

칼라 맞춤 및 분배 기능을 가진 컴퓨터 자동화 시스템의 퍼지 제어

Fuzzy Control of Computer Automatic System with Color Matching and Dispensing Functions

한 일 석*, 류 상 문*, 임 태 우*, 안 태 천*

* 원광대학교 제어계측공학과 Tel : +82-0653-850-6344; Fax : 82-0653-853-2196
E-mail : tcahn@wonms.wonkwang.ac.kr

Abstract : In this paper, Computer Colour Matching and Kitchen System (CCMKS) is developed on the basis of delphi package and one-chip processor with fuzzy-PID control. CCMKS will be widely used in the colour dyeing industry as an integrated colour matching and dispensing system which have more advantages than the conventional matching or dispensing system, when controlling the real dyeing processes. Delphi is utilized in making database and search/matching routes. The developed matching function reduces the search and matching time to about one third. One-chip processor is designed and manufactured for the distributed control of three-phase induction motors. Fuzzy-PID control is applied to the speed control of three-phase induction motors for a very precise weight of colour at CCMKS. The developed kitchen function decreases the dispensing time to about one twentieth. The experimental results show CCMKS has more excellent search time, more precise weight and much high fidelity than conventional colour matching or dispensing system, in the performance.

Keywords : Delphi, One-chip Processor, Fuzzy-PID Control, CCMKS, Dyeing, Database, Search Route, Weight.

I. 서론

본 논문에서는, 기존의 섬유 칼라 재현 시스템의 문제점들을 해결하기 위하여, 스캐너 또는 디지털 카메라가 부착된 칼라 맞춤 시스템을 델파이 S/W를 이용하여 설계 및 개발하는 연구를 하고, 지능형 퍼지-PID 이론에 근거하여 설계한 지능형 마이크로프로세서 원칩 신호 제어기가 부착된 칼라 분배 시스템을 C++ 언어를 이용하여 설계 및 개발하는 연구를 한다. 그리고 두 시스템을 우수한 데이터 및 제어 정보 처리 능력을 갖는 컴퓨터를 통하여 유기적으로 결합시킴으로서, 칼라 맞춤 데이터베이스의 처리능력과 퍼지 원칩 제어기의 안정적인 플랜트 제어능력을 심분 발휘할 수 있도록 하는 새로운 섬유 칼라 재현 시스템인 CCMKS의 개발을 연구한다.

CCMKS에서 혼합되는 각 염료의 양이 정확해야만 컴퓨터에서 매칭한 칼라와 일치하는 칼라를 생산할 수 있고, CCMKS의 기계특성상 및 생산 시간이 3분 이내로 제한되어 있기 때문에 칼라가 배출

되는 노즐로는 정확한 양을 얻을 수 없으므로 노즐로 배출되는 양을 샘플링하여 생산목표의 95%정도에서 모터의 속도를 가·감속함으로써 가장 오차가 작도록 하였다. CCMKS의 칼라 매칭 부분은 컴퓨터 프로그램에서 데이터베이스를 이용하여 RGB칼라 기준의 칼라재현과 매칭을 신속하게 구현하고, 이 매칭된 칼라를 생산하기 위해서 기존의 PLC대용으로 원칩 퍼지 제어기를 설계 및 제작하여 실제 시스템인 CCMKS에 적용하여 설계된 제어기의 성능을 검증하였고, CCMKS의 성능을 향상시켰다.

II. 컴퓨터 칼라 재현 시스템

컴퓨터 칼라 재현 시스템은 칼라 맞춤 시스템, 제어 시스템 및 칼라 분배 시스템으로 구성되며, 배치도는 (그림 1)과 같다.

CCMKS의 구성은 (그림 2)와 같고 샘플 생산과 실제 염료 생산을 하는 생산 1과 생산 2로 나누어지고 총 26개의 염료를 저장하는 저장탱크와 각

탱크에 따른 모터, 호를 저장하는 탱크와 모터로 구성되어 있다. 실제로 퍼지 제어기는 이 시스템 전체를 제어하는 데 사용된다.

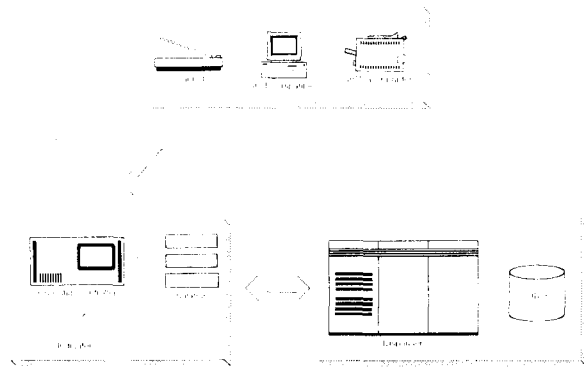


그림 1. CCMKS와 퍼지-PID제어기 구성
Figure 1. Structure of CCMKS and Fuzzy controller

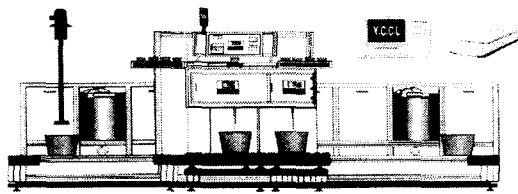


그림 2. 컴퓨터 칼라 분배 및 매칭 시스템
Figure 2. Computer Colour Kitchen System

2.1 퍼지 제어기

본 논문의 제어기로 사용한 퍼지 제어기는 그림 4와 같이 Intel사의 80C196KC 20M 마이크로 콘트롤러를 사용하여 소형화, 경량화, 유지보수의 편리, 기계자체의 처리속도 향상, 지능적인 알고리즘의 사용, 컴퓨터에 걸리는 부하의 감소 등의 효과를 거두도록 설계하였다. (그림 3)는 실제로 제작된 퍼지 원칩 제어기이다.

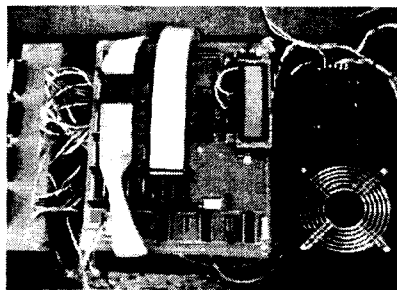


그림 3. 실제로 제작된 퍼지 제어기
Figure 3. Fuzzy One-Chip controller

III. 퍼지 제어기 설계

퍼지 논리는 기존의 논리체계보다 훨씬 더

인간의 사고방식과 언어체계에 유사한 논리이며 불확실성과 대략적인 사실을 표현하는 효과적인 수단을 제공한다. 따라서, 대상 시스템에 대한 정보가 언어적인 수단으로만 표현이 가능한 경우나, 수학적 모델식을 얻기 힘든 경우에 퍼지 논리를 이용한 제어기를 사용할 수 있다. 어떤 시스템을 제어하기 위해서는 우선, 그 시스템의 정확한 물리적 메카니즘을 해석하거나, 많은 직관과 오랜 경험을 갖춘 전문가의 도움을 받거나, 또는 그것을 관찰하고 측정된 데이터로부터 얻어진 전문가 지식 베이스 등을 활용해야만 한다. 퍼지제어기의 강점은 모델에 대한 정확한 수학적 식이 없이도 설계가 가능하다는 데 있다. 이 강점은 본 논문에서와 같이 수학적 모델링이 불가능한 시스템을 전문가의 경험적인 지식으로 언어적인 규칙을 세우고 그것을 퍼지함수로 표현하여 추론하고 비퍼지화 과정을 거쳐서 제어입력으로 사용할 수 있다는 것이다. 또한 퍼지제어기는 비선형시스템을 제어하는데도 유용하다. 따라서, 본 시스템의 퍼지 제어는 수학적 모델링이 불가능하므로 전문가적인 지식을 바탕으로 근거한 제어를 수행하게 되었다.

퍼지 제어기는 PID와는 달리 제어 대상의 수학적 모델이 필요하지 않으나 대신에 제어대상의 상태를 알 수 있는 퍼지 변수를 무엇으로 정할 것인지, 또한 이 퍼지 변수에 대한 소속함수(membership function)의 영역을 어떤 범위로 정할 것인지, 제어규칙(rule)은 어떻게 구성할지 등을 경험적으로 혹은 전문가의 지식에 의해서 결정해 나가야 한다. 본 논문에서 퍼지 제어기의 구성은 CCMKS의 동작에 근거한 제어 실험을 토대로 얻은 정보를 가지고 소속함수의 영역과 제어규칙 등을 구성하였다. 본 연구에서 개발된 시스템은 실시간 온라인 제어가 가능해야 하므로 퍼지추론은 최대한 속도가 빠른 추론 방법을 사용하기 위해서 2입력 1출력의 퍼지제어기를 전반부의 퍼지변수에 대한 소속함수는 계산이 간단한 삼각형 형태의 모양으로 정하고 후반부는 퍼지 싱글톤을 사용하여 무게 중심법으로 비퍼지화 했다.

또한 퍼지 제어기의 입력으로는 목표 중량에 대한 현재의 중량오차를 사용하여 모터의 속도를 결정하여 인버터에 속도 신호를 보내주는 중량오차(D_{Err})와 중량오차 변화량(ΔD_{Err})를 정의하고 출력(U)은 모터의 속도를 결정하는 인버터의 주파수(0Hz~60Hz)를 결정하는 신호로 정의하였다.

3.1. 퍼지 변수의 결정

목표 증량과 실제 생산중인 증량 및 증량오차 변화량을 확인한 후 식(1), 식(2)과 같이 2 변수를 퍼지제어기의 입력으로 사용하게 된다. 여기서 D_{Err} 와 ΔD_{Err} 는 실제로 시스템에 연결되어있는 3개의 저울을 실시간으로 샘플링함으로써 충분히 직관적으로 상태를 알 수 있다.

$$D_{Err} = W_{ref}[nT] - W_{su}[nT] \quad (1)$$

$$\Delta D_{Err} = D_{Err}[(n-1)T] - D_{Err}[nT] \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} D_{Err} : \text{증량 오차} \\ \Delta D_{Err} : \text{증량 오차의 변화량} \\ W_{ref} : \text{목표증량} \\ W_{su} : \text{현재 생산중인 증량} \\ T : \text{샘플링시간} \end{pmatrix}$$

여기서, 샘플링 시간 $T=0.02s$ 하여 3개의 저울로부터 보내오는 증량 변화를 실시간으로 샘플링하여 증량 오차 및 증량 오차의 변화량을 정확하게 얻음으로써 오차를 줄이고 제어기의 동작을 고속으로 처리할 수 있도록 하였다.

퍼지 제어기의 전반부는 직접법에서 삼각형 멤버십 함수를 사용하였다. 두 개의 입력 D_{Err} 와 ΔD_{Err} 모두 3개의 멤버십 함수로 전반부를 구성하고 있다. 입력 값은 -1에서 1까지의 값 사이에서 추론이 이루어지도록 입력 값을 정규화 해서 함수의 입력으로 사용하도록 했다.

후반부는 퍼지 싱글톤을 사용하여 추론속도를 향상시켰으며 싱글톤의 위치는 자동으로 동정할 수도 있지만 본 논문에서는 정확한 모델을 구할 수 없는 상황이므로 싱글톤의 위치를 퍼지 PID제어에서 얻은 Data를 이용하여 한계 값을 결정하고 각 싱글톤의 위치를 실제 동작 시 변화시킬 수 있게 하였다.

3.2 퍼지 싱글톤 추론법과 비 퍼지화 방법

퍼지규칙의 후건부에 추론에 이용하는 퍼지수의 특성에 따라 추론법이 정의되는데 본 연구에서는 제어에 용이한 실수값을 사용하는 퍼지 싱글톤형 추론법을 고려한다.

퍼지 싱글톤형 추론법을 간단히 설명하기 위하여, 식(3)와 (그림 4)과 같이 2개의 퍼지규칙, 2개의 입력 그리고 1개의 출력으로 이루어진 시스템을 고려하여 일반화된 추론법을 생각해 보자. 규칙 i에 있어서 입력값 x_1 의 멤버십 함수 A_{i1} 에 대한 등급 $a_{i1}=A_{i1}(x_1)$ 와 x_2 의 멤

버십 함수 A_{i2} 에 대한 등급 $a_{i2}=A_{i2}(x_2)$ 을 각각 계산한다. 각 입력에 대한 각 멤버십 함수의 등급에서, 실제 x_1 과 x_2 에 대한 i 번째의 규칙 A_{i1} 과 A_{i2} 의 적합도는 $h_i = a_{i1} \cdot a_{i2}$ 으로 얻어진다. 이 적합도 h_i 와 그 규칙의 가중치 w_i 의 곱이 후건부 싱글톤의 높이가 된다. 따라서 최종 추론값 y_o 는 i 번째 규칙의 추론값 y_i 와 $w_i h_i$ 의 곱의 가중평균치로 얻어진다. 이를 이용하여 n 개의 퍼지규칙, m 개의 입력 그리고 1개의 출력으로 구성된 시스템으로 일반화시킬 수 있다.

$$RULE 1 : A_{11} \text{ and } A_{12} \Rightarrow w_1 h_1 y_1$$

$$RULE 2 : A_{21} \text{ and } A_{22} \Rightarrow w_2 h_2 y_2$$

$$y_o = \frac{\sum w_i h_i y_i}{\sum w_i h_i} \quad (3)$$

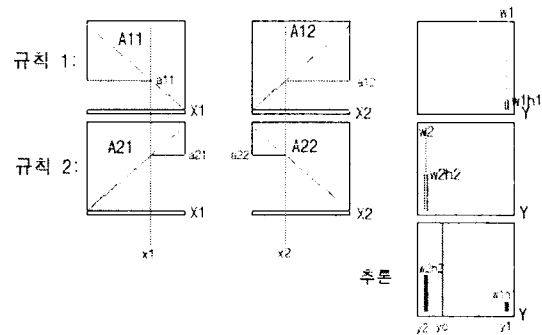


그림 4. 퍼지 싱글톤 추론법

Figure 4. Fuzzy Singleton Reasoning Method

3.3 제어규칙의 결정

제어규칙은 퍼지변수 D_{Err} 와 ΔD_{Err} 를 3개씩 잡았으므로 모두 9개의 규칙이 있을 수 있고 후반부가 5개의 싱글톤으로 구성되어 있으므로 인간이 생각하는 경험을 근거로 아래와 같이 언어적인 규칙을 정할 수 있다.

- 규칙 1 : IF D_{Err} is N and ΔD_{Err} is N , then U is PB.
- 규칙 2 : IF D_{Err} is Z and ΔD_{Err} is N , then U is PS.
- 규칙 3 : IF D_{Err} is P and ΔD_{Err} is N , then U is Z.
- 규칙 4 : IF D_{Err} is N and ΔD_{Err} is Z , then U is PS.
- 규칙 5 : IF D_{Err} is Z and ΔD_{Err} is Z , then U is Z.
- 규칙 6 : IF D_{Err} is P and ΔD_{Err} is Z , then U is NS.
- 규칙 7 : IF D_{Err} is N and ΔD_{Err} is P , then U is Z.
- 규칙 8 : IF D_{Err} is Z and ΔD_{Err} is P , then U is NS.
- 규칙 9 : IF D_{Err} is P and ΔD_{Err} is P , then U is NB.

각 제어규칙의 구조가 간단하도록 "or"가 들어가는 규칙은 "and"로 분리하였고 "And" 계산은 계산이 편하도록 Zadeh의 "and" 계산방법으로 두 퍼지 변수의 최소값을 취하는

$\min(D_{Err}, \Delta D_{Err})$ 를 사용하였다.

이 제어규칙을 규칙도(rule map)로 나타내어 보면 표1과 같다. 이들 규칙에 의해서 퍼지제어기를 프로그래밍하여 본 연구에서 개발된 CCMKS에 적용하였다.

표 1. 퍼지제어 규칙의 Rule Map
Table 1. Rule Map of Fuzzy control Rule

$D_{Err} \backslash \Delta D_{Err}$	N	Z	P
N	PB	PS	Z
Z	PS	Z	NS
P	Z	NS	NB

IV. CCMKS에 적용한 결과

실제로 CCMKS에 적용한 결과 적용하기 전 보다 훨씬 더 정확한 중량을 얻을 수 있게 되었다. 또한 샘플라인, 생산라인1, 생산라인2를 동시에 가동 시켜도 모든 과정에서 허용오차 $\pm 0.5\%$ 이내의 중량을 얻을 수가 있었다. 결과 그림들은 중량이 목표치의 95%이상일 때까지는 모터는 최대 속도로 돌고 나머지 5%이내에서는 퍼지 제어 알고리즘이 적용되어 노즐로 배출되는 중량의 변화량에 따라서 모터의 속도가 가변적으로 가·감속을 한다.

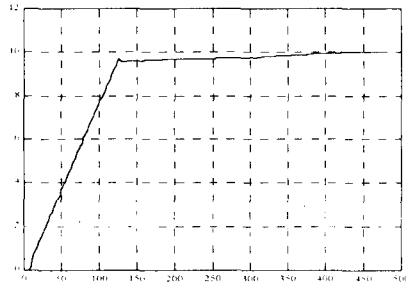


그림 5. 퍼지 제어기 적용 후 중량 증가량
Figure 5. The rate of increase after applied to fuzzy controller

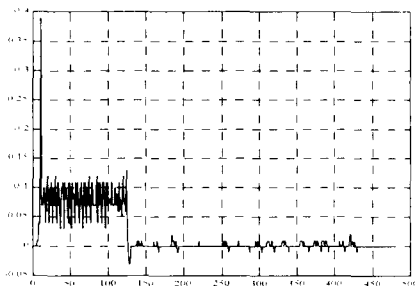


그림 6. 퍼지 제어기 적용 후 모터의 속도
Figure 6. Motor speed after applied to fuzzy controller

V. 결 론

이상의 연구를 실 시스템인 CCMKS에 적용한 실험 결과는 매칭속도나 제어 속도에 있어서 기존의 방법보다 우수한 성능을 나타내었다. 그러므로 본 논문에서 개발한 시스템은 운영시간, 정확도 및 신뢰도에 있어서 괄목할 만한 성능을 보여 줌으로써 보다 정확한 CCMKS의 개발을 수행할 수 있었다.

또한 PLC 대응 제어기의 One-Chip 설계기술을 확보하여 경량화 및 집적화된 one-chip 제어기를 산업현장에 다양하게 응용을 할 수 있으며 수입에 의존하고 있는 칼라 매칭 시스템의 수입 대체효과를 초래하여 비용 절감의 효과를 얻을 수 있다.

본 연구에서 개발된 제어기는 PLC 공정 제어기, 정밀화학 공정의 감시, 제어 시스템의 제어기, 지능형 DCS 시스템의 제어기, 중소기업형 의약 조제, 페인트 및 초코렛 공정, 폐수처리 시스템의 제어기등등 아주 폭넓고 다양하게 활용할 수 있다.

VI. 참고문헌

- [1] Benjamin C. KUO, "Digital Control System", Holt, Rinehart and winston, 1980
- [2] C.C.Lee, "Fuzzy Logic in Control System:Fuzzy Logic Controller - Part 1", IEEE Trans.on.SMC., Vol.20, NO.2, Mar/Apr., PP.404 - 418, 1990.
- [3] C.C.Lee "Fuzzy Logic in Control System:Fuzzy Logic Controller - Part 2", IEEE Trans.on.SMC., Vol.2, Mar/Apr., PP.419 - 435, 1990.
- [4] L. Zheng, "A Practical Guide to Tune of Proportional and Integral(PI) Like Fuzzy Controller", IEEE Yamatake - Honey Co., Japan, 1992.
- [5] M. Mizumoto, "Realization of PID Control by Fuzzy Control Method", IEEE Division of Information and Computer Sciences, PP.709 - 715, 1992.
- [6] B. K. Bose, "Power Electronics and AC Drivers", Prentice - Hall, 1986.
- [7] Intel, 80XC196KC CMOS Microcontroller Reference Manual