



이는 작업자가 농작업에만 전념함으로써 작업시간을 감소시키는 수단이 될 뿐만 아니라 노동 집약적 중노동에 의한 피로 또한 감소시키는 결과를 가져오며, 궁극적으로 저비용 고효율의 생산성 향상과 고품질의 작물을 생산할 수 있어 국제경쟁력 향상을 도모할 수 있으리라 사료된다.

현재 국내에는 농작업자 추종운반차 및 레일 위를 주행하며 이동하는 작업차가 외국에서 들어오거나 개발되어 있다. 그러나 이는 농작업자가 직접 이동을 하거나 레일을 새로 설치하여야 하는 번거로움과 시설투자가 필요하기에 노동생력화의 목적에 부합하는 원인이 된다.

본 연구는 시설농업에서 작업자를 대신하여 고랑이나 작물 사이를 자유로이 주행하며 농작물의 운반 및 이동을 수행할 수 있는 지능형 이동 로봇 시스템을 개발하는데 있어서, 먼저 그동안 연구된 사항 중 시설농업에 적용 가능한 자율주행 관련 연구들을 분석하여 그 설계 형태 및 문제점 등을 파악하여 앞으로 개발될 로봇 시스템의 설계 기준을 제시하는데 본 연구의 목적이 있으며, 그 구체적인 연구목적은 다음과 같다.

- (1) 국내의 시설농업에 사용되는 운반차에 대해 알아보고,
- (2) 국내의 시설농업에 적용가능한 자율주행 알고리즘을 분석하여,
- (3) 향후 개발될 로봇 시스템의 설계기준을 제시한다.

## 2. 농작업용 자율주행 및 운반차 연구동향

본 연구에서는 시설투자에 있어서 가격대비 면에서 경쟁력이 약하고 실제 적용하기에는 무리가 따르는 이미지 프로세싱, GPS 및 원격제어 등에 의한 자율주행은 제외하였다.

### 가. 국외

小島(1975)는 비닐 하우스 내에서 이동이 가능한 운반전용 궤도식 축전지차를 개발하였다. 타임릴레이 회로를 이용하여 자동 정지와 자동 발진을 할 수 있도록 하였으며, 특히 정지시간의 제어는 회로 중의 저항을 8단계로 변화시켜 30 ~ 150 초까지 제어할 수 있도록 하였다. 주행 정지시간의 제어는 작업자의 보행속도(오이 0.04 ~ 0.07 m/s, 피망 0.02 ~ 0.04 m/s)가 매우 늦어 감속이나 기계 손실 등의 이유 때문에 주행 시간을 5초, 주행거리를 1.5 ~ 2.0 m로 한 정지시간을 설정함으로써 주행 정지를 반복하는 방식을 선택하도록 하였다.

大下(1989) 등은 초음파 근접 스위치 및 좌우측의 장애물 검출판 등을 이용하여 작물의 위치 및 줄을 검출하여 고랑을 주행할 수 있는 무인 관리기를 개발하였다. 이 무인 관리기는 구동륜과 조향륜으로 나뉘며, 제어부는 Z80 단일 보드, 입출력보드, 서보 모터 시스템, 검출 센서 등으로 구성하였다.

大塚(1990) 등은 농작업시 작업자를 추종하며 파트너로서 농작업을 수행할 수 있는 지능형 축전지차를 개발하였다. 3개의 주행모드를 설정할 수 있게 하였으며, 특히 추종모드의 경우 차의 앞뒤에 붙어있는 광전스위치를 이용하여 작업자를 따라가도록 하고, 차의 반응시간을

조절하여 작업속도에 맞게 차가 이동하도록 하였다.

Noguchi(1997) 등은 뉴럴네트워크(NN)에 의한 높은 학습능력을 갖고 있는 비선형 농업용 이동 로봇 시스템을 개발하였다. NN의 입력값으로써는 조향각, 조향각변환값, x, y 방향의 속도, yawing 비율 등이며, 출력값으로써는 x, y 방향의 값, yawing 비율이다. NN 모델은 0.08m 정도의 굴곡이 있는 아스팔트에 적용시켰다. 또한 유전 알고리즘을 이용하여 최적 작업루틴을 따라 이동하도록 하였다. 여기서 NN은 차량의 기울어짐을 위해 지자기방향 센서를 정정하는데 사용되었다. 노지 테스트는 목초지에서 수행하였으며 40m의 정방향 사각형을 이동하도록 하였다. 이전의 방법으로는 14°의 방향에러가 발생했지만 NN을 이용한 결과 단지 1° 정도의 오차를 보였다.

Toda(1993, 1999) 등은 음파탐지기를 이용하여 작물의 열을 찾아 주행할 수 있는 퍼지 로직에 기반을 둔 주행 방법을 이용한 농업용 자율주행 로봇을 개발하였다. 0.05m 간격으로 10개의 초음파 센서를 부착하여 작물을 검출할 수 있도록 하였다. 조향 방법은 각각 2개씩인 앞, 뒤 바퀴들이 서로 반대방향으로 각도를 조절함으로써 조향할 수 있도록 퍼지로직 제어방법을 사용하였다. 위치에러는 0.012m, 2.4° 이내로 나타났다.

## 나. 국내

이(1997)는 온실의 고랑을 따라 자율주행을 할 수 있는 배터리를 이용한 온실용 간이 자율주행 작업차를 개발하였다. 이는 DC 모터 2개를 전륜 구동륜에 각각 장착하고 후륜은 방향이 자유로운 캐스터를 이용하여 방향을 조절할 수 있도록 하였다. 좌우 구동 차륜은 독립적으로 구동하고 이들의 속도 차를 이용하여 조향하는 방식을 채택했다. 고랑은 차체의 기울어짐 정도를 감지할 수 있는 센서를 부착하여 이 센서의 출력 신호에 의해 차량이 고랑을 벗어났는지의 여부를 판단할 수 있도록 하였다. 연속 주행시 약 5시간 정도 사용이 가능하였으며, 콘크리트 및 노지에서 동일하게 하중 변화에 관계없이 0 ~ 0.7 m/s의 범위에서 제어되었다.

권(2002) 등은 온실 등에서 농산물의 수확작업이나 모종 이식 작업시 수확물이나 재료 등을 싣고 운반하는 경우 작업자와 일정 간격을 유지하면서 작업자를 추종하거나 앞서가면서 이동하는 배터리를 이용한 운반용 차량을 개발하였다. 이는 DC 모터 2개를 이용하여 전륜은 조향을 담당하도록 하고 후륜은 구동을 담당하도록 구성하였다. 작업자 및 장애물을 인식할 수 있는 센서를 부착하여 작업자와 일정거리를 두고 선행, 추종 할 수 있도록 하였으며 고랑이나 벽 사이를 지나며 농작물이나 벽과의 충돌을 방지하도록 하였다. 주행속도는 운반작업시 0.3 m/s, 작업 후 이동시 0.8 m/s를 유지하도록 하였다.

김(1997) 등은 방제작업시 작업자의 농약피해를 최소화하기 위하여 살포된 농약에의 직접 노출을 완전히 배제하고 시설 및 장치형 방제장치의 단점인 고정식 시설화로 인한 시설 및 설치비의 상

Table 1 The contrast of autonomous vehicle developed in-and-out of state

Researcher	direction changing type	travelling type	purpose	characteristics
小島 등	구동륜 독립	케 도 식	운반, 이동	자동 정지, 발진
大下 등	조향륜	물체 인식법	운반, 이동	고랑 이동
大塚 등	조향륜	물체 인식법	운반, 이동	작업자 추종
Noguchi 등	조향륜	물체 인식법	운반, 이동	지능, 작업자 추종
Toda 등	전후륜 동시	물체 인식법	운반, 이동	지능, 전후륜 동시 조향
이	구동륜 독립	경사 탐지법	운반, 이동	고랑 이동
권 등	조향륜	물체 인식법	운반, 이동	작업자 추종
김 등	구동륜 독립	유도 경로법	방 제	무인 방제

승을 최소화 하기 위하여 고정식을 탈피하여 단위 방제기로서 여러 하우스를 방제 작업할 수 있도록 무인 자동 방제기를 개발하였다. 이는 본체가 고랑을 따라 주행하고 고랑과 고랑 사이를 무인으로 가능하게 하기 위해 유도 케이블을 이용한 고정 경로 방식을 사용하였다. 기존 방제기의 경로이탈로 인한 전복 등의 사고를 배제하기 위하여 각 고랑 중심과 고랑 사이에 유도 케이블을 설치하여 본체가 유도케이블을 따라 주행하도록 하였다. 본체 하부에 장착되어 있는 4개의 유도센서가 이동시 유도케이블의 중심을 따라 유도 전압의 차가 0 상태가 유지되도록 하였다. 후륜인 구동륜 2개에 각각 모터를 연결하여 조향할 수 있도록 하였다. 연속 주행 시간은 5시간 정도였으며, 주행속도는 0.4 ~ 0.5 m/s 를 유지하였다.

표 1에 국내외에서 개발된 자율주행 및 운반차에 대한 비교를 나타내었다.

### 3. 경로 추적 알고리즘 연구동향

이동로봇에서 현재의 임의 위치 및 자세에서 필요한 로봇의 자세를 유지하면서 원하는 위치로 이동하는 동작을 호밍(homing) 또는 도킹(docking) 동작이라 한다. 호밍 동작을 수행하기 위해서는 로봇의 현재 위치로부터 목표 위치까지의 경로를 추적하여 계획하는 작업이 필요하다.

경로추적(path tracking) 또는 경로계획(path planning)은 이동로봇의 항법에서 매우 중요한 분야이다. 경로계획은 환경에 대한 정보가 이미 알려진 경우에 대하여 off-line으로 수행하는 대국적 경로계획(global path planning)과 장애물과 환경에 대한 정보가 알려져 있지 않은 경우에 대하여 센서정보를 이용하여 로봇 주위의 환경을 인식한 후 실시간으로 수행하는 국소적 경로계획(local path planning)으로 분류할 수 있다.

이에 본 연구에서는 농업환경이 가변적이기 때문에 환경의 변화에 따라 적응이 가능한 국소적 경로계획에 대하여 연구하였다.

## 가. 국외

Topalov(1998) 등은 진전된 feedback error learning을 이용한 nonholonomic 이동 로봇의 퍼지-뉴로 제어 알고리즘을 제시하였다. 사실 대부분의 이동 로봇 알고리즘은 실제 로봇에 적용할 때 많은 문제점들을 가지고 있다. 이에 이 논문은 이러한 문제점들을 해결하고자 기존의 알고리즘에 새로운 학습방법을 첨가하여 더욱 강인한 최적 제어 방법을 제시하였다. 로봇의 참조위치(reference position)와 실제 로봇의 위치와의 오차를 이용하여 로봇의 속도를 산출한 후 이를 이용하여 퍼지-뉴로 시스템에 대입하여 두 구동륜의 토크를 산출한다. 이때 퍼지-뉴로 시스템은 PD 보상기에 의해 산출된 토크값으로 학습이 이루어진다. 이렇게 하여 산출된 토크값을 PD 보상기에서 산출된 토크와 합하여 로봇의 위치를 산출해 낸다. 퍼지-뉴로 시스템은 입력층, 은닉층, 출력층 으로 구성되어 있으며 특히 입력층의 입력세포에 대응되는 값은 퍼지 규칙에 의해 제시된 값이 입력되도록 하였다. 출력층의 출력 세포는 두 구동륜의 토크를 산출해 내도록 하였다.

Syam(2004) 등은 차륜형 이동 로봇의 경로추적 알고리즘을 제시하였다. nonholonomic 선형 이동 로봇에서 Neural Networks(NN) 제어에 기초한 feedforward를 가상 master-slave 개념을 이용함으로써 나타내었다. 참조값(reference value)을 이용하여 차량의 속도, 각속도 등을 산출한 후 NN을 이용하여 두 구동 바퀴의 토크를 산출해 낸다. 이렇게 산출된 토크값은 PD 보상기에 의해 산출된 토크와 합해진다. 이 과정을 가상 master 개념으로 취급하였고, 산출된 토크를 이용하여 로봇의 위치정보( $x, y, \theta$ )를 산출해 낸다. 이 과정을 slave라 한다. 이렇게 함으로써 NN에 의한 토크값에 의해 점차로 PD 보상기에 의한 토크값이 0에 근접하게 되며 최적 경로(오차 0)에 근접하게 되도록 하였다. 연구에 사용된 NN은 각각 1개씩의 입력층, 은닉층, 출력층으로 구성되었으며, 입력층의 입력세포는 외란, 로봇의 속도, 로봇의 각속도 값이 입력되도록 하였고, 출력층의 출력세포는 로봇의 각 구동륜의 출력 토크를 나타내도록 하였다. NN의 반복속도를 200으로 한 후 실험한 결과  $x=1.2 \times 10^{-3}m$ ,  $y=1.2 \times 10^{-2}m$ ,  $\theta=9.6 \times 10^{-4} rad$ .의 오차를 나타내었다.

## 나. 국내

범(1992) 등은 Fuzzy 로직과 신경회로망을 이용한 이동 로봇을 개발하였다. 신경회로망은 로봇 주위의 환경을 판단하는 상황분유기의 역할을 수행하고, Fuzzy 로직은 분류된 상황과 연관된 규칙베이스(rule base)로부터 이동 로봇의 거동을 결정해 주는 역할을 수행하도록 하였다. 로봇 주위의 환경정보를 얻기 위해 로봇의 정면과 좌우측에 장착된 18개의 초음파 센서를 이용하였다. 장애물 회피 알고리즘은 우선먼저 장애물의 정보가 초음파센서에 의해 얻어지고 다음으로 현재 로봇이 놓여 있는 환경의 분류가 신경회로망에 의해 분류되어지며, 마지막으로 이렇게 분류된 상황에 해당하는 퍼지 로직 규칙 베이스로부터 충돌회피 거동이 결정된다.

신경망은 1개의 입력층과 3개의 은닉층, 그리고 1개의 출력층으로 구성되었다. 입력층의 18개의 세포는 초음파 센서로부터 나오는 거리정보가 입력되며, 출력층의 출력세포는 7가지 상황을 나타내도록 7개의 세포로 구성되어 있다.

임(2000) 등은 차륜형 이동로봇 시스템의 자율적 경로 계획과 동작제어 그리고 주행을 위

한 하이브리드 제어시스템 방법을 제시하였다. 제안된 하이브리드 제어시스템에서 상위 수준에서의 이산사건 시스템은 경로 계획과 동작제어를 위한 이동 로봇의 동작특성을 모델링하고, 하위의 연속상태 시스템은 각 바퀴 구동 액츄에이터의 속도 제어를 위한 연속상태 제어기로 입출력 선형화 방법을 이용하여 각 바퀴의 출력변수로 하는 속도 제어기이다. 센서들로부터 얻어진 환경정보를 이용하여 점과 직선으로 구성된 nonholonomic 이동 로봇이 추종 가능한 국부 경로(local path)를 생성하고 하위의 연속 상태 변수들로부터 이산사건을 담당하도록 했다. 또한 상위의 이산 사건제어기의 출력을 각 바퀴의 기준 속도명령으로 변환하도록 했다.

공(2002) 등은 nonholonomic 로봇이 장애물이 존재하는 불확실한 환경에서도 호밍동작을 수행할 수 있는 이동로봇 제어시스템을 제안하였다. 이 시스템은 크게 동작 상황 판단/결정 제어기, 국부적인 목표경로를 생성하는 국부 목표 생성기, 장애물 회피를 위한 스키마 기반 제어기, 그리고 경로 추종 알고리즘을 이용한 국지적인 경로 추종 제어기로 구성되었다.

로봇의 형태는 차륜바퀴 구동형 로봇으로 가정하였다. 상태제어기로는 자유 작업영역(로봇이 주어진 임무-목표점에 이동하는 것-를 수행하는 영역), 장애물 지역(로봇이 장애물을 감지하고 장애물을 회피하는 영역), 호밍영역(호밍동작을 수행하는 영역)으로 나눈다. 국부 목표 생성기로는 미지의 환경에 놓인 로봇이 이동중에 경험한 탐색정보를 활용하여 새로운 경로를 생성하도록 한다. 스키마 기반 제어기는 이동 로봇이 장애물을 회피하면서 움직여야 할 가상적인 목표 위치 및 자세를 계산하여 이를 충족하도록 한다. 이와같이하여 로봇이 장애물을 만났을 경우 국지적인 목표 생성기에서 생성된 국지적인 목표 경로점을 기준으로 스키마 출력을 생성하도록 하여 최종 목표점에 도달하도록 하였다. 표 2에 국내외에서 개발된 경로추적 알고리즘에 대한 비교를 나타내었다.

Table 2 The contrast of trajectory tracking algorithm developed in-and-out of state

Researcher	direction changing type	travelling type	algorithm	path planning
Topalov 등	구동륜 독립	차륜바퀴 구동형	퍼지-뉴로	feedback error learning
Syam 등	구동륜 독립	차륜바퀴 구동형	뉴로 인터페이스	feedback error learning
범 등	구동륜 독립	차륜바퀴 구동형	퍼지-뉴로	규칙 베이스
임 등	구동륜 독립	차륜바퀴 구동형	하이브리드	국부 경로생성
공 등	구동륜 독립	차륜바퀴 구동형	경로 추종	스키마 기반

#### 4. 연구방향 제시

시설농업을 위한 이동 로봇은 폭이 좁고 굴곡이 많은 고랑이나 농로 등을 이동해야 하기 때문에 빠른 방향전환과 안정성을 바탕에 두고 개발되어야 한다. 그러기 위해서는 구동륜의 독립을 통해 장애물의 회피 및 선회를 수행할 수 있도록 하는 것이 바람직하며, 장애물과 환경에 대한 정보가 알려져 있지 않은 경우에 대하여 센서정보를 이용하여 로봇 주위의 환

경을 인식한 후 실시간으로 경로를 추적하는 국소적 경로계획(Local Path Planning)을 이용하고, *feedback error learning* 방법을 통한 실시간 위치 추적이 가능하도록 하는 것이 바람직하다고 사료된다.

따라서 상기 국내의 연구동향 분석 및 문헌연구를 통하여 향후 개발될 시설농업을 위한 지능형 이동 로봇의 개발 방향을 다음과 같이 설정하였다.

1) 구동륜의 독립을 통해 장애물의 회피 및 선회를 수행할 수 있도록 한다.

2) 센서정보를 통한 로봇 주위의 환경을 인식한 후 경로를 추적하는 국소적 경로계획을 따른다.

3) *feedback error learning* 방법을 통한 실시간 위치 추적이 가능하도록 한다.

## 5. 요약 및 결론

시설원예 및 하우스재배 등의 시설농업은 폐쇄 공간 내의 고온, 고습 환경에 의해 작업자가 작업 시간에 제약을 받을 만큼 열악하며, 노동집약적 중노동에 의한 피로에 노출되어 있다.

시설농업의 작업체계는 농산물의 수확작업 및 모종이식 등으로 대부분의 작업시 수확물이나 재료의 운반작업 및 이동이 큰 부분을 차지하고 있다. 그러나 이러한 운반 및 이동 작업은 작업자가 직접 농작물을 바구니등을 이용하여 소량씩 운반 및 이동하기 때문에 보행거리가 길어지며 이에 따른 작업시간의 증가와 노동강도 상승의 원인이 된다.

따라서, 본 연구에서는 시설농업에서 작업자를 대신하여 고랑이나 작물 사이를 자유로이 주행하며 농작물의 운반 및 이동을 수행할 수 있는 지능형 이동 로봇 시스템을 개발하는 데에 있어서, 먼저 그동안 연구된 사항 중 시설농업에 적용 가능한 자율주행 관련 연구들을 분석하여 앞으로 개발될 로봇 시스템의 설계 기준을 제시하였으며, 구체적 제시 내용은 다음과 같다.

1) 구동륜의 독립을 통해 장애물의 회피 및 선회를 수행할 수 있도록 한다.

2) 센서정보를 통한 로봇 주위의 환경을 인식한 후 경로를 추적하는 국소적 경로계획을 따른다.

3) *feedback error learning* 방법을 통한 실시간 위치 추적이 가능하도록 한다.

## 6. 참고 문헌

1. Kojima, K. 1975. The Mechanization of Transport in Vinyl House(VI) -Automatic Operation of the Car for Exclusive Use of Transport-. J. of JSAM Vol.36(3) : 410-416
2. Noguchi, Terao H. 1997. Path planning of an agricultural mobile robot by neural network and genetic algorithm. Computers and Electronics in Agriculture 18 : 187-204
3. Rafiuddin, Syam, K. Watanabe, K. Izumi. 2004. Concept of virtual master-slave

- system and its application to the design of neuro-interface. Proc. Intl. SICE Annual Conf, Sapporo, Japan, August. 4-6, 2004 : 1108-1113
4. Tota, M., O. Kitani, T. Okamoto, T. Torii. 1993. Studies on autonomous vehicles for agricultural robotics, ASAE paper 993091
  5. Topalov, A. V., J. H. Kim, T. P. Proychev. 1998. Fuzzy-net control of non-holonomic mobile robot using evolutionary feedback-error-learning. Robotics and Autonomous Systems Vol.23 : 187-200
  6. Torii, Toru. 2000. Research in autonomous agriculture vehicle in Japan. Computers and Electronics in Agriculture 25 : 133-153
  7. Tota, M., O. Kitani, T. Okamoto, T. Torii. 1999. Navigation method for a mobile robot via sonar-based crop row mapping and fuzzy logic control. J. of Agric. Eng. Res., 72 : 299-309
  8. 大下 奏生ほか. 1989. 畦間無人走行管理機の開発. 日本農業機械學會要旨 48 : 97
  9. 大塚 ほか. 1990. 施設内作業のロボット化に関する研究 -インテリジェントバッテリーカーによる新作業方式-. 日本農業機械學會要旨 49 : 269-270
  10. 공성학, 서일홍. 2002. Nonholonomic 이동로봇의 호밍과 장애물 회피 알고리즘. 전기학회논문집 51D(12) : 583-595
  11. 권기영, 정성립, 강창호, 송재룡, 한길수, 정석현, 장익주. 2002. 농작업자 자동 추종 운반차 개발(I) -시작기 제작 및 실내성능 실험-. J. of KSAM Vol.27(5) : 409-416
  12. 권기영, 정성립, 강창호, 송재룡, 한길수, 정석현, 장익주. 2002. 농작업자 자동 추종 운반차 개발(II) -주행제어시스템 보완 및 포장성능실험-. J. of KSAM Vol.27(5) : 417-424
  13. 김찬수, 윤여두, 김기대. 1997. 하우스용 무인자동방제기의 개발. 한국농업기계학회 1997년 동계학술대회 논문집 : 18-25
  14. 범희락, 조형석. 1992. 센서정보를 이용한 이동 로봇의 충돌 회피. 1992 한국자동제어학회학술회의논문집 : 7-12
  15. 이재환. 1997. 온실용 간이 자율주행 작업차 개발. 서울대학교 석사학위논문
  16. 임미섭, 임준홍. 2000. 차륜형 이동로봇의 경로 계획과 자율 주행을 위한 하이브리드 시스템 모델과 제어. 전기학회논문집 49D(1) : 33-40