'94 대한전기학회 추계학술대회 논문집(1994. 11. 18)

RC 기술의 자동화 장치 개발에 관한 연구(II)
-위치 제어기의 개선-

김기준*, 김상진, 송자윤
인천전문대학 제어계측과

A Study on the Automation Equipment Development of RC Technology(II)
-Improvement of Position Controller-

Ki-Joon Kim*, Sang-Jin Kim, Ja-Youn Song
Dept. of Control & Instrumentation Engineering. Junior College of Inchon

Abstract

The operation of RC(Rod Consolidation) technology carry out highly radiation environment. It requires remote operation and automation for efficient handling and for minimizing radiation exposure to the operator. So we investigated up and down position control of shock absorber device in RC system. To verify the research experimentally, a RC system was set up and PI control method was applied. Fuzzy control method was also tested to further improve control behavior.

1. 서론

사용후 핵연료 밀집(Rod Consolidation; RC)은 고방사성 환경하에서 작업이 수행되기 때문에 방사능으로 부터 작업자를 보호하기 위해서는 계통의 자동화가 필수적이다. RC 공정에 대한 제어 계통도는 그림 1과 같으며 장치 구동은 전기적 신호에 의한 전동기를 사용하여 자동화가 이루어진다. 이중 핵연료봉 충격 흡수 장치는 수평 이송이 아닌 상하 운동에 의하여 위치 제어가 이루어져야 하기 때문에 토크에 관련된 문제점이 발생된다. 따라서 본 연구에서는 이상과 같은 RC 기술 중 핵연료 인출시 핵연료봉을 안전하게 받기 위한 핵연료봉 충격 흡수 장치를 고안하였으며 이 장치의 상하 위치 제어 특성을 향상하기 위하여 퍼지 제어 기법을 적용하였다.

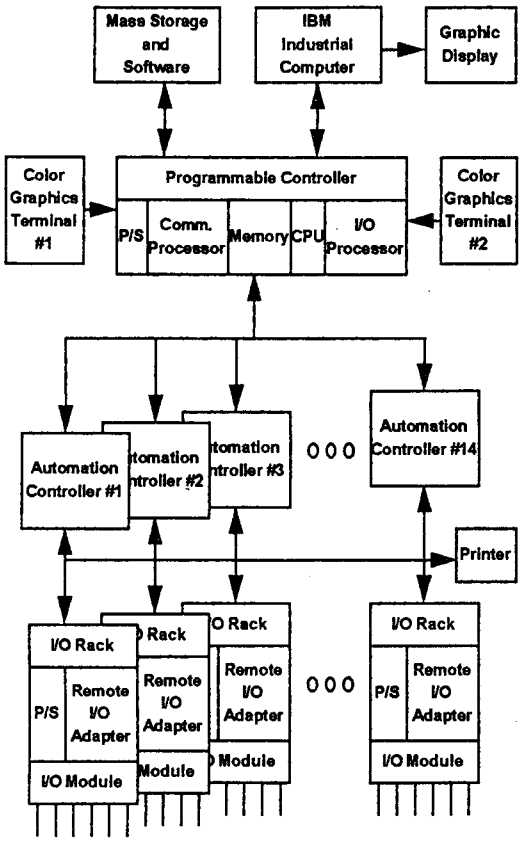

그림 1. RC 제어 계통도

2. 핵연료봉 충격 흡수 장치

이 장치는 인출 장치 내부에 위치하며 핵연료봉의 인출 동작이 진행되는 동안에는 내부에서 대기하고 있다가 인출 작업이 완료되기 직전에 인출되고 있는 핵연료봉의 배열 위치까지 이동한다. 이 때, 핵연료봉의 배열 위치까지 정확하게 상방향으로 이동되어야 하기 때문에 위치 제어가 정확히 이루어져야 한다. 위치 제어가 이루어진 후 핵연료봉 인출 헤드 집합체는 뒤로 후퇴를 계속하여 핵연료봉은 집합체로부터 완전히 분리가 이루어진다. 이 후 충격 흡수 장치는 원래의 위치로 내려가게 되고 핵연료봉만 테이

블 위에 남아있게 된다.

3. 퍼지 제어기 설계[1-5]

퍼지 제어를 공정 제어 측면에서 비교해 볼때, Model Based Control은 정확한 공정 모델을 사용하는 경우에만 효과적인 제어 응답을 얻을 수 있으나 퍼지 로직 제어는 공정의 수학적 모델에 근거하지 않고 정성적 상호 관계에 의하므로 RC 공정 계통과 같이 수학적 모델을 유도하기 힘든 공정에서도 적용이 가능하고 시설의 설계가 변경되어 제어 대상이 변화할때에도 다른 제어 기법보다 쉽게 알고리즘을 변화시킬수 있는 장점이 있다.

0과 1사이의 모든 멤버쉽 함수(Membership Function)을 포함하는 퍼지 집합(Fuzzy Set)은 0과 1의 멤버만을 갖는 정상적인 집합(Ordinary Set)에 비하여 계의 정성적인 정보를 정확하게 표현할 수 있는 집합이다. 퍼지 로직 이론에 의해 제어 알고리즘을 설계할 때 설계자는 두가지 문제에 당면하게 된다. 첫번째 문제는 계의 물리, 화학, 공학적 이해와 경험에 의해 Knowledge Base로 구성되어지는 퍼지 규칙(Fuzzy Rules)들에 의한 퍼지 집합의 결정이고, 두번째는 구축하는 방법 문제로써 규칙의 언어(Linguistic)값등을 수학적으로 표현하는 문제이다. 이러한 문제들은 퍼지 로직을 비퍼지화 시키는 방법을 선택하고, 제어 변수값의 범위를 결정하고, Sampling Interval 등을 선택함으로써 여러 연구가들에 의해 해결되어 왔다. 제어 규칙을 정의하는 방법은 숫자로 정의하는 방법과 함수로 정의하는 방법으로 크게 나눌 수 있는데, 수학적 방법은 정량화 Level을 먼저 선정하는 방법으로써 숫자로 정의되기 때문에 매우 융통성이 있다는 것이 장점이며, 함수 정의 방법은 정량화 Level의 변경에도 별 어려움이 없이 퍼지 규칙이 정의된다는 것이 장점이나 조그마한 변화까지 완전하게 정의할 수 없다는 것이 단점이다.

퍼지 로직 제어기를 구성하기 위한 제어 규칙은 계통 출력과 모델 출력간의 편차와 그 편차에 근거한 숙련자의 판단에 의존하며, 일반적으로 IF~Then, ELSE 구조의 퍼지 변수 알고리즘으로 표현된다. 제어 규칙의 한 예를 들면,

IF ERR.(E_i)=ZE AND ERR. CHA.(ΔE_i)=PS (1)
THEN INPUT(I_i) ELSE

과 같이, 계의 특성에 따라 몇 가지 제어 규칙이 정해질 수 있다. 정량화된 멤버쉽 함수와 제어 규칙에 의한 추론 결과로부터 하나의 조작값을 얻어내는 방법을 비퍼지화라한다. 퍼지화의 방법은 멤버쉽 값이 최대가 되는 룰의 출력을 선택하는 방법과 각 출력값들을 해당 멤버쉽 함수값들에 대해 평균을 내는 방법이 많이 사용되고 있다. 일반적으로 멤버쉽 함수의 최대값을 평균내는 방법이 더욱 우수한 응답을 얻는 것으로 알려져 있으며, n개의 룰에 대해서 다음과 같이 구해진다.

$$I = \sum_{1}^{n} (u_k \times U_k) / (\sum_{1}^{n} u_k) \quad (2)$$

여기서 U_k는 계에서 각 룰의 출력 멤버쉽값이고 u_k는 각 룰에서 멤버쉽값이 가장 큰 변수의 값이다. 충격 흡수 장치를 SISO계로 설계하기 위해 E(Error)와 ΔE(Error Change)의 단순 규칙으로 제어기를 설계하였다. 기준점에서 이송의 원하는 거리와 현재의 거리의 차이를 E로 하였으며, ΔE 는 현재의 Error와 전단계 Error의 차이값으로 다음과 같이 표현된다.

E = Des.Dis.-Cur. Dis.(Set Point-Out Put) (3)
$\Delta E = E_i - E_{i-1}$

표 1. 제어 규칙

E \ ΔE	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	Error			Change (C)			
PB	PS	NS	NM	NB			
PM	PS	PS	NS	NM			
PS	PM	NS	ZO	NS			
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
NS				PS	ZO	NS	NM
NM				PM	PS	NS	NS
NB				PB	PM	PS	NS

표 2. 개량된 제어 규칙

E \ ΔE	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	Error			Change (C)			
PB	PM	PS	PS	ZO			
PM	PM	PM	PS	ZO			
PS	PB	PM	PS	ZO			
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
NS				ZO	NS	NM	NB
NM				ZO	NS	NM	NM
NB				ZO	NS	NS	NM

본 연구에서는 범용적으로 쓰이고 있는 제어 규칙을 시스템의 물리적 성질을 고려하여 단순화시키고 충격 흡수 장치가 상하 어느 방향으로 위치되드라도 이용될 수 있도록 규칙을 설계하였으며, 설계된 제어 규칙은 표 1과 같다. 규칙의 추론은 변수의 값을 연속적으로 구할 수 있는 삼각형 퍼지 변수 추론법을 이용하였으며, 제어 입력에 사용될 조작량을 구하는 비퍼지화 방법은 Max-Min 합성 중심 계산법을 이용하였다. 실제 시스템에서 Open-Loop 실험 결과 표 2와 같이 개량된 제어 규칙을 얻을 수 있었다. 이상과

같이 퍼지화 과정부터 전동기에 이르는 제어 과정을 블록 선도로 표시하면 그림 2와 같다. 규칙의 추론후 조작량의 실제값은 전동기의 특성을 고려하여 추론값의 -16배부터 +16배까지 변하도록 설계하였으며, 시스템의 다양한 변화에 대처하기 위하여 Set Point에 0.8의 Scaling Factor를 곱한값으로 조작량이 입력되도록 하였다. 또한 제어기의 성능을 높이기 위하여 시스템의 미세한 변화도 고려하여 각 멤버쉽 함수의 사이값은 Least Square 방법에 의해 계산되어 질 수 있도록 제어기를 설계하였다.

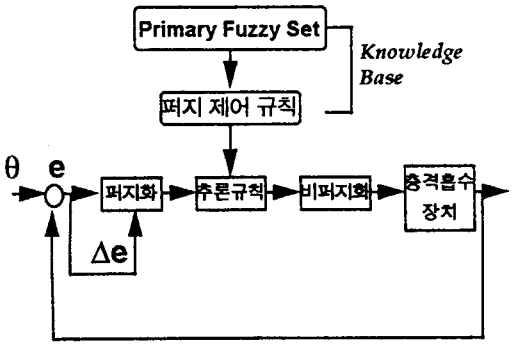

그림 2. 퍼지 제어 블록 선도

4. 실험

본 연구의 이송 실험에 사용된 전동기는 3상 120 [W], 4극의 AC 서보 전동기로 각 상수의 값은 표 3과 같으며, 2000[rpm]의 정격 회전수를 가지고 있다. 실험 조건을 바꿔 주기 위해 중량을 변화시켰고, 이송 거리는 상하 10[cm]와 20[cm]를 수행하였다.

표 3. 전동기 상수

종 류	내 용
전기자 저항	0.38 [Ω]
기계적 시정수	4.1 [msec]
점성 제동 계수	0.79 [g.cm/rpm]
정격 전류	10 [A]
정격 토크	73 kg.cm
정격 출력	1.5 [KW]

5. 실험 결과 및 검토

무게 변화에 따른 상하 이송 실험 결과 PI 제어 기법에 의한 인버터 제어 신호값과 귀환 신호값은 퍼지 제어 기법에 비하여 이송 거리 도달 시간과 정밀성에서 다소 뒤지고 있다. 최대 무게 448.88[kg]을 상하 이송시 퍼지 제어 기법은 PI 제어 기법에 비하여 0.6~1초의 빠른 응답 특성을 보이고 있으며, 무게가 증가될수록 퍼지 제어의 경우는 그 이상의 빠른 응답 특성이 확인하였다. 이것은 퍼지 제어 기법의 경우 위치값에 대한 보상값을 충분히 보상시켜 최대 전압값을 지속적으로 구동시켜 주고 있기 때문에 위치 도달 시간이 향상되며, 개량된 제어 규칙에 의하여 응답 특성의 급격한 변화를 줄였기 때문에 안정된 시간 범위 내에서 제어가 이루어짐으로서 PI 제어 기법에 비하여 응답 특성이 향상되었다. 특히, PI 제어인 경우에는 원하는 위치값이 커짐에 따라 목표값에 도달하면서 약간의 진동이 발생함을 알 수 있었고 위치 제어 오차는 퍼지 제어일 경우에는 최대 약 1~2[%] 내에서, PI 제어기일 경우에는 최대 약 2~3[%] 내에서 각각 나타났다.

6. 결 론

본 연구에서는 RC 장치 중 핵연료봉의 파손을 줄이기 위하여 충격 흡수 장치를 고안하였으며, 장치의 상하 위치 제어를 수행하기 위하여 퍼지 제어 기법을 적용하였다. 위치 제어를 구현한 결과, 퍼지 제어 기법은 기존의 PI 제어 기법에 비하여 응답 특성이 개선되었으며 위치 제어 오차도 작게 나타났다. 충격 흡수 장치의 이용으로 인하여 핵연료봉의 파손을 줄일 수 있으며 차폐 시설 공간의 절감으로 인하여 막대한 예산을 절약할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1.Lee, C.C.,(1990) Fuzzy Logic in Control Systems :Fuzzy Logic Controller, IEEE, Vol. 20, No.2, 419-435

2.Li. Y.F. and C.C. Lau,(1989) Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems, IEEE Control System Magine, 65-72

3.Pedrycz, W.,(1981) An Approach to the Analysis of Fuzzy Systems, Int. J. Control, Vol. 34, No. 3, 403-421

4.Pfaff, G., A. Weschta and A. Wick,(1982) Design and Experimental Results of a Brushless AC Servo-Drive, Conf, Rec. Annual Meeting, IEEE Ind. APPI. Soc., 692-697

5.Vagati A. and F. Villata.,(1984) A.C. Servo System for Position Control, International Conf, on Electrical Machines Lausanne, 871-874