

학사 졸업 논문

마이크로로봇의 설계와
지능적인 제어기의 구현

**The Design of Micro-Robot and
the Embodiment of Intellectual Controller**

한 국 현

전기 및 전자공학과

한 국 과 학 기 술 원

1997

Abstract

In this paper, the author will construct a micro-robot for the robot soccer and embody an intellectual controller by introducing the organic conception. The robot has the ability to move by itself through recognizing the surroundings and then judging from the information it gets from the outer source.

To give intelligence to the robot, the author designed the controller by importing the organic concept of dividing the parts of robot into the cerebrum, the instinct, the sensory organ, and the moving part and realized the controller using the neural network. The author performed an experiment with the robot through giving him some inclination as his instinct. Those were the inclination for crowding, the inclination for finding food and the inclination for inducing his companion. It resulted in a simple multi-robot system that as a robot finds food, he stops and sends a signal to other robots and thus other robots can easily find where the food is.

Although the system constructed in this paper is a simple one, it is possible to make a more intellectual group by using and improving the organic concept-controller.

I. 서론

과학기술의 발전은 상상의 세계에서만 존재하던 것들을 가능하게 해 주었다. 인간은 보다 편리한 삶을 위해 왔으며 과학기술의 발전은 이러한 인간의 욕구를 충족시켜 왔다. 이러한 관점에서 본다면 인간과 똑같은 기능을 가짐으로써 인간의 활동을 대신할 수 있는 로봇이라는 개념의 발생은 자연스러운 것이었으며 이제는 이러한 것들이 조금씩 실현되고 있다. 아울러 근래에는 인간의 몸 속으로 들어가 직접 돌아다니며 치료를 하는 로봇이 가능하게 되었고, 쌀 한 톨 크기를 갖는 로봇이 스스로 날아다니는 수준까지 실현되는 등 소형 로봇 분야의 발전이 급속도로 이루어지고 있다.

금년 11월에 마이크로 로봇 분야의 발전을 목적으로 로봇과 축구를 접목시킨 국제 마이크로 로봇 월드컵 축구 대회(MIROSOT)가 열리게 되었다.¹⁾ 로봇들간의 축구 경기를 실현하기 위해서는 먼저 로봇들에게 공과 로봇들의 좌표, 그리고 여러 가지 전략 등을 전송하기 위한 호스트 컴퓨터가 필요하고, 경기장의 상황을 영상으로 입력받기 위한 비전 시스템, 그리고 장애물을 감지하여 자신이 해야 할 일을 스스로 판단하고 움직임을 제어할 수 있는 제어기를 가진 로봇이 여러 대 있어야 한

다. 물론 이들은 호스트 컴퓨터와 통신이 가능해야 한다.

이러한 시스템을 가지고 실제 축구 경기를 하는 경우에는 예상치 못했던 상황이 빈번히 발생하게 된다. 물론 이 모든 경우들을 프로그래밍으로 처리할 수는 있지만 그 양이 커지게 되고, 또한 아무리 많은 경우에 대비했다고 하더라도 처음 나타나는 상황이 생길 경우에는 로봇은 원치 않는 행동을 하게 될 것이다. 이를 해결하기 위해서는 로봇 스스로가 판단할 수 있는 능력을 갖도록 지능을 부여하는 것이 필요하다. 일단 로봇에게 지능이 부여된다면 처음 겪게 되는 상황도 어느 정도 해결해 나갈 수 있을 것이다. 이에 로봇에 지능을 부여하는 방법을 생각해 보고자 한다.

본 논문에서는 다음과 같은 사항을 다룬다. 우선 로봇 축구를 위해 직접 구현한 전체적인 시스템을 설명하고, 제작한 로봇의 구조를 분석한다. 또한 지능을 갖춘 로봇을 구현하기 위해 유기적인 구조 개념을 도입하여 직접 제작한 로봇에 알맞은 제어기를 개발하고 직접 로봇을 이용하여 실험해 보고, 간단한 멀티 로봇 시스템을 구현하기 위한 단순한 모델을 제시한다.

또한 마지막으로 이 논문을 준비하면서 우리가 원하는 수준의 지능을 갖춘 멀티 로봇 시스템을 구현하기 위해서 앞으로 계속 연구해야 할 사항을 제시했다.

1) 총 9개국에서 23개 팀이 출전, 저자가 속한 팀은 학부생으로 구성된 팀으로 공로상을 수상했음

II. 로봇 축구 구현을 위한 시스템

로봇들간의 축구를 구현하기 위해서는 로봇과 공의 절대 좌표를 알아내는 것이 필수적이다. 이를 위해서 사용된 것이 비전 시스템과 호스트 컴퓨터이다. 즉, 비전 시스템의 화상 정보로부터 호스트 컴퓨터가 공과 로봇의 좌표를 알아내는 것이다. 여기서 전체적인 시스템의 구현은 비전 시스템과 호스트 컴퓨터에 의존하는 정도에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 즉, 호스트 컴퓨터 중심 시스템(또는 비전 중심 시스템)과 로봇 중심 시스템이 그것이다. 호스트 컴퓨터 중심 시스템이라 함은 비전으로부터 받은 영상을 분석한 후, 그로부터 얻은 각종 데이터를 이용하여 모든 로봇들의 움직임을 호스트 컴퓨터가 결정하여 로봇들에게는 단지 움직임의 명령을 보내는 시스템을 말한다. 반면 로봇 중심 시스템은 호스트 컴퓨터에서는 공과 로봇의 좌표만을 분석하여 그 데이터를 로봇들에게 전송해 주고, 각각의 로봇은 전송 받은 위치 데이터를 처리하여 자신의 움직임을 스스로 판단하고 결정하여 제어하는 시스템을 말한다. 다시 말하면 호스트 컴퓨터 중심 시스템은 능력이 호스트 컴퓨터에 집중적으로 부여된 형태이고, 로봇 중심 시스템은 각각의 로봇들에게 능력이 부여되며 비전 시스템과 호스트 컴퓨터는 단지 감각기관으로만 이용하는 형태를 말한다. 따라서 로

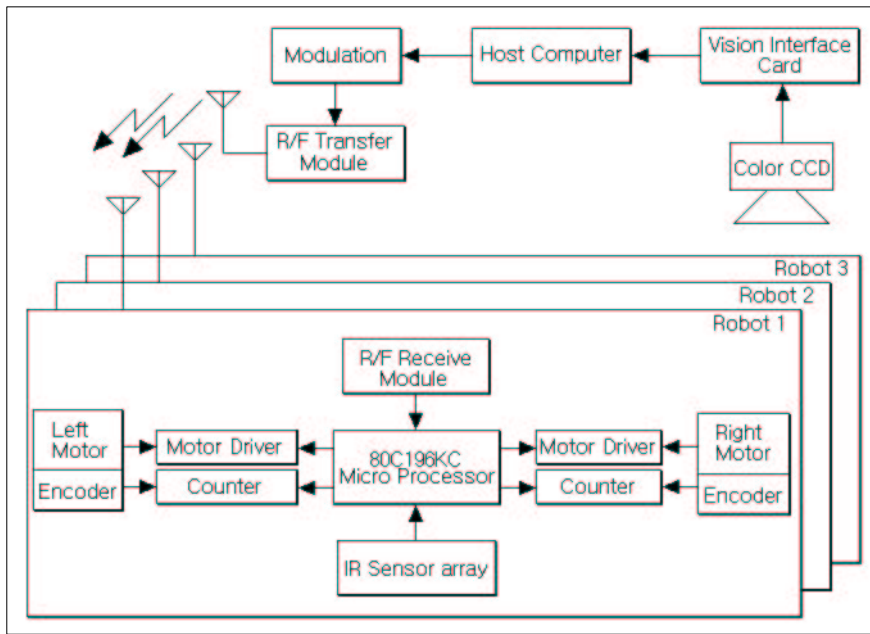
봇 중심의 시스템을 구현하기 위해서는 각각의 로봇에 높은 지능을 부여하는 것이 필연적이다.²⁾

1. 로봇 중심 시스템의 구조

구현한 시스템은 [그림 1]에서 보는 바와 같이 호스트 컴퓨터, 비전 시스템, 그리고 여러 대의 로봇들로 이루어져 있다. 경기장의 상황이 비전 시스템을 통해 호스트 컴퓨터로 전해지면 호스트 컴퓨터는 그 영상을 분석하여 공과 각 로봇들의 절대 좌표, 그리고 로봇의 각도를 구해 낸다.³⁾ 저자가 구현한 시스템은 로봇 중심의 시스템이므로 호스트 컴퓨터는 더 이상의 데이터 처리를 하지 않고 얻은 위치 데이터를 RF통신 모듈을 통해 무선으로 로봇에게 전송한다. 호스트 컴퓨터로부터 데이터를 받은 로봇들은 내부적으로 인터럽트를 걸고 새로운 데이터로 갱신하게 된다. 로봇은 일정한 시간 간격으로 갱신되는 데이터를 가지고 현재 자신의 위치를 파악하게 되며, 이것은 로봇의 적외선 센서로부터 얻은 데이터와 함께 자신이 해야 할 행동 판단의 근거가 된다. 로봇은 각종 데이터를 종합하여 어떤 행동을 해야 할 것인가를 스스로 판단하게 되고, 그 판단에 따라 제어를 사용하고

2) 이번 MIROSOT 대회에서는 저자가 속한 팀을 포함하여 2~3팀 정도만이 로봇 중심 시스템을 구현했음

3) 로봇으로부터 색깔 정보를 얻기 위해 로봇의 상단에는 정사각형의 색종이를 대각선으로 2개 붙임 (Appendix A 참조)

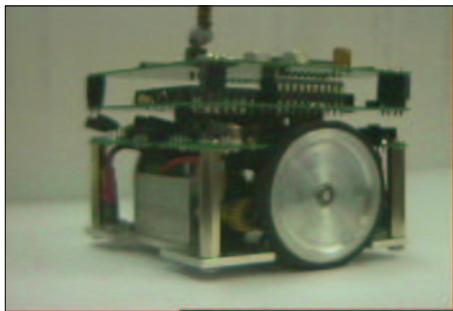


[그림 1] 로봇 시스템의 구조

모터를 직접 제어하여 움직이게 되는 것이다.

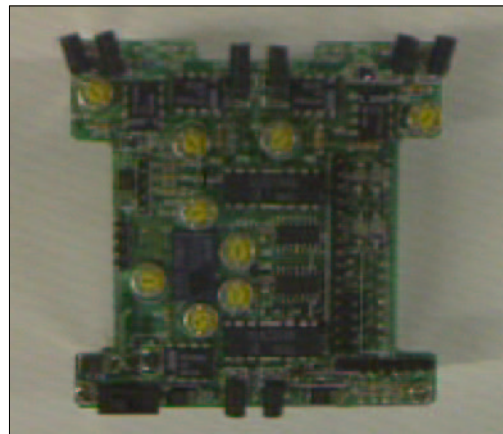
2. 마이크로 로봇의 구현

앞에서도 언급했듯이 우리의 시스템은 로봇 중심의 시스템이다. 따라서 로봇에게는 외부 환경을 인식하고 이를 판단한 결과로 스스로 움직일 수 있는 최소한의 도구는 부여되어야 한다. 이러한 기능들이 실제로는 어떻게 구현되었는지 살펴보면 다음과 같다.4)



[그림 2] 로봇의 외관도

우선 사람의 발에 해당하는 운동기관으로써 로봇은 2개의 직류 모터로 구동되는 2개의 바퀴를 가지고 있다. 로봇은 각각의 바퀴의 회전 방향과 회전속도를 달리 함으로써 원하는 방향으로 운동할 수 있게 된다. 2개의 바퀴 구성이 가져다주는 불안정성을 보완하기 위해 바닥에는 ball caster를 달아 평형을 이루게 하였다. 감각기관으로는 바퀴의 회전으로부터 자신의 위치를 알



[그림 3] 센서 보드의 구현

4) 자세한 로봇 그림은 Appendix A 참조

아내기 위한 **encoder**가 각각의 바퀴마다 있고, 외부 장애물의 유무를 판단하기 위해 5쌍의 적외선 센서를 가지고 있다. 이것은 전방에 4쌍, 후방에 1쌍이 있어 각각 전후방의 장애물 판단에 쓰이게 된다. 앞에 있는 4쌍의 센서는 다시 공을 감지하기 위한 1쌍의 센서와 전방의 장애물을 감지하기 위한 3쌍의 센서로 나누어진다.⁵⁾ 아울러 비전 시스템과 호스트 컴퓨터에서 얻은 위치 정보는 무선통신으로 로봇에게 전달된다.⁶⁾ 이렇게 얻어진 외부 정보들은 16 비트 마이크로 프로세서에서 종합하여 처리한다.⁷⁾

로봇 중심의 시스템을 구현함에 있어서 우리 로봇이 가지고 있는 특징은 자신의 위치를 스스로 계산하기 위한 **encoder**의 사용과 장애물을 식별하기 위한 센서를 사용하였다는 것이다. 특히 장애물 판별용 센서는 높이를 다르게 함으로써 높이가 다른 물체인 공과 상대 로봇을 구별할 수 있게 하였을 뿐 아니라 센서의 거리를 2가지로 조절할 수 있도록 하였다는 것이다.⁸⁾ 이를 이용하면 비전 시스템의 도움 없이 장애물을 피할 수 있을 뿐 아니라 공을 찾는 것도 가능해 진다.

5) 이들은 높이를 서로 다르게 하여 장애물 센서에는 공이 인식되지 않도록 설계함

6) 72.990MHz의 중심주파수를 사용한 RF통신은 2400bps의 속도로 데이터의 손실을 막기 위해 코딩을 하여 송신함

7) 인텔사에서 제조된 80C196KC 마이크로 프로세서 사용

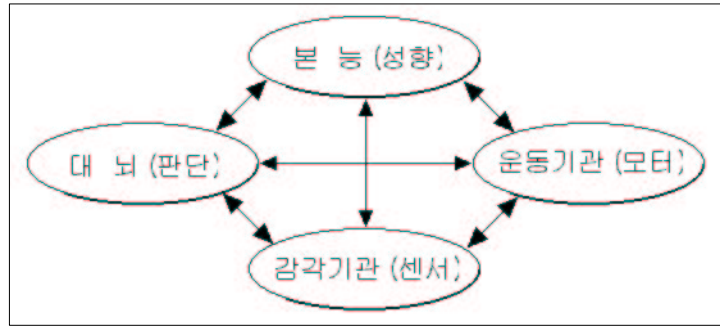
8) 자세한 회로는 Appendix B의 회로도 참조

III. 지능을 위한 제어기의 개발

로봇에게 지능을 부여한다는 말은 로봇의 제어기에 지능을 부여한다는 말로 다시 표현할 수 있을 것이다. 로봇 축구와 같은 여러 로봇들간의 협력이 요구되는 경우에는 각각의 로봇들에게 상당히 높은 수준의 지능이 필요하게 된다. 이를 실현하기 위해 본 논문에서는 유기적인 개념을 도입한 제어기를 제시하고 개발하여 로봇에 직접 적용시켜 보고자 한다.

1. 제어기의 개념

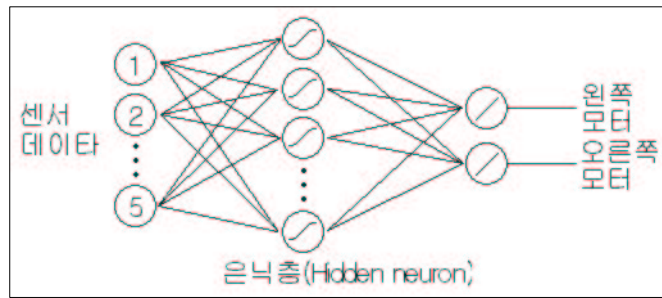
개미 등과 같은 곤충을 살펴보면 외형적인 구조로 볼 때 상당히 단순하다는 것을 알 수 있다. 하지만 개미들은 무리를 지어 움직이며 먹이를 운반하는 경우에도 여러 마리가 서로 협력을 하게 된다. 개미를 관찰하다 보면 그들의 높은 지능에 놀라게 된다. 그러면 우리가 제작한 로봇과 개미를 비교해 보자. 개미에게는 더듬이가 있어 장애물을 인식할 수 있고, 다리가 있어 움직일 수 있다. 서로간의 통신이 이루어지며, 판단할 수 있는 신경조직이 내부에 존재한다. 로봇은 전방과 후방에 적외선 센서가 있어 주변의 장애물을 감지할 수 있고, 모터가 있어 움직일 수 있다. RF모듈을 장착하여 외부로부터 날아오는 정보를 수신할 수 있으며, CPU보드가 있어 스스로 판단할 수 있는 능력이 부여되어 있다. 개미와의 차이점이라면 통신에 있어서 양방향의 아



[그림 4] 로봇의 유기적 구조

단방향 통신이라는 것밖에는 없다. 따라서 외형적으로 보아 충분히 개미 정도의 수준을 보일 수 있다는 결론을 내릴 수 있을 것이다.

2. 장애물 회피를 위한 제어기의 개발
먼저 [그림 5]에서 보듯이 가장 간단한 장애물 회피를 위한 제어기를 신경회로망의 MLP(Multi-Layer Perceptron) 방법을 이용



[그림 5] 장애물 회피용 제어기의 구조

크게 대뇌(판단), 본능(성향), 감각기관, 운동기관의 네 부분으로 로봇의 구조를 나누는 개념을 사용하였다. 즉 로봇이 하나의 유기체라는 개념을 도입한 것이다. 대뇌는 종합적인 상황을 고려하여 직접 감각기관과 운동기관을 제어할 수 있고, 본능은 감각기관과 유기적으로 연결되어 있어 몇 가지 특정한 성향을 보이게 된다. 감각기관은 센서를 통해 자극을 주고받으며, 운동기관은 대뇌와 감각기관으로부터 제어를 받는다.

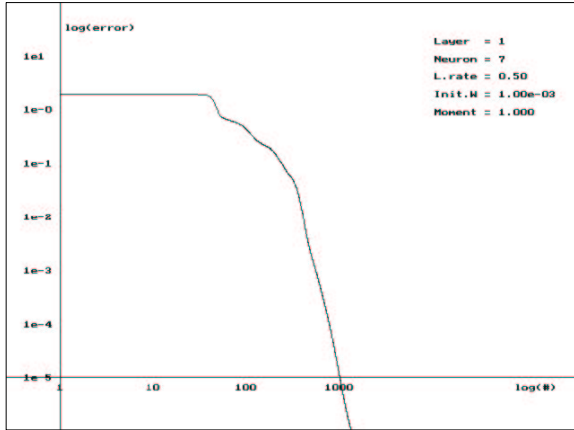
하여 구현하였다. 입력은 5개의 적외선 센서로부터 얻은 데이터이고, 하나의 은닉층 (hidden neuron)을 거쳐 왼쪽 모터와 오른쪽 모터를 각각 제어할 수 있는 PWM신호를 출력으로 사용한다. 은닉층에서는 비선형함수를 사용하였고 출력층에서는 선형함수를 사용하였다.

i) 신경회로망 학습기

제어기를 구현하기 위한 학습기⁹⁾는 신경회로망에서 가장 널리 사용되고 있는 MLP 구조를 사용하였고, EBP(Error Backpropagat-

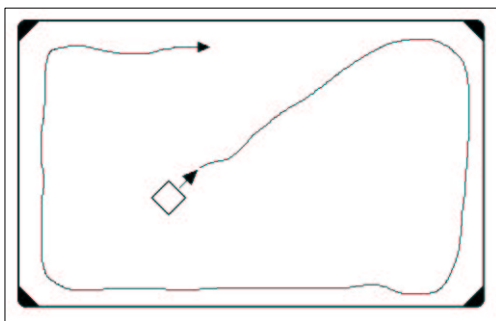
9) 개발한 학습기 source program은 Appendix C 참조

ion)방법으로 학습시켰다. [그림 6]은 학습 회수(x축)와 error(y축)의 관계 그래프를 나타낸다.

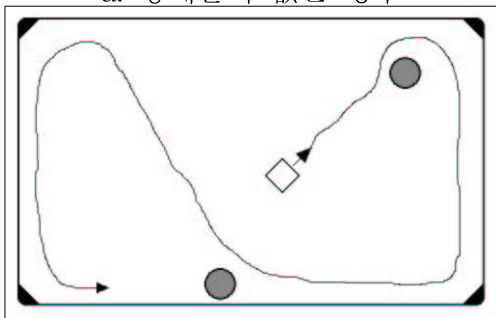


[그림 6] 장애물용 학습기의 학습 곡선

ii) 로봇을 이용한 실험



a. 장애물이 없는 경우



b. 장애물이 있는 경우

[그림 7] 장애물 회피 실험

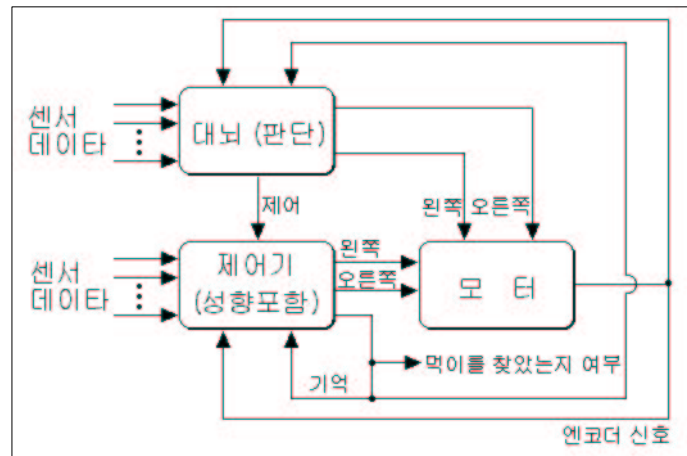
[그림 7.a]는 로봇에게 앞으로 가려는 성향을 부여하고, 제어기를 사용하여 130cm*90cm 크기로 벽을 만들고 그 안에서 실험한 결과를 나타낸 것이다. 이 제어기의 적용으로 상황에 따른 모든 경우에 대한 프로그래밍이 필요치 않게 되었고, 예상치 못했던 상황에서도 충돌 없이 자유롭게 움직이는 결과를 얻을 수 있었다.

3. 멀티 로봇 시스템을 위한 단순한 모델

멀티 로봇 시스템을 구축하기 위한 기반이 될 수 있는 간단한 모델을 다음과 같이 구상하였다.

- 군집하려는 성향을 갖는다.
- 먹이를 찾으려는 성향을 갖는다.
- 다른 로봇들을 모으려는 성향을 갖는다.

앞서 제시한 유기적 구조 개념을 기반으로 위의 세 가지 성향이 본능으로 부여된 제어기를 만들기 위해 [그림 8]과 같은 구조를 구상하였다. 앞서 만든 제어기에 세 가지 성향을 포함시켜 다시 학습을 시키고, 그 제어기를 중심으로 모터를 제어하게 된다. 제어기가 성향을 나타내기 위해서 메모리 기능이 가능하도록 피드백을 두었다. 로봇의 대뇌 부분은 제어기를 제어할 수 있으며 직접 모터 제어가 가능하다.



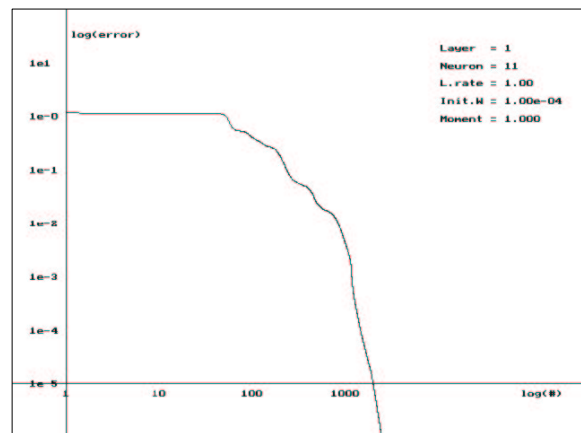
[그림 8] 지능이 부여된 로봇의 구조 모델

세 가지 성향을 나타내기 위해서 로봇의 하드웨어를 적절히 사용한다. 먼저 외부로부터 유인 신호가 감지되면 로봇은 그 신호의 방향으로 가려는 경향이 커진다. 항상 로봇은 다른 로봇을 모으기 위한 유인 신호를 보내고, 먹이를 찾게 되면 먹이 근처에 머무르면서 계속해서 주변으로 유인 신호만을 보내게 된다. 이때 유인 신호는 로봇의 후방 센서를 항상 켜 놓는 것으로 가능하고, 먹이는 높이가 4cm이하인 물체로 정하여 전방 센서 중에서 하향 센서를 이용한다.

개발한 학습기를 이용하여 세 가지 성향을 포함시킨 제어기를 학습시킨 결과는 [그림 9]와 같다.

[그림 8]과 같은 개념으로 로봇의 지능을 부여하고 직접 로봇을 이용하여 실험해 본 결과는 [그림 10]의 a, b, c와 같다. [그림 10.a]에서 1번은 성향을 부여하지 않은 제어기를 사용하였을 경우의 경로를 나타낸 것이고, 2번은 세 가지 성향을 부여한 제어

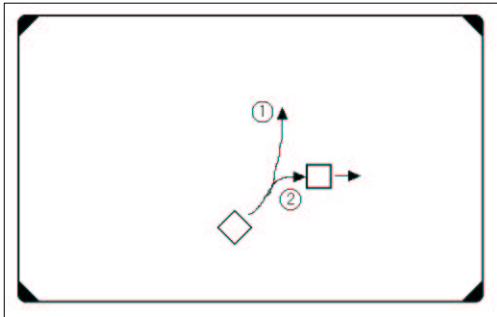
기를 사용한 경우이다. 성향을 부여하지 않은 경우는 다른 로봇을 장애물로 인식하여 피해 가고, 성향을 부여한 경우에는 유인



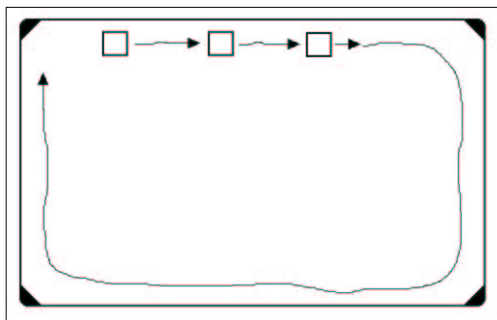
[그림 9] 지능이 부여된 제어기의 학습 곡선

신호를 받아 다른 로봇을 따라가는 것을 볼 수 있다. [그림 10.b]는 임의로 로봇 세대를 놓았을 경우 결국에는 로봇들이 일련의 행렬의 형태를 이루게 된다는 것을 보여준다. [그림 10.c]는 한 대의 로봇이 먹이를 찾은 경우 멈추어 서서 계속 유인 신호를 보내고 있고, 다른 로봇이 그 유인 신호를 받아 먹이를 빨리 찾게 되는 것(2번 경

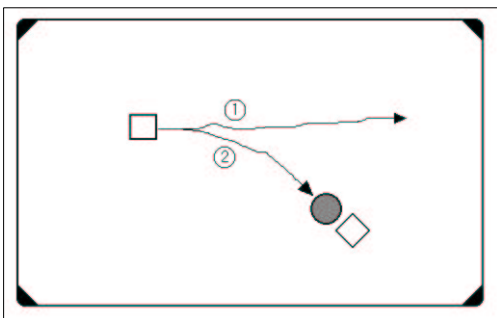
로)을 보여준다. 1번 경로에서 보면 다른 로봇의 유인 신호가 없을 경우 먹이를 그냥 지나치는 것을 볼 수 있다.



a. 다른 로봇을 따라가려는 성향



b. 군집 성향에 의해 형성된 행렬



c. 동료를 모으려는 성향

[그림 10] 성향에 의해 나타나는 로봇의 행동 실험 결과

IV. 결론

본 논문에서는 마이크로 로봇 축구 대회용으로 설계, 제작한 여러 대의 로봇과 비

전 시스템, 통신 시스템, 호스트 컴퓨터로 이루어진 전체적인 시스템에 대해서 설명하였고, 로봇의 구조를 분석했다. 또한 로봇에 지능을 부여하기 위한 방법으로 유기적 구조를 갖는 제어기의 개념을 제안하고, 이를 신경회로망을 이용하여 직접 학습시키고 완성시켜 로봇에게 직접 주입하여 실험한 결과에 대해 언급하였다. 마지막으로 멀티 로봇 시스템을 구축하기 위한 기초 과정으로 간단한 모델을 제시하고 직접 구현해 보았다.

제작된 마이크로 로봇은 기능상으로 볼 때 개미와 같은 곤충의 수준으로 비유가 가능하다는 것을 인식하고, 개미 수준 정도의 지능을 부여하는 것이 가능할 것이라는 제안을 했다. 또한 유기적인 신경 구조 개념을 도입함으로써 쉽게 지능이 부여된 제어기로의 접근이 가능했다.

반사 신경 정도로 비유될 수 있는 장애물 회피를 위한 제어기를 신경회로망을 이용하여 학습을 시키고 로봇에게 주입, 실험하여 성공적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한 유기적 구조 개념을 적용하여 본능에 해당하는 몇 가지 성향을 제어기에 포함시킴으로써 지능이 부여되었을 뿐만 아니라 다른 로봇들과의 상호 협력까지도 가능하게 되었다. 본 논문에서 지능 부여를 위해 제시한 성향에는 군집하려는 성향, 먹이를 찾으려는 성향, 동료를 모으려는 성향이 있다. 세 가지 성향을 부여하여 로봇 내부의 유기적 구조 체계들을 구축하고 실험해 본

결과 로봇들에게 지능이 부여되었음을 확연히 알 수 있었고, 로봇들 간의 상호작용이 이루어지는 모습을 관찰할 수 있었다. 로봇들은 평상시에는 자유롭게 먹이를 찾아다니다가 전방에 다른 로봇이 지나가게 되면 그 로봇으로부터 나오는 유인 신호를 받아 따라가려는 성향을 보였으며, 먹이를 찾은 후에는 정지하여 유인 신호만을 보내고 있으면 다른 로봇들은 그 유인 신호의 영향을 받아 쉽게 먹이가 있는 곳으로 도달하게 되었다. 즉 세 가지의 간단한 성향만으로 지능이 부여된 집단이 형성되었다는 결론을 내릴 수 있을 것이다.

본 논문에서 구현한 지능의 수준은 상당히 낮은 것이지만, 앞으로 위와 같은 개념을 잘 적용, 발전시킴으로써 점차로 지능이 높은 집단을 창출해 내는 일이 가능해질 것이다.

V. 앞으로의 과제

현재 구현한 로봇은 바퀴에 연결되어 있는 encoder를 이용하여 자신의 위치를 파악한다. 하지만 충돌이 일어날 경우에는 자신의 위치 파악에 오차가 생기게 되고 누적되어 보정할 방법이 없게 된다. 이러한 문제를 없애기 위해 비전 시스템을 사용하는 것인데, 비전 시스템은 환경의 조건에 영향을 너무 많이 받기 때문에 로봇의 절대적인 좌표를 항상 로봇이 알 수 있도록 하는 시스템의 개발이 요구된다. 스위스 Khepera

팀에서 GPS의 개념을 이용하여 제작한 KPS¹⁰⁾를 그 예로 들 수 있다. 두 번째로 로봇들간의 양방향 통신이 가능하도록 하는 통신 시스템의 구축이 필요하다. 크게 이 두 가지의 하드웨어 측면에서의 문제점이 해결된다면 그 위에 높은 수준의 지능을 부여하는 것이 가능하다고 볼 수 있다.

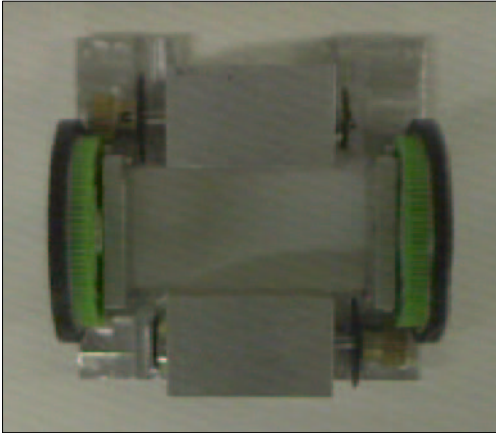
현재 저자는 위의 내용들을 마이크로 로봇 분야의 발전을 위해 발족한 동아리에서 프로젝트로 수행 중에 있다. 내년 MIROSOT까지 위의 시스템을 모두 개발하고 직접 로봇 축구 경기에 적용시킬 예정에 있다.

10) 경기장의 상단에 레이저를 설치하여 경기장의 x축과 y축을 각각 scanning하도록 하고, 로봇은 레이저를 검출하여 자신의 위치를 알아내는 개념

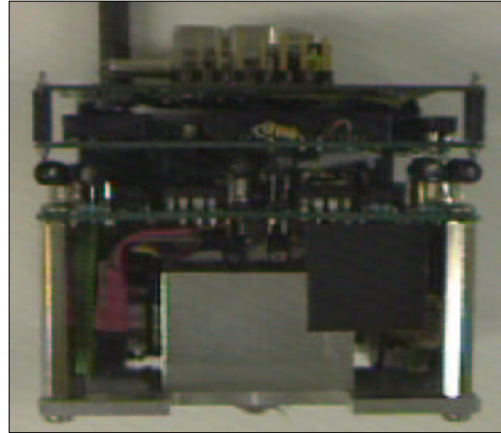
REFERENCES

- [1] A.CAI, T.FUKUDA, F.ARAI, T.UHEYAMA, and A.SAKAI, "Hierarchical Control Architecture for Cellular Robotics System," IEEE Proc. Int. Conf. on Robotics & Automation, 1191/1196, 1995.
- [2] G.Lucarini, M.Varoli, R.Cerutti and G.Sandini, "Cellular Robotics: Simulation and HW Implementation," IEEE, 846/852, 1993.
- [3] O.Miglino, K.Nafasi, and C.E.Taylor, "Selection for Wandering Behavior in a Small Robot," Massachusetts Institute of Technology, 101/116, 1995.
- [4] J.A.Adams and R.Paul, "Human Supervisory Control of Multiple Mobile Agents," IEEE Press, 3298/3303, 1995.
- [5] S.Nolfi and D.Parisi, "Learning to adapt to changing environments in evolving neural networks," pp.1-13, 1995.
- [6] K.H.Han, J.Y.Choi, H.Kang, P.S.Choi, S.J.Lee and S.H.Moon, "Micro-Robot Design and Strategy for MIROSOT," Proc. of MIROSOT'96, 1996.
- [7] Don R. Hush and Bill G. Horne, "Progress in Supervised Neural Networks," IEEE Signal Processing Magazine, 1993.
- [8] S.Haykin, "Neural Networks," Macmillan College Publishing Company, 1994
- [9] D.C.Kay and J.R.Levine, "Graphics File Formats," Wincrest/McGraw Hill, 1992.
- [10] J.E.Hopcroft and J.D.Ullman, "Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation," Addison-Wesley Computer Science, 1979.
- [11] M.M.Mano, "Computer System Architecture 3rd," Prentice Hall International Press, 1993.

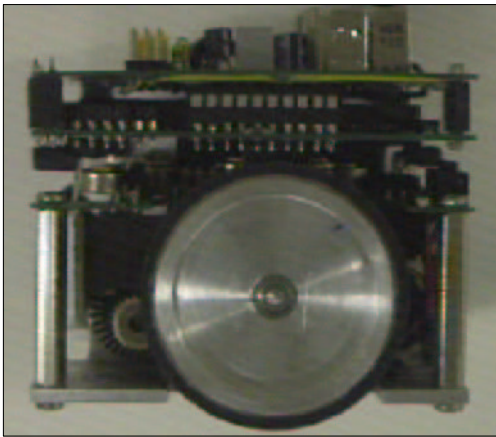
Appendix A. 로봇의 외형



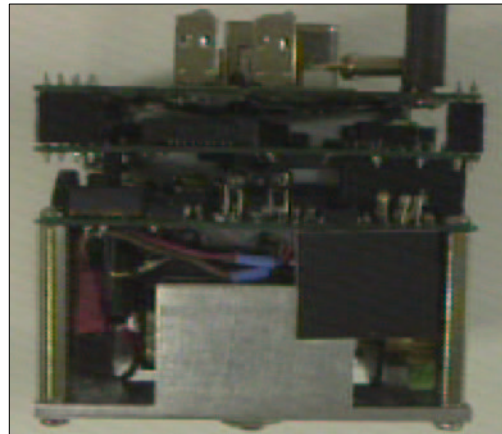
< 그림 A-1 > 로봇의 몸체



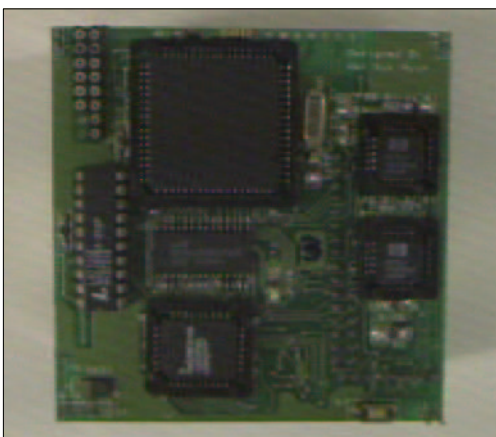
< 그림 A-2 > 로봇의 정면도



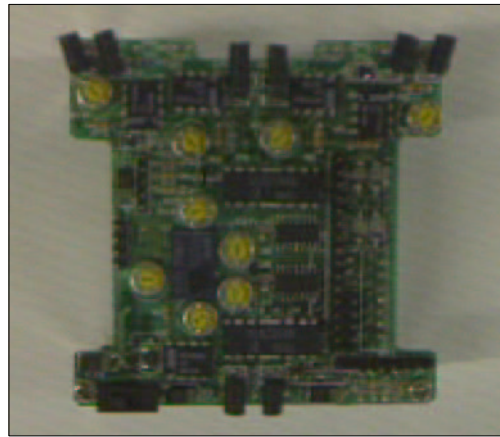
< 그림 A-3 > 로봇의 측면도



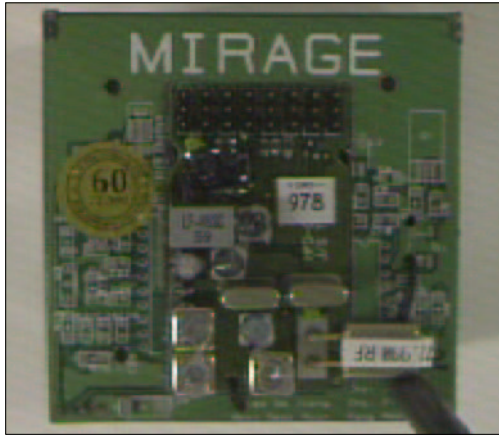
< 그림 A-4 > 로봇의 배면도



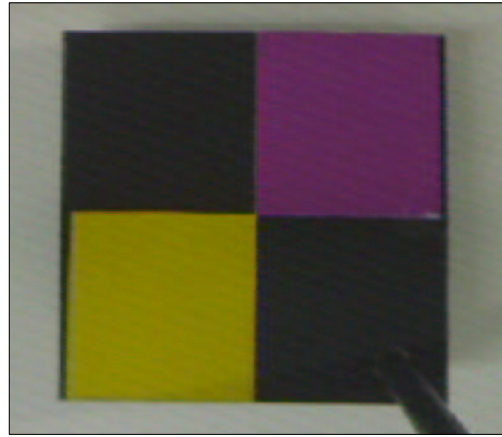
< 그림 A-5 > 로봇의 CPU Board



< 그림 A-6 > 로봇의 Sensor Board



< 그림 A-7 > 로봇의 RF Board



< 그림 A-8 > 로봇을 인식하기
위한 색도형