

## 스피드 스프레이어(SS기)를 이용한 자율주행에 관한 연구

\* 심상현\*, 김갑일\*  
\*영지대학교 전기공학과

### A Study on the Autonomous SpeedSprayer

Shang-hyun Shim\*, Kab-Il Kim\*  
\*Dept. of Electrical Eng., Myong ji Univ.  
Email: sshyun@wh.myongji.ac.kr  
kki@wh.myongji.ac.kr

**Abstract** - 본 연구에서는 과수원에서 사용되는 농약 살포용 스피드 스프레이어기(SS기)의 자율주행을 위한 시스템을 개발하였다. 과거의 SS기의 자율주행을 실현한 시스템은 대부분 고가의 장비를 사용하거나 실용성이 결여된 점에 비추어 본 연구에서는 실용가능성에 역점을 두어서 저가의 실용 가능한 시스템을 구성하고자 하였다. 개발된 자율주행 시스템의 특징으로는 1) 하드웨어 시스템을 고성능 프로세서를 이용하여 중앙집중식으로 개발 하였으며 2) 초음파센서의 보정 및 보장을 통해서 오차를 최소화하는 알고리즘을 개발하였으며 3) 현장에서 사용시 진동등의 noise에 강한 robust 시스템을 구성하였으며 4) 자율주행을 제어하기 위해서 퍼지알고리즘을 도입한 지능제어를 실현하였다.

#### 1. 서 론

최근 농산품의 품질 및 수확량 감소를 막기 위하여 약액 살포가 정기적으로 이루어 지고있다. 이는 수확량 증대와 품질 향상을 가져 올 수 있음에도 불구하고 약액 살포과정에서 나오는 인체에 대한 악영향이 심각한 지경이다. 이에 약액 살포가 가능한 자율주행 로봇의 개발이 농업기계 산업에서 많은 관심을 불러일으키고 있다. 민병권등[1]은 초음파 센서를 이용해서 자율주행을 위한 확률지도 작성을 시뮬레이션으로 보였고, 조성인등[2]은 Image processing과 초음파 센서를 이용한 시뮬레이션에서 자율 주행의 가능성을 보였다. 또한 노광모[3]은 자가튜닝 방식의 퍼지적용제어를 시뮬레이션으로 제안하였다. 장익주등[4]도 화상처리를 이용하여 자율주행의 가능성을 보였다. 이외에도 다양한 방법으로의 연구가 활발하게 진행중이다. 그러나 대부분의 연구가 시뮬레이션이고 또는 과거의 SS기의 자율주행을 실현한 시스템은 대부분 고가의 장비를 사용하거나 실용성이 결여된 점에 비추어 본 연구에서는 초음파 센서로만 자율주행이 가능한 시스템을 구성하였다. 본연구는 특히 포도밭에서 자율주행이 가능한 소형 SS기를 개발 하고자 한다. 포도는 재배특성상 보통 폭이 3m미만이고 높이 또한 낮아 사람이 직접 들어가서 작업하기에는 상당한 어려움을 가지고 있다. 폭이 제한되어 있고 작업 공간이 작기 때문에 자율주행에 있어서 보다 정밀해야 하며, 무엇보다도 신뢰성과 안정성이 보장되어야한다. 자율 주행을 위해서는 먼저 궤도가 없이 길을 따라 주행할 수 있는 능력이 있어야 하고 또 장애물에 대한 인식 및 회피 능력이 있어야 한다. 본 연구에서는 과수를 인식하여 거리를 측정함으로써 대략적으로 과수의 중간 길을 지나가면서 장애물을 회피할 수 있는 능력을 지닌 시스템을 구성하고 그 가능성을 실험으로 입증하였다.

#### 2. 본론

##### 2.1 시스템 구성

본 연구에서 사용된 소형 스피드스프레이어는 협소한 작업공간에서 무인 방제가 가능하도록 제작되었으며 포도,

감귤 및 밀식과수 지역에 활용이 가능하다. 공동연구 업체인 (주)한서정공과 협의하여 300ℓ급의 스피드스프레이어를 개발하고, 단일보드 컴퓨터와 I/O용 인터페이스부를 설치할 수 있도록 운전석 옆 공간에 보관 랙을 제작하여 설치하였다. 또한 강원대학교 농업기계공학과와 함께 주행제어를 용이하게 하기 위해 기어 전동방식에서 유압 전동시스템으로 수정된 동력전달체계를 구성하였다. 소형SS기의 자율주행을 수행하기 위해 조향클러치의 단속 및 HST 속도조정을 모터로 조정할 수 있는 구조로 작업기 제어장치를 구성하였다. DC 모터를 이용하여 클러치를 작동하고, HST의 속도를 조정에는 스텝모터를 사용하였다. 초음파 센서는 미국 Polaroid사의 Ultrasonic Ranging System을 사용하였으며 크게 Acoustical Transducer와 6500 Series Sonar Ranging Circuit Board로 구성되어 있다. 초음파 센서는 방향제어에 2개, 약액 제어에 2개를 사용하였다. 본 초음파 센서는 TTL과 호환성이 높아 인터페이스 구성이 용이하고 초음파 특성과 제어 주기에 의해 최소 0.3[m]에서 최대 약 8[m]까지 정확하게 측정할 수 있다. 본 연구에서는 제어기를 80C196KC를 이용한 8-Bit 시스템으로 12V DC Battery를 이용한 단일 전원으로 전체 시스템의 Block Diagram은 그림.1에 보여진다. 초음파 센서는 전후방 두개씩 4개, DC Motor는 좌우 한개씩 2개, 솔레노이드 밸브는 1개의 신호로 3개가 동시에 동작한다

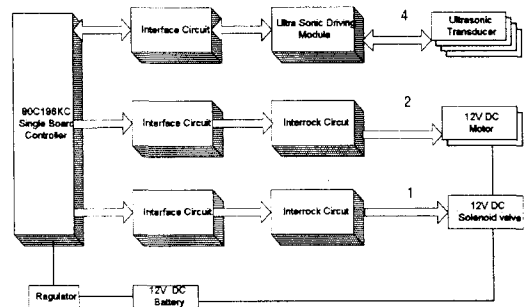


그림. 1 시스템 블럭다이아그램

##### 2.2 SS기의 동작 특성 및 주행 경로 설정

스피드스프레이어의 주행알고리즘은 그림.2의 (a)와 같은 실험 조건에 기반을 두었다. 그림.2의 (a)에서 목표물 사이의 거리는 1m, 주행 경로의 폭은 2m(65cm+75cm(SS기의 폭)+65cm)로 하였다. 초음파 센서의 기본 각도는65°로 하였고 전방의 두개 센선 만으로 방향제어를 하였다. 스피드스프레이어 주행경로의 양쪽에 설치된 목표물까지의 거리를 측정하면 식(1)과 같이 스피드스프레이어로부터 목표물까지의 거

리를 계산한다.

$$S_{\text{측정거리}} = 343.2 \times 400 \times T \times 10^{-9} \text{ [m]} \quad (1)$$

여기서 T는 CPU에 의한 Timer 값이다.

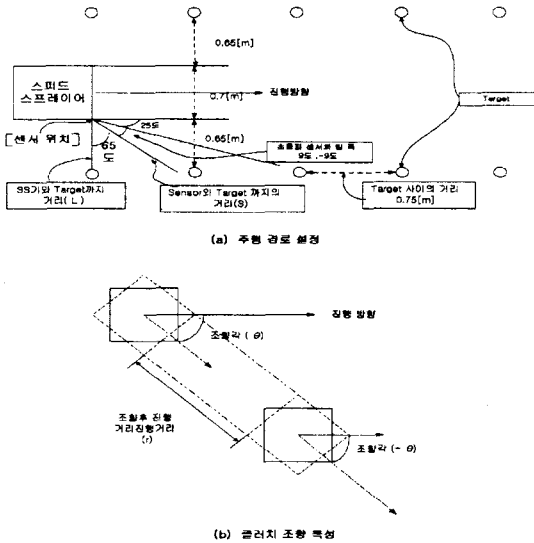


그림.2 주행경로 설정 및 조향 특성

본 연구에서 사용되는 스피드스프레이어는 궤도형 바퀴로서 클러치의 동작으로 방향을 제어한다. 클러치 동작은 12V DC 모터를 사용한다. 스피드스프레이어가 유압 전동 시스템이고 클러치 동작 방식이기 때문에 생기는 특성이 있었다. 첫번째, DC 모터를 동작하여 클러치를 결합 또는 분리하는데 많은 시간이 요구된다. 분리하는데 걸리는 시간을 정확하게 측정 할수 없었고 대략 약 0.450(sec)정도가 소요되었다. 두번째로 실시간으로 반클러치 개념을 응용할수 없다. 세번째로 그림. 2의 (b)를 보면 조향각은 실제로 스피드스프레이어의 위치에는 영향을 주지 않는다. 단지 스피드스프레이어의 자세, 즉 방향에만 영향을 준다. 네번째로 스피드스프레이어의 위치를 결정하는것은 조향후 거리(r)로 부터 결정이 된다. 다섯번째로 조향후 스피드스프레이어의 자세를조향각 만큼 역방향으로 조향하면 조향전 스피드스프레이어의 자세와 일치한다. 위와 같은 특성에 의해 조향후 이동거리 r과 조향각  $\theta$ 은 아래의 식에 의해 구하여진다.

$$r = k_1 \times v(t) \times T_d \quad (2)$$

$$\theta = k_2 \times v(t) \times T_d \quad (3)$$

여기서  $k_1, k_2$ 는 gain,  $T_d, T_d$ 는 Control\_time,  $v(t)$ 는 스피드스프레이어의 속도를 나타낸다. 본 연구에서는 스피드스프레이어의 속도와 조향각을 일정하게 설정하고 실험을 하였으며 단지 조향후 거리 r만을 퍼지 변수로 제어 하였다. 설정 시간은 표. 1과 같다.

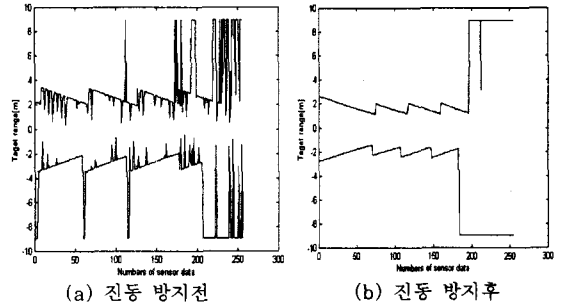
조향 순서	설정시간(sec)	비고
클러치분리	0.45	분리 시간
시간 지연	0.1	조향각( $\theta$ )결정시간 $T_d$
클러치결합	0.45	결합 시간
시간 지연	Fuzzy output	이동거리(r)결정시간 $T_d$

표.1 조향 순서와 제어 시간 설정

### 2.3진동 Noise와 데이터 처리 알고리즘

스피드스프레이어의 진동에 의한 Noise가 초음파 센서와 Control Board에 심각한 영향을 줌을 실험결과 알

수 있었다. 실험에 의한 데이터 진동은 그림.3과 같다. 실험은 그림.2의 (a)와 같은 조건에서 센서 높이를 지면으로부터 1(m)로 하고 상판 위에 센서를 밀착하고 데이터를 받은 경우로서 데이터가 상당히 불규칙하게 나옴을 실험에 의하여 알 수 있다. 그림.3과 같은 조건하에서 스피드스프레이어 상판과 센서사이에서 5cm 두께의 스폰지를 대고 진동을 방지한 경우 센서의 데이터가 그림.4와 같이 상당히 선형적으로 나타남 알 수 있었다.



(a) 진동 방지전 (b) 진동 방지후

그림.3 진동 Noise가 센서에 주는 영향

그러나 이와 같은 진동을 방지하였으나 실제 포도밭과 같은 노지에서서의 경우 진동이 더 심해질 것으로 예상된다. 또한 실제 포도밭에서는 방향제어에 영향을 줄 수 있는 데이터들이 많이 존재하고 있다. 주로 잡초, 불규칙한 포도나무 가지 등이 방향제어에 영향을 줄 수 있다. 이러한 요소들은 실제로 데이터에서 Spike현상으로 나타나며 이러한 것들을 제거하는 것을 데이터 처리 알고리즘의 기본으로 하였다. 진동에 의한 데이터와 실제 방향제어에 필요한 데이터를 구분하기 위하여 데이터 처리부분 알고리즘을 개발하였다. 데이터 처리 알고리즘은 기본적으로 속도를 일정하게 하면 데이터가 들어오는 간격도 일정하다. 즉 이전 데이터와 현재 데이터 사이의 값의 차이가 일정하게 된다. 실험에 의하면 실제 데이터는 일정 속도에서 현재 값과 과거 값의 차이가 일정범위를 만족하게 된다.

즉 데이터 sequence를

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n, \dots$$

데이터 사이의 차이는

$$d_1, d_2, d_3, \dots, d_{n-1}, d_n, \dots$$

이라 하면 이들 사이의 관계는

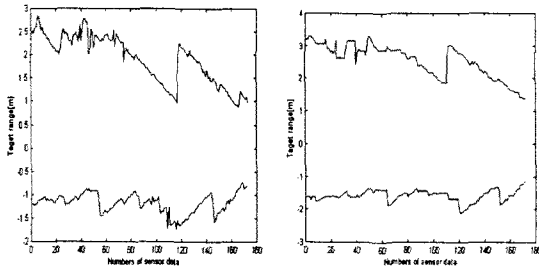
$$|d_n| = x_n - x_{n-1} \quad (4)$$

$$|d_n| \leq \alpha \times |d_{n-1}| \quad (5)$$

의 관계가 있다.

여기서  $\alpha$ 는 상수 값으로서 센서 구동 특성상 생기는 순차적인 신호 발진으로 인한 오차와 Echo 신호로 인한 센서간의 Time Gap(시간 간격)으로 인한 오차, 그리고 센서 고유 특성상 약간의 차이 그리고 센서의 위치, 각도 등에 의해 센서 데이터 사이의 오차를 나타낸다.

식(5)와 같은 알고리즘에 의하여 조건식을 만족하지 않으면 잘못된 데이터로서 현재 값을 과거 값으로 대체하고 조건식을 만족하면 데이터를 현재 데이터로 Update한다. 여기서 여기서 실험 결과 속도 0.3(m/sec)에서  $\alpha$ 는 약 10cm를 정도임을 알수 있었다. 또한 첫번째 데이터가 잘못 났을 경우 그값이 계속 남아 있는것을 방지 하기위하여 4개 데이터 처리후 다시 초기 데이터를 바꾸어 주도록 하였다. 이와 같은 알고리즘에 의하여 실제 그림.4는 실제 포도밭에서 데이터 처리 알고리즘을 적용하지 않은 경우(a)와 적용한 경우(b)이다. 그림.4의 (a)에서 보여지는 Spike현상이 그림.4의 (b)에서 많이 감소됨을 알수 있다. 이러한 데이터 처리 문제는 센서를 추가 시킨다면 많이 개선 될것으로 생각된다.



(a) 알고리즘 적용 전 (b) 알고리즘 적용 후  
그림.4 포도밭에서의 초음파 센서 데이터

### 2.3 퍼지 제어기

본 연구에서 사용된 퍼지제어기(FLC)의 구조는 일반적으로 사용되는 것으로서 그림.5와 같다. 먼저 초음파 센서로부터 나온 데이터는 데이터 처리 루틴을 거쳐 좌우 센서간의 차이 Error를 아래 식(6)에 의하여 검출한다.

$$Error = S_L - S_R \quad (6)$$

양쪽 목표물에 대하여 각각의 거리  $S_L$  및  $S_R$ 로 구하여 두 값을 비교하여 Error=0 이면, 조향 클러치를 작동시킬 필요가 없고, Error > 0 이면 이면 차체가 오른쪽으로 치우친 상태이므로 왼쪽 클러치 제어용 DC 모터를 동작시키고, Error < 0 이면 차체가 왼쪽으로 치우진 경우이므로 오른쪽 클러치 제어용 DC 모터를 동작시켜야 한다. 검출된 Error를 퍼지 입력 변수로 사용하였다. 각 입력 변수와 출력 변수에 대한 멤버십 함수는 그림.6과 같다. 본 연구에서는 스피드스프레어의 자세는 고려하지 않았고 단지 가상 중앙선으로 부터의 위치만을 고려하였다. 또한 Error의 범위가 중앙선으로부터 좌우 20[cm]이내를 만족하도록 하였다.

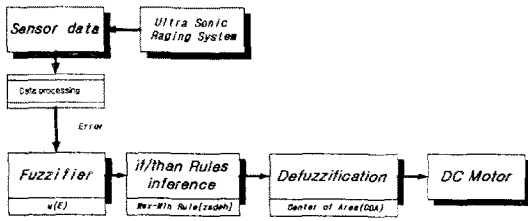


그림.5 퍼지 제어기의 구조

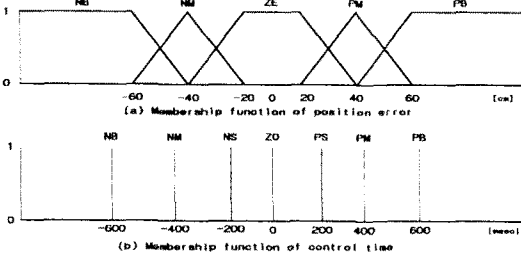


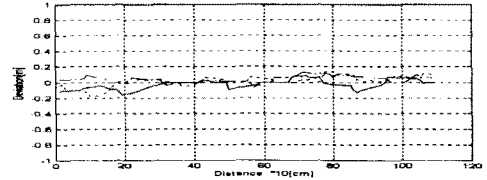
그림.6 퍼지 멤버십 함수

Error는 퍼지화 과정을 통해서 적합도  $u(E)$ 를 생성한다. 퍼지추론 부로는 일반적으로 사용되는 Max-Min 규칙을 사용하였다. 비퍼지화 과정으로는 무게중심법(COA)으로 식(7)을 사용하였다.

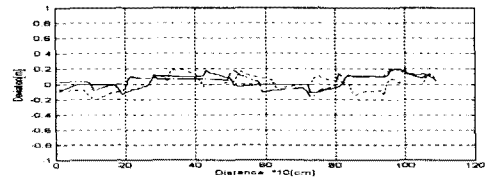
$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^n u_i u_{out}(u_i)}{\sum_{i=1}^n u_{out}(u_i)} \quad (7)$$

여기서  $u_i$ 는 적합도이고,  $u_{out}(u_i)$ 은 퍼지 출력값,  $u^*$ 는 퍼지 출력값에 대한 실제 크리스프한 출력값을 나타낸다. 위와 같은 알고리즘을 바탕으로 주행 실험을 실행

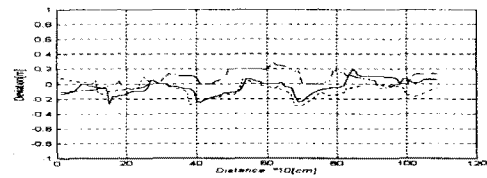
하였다. 결과는 그림.7과 같다. 주행 실험은 속도를 3가지로 (a) 0.3[m/sec], (b) 0.4[m/sec], (c) 0.5[m/sec]에 대하여 실행하였다. 실험 조건은 그림.2와 같으며 스피드스프레어의 제척을 10[cm]마다 표기하는 방식으로 하였다. 주행거리는 11[m]로 하였다. 실험 결과 주행 속도가 방향제어에 미치는 영향이 크게 나타남을 알 수 있으며 주행 속도가 0.4[m/sec]까지는 허용 오차 안에 들어 오를 알 수 있었다.



(a) 주행 속도 0.3(m/sec)



(b) 주행 속도 0.4(m/sec)



(c) 주행 속도 0.5(m/sec)

그림.7 스피드스프레어의 자율주행 Deviation

### 3. 결 론

본 연구에서는 전방 초음파 센서 두 개로만 방향제어를 하는 것에 중심을 두었다. 실험 결과 기본적인 초음파 센서만 가지고 방향제어의 가능성을 볼 수 있었다. 앞으로 데이터 처리를 위한 초음파 센서의 추가와 알고리즘의 보안이 필요하며, 스피드스프레어의 자세와 속도를 검출하여 퍼지 입력 변수로 사용 퍼지제어를 구현 하면 더 많은 성능 개선이 기대 된다.

※본 논문은 농림부에서 시행한 농림특정연구사업의 지원으로 연구되었음

### [참 고 문 헌]

- [1]조성인의, "기계식각과 퍼지논리를 이용한 스피드스프레어의 자율주행 (I)", 한국농업기계학회지, 21(2) 167-174, 1996.
- [2]민병권의, "자율이동로봇의 위치불확실성을 고려한 초음파 지도작성", 대한기계학회, 93년도 춘계학회대회논문집 (I), 262-266, 1993.
- [3]노광모, "농용트랙터의 자동조향을 위한 퍼지제어와 적응제어의 비교", 한국농업기계학회지 21(3), 283-292, 1996.
- [4]장익주의, "무인스피드스프레어의 개발 (I)", 한국농업기계학회지, 20(3), 226-235, 1995
- [5]Chin-Teng Lin and C.S.George Lee, "Neural Fuzzy Systems", P-H. USA, pp.142-177, 1996