

# DGPS 및 퍼지제어를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행(I) - 그래픽 시뮬레이션 Autonomous SpeedSprayer Using DGPS and Fuzzy Control ( I ) - Graphic Simulation

조성인\*            이재훈\*            강인성\*  
정회원  
S. I. Cho            J. H. Lee            I. S. Kang

## 1. 서론

WTO 체제 성립 이후 성립된 세계경제의 자유 경쟁 체제 및 우루과이 라운드 협상의 타결은 해외 농산물의 자유로운 국내 유입을 야기시켰다. 외국산 농산물의 국내유입은 아직 영세한 수준인 국내 농업에 큰 타격을 주고 있다. 이런 상황에서 국내 농산물의 경쟁력을 향상시키기 위해 농산물의 품질 향상 및 생산비 절감을 꾀하는 다양한 연구가 진행 중이다. 그 중 농업기계 분야에서는 농업기계의 자동화와 지능화에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있는데 각종 센서와 신경회로망, 퍼지이론 등 인공지능 기술의 응용은 그 좋은 예이다.

농산물의 품질 향상을 위한 여러 첨단 농업 기술과 더불어 생산 과정과 유통 과정에서의 수확 손실이 커다란 문제가 될 수 있다. 수확량의 손실을 방지하기 위한 방법으로는 수확 전 처리와 수확 후 처리가 있으며, 대표적인 수확 전 작업이 방제 작업이다. 방제에 의해 해충의 피해를 없애면 30~35%의 손실을 방지할 수 있다고 한다(Hardi Rama, 1991). 따라서 병충해를 감소시켜 농산물의 품질과 생산성을 향상시키기 위해 효율적인 방제는 매우 중요하다 할 수 있다.

스피드스프레이어는 이와 같은 방제 작업의 효율화를 위해 과수원에서 널리 사용되는 약비살포기계이다. 스피드스프레이어는 자주식과 트랙터 견인식이 있어 작업 조건에 따라 그 선택을 달리 할 수 있다. 그러나 자주식 및 트랙터 견인식 모두 작업자가 외부에 노출되어 있기 때문에 작업 도중 농약을 그대로 흡입하게 되어 건강에 유해한 작업 환경을 갖고 있으며 이는 작업자의 안전에 직접적으로 연결된 문제점이라 할 수 있다. 또한 방제 작업의 경우 노동 투입 시간이 다른 작업보다 상대적으로 크며(41시간/10a), 게다가 방제작업이 주로 6~8월에 이루어지며, 작업시기도 아침 해 뜰 때나 저녁 해 질 무렵의 바람이 적은 때에 이루어지는 관계로 적기성이 있다. 따라서 농민을 농약피해로부터 보호하고 작업환경을 향상시키기 위해서는 무인방제시스템이 필요하다.

이러한 무인방제시스템은 과수원내에 시설물을 설치하는 것과 방제기 자체를 자율주행하게 하는 것으로 나눌 수 있는데 과수원내에 시설물을 설치하는 것은 설치비와 더불어 타작

---

\* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

업에 방해요소가 되는 문제점이 있다. 따라서 현재는 방제기자체를 자율주행하게 하는 시스템의 개발을 목표로 많은 연구가 진행중이며 그러한 목표로 개발된 시스템이 영상처리나 근접센서, 지자기 센서 등을 이용한 자율주행 시스템이다. 그러나 영상처리 기법만을 이용하여 농용차량을 제어한 경우(Li 등, Klassen 등) 오차의 발생이 크고 작업기의 회전은 고려하지 않았으므로 진정한 의미의 자율주행이라고는 할 수 없으며 지자기 센서를 이용한 시스템도 오차가 누적되므로 어느 한계 이상의 자율주행은 불가능하다고 할 수 있다.

이러한 이유로 DGPS의 사용이 신중히 고려되고 있는데 Vetter(1996)는 DGPS를 이용한 농용차량의 자율주행 가능성을 평가하였다. DGPS를 이용하여 주행한 차량을 비디오카메라로 녹화한후 정확도를 분석하였는데 1m이하의 편차로 주행하는 것을 확인하고 방제기의 자율주행 가능성을 제시하였다. 또한, Stafford 등(1994)은 농작업장에서 위치정보 취득에 GPS가 다른 이전의 시스템보다 우수하다는 것을 보이고 필드테스트를 통해 그 응용 가능성을 제시하였으며, 많은 연구자들이 DGPS의 정밀도를 분석하여 그 응용성을 제시하였다(Rex 등, Chad 등, Larsen 등, Borgelt 등). 게다가 항공방제시 DGPS를 이용하면 작업자의 안전과 비용 감소를 도모할 수 있다는 기사도 발표되고 있다(Ardila, 1996).

과수원에서 스피드스프레이어가 자율 주행을 하기 위해서는 주행 경로의 파악이 반드시 필요하며 주행경로의 입력을 적절히 판단하여 스피드스프레이어가 자율주행할 수 있도록 제어기를 설계하여야 한다. 본 논문은 DGPS와 퍼지제어기를 이용하여 스피드스프레이어의 자율주행이 가능함을 시뮬레이션으로 보이는 것을 목적으로 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 1. 자율주행시스템의 구성

DGPS를 이용한 자율주행 시스템의 전체 구성은 그림1과 같다. 스피드스프레이어의 조향은 퍼지제어기가 담당하며, DGPS 수신기로부터 얻어지는 주행방향과 장애물과의 거리를 초음파센서 신호로부터 입력받아 퍼지제어기의 입력으로 사용한다.

### 2. DGPS 수신기의 성능 분석

그림 2는 실제 DGPS 수신기의 수신 신호를 통해 나타난 위치 측정 오차 분포를 보여준다. Borgelt 등(1996)은 실제 DGPS 수신기(Ashtech사의 M-XII)를 분석하여 그림 2와 같이 평면상에 표시하였다. 여기에서는 모두 143개 지점의 위치 정확도를 분석하였는데 표준 편차는 약 0.45m 였다. 본 논문에서는 이와 비슷한 정도의 오차를 가지는 신호 분포를 발생시키는 알고리즘을 개발하였으며 그런 분포를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 보여지는 점들은 난수를 발생시켜 정규분포를 나타내도록 하였으며 시뮬레이션 수행 시마다 그 분포의 모습은 다르게 되도록 하였다. 하지만 표준편차 및 분포 모습은 그림 2와 비슷한 모양이 보인다.

### 3. 시뮬레이션 방법

시뮬레이션을 위해 과수들의 재식분포는 그림 4와 같이 스피드스프레이어의 진행방향을

기준으로 가로 폭은 6m로, 재식간격 5m로 설정하였다. 스피드스프레이어의 속도는 저속 1단이 1.6km/hr로 하였으며 초음파센서는 그림 5와 같이 스피드스프레이어에 장착하였다고 가정하였다.

DGPS를 이용하여 경로를 설정하게 되면 base station을 원점으로 3차원 x, y, z 좌표를 얻을 수 있다. 이때 x와 y의 좌표면을 이용하여 스피드스프레이어가 따라가야 할 주행 경로를 결정할 수 있는데 이것은 (x, y)점들의 집합으로 나타난다. 설정된 점들을 이용하여 스피드스프레이어가 주행할때 DGPS 수신기로부터 받은 현재의 좌표와 바로 이전의 좌표를 이용하여 기체를 조향할 조향각을 결정하게 된다.

본 논문에서는 시뮬레이션을 위해 그림 6과 같이 목표점을 정하였다. 즉 직선 주행시에는 회전하기 시작하는 점을 목표점으로 잡았고, 회전하는 경우에는 30도를 간격으로 목표점을 정하였다. 퍼지제어기는 이 목표점과 DGPS입력인 현재 위치를 가지고 계산된 조향각을 입력받아 적절한 조향을 결정하게 된다. 또한 스피드스프레이어가 목표점에 1m 이내로 접근하게 되면 다음 목표점을 찾을 수 있도록 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

스피드스프레이어의 평가 방법은 이상적인 경로와 퍼지제어에 의한 경로를 비교하여, 그 차이를 RMS값으로 계산하였다.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (deviation)^2}{number\ of\ data}}$$

여기서, deviation : 이상적인 경로와 실제 주행과의 차이  
 number of data : 수집된 데이터의 수

그림 7과 그림 8은 이상적인 경로와 실제 주행 경로와의 차이를 보여준다. 직선주행 시에는 실제주행경로와 이상적인 경로사이의 거리로 deviation을 구하고, 회전시에는 회전 반경의 중심으로부터 실제 주행경로까지의 거리에서 반지름(3m)을 빼서 deviation을 구하였다.

실험은 10회 수행하였으며, 각각의 RMS 값은 표 1과 같다. 실험 결과 이상적인 주행경로와 실제 주행한 경로와의 오차는 RMS값으로 평균 0.34 m 정도로 나타났으며 이 값은 주행 경로폭인 3m에 11% 수준으로 작음을 알 수 있다.

그림 9는 스피드스프레이어의 자율주행을 시뮬레이션한 결과이다. 이 결과는 스피드스프레이어가 과수와 부딪치지 않으면서 이상적인 주행 경로를 따라 자율주행할 수 있음을 보여준다.

### 4. 요약 및 결론

본 논문에서는 DGPS와 퍼지제어기를 이용하여 스피드스프레이어가 자율주행할 수 있음을 시뮬레이션으로 확인하였다. 퍼지제어기의 입력으로는 DGPS 신호와 초음파센서 신호 두 가지가 사용되었는데, DGPS 신호는 주행 경로를, 초음파센서는 장애물과의 거리를 알려준다.

시뮬레이션 결과, DGPS를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행은 기존의 영상처리를 이용한 자율주행의 문제점인 회전시의 어려움을 극복할 수 있었으며, 주행 경로 오차가 RMS 값으로 약 0.34m 정도로 장애물과의 충돌 없이 이상적인 경로와 비슷한 경로로 주행함을 알 수 있었다. 이것은 스피드스프레이어가 실제 과수원에서 자율주행이 가능함을 보여준다.

## 5. 참고문헌

1. 조성인, 기노훈. 1996. 기계시각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레이어의 자율주행(1)-그 래픽 시뮬레이션-. 한국농업기계학회지 vol.21(2): pp 165~172
2. A. A. Vetter. 1996. Quantitative Evaluation of DGPS Guidance for Ground-Based Agricultural Applications. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 11(3). pp 459-464
3. Chad Rupert, Rex L. Clark. 1994. Accuracy of DGPS Position Information Point Data with a C/A Code Receiver. An ASAE Meeting Presentation. Paper No. 94-3546
4. Hardi Rama. 1991. Sprayer and Crop Protection Magazine. USA/CAN
5. Klassen N. D., Wilson R. J., and Wilson J. N. 1994. Guidance Systems for Agricultural Vehicles. Proceedings of XII World Congress on Agricultural Engineering, International Commission of Agricultural Engineering, CIGR. pp 1136-1142.
6. Li, Y. and Wilson, J. N. 1994. Development of An Intelligent Steering Control Algorithm for Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance. ASAE Paper No. 943513, Winter Meeting.
7. Li, Y. and Wilson, J. N. 1994. Simulation Study of A Vision-Based Agricultural Vehicle Guidance System. ASAE Paper No. 943608., Winter Meeting.
8. M. J. Ardila. 1996. An Appealing Alternative : Aerial Guidance over Colombia's Banana Fields. Precision Farming, December. pp 10-15
9. Rex L. Clark, John W. Worley. 1994. Accuracy of DGPS Position Information from Land Based Moving Vehicles with a C/A Code GPS Receiver. An ASAE Meeting Presentation. Paper No. 94-3545
10. S. C Borgelt, J. D. Harrison, K. A. Sudduth, S. J. Birrel. 1996. Evaluation of GPS for Application in Precision Agriculture. Applied Engineering in Agriculture, Vol.12(6) : 633-638
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. pp 23-36
12. W. E. Larsen, G. A. Nielsen, D. A. Tyler. 1994. Precision navigation with GPS. Computers and Electronics in Agriculture 11. pp 85-95

표 1. RMS error values (10 trials)

Trial	RMS Value (cm)	Trial	RMS Value (cm)
1	30.7109	6	39.6282
2	35.3155	7	32.8736
3	31.8032	8	36.9449
4	38.2723	9	30.8608
5	34.6513	10	29.2858

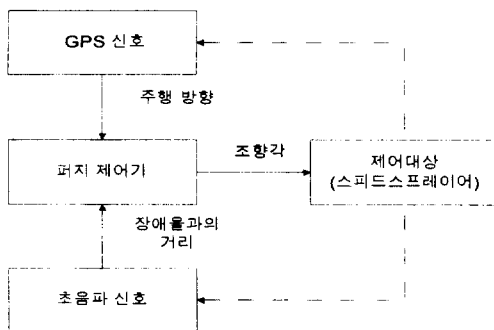


그림 1. A schematic of autonomous navigation system

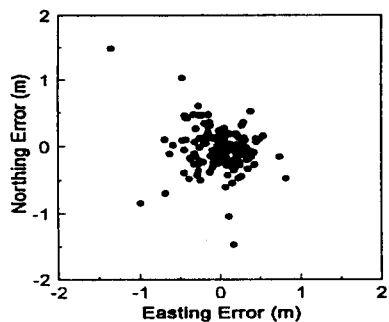


그림 2. DGPS receiver error distribution(Borgelt et al, 1996)

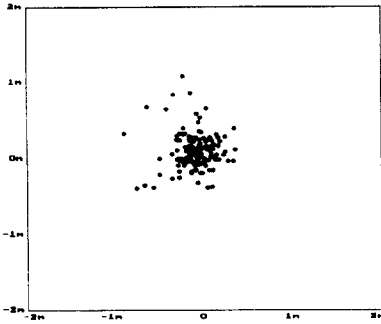


그림 3. Error distribution using computer algorithm

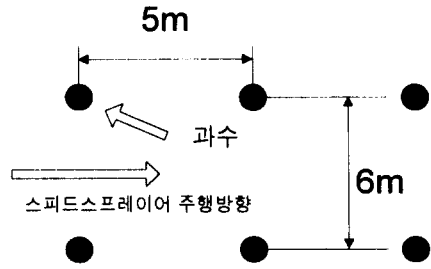


그림 4. Allocation of trees

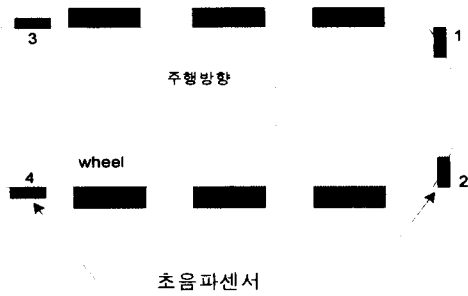


그림 5. Arrangement of ultrasonic sensors

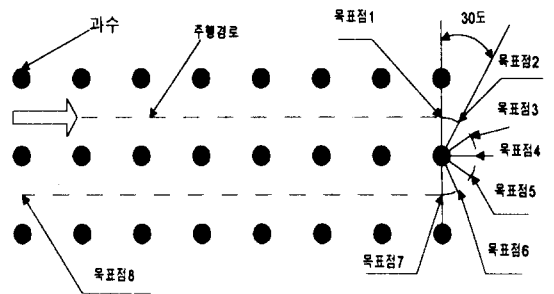


그림 6. Destination points of travel

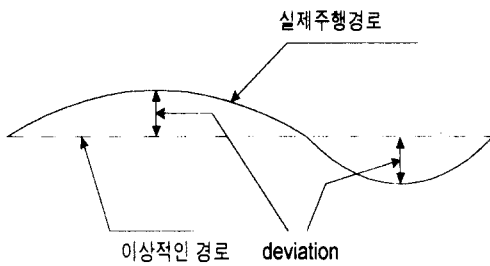


그림 7. Deviation of straight path

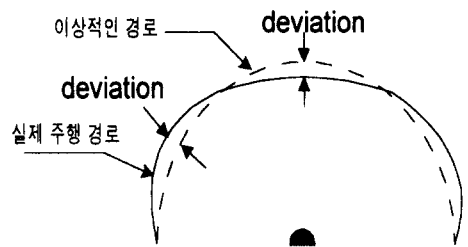


그림 8. Deviation of curved path

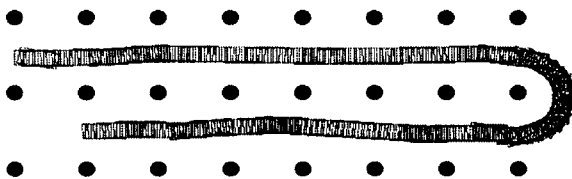


그림 9 Simulation of SpeedSprayer travel