

## Fuzzy PLC 시스템을 이용한 플랜트 제어 연구

이 기 범, 김 강 희  
포항산업과학 연구원 설비자동화 연구센터

### The Study of Plant Control using Fuzzy PIC System

Gi-Bum Lee, Kang-Hee Kim  
Research Institute of Industrial Science & Technology(RIST)

**Abstract** - 산업현장의 제어기들은 센서들로부터 수집된 다양한 형태의 신호들을 처리한다. 이 신호들은 고정된 값을 가지지 않고 물리적으로 변화하는 특성을 가진다. 이와 같이 변화하는 값을 처리하는 방법으로 다양한 형태의 연구가 진행되고 있고, 그 한 분야로 퍼지(Fuzzy)이론을 바탕으로 한 퍼지 제어 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. Fuzzy PLC 시스템은 현재 초기단계 형태로 개발되어 사용되고 있으며 그 응용 방법도 조금씩 보급되고 있는 실정이다.

본 논문은 변화하는 값들에 대해 간결하고 적절한 제어를 수행 할 수 있는 기 개발된 Fuzzy PLC 시스템을 이용한 플랜트 제어에 대한 연구이다. 크레인(Crane) 제어용으로 사용한 Fuzzy PLC 시스템은 Moeller사의 FT4-400-MM2 PLC 모듈이다. 본 시스템을 이용하여 대상 플랜트인 크레인을 제어하는 퍼지 함수 로직을 개발하고, 입·출력 제어 프로그램 기법에 대하여 연구한다. 또한 퍼지 제어 시스템을 이용한 퍼지 제어 기법을 개발하는 과정에 대하여 소개한다. 결론적으로 Fuzzy PLC System 개발 및 응용 모델로서 제안하고자 한다.

## 1. 서 론

1999년 IEEE에서 조사한 결과에 따르면 약 1100개의 성공적인 퍼지 논리 적용이 발표되었다. 조사대상의 모든 적용은 PID와 같은 표준형 제어기를 대체한 것이 아니라 다 변수 감속제어가 대부분을 차지하고 있다. 이러한 응용영역은 embedded control(28%), 산업 자동화(63%), 공정제어(10%)등 다양하게 이용되고 있다 [1].

최근 국내에서도 퍼지 논리의 적용에 대해서 활발한 연구가 진행되고 있고, 퍼지 논리를 이용하여 시스템을 설계한 경험이 있는 설계자를 상대로 한 설문 조사에서 설계시간을 절반이상으로 대폭 줄여준다고 대답한 설계자가 90%이상이며, 설계자의 97.5%가 퍼지 논리가 적용 가능하다면 장래의 응용시스템을 개발할 때 퍼지 논리를 다시 사용하겠다고 응답하였다. 미래의 제어공학에 있어서 퍼지 논리는 매우 중요한 역할을 할 것이며 그 사용도는 점차 증가 될 것임이 분명하다[1,2].

본 논문에서는 기 개발된 Fuzzy PLC 시스템인 Moeller사의 FT-400-MM2 PLC 시스템을 이용하여 연구대상 플랜트인 크레인(Crane)을 제어하는 퍼지 함수 로직을 개발하고, 입·출력 제어 프로그램 기법에 대하여 설명하고, 퍼지 제어 시스템을 이용한 퍼지 제어 기법을 개발하는 과정에 대하여 소개 하고자 한다[3].

2장에서 FT-400-MM2 PLC시스템의 구조와 본 논문의 연구 대상인 크레인 제어 플랜트의 특성과 퍼지 적용 방법, 및 퍼지 함수 개발, 입·출력 제어 프로그램 기법에 대해서 설명하고 3장에서 결론과 향후 연구 방향에 대해서 기술한다.

## 2. 본 론

### 2.1 크레인(Crane) 제어 Fuzzy PLC 시스템

본 논문에서 개발할 제어 플랜트인 크레인의 작동은 [그림 1]과 같다. 시작지점(source)과 목적지(target)간을 이동하는 양방향 단일 레일, 대상 물건을 이동시키기 위한 크레인헤드와 대상 물건을 이동시키기 위해 source에서 대상물건을 들어올리기 위한 케이블로 구성되며, 작동은 대상물건이 있는 곳으로 크레인헤드를 이동시키고, 크레인헤드로부터 케이블을 내려 대상물건에 연결하고, 크레인헤드를 목적지(target)로 이동시키고, 목적지에 크레인 헤드가 도착하면 크레인헤드로부터 케이블을 풀어 대상물건을 하역 또는 선적하게 된다.

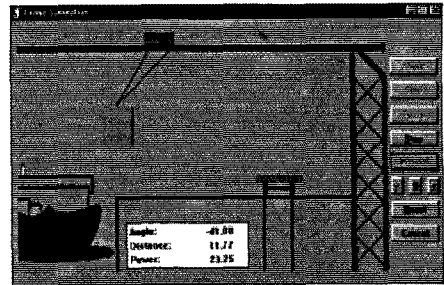


그림 1. 크레인 작업의 시뮬레이션 화면

이와 같은 크레인 제어에서 문제가 되는 것은 크레인 헤드와 대상물건을 연결하는 케이블이 크레인헤드가 움직임에 따라 흔들리므로, 대상물건과 크레인헤드의 위치가 일치하지 않는다는 것이다. 표준 PID 컨트롤러를 이용하여 이 문제를 해결할 경우 단일 변수만을 처리해야 하므로 대상 물건이 하역 또는 선적되어야 할 목적지 위치를 변수로 제어하는 방법은 다음 두 가지를 들 수 있다.

첫째 크레인헤드를 움직여 목적지에 위치시키는 방법과, 둘째 컨테이너가 흔들리지 않도록 크레인 헤드를 천천히 움직이는 방법이다. 두 가지 방법은 첫째는 목적지에 도착한 후에 대상물건의 흔들림이 멈출 동안 기다려야 한다는 문제점이 있고, 두 번째 방법은 크레인헤드를 천천히 움직여야 하므로 컨테이너 이동시간이 너무 많이 걸린다는 문제점이 있다.

이 문제를 해결하기 위해 크레인에 연결된 대상 물건의 흔들림에 영향을 미치는 요인들을 살펴보면 다음과 같다.

- 크레인헤드와 목적지의 거리(Distance)
- 크레인헤드의 속도(moter power)
- 크레인헤드의 속도에 따른 대상의 흔들림(angle)

위 요인을 감안하여 숙련된 크레인 운영자들이 크레인

을 제어하는 알고리즘은 다음과 같다.

1. 크레인헤드를 중 속도로 이동
2. 크레인헤드가 목적지에서 멀리 떨어져 있을 경우 목적지에 도착 할 동안 크레인인헤드의 속도를 조절한다(증가 또는 감소).
3. 크레인헤드가 목적지에 도착 할 경우 속도를 감소시켜 대상물건이 크레인헤드의 앞쪽으로 흔들리게 한다.
4. 대상물건이 목적지 가까이 도착하였 을 때 크레인헤드의 속도를 높인다.
5. 대상물건이 목적지에 도착하고 흔들림이 없을 때 크레인헤드를 멈춘다.

다음절에서 우리는 위와 같은 알고리즘으로 크레인 제어 플랜트를 위한 퍼지 PLC 컨트롤 시스템 개발 과정에 대해서 설명한다.

## 2.2 FT4-401-MM2 PLC 모듈

본 절에서는 본 논문에서 크레인 제어 플랜트 개발을 위한 Fuzzy PLC System인 Moeller사의 FT4-401-MM2 PLC 모듈에 대해서 설명한다.

### 2.2.1 입출력 제어 구조

FT4-401-MM2는 디지털 및 아날로그 두가지 입/출력을 제공한다. -10 ~ 10V값의 아날로그 입력점 3개, 0 ~ 20mA값의 아날로그 입력점 3개를 제공하고, 24V값의 입력이 가능한 4개의 디지털 입력점을 제공한다. 출력점으로 -10 ~ 10V 사이의 값을 출력할 수 있는 3개의 아날로그 출력점을 제공하고, 24V DC/0.5A 값을 출력하는 3개의 디지털 출력점을 제공한다. 하나의 FT4-401-MM2 제어 모듈에는 제어 모듈과 동일한 입출력점을 가지는 LE4-116-XD1 스테이션 모듈 6개를 확장하여 사용할 수 있다. 따라서 FT4-401-MM2 제어 모듈은 [표 1]에서 보는 것과 같이 총 60개의 입력점과 42개의 출력점을 제공한다.

표 1. FT4-401-MM2의 입출력점 수

구분	아날로그 입력		디지털	아날로	디지털
	-10~10V	0~20mA	입력	그출력	출력
단일	3	3	4	3	3
최대	21	21	28	21	21

PS4-401-MM2 제어 모듈의 프로그래밍 명령어(instruction)의 구조는 다음과 같다.

Operation Operand ; operand commend

(예) LD IX 0.0 ; Motor 1 start

주소부(Operand)는 입출력점을 제어하기 위하여 다음과 같은 인수로 구성된다. 'IX 0.0'에서 I부분은 주소부의 구분자로 사용되며, X는 주소부의 데이터 타입 플래그(Flag)로 입출력 데이터의 타입을 나타낸다.

FT4-401-MM2에서는 데이터 타입 플래그가 X로 세팅이 되는 bit 데이터, B로 세팅이 되는 Byte 데이터, W로 세팅이 되는 Word 데이터의 3가지 데이터 타입을 제공한다. 예에서 0.0의 인수는 입력과 출력점을 나타내기 위한 인수로 첫 번째 인수는 확장 스테이션 번호, 두 번째 인수는 Byte, Word 데이터의 번호, 마지막

인수는 bit 데이터의 번호를 나타낸다. 따라서 각 인수의 범위는 bit 번호 0~7번, Byte, Word 번호 0~511, LE 확장 스테이션의 번호 0~6으로 나타난다. 예를 들어 2개의 확장 스테이션을 가지는 스테이션에서 2번째 확장 스테이션의 아날로그 입력은 "IAW 2.10.0"과 같이 사용된다.

### 2.2.2 통신구조

FT4-401-MM2에서의 통신은 PC에서 개발된 시스템 제어 모듈로 전송하기 위한 통신과 제어 모듈을 확장하여 여러 개의 제어 모듈을 사용하는 경우 제어 모듈 간의 통신 두 가지 경우에 발생한다. PC와 PS4-401-MM2 간의 통신은 RS232와 RS485의 통신 프로토콜을 제공하고, 제어기간의 통신은 RS485 통신 프로토콜을 이용하여 데이터를 전송한다. (그림2)는 FT4-401-MM2 시스템의 전체 블럭도 이다.

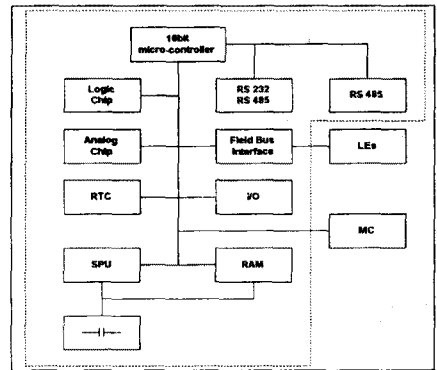


그림 2. FT4-401-MM2 모듈 블럭도

## 2.3 퍼지 제어 시스템

퍼지 제어 시스템은 다음과 같은 3가지 단계에 따라 구성된다.

- 퍼지화(Fuzzification)
- 추론(Inference)
- 역퍼지화(Defuzzification)

퍼지화 과정은 물리적인 입력값을 멤버십 함수를 이용하여 퍼지 세트의 값으로 전환하는 과정이며, 추론 과정은 입력 퍼지 값을 가지고 퍼지 멤버십 함수를 이용하여 출력 퍼지 값을 구성하는 과정이고, 역퍼지화 과정은 출력 퍼지값을 물리적 값으로 재 변환하는 과정이다. (그림 3)은 크레인 제어 퍼지 시스템의 제어 흐름도이다.

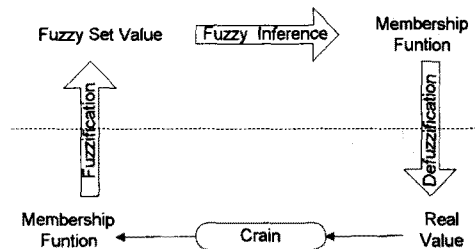


그림 3. 크레인 제어 퍼지 시스템의 제어 흐름

### 2.3.1 제어 규칙의 정의

본 논문에서 제어 플랜트의 예로 제시한 크레인의 제어에 영향을 미치는 인수는 크레인헤드와 목적지간의 거리(distance), 크레인 헤드의 속도(motor power), 크레인

헤드의 움직임에 따른 대상물건의 흔들림 각(angle)등이다. distance 와 angle의 입력 값에 따라 motor power의 출력 값을 증가 또는 감소시켜 목적지에 정확하게 도착하도록 크레인을 제어하여야 하게되는 것이다.

앞에서 살펴본 크레인제어 알고리즘을 퍼지화 하기 위하여 다음과 같은 "if-then" 구조의 룰로 표현한다.

**IF <상태> THEN <action>**

1. **IF** Distance = far **AND** Angle = zero  
**THEN** Power = pos\_medium
- 2a. **IF** Distance = far **AND** Angle = neg\_small  
**THEN** Power = pos\_big
- 2b. **IF** Distance = far **AND** Angle = neg\_big  
**THEN** Power = pos\_medium
3. **IF** Distance = medium **AND** Angle = neg\_small  
**THEN** Power = neg\_medium
4. **IF** Distance = close **AND** Angle = pos\_small  
**THEN** Power = pos\_medium
5. **IF** Distance = zero **AND** Angle = zero  
**THEN** Power = zero

이와 같은 룰을 퍼지 시스템에 적용하는 방법은 다양하게 제공된다. [그림 4]는 위의 룰을 시스템에 적용하는 방법의 예로 FT4-401-MM2 시스템 개발 도구에서 룰을 표현하는 방법이다.

Spreadsheet Rule Editor - R11				
	IF	AND	THEN	
	Angle	Distance	DoS	Power
1	zero	far	1.00	pos_medium
2	neg_small	far	1.00	pos_big
3	neg_big	far	1.00	pos_medium
4	neg_small	medium	1.00	neg_medium
5	pos_small	close	1.00	pos_medium
6	zero	zero	1.00	zero

그림 4. 룰을 표현하는 방법

이 외에 매트릭스(matrix)를 이용하여 룰을 정의하는 방법, 수학적 기호를 이용하는 방법 등 다양하게 제공한다.

### 2.3.2 변수의 선언

크레인 제어 시스템의 변수는 입력 변수인 distance와 angle에 따라서 출력 변수인 motor power를 변화시킨다. 크레인 제어 시스템의 변수는 다음과 같이 선언된다. 변수간의 입출력 상관 관계를 선언하고, 선언된 입출력 상관관계와 2.3.1절에서 선언한 룰 블록을 연결한다. [그림 6]의 좌측 상단은 입출력 변수들의 상관 관계를 표현한 개발 도구 화면이다.

입출력 변수의 상관 관계를 설정하고, 물리적으로 연속적인 입력 변수를 퍼지 시스템에서 사용하기 위하여 퍼지 세트의 값으로 변환하기 위하여 멤버십(Member-ship) 함수를 이용하여 퍼지화(Fuzzification)작업을 한다. 일반적으로 입력된 변수값을 홀수개의 term의 퍼지 세트 값으로 퍼지화 한다. 다음은 3개의 term으로 퍼지화한 예이다. 일반적으로 term은 3 ~ 7개로 구성이 된다.

"short", "medium", "tall"

[그림 5]는 3개의 term으로 퍼지화가 이루어진 텀의 멤버십 함수의 예이다.

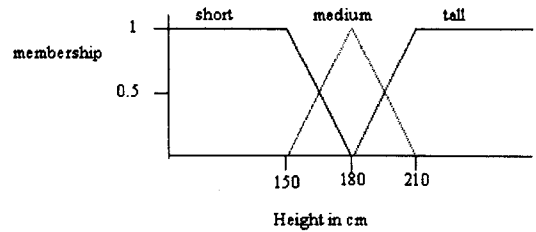


그림 5. 3 term 퍼지화와 멤버십 함수의 예

크레인 제어에서 입력 변수는 distance, angle, power로 각 변수의 입력 값의 범위는 distance의 경우 far, medium, zero, near, too\_far의 텀으로 구성되는 멤버십 함수로 구성하고 전체 범위는 -10m ~ 30m의 값을 가진다. angle은 neg\_high, neg\_medium, neg\_small, zero, pos\_small, pos\_medium, pos\_high의 7개의 term으로 구성되는 멤버십 함수를 사용하고 -90 ~ 90의 입력 값을 가지고, power는 angle과 같이 7개의 term으로 구성되는 멤버십 함수를 사용하고 -30 ~ 30 KW의 범위를 가진다. [그림 6]의 우측 상단화면과 하단 화면은 각 변수의 멤버십 함수를 보여준다.

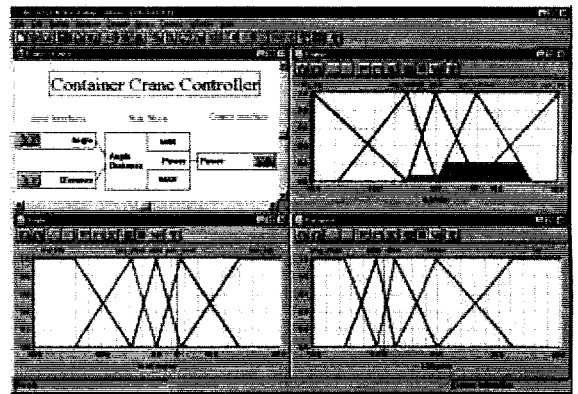


그림 6. 변수들과 멤버십 함수 정의 화면

### 3. 결론 및 연구 방향

앞에서 우리는 FT-401-MM2 시스템을 이용하여 크레인을 제어하기 위한 퍼지 PLC 시스템 프로그램 과정을 살펴보았다. 이 과정에서 퍼지 로직은 경험적인 지식과 실험적인 값들과 같은 연속적인 값들을 제어시스템으로 효율적으로 옮기는 방법을 제공함을 알수 있었다. 기존의 PID와 같은 표준형 제어기들이 제어하기 곤란한 다 변수를 제어하는 시스템으로 퍼지 PLC는 간단한 개발 과정과 효과적인 처리가 가능하다. 앞으로 기존 PID와 같은 표준형 제어기들이 제어하기 곤란한 문제에 대한 퍼지 응용에 대한 개발이 수행되어야 할 것이다.

#### [참고 문헌]

- [1] 이기범, "PLC 프로그래밍을 위한 가상 플랜트 시뮬레이터 구현", 대한전기학회 '98추계학술대회, pp475-447, nov. 1998
- [2] von Alrock, C., "Fuzzy Logic and NeuroFuzzy Application Explained", Prentice Hall, ISBN 0-13-368456-2, 1995
- [3] von Alrock, C., "Fuzzy Logic Application in Europe", in Yen/Langari/Zadeh, "Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent System" IEEE Press, p. 275-310, 1995