

DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행(II)

- 실제주행 -

Autonomous SpeedSprayer Using DGPS and Fuzzy Control(II)

- Real Operation -

이재훈*	조성인*	이정엽*
정희원	정희원	
J. H. Lee	S. I. Cho	J. Y. Lee

1. 서론

"DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행(I)(조성인 등, 1997)"에서 DGPS와 초음파 센서를 결합한 퍼지제어를 이용하여 스피드스프레이어의 자율주행이 가능함을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 확인하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 스피드스프레이어에 DGPS의 수신기와 초음파 센서를 부착하여 과수원에서 자율주행이 가능하도록 구성하였다. 본 연구의 목적은 스피드스프레이어의 자율주행으로서, 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) DGPS의 신호처리 알고리즘을 이용하여 현재 스피드스프레이어의 위치를 파악한다.
- 2) DGPS 신호와 초음파 센서를 이용하여 주행 경로 및 장애물 탐색 알고리즘을 개발한다.
- 3) 위의 결과를 바탕으로 퍼지제어기를 구성하여 과수원에서 스피드스프레이어의 실제 자율주행이 가능함을 입증한다.

2. 재료 및 방법

2.1 초음파센서

초음파 신호는 퍼지제어기의 입력으로 사용되며 모두 4개가 사용되었다. 초음파센서를 구동하고 거리 측정을 위한 카운터부를 위하여 PCB를 제작하여 실험하였다. 사용된 센서의 제원을 표 1과 같다.

2.2 DGPS 구성

실험에 사용된 GPS 수신기 시스템은 Leica사의 GPS-System 300모델(1996년 제작)로 이 수신기 두 개를 이용하여 DGPS를 구성하였다. 사용한 시스템은 정확도가 4cm이내로 대개의

Table 1. Specification of ultrasonic sensor

Name	Polaroid Ultrasonic Ranging Unit
Range	15 cm ~ 1050 cm
Type	Transmitter and receiver on one body
Frequency	50 KHz
Resolution	1.8 cm

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

경우 2cm 정도의 오차를 보였다. 사용된 수신기는 기본적으로 GPS 센서와 콘트롤러, 그리고 안테나로 구성되어 있으며 실시간 DGPS를 구성하기 위해 라디오모뎀과 라디오모뎀 안테나가 필요하게 된다. 콘트롤러는 Leica사의 CR344 모델을 사용하였으며, GPS 센서는 역시 Leica사의 SR9500 모델을 사용하였다. 라디오모뎀은 SATEL OY(Finland)사의 Sateline 2ASm2를 사용하였는데 모뎀의 전송속도는 4800baud이고 사용주파수는 457.150MHz이며 가시성이 확보되었을 때 12km까지 전송될 수 있다.

DGPS의 이동국을 이용하여 얻은 현재의 위치좌표는 NMEA 0183(National Marine Electronics Association 1083) 포맷으로 RS-232C 직렬 통신을 통해 컴퓨터로 현재의 위치를 전송하게 하였다. 이 현재의 위치좌표와 바로 이전의 위치좌표, 목표지점의 위치좌표를 이용하여 조향각을 구하였으며 이를 퍼지제어기의 입력으로 사용하였다. 조향각은 시뮬레이션에서 구현한 알고리즘을 사용하여 구하였다.

기준국은 과수원내에 위도 $37^{\circ} 15' 35.14567''$, 경도 $126^{\circ} 58' 56.41625''$ 지점에 설치하였다. 수신기 자체에서 지원하는 고정국 설치 알고리즘을 이용하여 약 한 시간동안 위성신호를 수신한 후 자신의 현재 위치를 계산하였다. 고정국 수신기는 실제 자율주행을 실험한 과수원에서 약 50~100m 떨어진 곳에 위치하였다.

2.3 조향장치

스피드스프레이어는 두 개의 레버를 움직이므로써 조향을 한다. 레버의 움직임을 기계적으로 처리하기 위해 유압 시스템을 사용하였다. 그림 1은 본 연구에서 조향을 위해 사용한 유압시스템의 구조로 두 개의 복동 유압실린더, 두 개의 3 port 4 way (closed center type) 방향제어 밸브, 한 개의 릴리이프 밸브(허용압력 : $3 \sim 50 \text{kgf/cm}^2$)와 유압 펌프로 구성되어 있다. 방향제어 밸브는 PC에서 나오는 신호를 이용한 유압 방향 제어를 위해 솔레노이드 밸브를 사용하였다. 솔레노이드 밸브는 미국 Vickers사에서 제작된 것으로 220V, 0.21A로 작동되며, 정격피로압력은 5000psi이다. 이 밸브의 작동에 의하여 실린더가 앞, 뒤로 움직이며 스피드스프레이어의 레버의 기능을 대신하도록 하였다. 유압펌프는 스피드스프레이어에 부착되어 있는 것을 사용하였다. 유압실린더의 구동을 위한 신호는 PC에 내장된 퍼지제어기에서 받게 되며 이를 위하여 입출력 장치는 8255와 SSR(Solid State Relay)을 사용하였다.

2.4 주행실험 방법

시뮬레이션(조성인 등, 1997) 방법과 동일한 방법으로 목표점을 설정하였으며 그림 2는 실

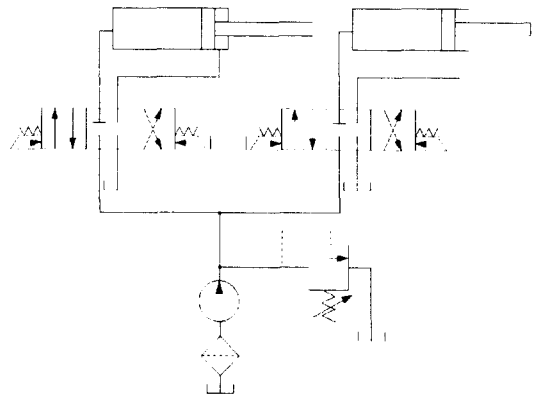


Figure 1. Hydraulic system.

제 과수원에서 설정된 모습과 동일하다. 실제 과수원은 경사가 거의 없었으며, 과수는 배나무로서 평균수령이 17년 정도이고 과수의 높이는 3m내외였다. 과수로 인한 위성신호의 블록킹(blocking)현상을 방지하기 위하여 위성안테나도 3.2m정도 높이로 맞추었다. 조향에 사용되는 유압실린더의 이동시간으로 인해 제어간격은 평균 2초에 한번정도였으며 스피드스프레어의 속도는 시뮬레이션과 같은 저속 1단인 1.6km/hr로 설정하였다.

2.5 주행 성능 평가 방법

시뮬레이션(조성인 등, 1997)에서 설정한 것과 같은 RMS값을 이용하여 주행 성능을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

포장 상태와 실험을 실시한 시간이 미치는 영향을 알아보기 위해 실험은 2차에 걸쳐 실시하였다.

1차 실험은 비교적 지반이 건조한 상태일 때 오후에 실험을 실시하였으며, 2차 실험은 지반에 수분이 많아 슬립이 많이 일어나는 상태일 때 오전에 실험을 실시하였다.

3.1 DGPS수신기를 이용한 목표점 설정

그림 2에서 설정한 총 8개의 목표점을 실제 측정하였다. 목표점은 각각의 위치에서 수신기의 안테나를 설치하고 측정한 위치 좌표를 사용하였다. 각 목표점의 위도와 경도는 표 13과 같으며 표 13에는 이를 평면 좌표로 변환한 값도 함께 나타내었다.

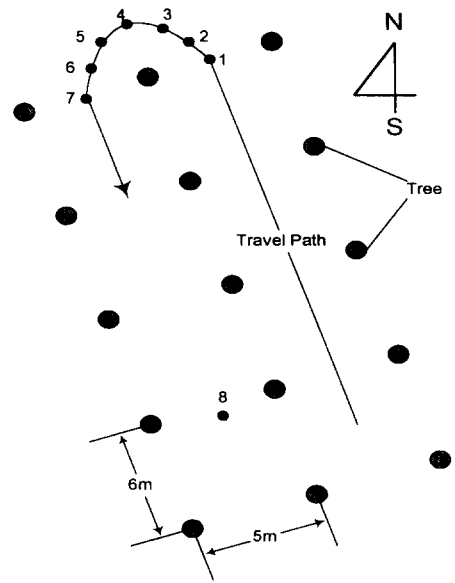


Figure 2. Field shape and target points setup.

Table 2. Target points for the autonomous operation

Target Points	Latitude(N)	Longitude(E)	x coordinate (m)	y coordinate (m)
1	37° 15' 34.74990"	126° 58' 56.18496"	996.197	1392.885
2	37° 15' 35.79941"	126° 58' 56.14036"	997.861	1392.106
3	37° 15' 34.83243"	126° 58' 56.09368"	998.770	1390.696
4	37° 15' 34.83830"	126° 58' 56.06528"	998.965	1389.638
5	37° 15' 35.80021"	126° 58' 56.01865"	998.312	1388.455
6	37° 15' 35.75843"	126° 58' 55.98243"	997.183	1388.104
7	37° 15' 34.71713"	126° 58' 55.99378"	995.066	1388.405
8	37° 15' 34.00705"	126° 58' 56.21233"	989.478	1389.622

3.2 DGPS만을 이용한 자율주행 실험

포장실험은 시뮬레이션에서 사용된 퍼지 귀속도함수와 제어규칙을 사용하였다. 시뮬레이

선과 마찬가지로 스피드스프레이어의 회전시에는 퍼지제어기에서 출력한 제어시간(0~2초)을 2배하여 최종 출력신호로 사용하였다. 이렇게 함으로써 회전시에도 별 무리없이 스피드스프레이어가 회전함을 확인할 수 있었다.

이러한 방식으로 수행한 실험결과는 표 3과 같다. 스피드스프레이어의 뒷 부분 가운데에 막대를 수직방향으로 고정시키고 퍼지제어기에 의한 주행을 한 후, 막대에 의해 생성된 궤적과 이상적인 경로와의 deviation을 측정하였는데 총 주행길이는 41.7m로 직선 주행이 26m, 곡선 주행이 15.7m였다. 직선 주행시는 2m마다 deviation을 측정했고 회전시는 30°마다 deviation을 측정하였다. 실험은 DGPS신호만을 사용하여 수행하였으며 총 10회를 수행하였다. 10회의 실험중 초기 5회는 1차 실험에서 얻은 결과이고 이후 5회는 2차 실험에서 얻은 결과이다. 초기위치는 대략 0, ±10cm, ±20cm의 offset을 주었으며 차량의 방향(heading)은 이상적인 경로와 평행이 되도록 하였다. 그림 3은 1차 실험에서 얻은 주행중의 deviation을 표시한 것이고 그림 4는 2차 실험에서 얻은 주행중의 deviation이다. 그림 3과 4에서 측정지점 10에서 16까지가 회전이 이루어지는 부분이고 나머지는 직선 주행 부분이다. 즉, 1~10까지는 2m간격으로 측정한 직선주행의 deviation

Table 3. Test results with DGPS signal only

Trial	RMS(cm)	Trial	RMS(cm)
1	23.5	6	28.1
2	16.8	7	28.6
3	26.0	8	21.3
4	28.1	9	28.4
5	19.0	10	19.5

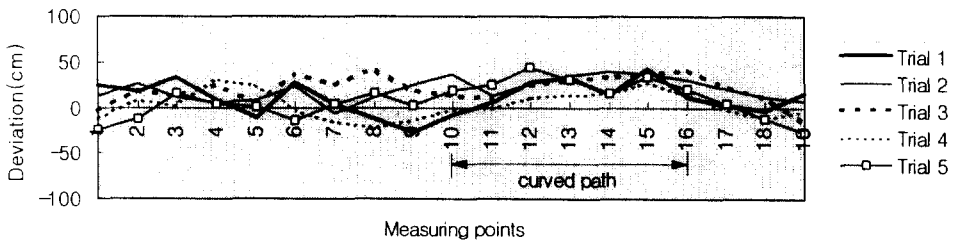


Figure 3. Deviation for autonomous travel with DGPS signal and ultrasonic sensors(1st experiment).

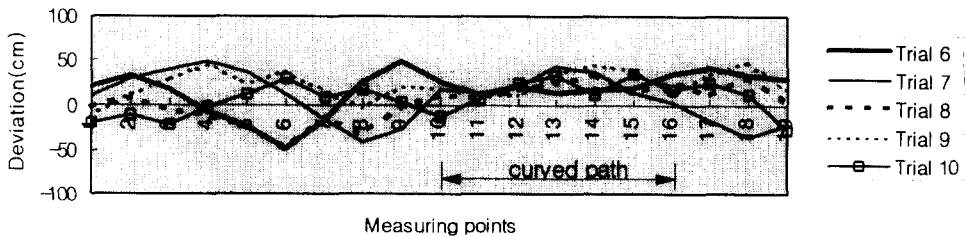


Figure 4. Deviation for autonomous travel with DGPS signal only(2nd experiment).

을 나타내고, 10~16까지는 30° 간격으로 측정된 회전주행시의 deviation을, 그리고 16~19까지는 다시 2m간격으로 측정된 직선주행의 deviation을 나타낸다.

10회의 실험결과 trial 4에서 최대 deviation이 56cm로 조금 높게 나왔다. 이는 직선주행에서 나타난 결과로 직선주행부분에 목표점을 좀 더 설정해 준다면 deviation이 감소되리라고 생각된다. 10회의 결과 모두 RMS 30cm이내이며 그림 3과 4에서 보이듯이 선회부분보다 오히려 직선주행 부분의 오차가 컸는데 이는 선회부분에 목표점을 조밀하게 설정해 주었기 때문으로 생각된다.

또한, 실험을 수행한 시간과 포장의 상태가 실험의 결과에 많은 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 포장의 상태는 수분의 포함정도에 상관없이 지반이 매우 연약지반이기 때문에 슬립정도가 비슷하기 때문으로 판단된다.

5.2.3 DGPS와 초음파센서를 함께 이용한 자율주행 실험

시뮬레이션과 같이 초음파 센서의 영향을 알아보기 위하여 DGPS 신호와 초음파 센서 신호를 모두 사용하여 실험을 수행하였다. 실험은 2차에 걸쳐 5회씩 모두 10회 수행하였으며 이를 표 4에 나타내었다. 또한, 열 번의 실험에서 얻은 주행중의 deviation을 그림 5와 6에 나타내었다.

DGPS와 초음파 센서를 함께 사용한 경우에는 10회의 결과 모두 최대 deviation이 50cm를 넘지 않았고, RMS도 30cm 이내로 목표치에 도달하였다.

포장실험에서 얻은 결과에서 보이듯이 대부분의 경우 최대 deviation이 목표치인 50cm를 넘지 않았고, RMS 값도 시뮬레이션의 결과와 비슷하였다. 회전주행시 대부분의 경우가 설정해준 회전반경보다 작은 곡률반경을 그리며 회전을 하였는데 이는 스피드스프레이어가 목표점에 도달하였는지를 나타내는 문턱값(1.5m)을 비교적 높게 설정해 주었기 때문으로 사료된다.

Table 4. Test results with DGPS signal and ultrasonic sensors

Trial	RMS(cm)	Trial	RMS(cm)
1	20.7	6	28.6
2	23.1	7	23.0
3	25.0	8	19.9
4	15.0	9	25.3
5	20.5	10	21.5

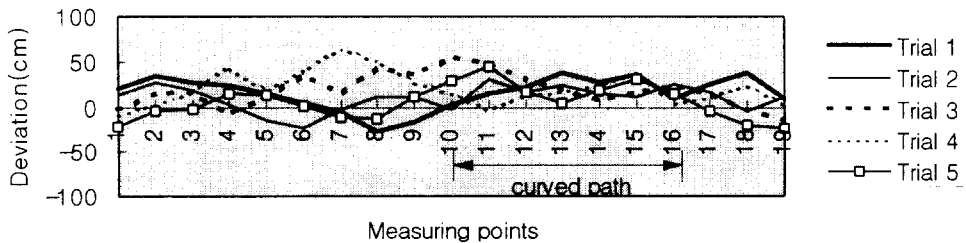


Figure 5. Deviation for autonomous travel with DGPS signal only(1st experiment).

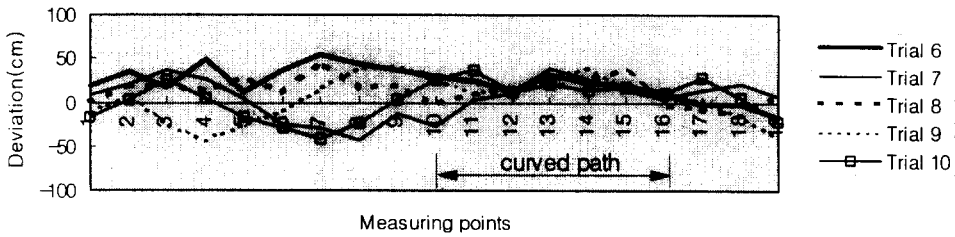


Figure 6. Deviation for autonomous travel with DGPS signal and ultrasonic sensors(2nd experiment).

초음파센서는 주행 성능 향상에 도움을 주지 못한 것으로 생각된다. 이는 엔진에서 발생하는 진동과 소음으로 인한 초음파 센서가 오동작하는 경우와 DGPS 신호가 정밀하여 스피드스프레이가 이상적 경로에서 크게 이탈하지 않았기 때문으로 생각된다.

하지만, 초음파 센서는 DGPS 신호가 문제가 생겼을 경우 스피드스프레이가 과수와 충돌하는 것을 막아 줄 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 과수와 같은 고정 장애물 뿐만 아니라 사람과 같은 이동 장애물의 출현 시에도 차량의 충돌을 막아 줄 수 있을 것으로 기대된다.

이상의 결과에서 DGPS 신호와 초음파 센서 신호를 이용하면 스피드스프레이의 자율주행이 가능함을 알 수 있었다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 스피드스프레이의 자율주행을 위하여 DGPS 신호를 이용한 퍼지제어를 개발하였다. 퍼지제어는 DGPS 신호의 결과인 주행방향과 네 개의 초음파 센서 신호를 입력으로 받고, 유압 실린더의 작동시간을 추론 결과로 가진다. 이를 위하여 DGPS 신호처리 알고리즘을 개발하였고 유압시스템을 구성하였으며, 초음파 센서 모듈을 제작하였다.

미리 결정된 목표점과 현재 DGPS 수신기로부터 받은 좌표점을 이용하여 스피드스프레이의 조향각을 결정하였으며 유압 시스템은 스피드스프레이의 레버에 의한 조향을 대신하기 위하여 두 개의 유압실린더를 사용하였다. 초음파 센서는 차체의 앞에 두 개, 측면 후방에 두 개를 장착하였으며 초음파를 송신한 후 과수에 부딪히고 돌아올 때까지의 펄스 수를 계산하여 그 결과를 이용하였다.

실험은 배 과수원에서 수행하였으며 DGPS신호만으로도 자율주행이 가능함을 알 수 있었다. 한편, DGPS의 정밀도가 좋은 관계로 초음파 센서는 스피드스프레이의 자율주행성을 향상시키는 데는 큰 도움을 주지 못했지만, 초음파 센서를 사용함으로써 스피드스프레이가 주행경로에 장애물이 있을 때나 DGPS의 이상으로 인한 충돌 등을 미연에 방지할 수 있을 것으로 기대되었다.

5. 참고문헌

1. 기노훈, 조성인, 최창현. 1996. 기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레어의 자율주행(Ⅱ) - 실제 주행 -. 한국농업기계학회지 Vol. 21(2):175~181.
2. 조성인, 이재훈, 정선옥. 1997. DGPS와 퍼지제어를 이용한 스피드스프레어의 자율주행(Ⅰ) - 그래픽 시뮬레이션 -. 한국농업기계학회지 Vol. 22(4):487~496.
3. Auernhammer, H., H. Demmel, T. Muhr, J. Rottmeier and K. Wild. 1994. GPS for yield mapping on combines. Computers and Electronics in Agriculture Vol. 11(1):53-68.
4. Blackmore, B. S. and T. Steinhauser. 1993. Intelligent Sensing and Self-Organizing Fuzzy Logic Techniques Used in Agricultural Automation. ASAE Summer Meeting. Paper No. 93-1048.
5. Borgelt, S. C., J. D. Harrison, K. A. Sudduth and S. J. Birrel. 1996. Evaluation of GPS for Application in Precision Agriculture. Applied Engineering in Agriculture, Vol. 12(6) : 633-638.
6. Clark, R. L. and J. W. Worley. 1994. Accuracy of DGPS Position Information from Land Based Moving Vehicles with a C/A Code GPS Receiver. ASAE Winter Meeting. Paper No. 94-3545.
7. Larsen, W. E., G. A. Nielsen and D. A. Tyler. 1994. Precision navigation with GPS. Computers and Electronics in Agriculture Vol. 11(1):85-95
8. Leick, A. 1995. GPS Satellite Surveying. 2nd Ed. Wiley-Interscience publication.
9. Li, Y. and J. N. Wilson. 1994. Development of An Intelligent Steering Control Algorithm for Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance. ASAE Winter Meeting. Paper No. 94-3513.
10. Rupert, C. and R. L. Clark. 1994. Accuracy of DGPS Position Information Point Data with a C/A Code Receiver. ASAE Winter Meeting. Paper No. 94-3546.
11. Stafford, J. V. and B. Ambler. 1994. In-field location using GPS for spatially variable field operations. Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 11(1):23-36
12. Vetter, A. A. 1996. Quantitative Evaluation of DGPS Guidance for Ground-Based Agricultural Applications. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 11(3):459-464.