle | Extension | -0.0104 | 0.0856 | -0.186 | -0.011 |
| | Width | 0.3131 | 0.1115 | 0.4394 | 0.1364 |
| Bottom | Extension | -0.0195 | 0.0575 | 0.11 | 0.0026 |
| | Width | 0.1385 | 0.0230 | 0.1765 | 0.1176 |

* Error = (measurement - true)/true

Table 4. Precision of ranging system

| Sensor Position | Mean diff. (cm) | Std.dev. (cm) | Correlation Coefficient |
|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| Top | 13.6 | 17.7 | 0.95 |
| Middle | 4.2 | 21.4 | 0.98 |
| Bottom | 1.5 | 18.9 | 0.93 |

4. 요약 및 결론

과수의 체적(TRV)을 측정하기 위하여 초음파 센서를 이용한 측정장치가 개발되었다. 측정장치는 과수 사이를 주행하며 좌우의 과수 열(tree row)에 대하여 진행 방향의 위치와 지면으로부터 145cm, 205cm, 265cm의 높이에서 과수까지의 거리를 측정하는 방식으로 자료수집장치인 컴퓨터와는 독립되어 구동되며 진행 방향에 따른 위치에서 항상 최근의 거리 정보를 제공할 수 있는 시스템이다.

인공과수에 대한 측정 실험 결과 과수의 폭(Width)은 약간 넓게 감지하였으며, 과수의 중심선으로부터 센서까지의 돌출거리(Extension)는 약간 짧게 감지하였으나 정확도에서의 오차는 1% 이하로 나타났다.

5. 참고문헌

- Giles, D.K., M.J. Delwiche and R.B.Dodd. 1988. Electronic Measurement of Tree Canopy Volume. Transaction of ASAE v.31(1)pp.264-272, St. Joshep, MI, USA
- Lee, W.S., D.C.Slaughter, D.K.Giles. 1996. Development of a machine vision system for weed control using precision chemical application. Proceedings of ICAME.pp.802-811