

콤바인 자율주행을 위한 초음파 센서의 적정 높이와 각도 선정

Selection of Appropriate Height and Angle of Ultrasonic Sensor for Autonomous Combine

조성인*	김유용*	김명락*
정회원	정회원	정회원
S. I. Cho	Y. Y. Kim	M. L. Kim

1. 서론

1960년대 이후 계속된 농업 기계화에 대한 노력으로 1997년 현재 콤바인 보급대수는 153,207대로 기계화는 많은 진전을 보여왔으나, 1997년 현재 우리나라 전체 인구에 대한 농업인구는 9.7%이고, 그중 60세 이상의 노령자와 부녀자가 차지하는 비율도 65.5%로 노령화와 부녀화로 인한 농업기계의 비효율적 사용은 농업에서의 노동 생산성을 저하시키는 원인이 되고 있으며, 이러한 추세로 계속될 경우 2001년에는 농업인구가 전체인구의 5.1%로 감소하고 2003년에는 농촌 노임이 10 만원대에 육박할 것으로 전망됐다.

따라서 21세기에는 농업 노동력의 양적 감소와 질적 저하가 더욱 심화될 것이며, 농산물 생산비에 있어서 노동비용의 부담이 더욱 커질 것으로 예상된다. 이러한 농업 노동력의 양적 감소와 질적 저하를 대체하기 위한 수단으로 농업기계의 자동화 및 무인화에 관한 연구가 요구되고 있다.

또한 농업기계는 특성상 노지에서의 작업이 많은 비중을 차지하므로 농업용 차량의 자율주행은 농업기계의 무인화에 반드시 필요한 기술이며, 근래에 들어 컴퓨터, 센서 등의 기반 기술의 발달로 인하여 많은 연구가 진행 중에 있다.

무인자율주행에 가장 널리 쓰이는 GPS(global positioning system)는 DGPS(differential GPS)기법을 이용하여 수 cm 내의 정밀한 위치제어를 할 수 있게 되었으나, 작업도중 급작스러운 돌발상황이나 오차 누적의 잘못된 위치정보로 인한 사고를 대처할 수 없어 이러한 사고를 미연에 방지하는 기술이 요망된다.

본 연구의 목적은 콤바인의 자율주행 중 예상되는 주위의 물체 (특히 덩)를 감지하여 경로 이탈로 인한 만약의 사태에 대비하기 위해 초음파 센서의 장착 높이와 각도, 기체의 진동과 소음 등이 미치는 영향 등을 분석하여 최적의 위치를 선정하는데 있다.

*서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

2. 재료 및 방법

2.1 초음파 센서

2.1.1 작동 원리

초음파는 음향 진동의 일종으로 진동하는 분자와 이웃하는 분자사이의 상호작용에 의하여 매질을 통하여 다른 곳으로 전달되는 사람이 들을 수 없는 20kHz 이상인 높은 주파수의 기계적 음파이다. 초음파 계측의 응용 예로서 그 대표적인 것에 초음파 거리계가 있다. 이것은 초음파의 강한 반사성과 전파 속도의 지연을 효과적으로 이용한 것이다. 이외에도 어군 탐지기, 의료기구, 비파괴검사 등의 광범위한 분야에 이용되고 있다.

초음파는 다른 파장과 마찬가지로 굴절(refraction), 반사(reflection), 산란(scattering), 회절(diffraction), 간섭(intereference), 흡수(absorption) 등의 성질을 가지는데, 거리의 측정에는 이들 중 반사성질을 이용한다. 음속(340 m/s)으로 비행하는 초음파가 측정대상에 반사되어 돌아올 때 발사시간과 도착시간의 차이를 측정하면 거리측정이 가능하다.

초음파를 발생시키는 송신부나, 초음파를 감지할 수 있는 수신부에서 주로 사용되는 방식은 압전효과(piezoelectric effect)를 이용하는 것들이 많다. 그림 1은 압전효과를 설명한 것이다.

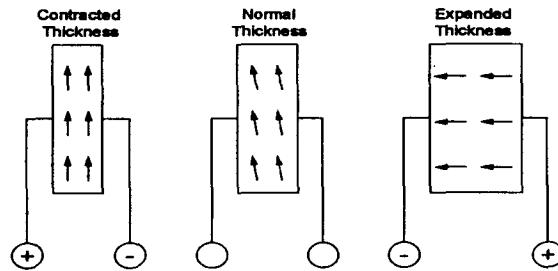


Fig. 1 Piezoelectric effect

그림 1과 같이 분자에 dipole을 가진 결정체에 전압의 방향을 계속해서 바꾸어주면, 결정체가 수축과 팽창을 반복하면서 공기를 규칙적으로 밀어내어 초음파를 발생시키게 된다. 이때, 송신부에서는 전압을 공진 주파수로 걸어주어 매질인 공기에 음압을 발생시키고, 수신부에서는 음압을 받아 이를 다시 전압으로 전환시키는 역할을 한다.

2.1.2 ULTRA-120A

본 연구에서 사용된 초음파 센서는 거리 측정을 위한 반사 일체형으로 미국 Pulsonic사의 ULTRA-120A모델이다. 측정범위는 305mm에서 2540mm까지 측정할수 있으며 그 구체적인 모습과 사양은 그림 2와 표 1과 같다.

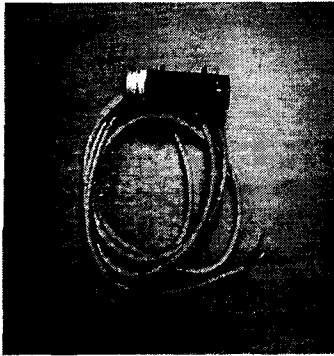


Fig. 2 Ultrasonic sensor

Table 1. Specification of the Ultrasonic Sensor

Name	Pulsonic사의 ULTRA-120A
Range	305 mm ~ 2540 mm
Type	Transmitter and receiver on one body
Frequency	120 KHz
Beam spread	12° ± 2
Resolution	10 bits

2.2 실험방법

초음파 센서의 근접물체(둑, 장애물등)에 대한 감지 능력을 알아보기 위해 우선 콤팩트의 자율주행시 주요 방해요소중의 하나인 둑에 대한 성능 평가를 실시 하였다. 이를 위해 높이 30cm, 폭 10cm, 길이 2m의 둑 모형을 서울대학교 농공학과 종합 실험동내에 설치하여 예비 실험을 하고 그 결과를 바탕으로 실제 필드에서 최종 실험하였다. 초음파 센서의 신호는 Digital multimeter 와 30 kHz의 16채널 A/D 보드를 이용하여 측정하였다. 아래 그림 3과 4는 실험을 위하여 제작된 둑 모형의 개략도이며 그림 5는 진동 실험, 그림 6은 필드 실험 모습이다. 실험을 위한 구체적인 실험 조건은 다음과 같다.

- 1) 정적 상태에서, 센서의 높이를 20cm에서 둑을 감지 할 수 있는 높이까지, 10cm 간격으로, 각도는 5 도 간격으로 측정가능 범위까지 변화시키며 측정하였다.
- 2) 동적 상태에서는 센서를 20 - 110cm 까지 10cm 간격의 높이로, 각도는 0 - 45 도까지 5 도 간격으로 변화시켰다. 모형 차량은 둑에서 각각 40, 60, 80, 100, 120cm의 거리를 유지하면서 직선 주행하였다.
- 3) 센서가 둑에 가까이 다가갈 때를 대비하여 둑에서 120cm의 거리에서 40cm까지 대각선으로 주행하였다.
- 4) 콤팩트의 진동과 소음이 센서에 미치는 영향을 알아보기 위해 가진기를 이용하여 모형 둑으로부터 40cm와 50cm의 거리에서 주파수를 0-100Hz 까지 6 단계로, 또한 연속적으로 변화시키며 실험하였다.
- 5) 필드 실험은 성균관대학교 농업기계사 뒤쪽 노지에서 시행하였으며 높이 25cm, 둑에서의 거리를 40, 60, 80cm로 하여 3m 주행하면서 신호를 획득하였다.

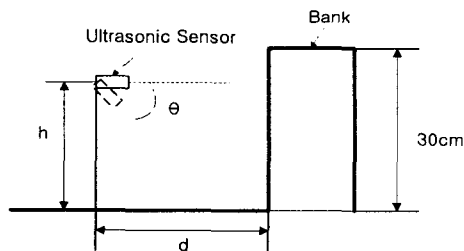


Fig. 3 Shape of ideal bank

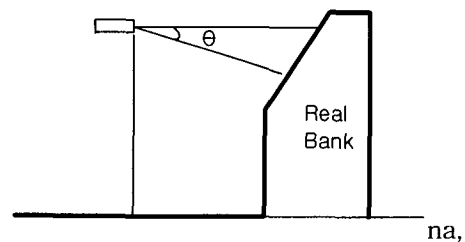


Fig. 4 Shape of real bank

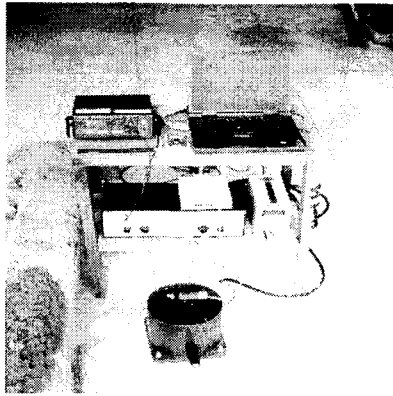


Fig. 5 Experiment of vibration

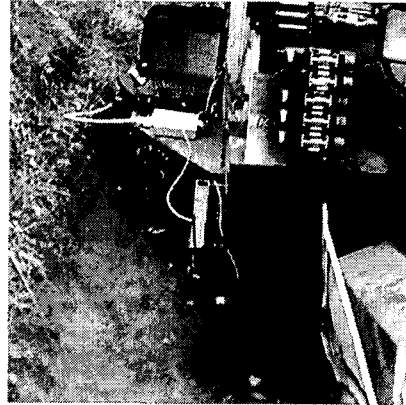


Fig. 6 Field experiment

3. 결과 및 고찰

1) 근접 물체 검출 성능 평가

정적 상태에서의 실험 결과는 그림 7과 같다. 독과의 거리가 40cm 일 때 센서의 높이와 각도에 따른 출력 전압값을 나타낸다. 센서의 출력 전압은 높이와 각도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하며 임계각 이상에서는 초음파 센서가 논독을 검출하는 것이 아니라 지면을 검출함으로써 급작스러운 감소를 나타내었다. 또한 높이에 따라 측정 각도의 범위가 달라 실제 콤팩트에 장착할 경우 높이에 따라 적절한 경사각을 유지해야 한다.

동적 상태에서의 실험은 이상적인 독과 실제 모형의 독에서 실험을 하였으며 독의 형상에 따라 센서의 영향을 알아보기 위해 결과를 비교하였다. 실험 결과는 그림 8과 9에 나타내었다.

각도와 높이에 따라 출력값이 선형적으로 증가하는 이상적인 독의 형상과 달리 실제 논독 형상에 대한 출력 전압은 감소하였다. 대각선 주행에서의 실험 결과는 그림 10 에서 보는 것과 같이 논독으로부터 거리가 가까워짐에 따라 출력값은 선형적으로 감소함을 보여주었으며, 각도의 증가에 따라 출력 전압도 증가되었다.

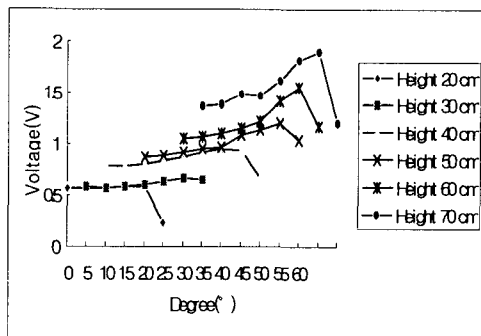


Fig. 7 Output voltage to the bank at 40 cm distance(static)

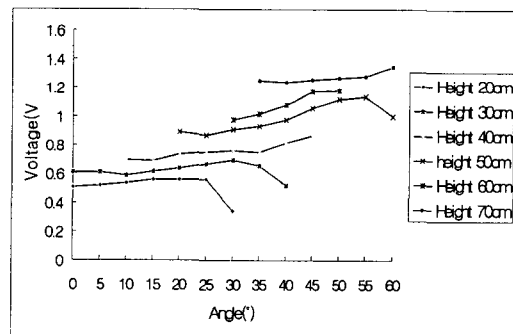


Fig. 8 Output voltage to the ideal bank at 40 cm distance(static)

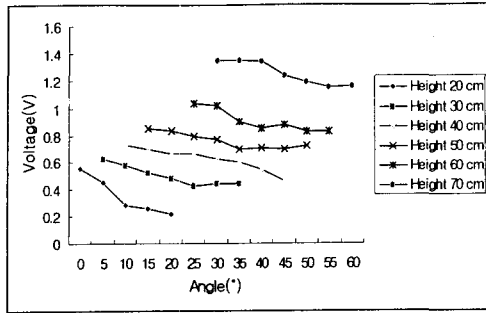


Fig. 9 Output voltage to the typical bank at 40 cm distance(dynamic)

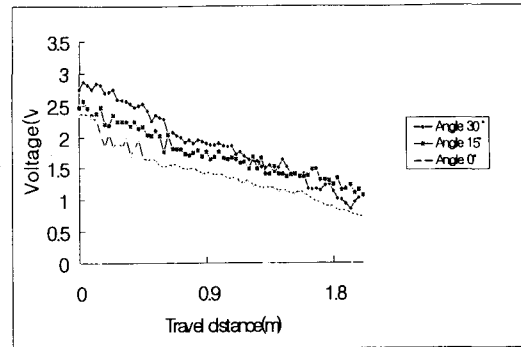


Fig. 10 Diagonal travel from at 120cm to at 40cm distance

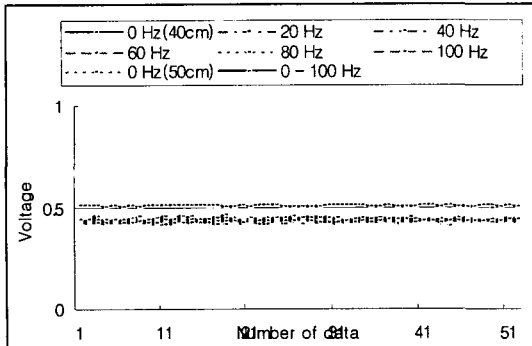


Fig. 11 Influence applying to the sensor by vibration frequency

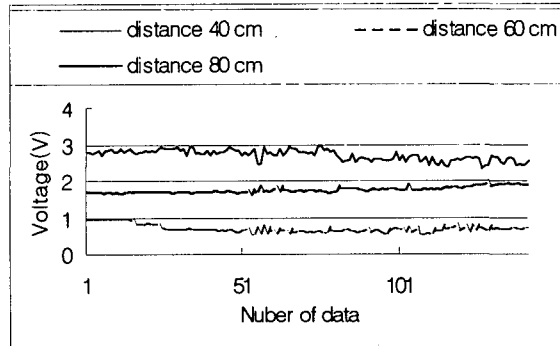


Fig. 12 Output voltage of the field travel at heght 25 cm

그림 11은 진동 실험의 결과로 각 주파수에 따라 나오는 출력 신호와 주파수를 연속적으로 변화시켰을 때 나오는 신호는 무진동 상태에서의 출력값과 거의 구별이 가지 않았으며 CV(coefficient of variance)값이 0.85로 신호들간의 차는 그리 크지 않았다. 필드에서의 주행 시험 결과는 그림 12이며 콤바인에서 발생하는 소음이나 진동 등 주위 환경에도 불구하고 센서는 정확히 득을 잘 감지함을 보여준다. 신호의 형태가 일정하지 않은 것은 득의 불규칙한 형상과 콤바인의 운전 시 정확한 직선 주행을 하지 않아서 생긴 결과이다.

3) 초음파 센서의 장착위치와 방법

일반적으로 콤바인에 의한 벼 수확은 운전석 앞쪽의 사각지대의 영향으로 최소한 득으로부터 디바이더까지 40cm 이상 떨어져야 수확이 가능하다. 보통 모내기는 사람에 의한 손 이양과 이양기를 이용한 기계 이양으로 나눌 수 있는데 대개 기계 이양을 한 후에는 논둑으로부터 일정한 거리의 공간이 확보되기 때문에 콤바인의 자율주행시 초음파 센서에 의한 논둑 검출 범위에 들어가지만 손 이양의 경우 미리 콤바인이 들어가기 위해서는 득을 따라 보통 1-2줄(30-50cm) 정도 배어주어야 한다.

이상과 같은 콤바인에 의한 벼 수확의 특성과 위의 실험 결과를 토대로 초음파 센서의 부착 위치를 구하면 다음과 같다.

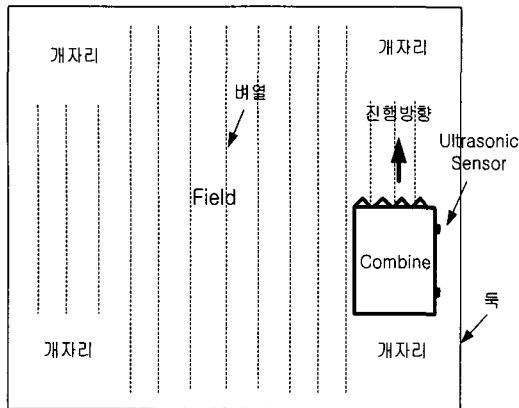


Fig 13. Autonomous combine in the field

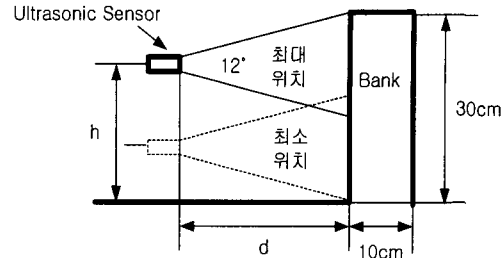


Fig. 14 Appropriate height and angle of the sensor

초음파 센서는 콤바인의 우측 앞쪽과 뒤쪽에 두 개를 부착하여야만 콤바인의 직진 주행 여부를 제어 할 수가 있다. 또한 초음파 센서는 각도 변화에 상당히 민감함으로 안정된 신호를 얻기 위해서는 센서와 독이 수직하게 되도록 해야 하며 $\pm 6^\circ$ 정도의 빔 각도를 고려하면 그림 14 에서와 같이 독에서의 거리 d 를 30-50cm로 조정 하면 장착높이 h 는 최대 25cm에서 최소 5cm 까지로 적당한 장착높이는 최대값인 25cm 정도면 된다.

하지만 지면의 상태에 따라 즉 바위가 심하게 빠지는 조건에서는 그 부분만큼 고려해서 센서의 위치를 정하여야 한다.

4. 요약 및 결론

콤바인의 자율 주행 중 주행 경로로부터의 이탈 및 논둑과의 충돌을 방지하기 위해 콤바인에 부착되는 초음파 센서의 최적의 높이 및 각도는 정적인 상태, 동적인 상태, 그리고 진동과 소음에 의한 영향등을 고려하여 선정되었으며, 구체적인 결과는 다음과 같다.

- 1) 정적 상태에서 센서의 부착높이, 각도, 검출거리의 변화에 따른 출력 전압은 거리와 각도의 증가에 따라 선형적으로 증가함을 보였다.
- 2) 동적 상태에서 센서의 출력전압은 논둑의 형상에 따라 다르므로 초음파 센서를 이용하여 논둑을 검출하기 위해서는 논둑의 형상을 일정하게 유지해야 한다.
- 3) 소음과 진동에 의해 센서에 미치는 영향은 작업 중 콤바인에서 발생하는 최대 음파와 진폭을 고려할 때 무시할 수 있을 것으로 판단되었다.
- 4) 위의 실험 결과에 의하면 무인자율주행 콤바인의 주행경로로부터의 이탈 및 논둑과의 충돌을 방지하기 위해 필요한 초음파 센서는 2개이며, 독으로부터 거리는 30-50 cm이상 유지 해야하며, 부착 높이와 각도는 각각 25cm와 0° 로 선정하였다.
- 5) 본 연구에서 선정한 높이와 각도로 실제 필드에서 주행한 결과 독을 잘 감지하였다.

5. 참고 문헌

1. 이종락. 1997. 초음파와 그 사용법. 세화 출판사
2. 농림수산부. 1995. 농업기계화의 장기전망과 기계화기술 개발 전략.
3. 기노훈, 조성인, 최창현. 1996. 기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행(II) - 실제주행 -. 한국농업기계학회지. Vol. 21(2):175~181.
4. 조성인, 박영식. 2000. DGPS와 기계시각을 이용한 자율주행 콤바인의 개발. 학위논문
5. Bechwith, Marangoni. 1995. Mechanical Measurements. Addison Wesley
6. Kenneth A. Scott T. 1998. Ultrasonic and GPS Measurement of Combine Swath Width. ASAE Meeting Presentation.
7. Tadatoshi SATOW, Keiji MITAMOTO. 1992. Control of Spraying Height with Ultrasonic Sensor for Boom Sprayer. 일본농업기계학회지.