

# 적응 퍼지제어기를 이용한 컬러식별 Multi Vehicle의 물류이송을 위한 다중제어기 설계

김훈모\*

## A Design of Color-identifying Multi Vehicle Controller for Material Delivery Using Adaptive Fuzzy Controller

Hun Mo Kim\*

### ABSTRACT

In this paper, we present a collaborative method for material delivery using a distributed vehicle agents system. Generally used AGV(Autonomous Guided Vehicle) systems in FA(Factory Automation) require extraordinary facilities like guidepaths and landmarks and have numerous limitations for application in different environments. Moreover in the case of controlling multi vehicles, the necessity for developing corporation abilities like loading and unloading materials between vehicles including different types is increasing nowadays for automation of material flow. Thus to compensate and improve the functions of AGV, it is important to endow vehicles with the intelligence to recognize environments and goods and to determine the goal point to approach. In this study we propose an interaction method between hetero-type vehicles and adaptive fuzzy logic controllers for sensor-based path planning methods and material identifying methods which recognizes color. For the purpose of carrying materials to the goal, simple color sensor is used instead of intricate vision system to search for material and recognize its color in order to determine the goal point to transfer it to. The technique for the proposed method will be demonstrated by experiment.

**Key Words** : Adaptive fuzzy controller(적응식 제어기), Intelligent vehicle(지능형 Vehicle), Material flow automation(물류자동화), Distributed control system(분산 제어시스템), Color recognition(색상식별)

### 1. 서론

자율주행 반송대차(AGV, Autonomous Guided Vehicle)를 이용한 공장 물류자동화 시스템에서 운반차의 이동경로를 설정하는 방법은 운반차에 대한 Guided path line 추종방식이 운반차의 경로 이탈 방지 및 작업 목표점간의 연결성을 높여주는 이점이 있어 널리 사용된다. 그러나, 돌발장애물 또는 다른 차량과의 조우시에는 회피동작에 제약을 받게 되어 긴급이송이 어려워진다는 단점이 있다. 따라

서, 추종 방식이 아닌 운반차의 자율 결정 능력에 의한 최적경로 주행을 위해서는 정확한 환경 인식 및 상황에 맞는 작업목표 설정능력이 필요해진다. 또한 운반차가 여러대일 경우 각각의 차량의 위치 정보를 통합하고 각기 최적의 작업이 가능하도록 분산제어할 수 있는 시스템을 구축해야 하고, 완벽한 물류 자동화를 위해서는 인력의 도움없이 운반차가 스스로 목표물체에 대한 탐색 및 식별과 운반 작업을 마칠 수 있어야 한다. 이를 위해 센서를 통해 장애물과 운반물체를 구별하고, 다른 운반차와

\* 성균관대 기계공학부

공조작업으로 협동할 수 있는 능력이 필요하다.

C. O'dunlaing<sup>(1)</sup>이 제안한 우선순위 agent 경로 생성법에 중앙집중식 비직결 제어방식이 적용되었다. 각각의 로봇에 순위를 부여하여 상대적 순위가 높은 로봇에 대해 우선 경로가 생성되고 저순위로봇은 감속 및 대기상태에 두게 된다. 그러나, 이동장애물에 대한 실시간 판별기능이 없기 때문에 환경상에 돌발장애물이 발생하면 시스템을 중지시켜야 하는 문제점이 있다. K. Naruse<sup>(2)</sup>는 연역적 결정 tree를 통해 구성한 rule generation에 의해 분산 로봇 agent에 대한 경로계획법을 구상하였다. 이는 주행환경을 유한한 셀로 분할하여 각각의 로봇의 위치에서 진행 가능한 모든 경우의 수를 고려하고, 로봇마다의 통신이 없이 센서를 통해 외부정보를 수집하는 것만으로 이동경로를 결정하게 된다. 이는 작업장의 규모와 환경의 복잡도에 비례하여 경우의 수가 증가하므로 계산부하가 그만큼 커질 수밖에 없다. 또한 경로상에 있는 모든 물체를 장애물로 인식하게 되므로 별도의 표식이 없으면 로봇간의 상호인식이 어려워져 협동작업이 어렵다.

K. Ozaki와 H. Asama<sup>(3)</sup>등이 제안한 다중 로봇 협동체는 지식기반 시스템으로서 로봇간의 협동 및 통신을 통해 Data를 축적하여, 차후 임무수행에 활용하고, Zhi-Dong Wang<sup>(4)</sup>의 호스트에 의한 행동기반 로봇 시스템은 host의 vision 시스템 영상을 로봇에 전송하여 환경인식 및 협동작업을 이루게 한다. 전자의 경우는 base의 구축에 많은 시간이 소요되고, 후자는 vision을 얻을 수 있는 제한된 환경에서만 적용이 가능하다는 제약이 있다.

Lynne E. Parker<sup>(5)</sup>가 제안한 Alliance Multi-Robot Cooperation System은 위험물질 발견 및 운반시 협동기능이 있는 행동기반 제어 시스템이다. 각 개체가 자율수행능력을 가지지만, 중앙 감독기능이 없어, 다른 로봇의 환경정보 및 공동작업이 필요하다.

현재 시험, 운용되고 있는 물류이송 멀티로봇 제어 운영시스템으로 대표적인 것은 R.Alami<sup>(6)</sup> 등이 Rotterdam의 화물터미널에 적용 중인 MARTHA Project이다. Plan-Merging Operation이라는 알고리즘을 사용하여, 화물탐색 및 운송, 교차로에서의 주행 우선순위 판단을 수행할 수 있다. 많은 vehicle의 동작을 중앙제어감독하기에는 한계가 있어 자율기능을 강화시켜야 한다.

S. B. Marapane<sup>(7)</sup> 등은 1대의 로봇을 주행시키고, 비전과 초음파센서가 부착된 다른 1대의 로봇

을 퍼지제어기로 추종 주행시켰고, T. C. Lueth와 T. Laengle<sup>(8)</sup>은 Gripper가 부착된 소형 모빌로봇 KHEPERA 2대를 투입하여 공동으로 필요부품을 운반하여 매니플레이터 탑재로봇에 이를 전달하여 조립품을 완성하는 과정을 구현하였다.

따라서, 본 논문에서는 통신의존도가 적고, 각 agent가 자율적이지만 중앙감독이 이루어지고, 스스로 환경인식이 가능하며, 간단한 색상인식을 통해 물체를 식별하여 운반하며, 2가지 형태의 vehicle이 연계하는 물류이송 시스템을 구현해 보았다. 특히 이송 물체의 인식을 위해 적응식 퍼지 알고리즘을 적용해 보았다.

## 2. 배경 이론

### 2.1 Main Vehicle 기반의 다중제어

본 논문에서 구성하게 될 시스템은 Fig. 1과 같은 구조를 가지게 된다.

Vehicle의 구성은 물체의 수송을 담당하는 main vehicle과 물체의 탐색 및 재배치, 그리고 main vehicle에 물건을 싣고 내리는 sub vehicle로 이루어진다. 이중 main vehicle agent는 소형 vehicle agent들과 연락을 취하고 물류 전달호출에 응하여 수송 및 이송 scheduling을 담당하는 핵심 agent로서, agent들의 작업수행과정을 간헐적으로 체크하는 main agent의 기능을 가진다. 그러나, 작업의 수행은 각 agent들의 자율 하에 있으므로 분산 제어방식의 특성이 더 강하다. 결국 중앙 에이전트 기반 다중로봇 제어시스템(Central agent based multi-robot control system)으로 정의할 수 있다.

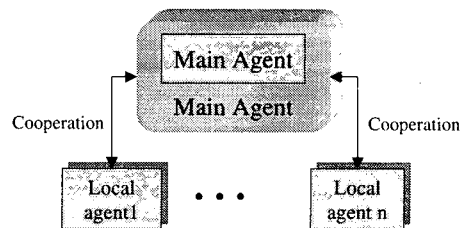


Fig. 1 Central agent based multi-vehicle control system

### 2.2 물체인식을 위한 Color 식별

#### 2.2.1 Color 주파수 대역과 광도

에너지 파장중에서 인간의 눈으로 감지할 수 있

는 가시광선은 파장대역이 약 380~700nm로 전체의 에너지파를 비교할 때 상당히 좁은 범위이다. 파장이 작을수록 청색편향이고, 길어지면 적색편향이 된다. 즉 380nm부근에서는 육안으로 청자색을 띠고 있고, 700nm 부근은 적색이다. 이중 시감도가 가장 좋은 파장은 550nm로서 녹색을 띠고 있어서 적은 빛으로도 쉽게 감별이 되고 외광에 영향을 적게 받는 색파장이다. (Fig. 2)

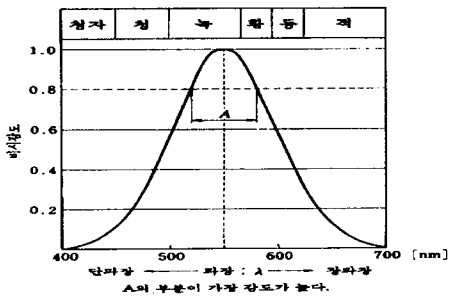


Fig. 2 Color Wavelength

물체의 색은 파장에 따라 적,등,황,녹,청,남,자색의 순으로 되어 있지만, 조사하는 광원에 따라 발생 파장이 달리 나타날 수 있다. 동일한 색도 백열등을 광원으로 할 때와 형광등을 광원으로 할 때가 각각 다르게 나타날 수 있는 것이다. 이를 색온도 차에 의한 “파장변이”라고 하는데, 태양광이나 백열등, 할로겐등과 같이 자연광의 특성을 가지는 경우는 강한빛이 조사될수록 황색 편이특성을 가지고 있다. 즉, 황색의 근접색인 주황색이나, 연두색 등은 주변광원이 강할 때, 황색으로 편이되는 특징을 가지고 있는 것이다. 이에 대한 보정을 위해서는 주변광도를 측정하여 기준광도에 대한 가시광의 파장을 가감하는 기법이 필요하다.

### 2.2.2 색감별 센싱기법

본 논문에서의 물체이송 vehicle은 동일한 크기의 소형 컬러 블럭을 판별하고 해당 목적지까지 이송하는 시스템으로서 물체식별을 위해 복잡한 영상 처리기법을 사용할 필요없이 색상을 인식할 수 있는 컬러 포토센서를 사용하였고, R(Red), G(Green), B (Blue)를 분광할 수 있는 3개의 다이오드로, 수광시 기전력을 발생시키게 된다. R, G, B와 그 중간색 등을 구별해 낼 수가 있다. (Fig. 3)

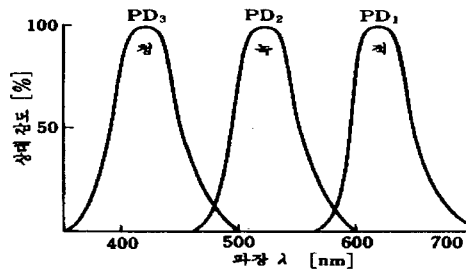


Fig. 3 Color distribution

물체색상 감별에서의 문제는 물체와의 거리에 따라 색상인식이 달라질 수 있다는 것이므로 물체에 센서를 일정거리로 근접시킨 후 센싱하는 방법으로 해결할 수 있다. 또한, 주변광에 의한 색상의 오차도 발생하기 쉬우므로 검출광의 파장에 해당하는 색상을 주변광도에 따라 약간씩 조정하여 테이블로 저장해 둘 필요가 있다.

### 2.3 적응식 퍼지 제어기

예측불가능한 상황 또는 입력 변수에 영향을 주는 파라미터가 존재하는 경우에는 일반적인 퍼지 제어기로는 해결하기 어려운 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 자체 보정기능이 있는 직접 적응식 퍼지제어기(direct adaptive fuzzy controller)를 사용하기로 한다.

#### (1) 퍼지 모델 레퍼런스 학습 제어 (FMRLC)

직접 적응 퍼지제어기가 입력 조건에 상응하는 출력을 제어할 수 있으려면 디자인된 모델에 대한 학습과정을 필요로 한다. 이를 퍼지 모델 레퍼런스 학습 제어(Fuzzy Model Reference Learning Control)라 한다. 제어기의 구조는 Fig. 4와 같다.

전체적인 학습제어과정은 제어전달함수에 의한 퍼지제어 출력  $u(kT)$ 를 입력받은 플랜트의 출력  $y(kT)$ 를 학습기에 입력후 레퍼런스 모델과 비교하여 출력오차  $y_e$ 와 오차변화율  $y_c$ 를 산정하는 퍼지 인버스 모델링 과정을 거치고, 이의 출력  $p(kT)$ 로 퍼지 제어기의 퍼지 집합과 룰 베이스를 수정하는 과정을 거친 후, 수정된 퍼지제어기로 에러  $e$ 와 에러 변화율  $c$ 를 입력받아 제어출력을 만들어 낸다.

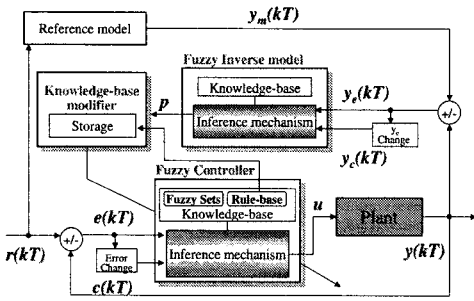


Fig. 4 Direct adaptive fuzzy model reference learning controller

여기서 사용된 에러와 에러변화율은 다음 식과 같다.

$$e(kT) = r(kT) - y(kT) \quad (1)$$

$$c(kT) = \frac{e(kT) - e(kT - T)}{T} \quad (2)$$

윗 식에서 T는 샘플링 시간간격이고, k는 임의의 샘플링 횟수이다.

퍼지제어기의 퍼지 규칙 및 이를 튜닝하기 위한 퍼지인버스 모델의 퍼지규칙은 각각 (3), (4)와 같다.

$$\text{IF } \tilde{e} \text{ is } E_j \text{ AND } \tilde{c} \text{ is } C_l \text{ THEN } \tilde{u} \text{ is } U_m \quad (3)$$

$$\text{IF } \tilde{y}_e \text{ is } Y_{ej} \text{ AND } \tilde{y}_c \text{ is } Y_{cl} \text{ THEN } \tilde{p} \text{ is } P_m \quad (4)$$

$E_j$  와  $C_l$ ,  $Y_{ej}$ ,  $Y_{cl}$  은 소속함수 값을 나타내는 변수이고 j와 l은 소속함수 식별첨자이다.

(2) 퍼지 지식 베이스(Fuzzy Knowledge-Base)

퍼지 규칙 지식 베이스는 다음과 같다.(Table.1)

Table 1 Adaptive fuzzy knowledge-base

erro	inde	Ej											
		-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
C	x	-5	-1	-1	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	
	y	-4	-1	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	
	z	-3	-1	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.4
	u	-2	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.6
	v	-1	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.8
C	w	0	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
	x	1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1
	y	2	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1
	z	3	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1	1
	u	4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1	1	1
v	5	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1	1	1	1	1	

위의 table로부터 에러가 E-5, 에러변화율이 C-5 소속 함수에 속할 때에는 출력이 -1에 해당한다는 것을 알 수 있다. 따라서 출력 함수의 값은 최대의 양의 값을 보상하여 출력하게 된다. 또한 플랜트의 출력을 읽은후, 레퍼런스와의 비교 과정을 통해 계산된 출력 에러와 에러 변화율로 위의 지식 베이스를 수정하는 과정을 거치게 된다. 학습이 완전히 진행된 후 위 테이블의 초기 테이블과 최종 테이블을 비교하여 보면 발생 에러의 크기와 분포를 관찰해 볼 수 있다.

### 3. 전체 시스템 구성

#### 3.1 Vehicle의 주행환경

주행 환경은 Fig. 5와 같이 2개의 local area가 설정되어 있고, 탐색 vehicle이 1대씩 할당되어 area 내부에서 활동할 수 있게 되어 있고, local area 외곽을 수송 vehicle이 주행하며, 수송 vehicle에 대한 물체의 적재 및 하역작업이 이루어지는 docking station이 local area마다 마련되어 있다.

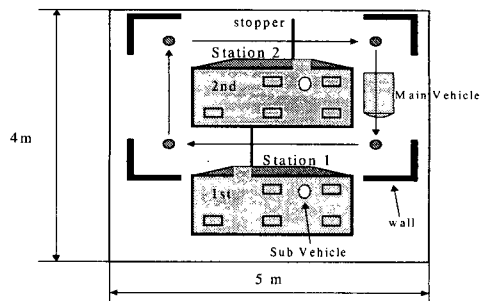


Fig. 5 Environment for material delivery

운반물체는 4cm× 4cm× 5cm크기의 컬러 블록을 사용한다. Blue, Red, Green, Yellow, Violet등의 색상을 가지는 것으로 준비한다. Local area 내부에는 5개씩의 적하장을 가지며 각 적하장에는 컬러 외곽선을 마킹해 둔다.

#### 3.2 Vehicle System의 외형

본 논문에서 블록 색상식별 및 이송을 위한 main-sub multi vehicle system의 기본적인 외형은 Fig. 6에서 보는 바와 같다. area간에 대해 물체 수송을 담당하는 수송 main vehicle과 local area내부에

서 물체탐색 및 운송기능을 가지는 2대의 소형 탐색 vehicle로 구성되어 있다.

Main vehicle의 앞부분 하단에는 블록을 적재할 수 있는 트레이가 설치하고 원형 표식을 부착하여 sub vehicle이 블록을 싣는 부분에 원형 표식을 부착하였다.

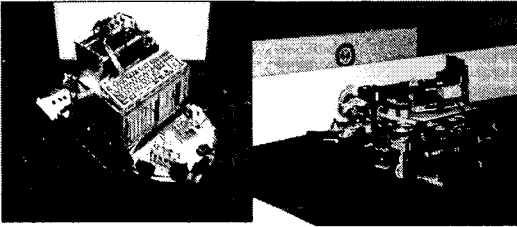


Fig. 6 Picture of Vehicle System

Sub vehicle의 몸체는 기본적으로 lego block을 이용하여 조립하였고, 크게 하부몸체와 상부 터렛으로 구성되어 있다. 몸체하부에 제어기판이 설치되어 있고, 터렛에는 구동모터와 gripper, 장애물감지 센서, 칼라센서가 탑재되어 있다. 몸체에는 이밖에 통신용 모듈과 충전 배터리가 탑재된다.

### 3.3 Vehicle의 기구학적 모델링과 좌표인식

본 논문에서 고려하는 수송용 main vehicle은 상단부에 2개의 구동바퀴(Driving Wheel)와 하단부에 2개의 보조바퀴(Free Wheel)를 지닌 4바퀴 2자유도(4wheeled 2 DOF) 형태의 이동로봇이다. 구동바퀴는 두 개의 모터를 사용하였고 이들의 상대 속도를 제어하여 이동로봇을 구동한다. 이동로봇은 Fig. 7과 같이  $x-y$ 평면상에서 이동하므로 위치와 방향을 표시하려면 두 개의 위치변수  $x, y$ 와 방향변수  $\theta$ 가 필요하다.

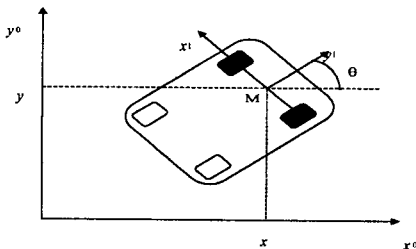


Fig. 7 Coordinates of main vehicle

두 구동바퀴에 각각 인크리멘탈 인코더(Incremental Encoder)를 사용하므로 기준 좌표계로부터 몸체 좌표계까지의 상대 좌표로 이동로봇의 자세와 속도를 추정하는 추측항법(Dead Reckoning) 과정을 필요로 한다. 로봇의 선속도  $v$ 와 회전속도  $\omega$ 는 식(1)과 같다.

$$v = \frac{(\Delta_R + \Delta_L)}{2\delta}, \quad \omega = \frac{\Delta_\theta}{\delta} \quad (5)$$

여기서  $\Delta_R$ 과  $\Delta_L$ 은 샘플링주기(Sampling Period) 동안 좌우 바퀴의 주행거리이고  $\Delta_\theta$ 는 샘플링주기  $\delta$ 동안 로봇의 방향변화이다. 임의시간에서 Vehicle 자세벡터의 각 성분은 다음과 같다.

$$\theta = \theta_{old} + \Delta_\theta \quad (6)$$

$$x = x_{old} + \frac{(\Delta_R + \Delta_L)}{2} \cos(\theta_{old} + \frac{\Delta_\theta}{2}) \quad (7)$$

$$y = y_{old} + \frac{(\Delta_R + \Delta_L)}{2} \sin(\theta_{old} + \frac{\Delta_\theta}{2}) \quad (8)$$

여기서  $(x_{old}, y_{old}, \theta_{old})$ 는  $\delta$  시간 이전의 이동로봇의 자세이다.

탐색 sub vehicle 시스템은 Fig. 8과 같이 중앙부에 2개의 구동륜(Driving Wheel)과 전후면에 각각 2개의 보조캐스터(Free Castor)를 지닌 4 륜 2 자유도(4 wheeled 2 DOF) 형태의 이동로봇이다.

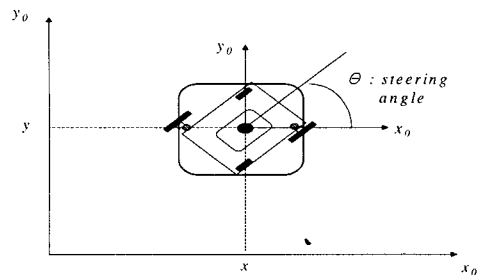


Fig. 8 Coordinates of sub vehicle

구동바퀴는 동시에 동일한 각도로 조향되는 이륜 동시구동 조향(Bi-wheel Synchro Drive & Steering)방식을 채용하였고,  $(x_0, y_0, z_0)$ 는 Vehicle의 절대위치를 지정하는 기준좌표계이고, 몸체 중앙에 몸체 좌표계  $(x_1, y_1, z_1)$ 를 설정한다. 또한 vehicle의 주행 특성상, 로봇의 자세각도  $\theta$ 의 변화 없이 모든 방향으로주행이 가능하므로 위치결정

위해 필요한 변수는 기준좌표계의  $x, y$  뿐이다. 구름 볼에 연결된 인터럽터 샘플링주기(Sampling Period)  $\delta$  동안 각각의 인터럽터 펄스 수를  $Z_x, Z_y$  라 한다. 또,  $P$ 를 인터럽터 축의 회전당 펄스수,  $R$ 을 구름볼의 지름이라 하면 이동증분은

$$\Delta x = 2\pi \cdot R \cdot \frac{Z_x}{P \cdot G} \quad (9)$$

$$\Delta y = 2\pi \cdot R \cdot \frac{Z_y}{P \cdot G} \quad (10)$$

와 같이 쓸 수 있고,  $x, y$ 의 좌표는 다음과 같다.

$$x = x_{old} + \Delta x, \quad y = y_{old} + \Delta y \quad (11)$$

또,  $\delta$  동안의 Vehicle의 이동거리는

$$\Delta l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (12)$$

와 같고, Vehicle의 주행속도는 다음과 같다.

$$v = \frac{\Delta l}{\delta} \quad (13)$$

#### 4. 적응퍼지 제어기의 설정

본 논문에서는 속도와 조향각에 대해서는 퍼지 제어를 사용하였고 색상 인식을 위해 적응식 퍼지제어를 적용시켜 보려 한다.

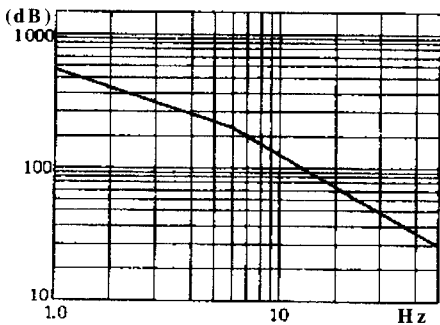


Fig. 9 A characteristic frequency of color sensor

이를 위해서는 시스템의 전달함수를 필요로 한다. Fig. 9의 칼라 센서 주파수 특성 선도를 관찰하면 6Hz에 절점이 존재함을 알 수 있다. 환산하면 37.7 rad/sec 에 절점이 존재하고 절점 이하에서는 -20 dB의 기울기를 가지고 있으므로, 적분요소를 포함하고 있음을 알 수 있다.

이를 통해 구한 color 센서의 시스템 전달함수

는

$$G(s) = \frac{k_p}{s^2 + \omega_c s} = \frac{k_p}{s^2 + 37.7s} \quad (14)$$

이고 여러 번의 tuning 결과  $k_p = 10^5$ 로 정할 수 있었다. 이 전달 함수를 통해 출력되는 제어신호와 비교할 레퍼런스 모델은 1차 시스템으로 선정한다. 여기서는  $G(s)$ 의 분모에서 적분요소를 제외한 함수를 사용한다. 즉,

$$M(s) = \frac{k_p}{s + 37.7} \quad (15)$$

비교된 색상 인식 에러  $e$ 와 에러변화를  $c$ 를 입력변수로 사용하게 되고, 각각 11가지의 퍼지 집합을 가지게 되므로 총 121가지의 퍼지 제어규칙이 설정되고 이는 퍼지 지식베이스로 사용된다.(Table 1) 그 규칙은 Table. 1과 같다.

#### 5. 실험 결과 및 결론

칼라센서의 색상식별을 위한 적응 퍼지제어의 시험 및 sub vehicle과 main vehicle의 자율주행 실험을 통하여 각각의 성능을 검증해 보았다. 실험을 위한 기본 환경은 Fig.3과 같은 조건을 사용하였고, Red, Yellow, Blue의 3색 블록을 1개씩 local area 내부에 배치시켜 놓았다. Fig. 10은 블록이송 및 자율주행중인 vehicle의 모습을 보여주고 있다.

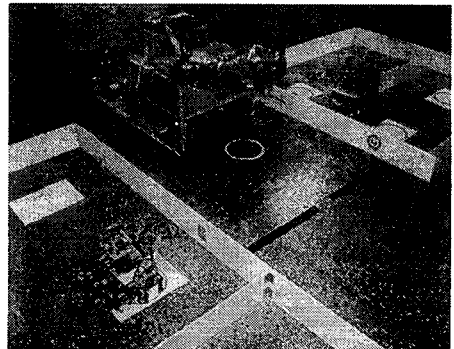


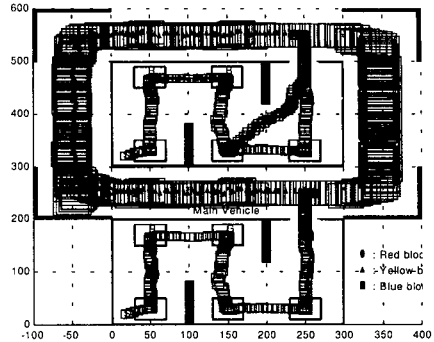
Fig. 10 Multi vehicle operation

첫 번째 시험환경은 하단의 1번 local area에 Red 블록과 Yellow 블록을 위치시키고, 상단의 2번 local area에는 Blue 블록을 위치시켰다. 두 번째

시험 환경은 1번 area에 Yellow 블록을 위치시키고, 2번 area에는 Red와 Blue 블록을 위치시켰다. 주변 조도는 첫 번째 환경에 250 lux로 설정하고, 두 번째 환경에 400 lux로 설정하였다.

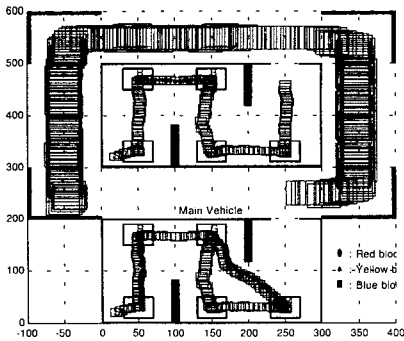
주행 전 각 sub vehicle에는 area 내부의 5개 적하장의 위치 정보를 주고 5곳을 차례로 거치면서 블록이 있는지의 여부를 판단하게 하였다. Main vehicle은 local area 외부로 순환 주행하면서 sub vehicle이 외부로 옮길 블록을 발견시 해당 area 입구에 대기하도록 설정하였다. 이러한 동작은 main vehicle과 sub vehicle의 무선통신을 통한 데이터교환으로 수행되었다. 각각의 경우에 대해 일반 퍼지 제어기와 적응 퍼지 제어기의 색상식별 성능을 비교할 수 있도록 하였다.

일반 퍼지 제어기를 사용한 첫 번째 설정의 실험 결과는 Fig. 11(a)처럼 각 sub vehicle이 블록 내부이송만을 수행하고 마쳤다. Red와 Blue 블록은 각각의 목적지로 잘 옮겨졌으나, Yellow 블록은 Green으로 오인되어 Green 적하장으로 옮겨졌다. 따라서 main vehicle은 1번 적하장에 도착하였으나 블록을 넘겨 받지 못하고, 종료되었다. 이는 250 lux라는 조도에 대해서도 일반 퍼지 알고리즘으로 오류가 발생할 수 있다는 것을 보여 주는 것이다. Blue와 Red 등은 각각 단과장, 장과장으로 다른 색과의 오인 가능성이 적지만, Yellow는 중간 과장대역으로 Green 과장대역과 인접해 있어 조도가 낮을 경우는 오인될 가능성이 있다. 반면 적응 퍼지 제어기를 사용한 (b)의 경우는 적절한 인식으로 1번 area로부터 2번 area의 Yellow 적하장으로 이송됨을 보여준다.

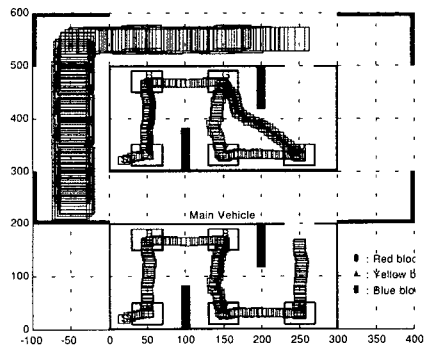


(b) Block recognizing with adaptive fuzzy controller  
Fig. 11 Multi vehicle operation (250 lux)

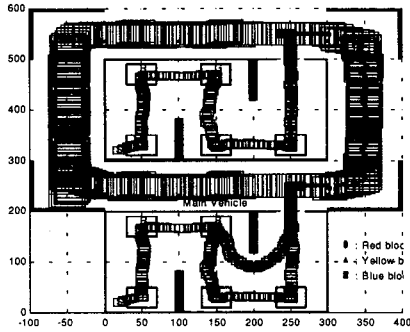
두 번째 설정의 실험 결과도 Fig. 12(a)에 보인 바와 같이 area별 내부 이송만으로 끝났다. 1번 area의 Yellow와 2번 area의 Red 블록은 정상적으로 이송되었으나, 2번 area의 Blue 블록은 Green 적하장으로 옮겨졌다. 이는 충분한 조도가 가해지는 400 lux에서는 Red가 장과장으로 인식되더라도 다른 색과의 오인 가능성이 없고, Red와 약 100nm 정도 차이 나는 Yellow도 적절히 인식됨을 보인다. 하지만 Blue의 경우는 Green 대역과 가까운 과장 대역이므로 조도 증가에 따라 오인될 가능성이 존재하게 된다. 적응 퍼지제어기를 사용한 결과는 3색의 블록 모두 적절하게 이송될 수 있음을 보여 주었다. 적응 퍼지제어기를 사용했을 때에는 2경우가 모두 조도에 관계없이 3색 인식 성능이 우수했다.



(a) Block recognizing with fuzzy controller



(a) Block recognizing with fuzzy controller



(b) Block recognizing with adaptive fuzzy controller  
Fig. 12 Multi vehicle operation (400 lux)

Table 2 Adaptive Fuzzy Knowledge Base

		E(error)									
C	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000
	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.00000	0.00000
	00	00	00	00	00	00	00	00	00	0	00
	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-1.0362	-1.0139	0.01226	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000
	00	00	00	00	41	79	2	0	0	0	00
	-0.0512	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.5046	-1.6144	-0.2097	0.29654	0.00000	0.00000	0.0000
	70	00	00	00	5	50	43	7	0	0	00
	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0044	-0.6829	0.89000	2.35292	0.27839	0.00000	0.00000	0.0000
	00	00	00	14	32	0	4	6	0	0	00
-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.06623	0.57194	2.43042	1.22451	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	
00	00	00	6	5	2	1	0	0	0	00	
-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.45319	2.41292	3.63575	0.37401	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	
00	00	00	4	8	8	2	0	0	0	00	
-0.0000	-0.0000	0.00000	0.38254	1.06609	2.68354	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	
00	00	0	4	0	5	0	0	0	0	00	
-0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00	
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00	

(-After 7000 times learn)

Table. 2는 400Lux에서 변형된 룰 베이스의 결과를 보여준다. C는 에러의 변화율이다.

본 연구에서 물체의 칼라식별을 통한 물체이송 Vehicle에 대한 제어기법연구과정에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- (1) 시각적인 물체 식별방법의 하나로써, 색상식별을 통한 물체인식 및 물체이송방법을 제시하였다.
- (2) 국소 지역에 분산된 멀티 에이전트 시스템을 운영하기 위한 방법으로 분산제어기법을 적용하여 효과적인 시스템 운영을 꾀하였다.

(3) 물체의 색상식별을 위하여 적응식 퍼지 알고리즘을 적용하여 주변 조도에 영향을 받지 않는 알고리즘을 개발하고 실험을 통해 성능을 확인 할 수 있었다.

향후 연구 과제로는 vehicle간의 정확한 물체 인식 및 전달을 위해 비전 시스템이나 이미지 센서등으로 보완하면 좀 더 신뢰할 수 있는 시스템이 구성될 것이다.

### 참고문헌

1. C. O'dunlaing, M. Sharir, C. Yap, "Retraction : A new Approach to Motion Planning," ACM Symp. Theory and Computing, pp. 207-220, 1983.
2. Keitarou Naruse and Yukinori Kakazu, "Rule Generation by Inductive Decision Tree and Reinforcement Learning," Distributed Autonomous Robotic Systems Vol.1 Springer-Verlag Tokyo, pp. 91-95, 1994.
3. K.Ozaki, H.Asama, H.Itakura, A.Matsumoto, Y.ishida and I.Endo,"Collision Avoidance among Multiple Mobile Robots Based on Rules and Communication," Proc. of IEEE/RSJ Int. Workshop on IROS, pp. 1215-1220, 1991.
4. Zhi-Dong Wang, H.Asama, A.Matsumoto, "Design of an Autonomous and Distributed Robot System," Proc. 1989 IEEE Int. Workshop on IROS '89, pp. 283-290, 1989.
5. Lynne E. Parker, "Alliance: An Architecture for Fault Tolerant Multirobot Cooperation," IEEE Transactions on Journal of Robotics and Automation, Vol. 14. NO. 2, April, pp. 220-228, 1998.
6. R.Alami, S.Fleury, M.Herrb, F.Ingrand, F.Robert, "Multi-Robot Cooperation in the MARTHA project," IEEE Robotics & Automation Magazine, March, pp. 36-43, 1998.
7. S. B. Marapane, Mohan M. Trivedi, Nils Lassiter, "Motion Control of cooperative Robotic Teams Through Visual Observation and Fuzzy Logic Control," Proc. of the 1996 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Minneapolis, April Vol.2, pp. 1738-1743, 1996.
8. T.C.Lueth, T Laengle, "Managing Different Types of Interactions among Robots," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1503-1508, 1995.