

전기로 합금철 퍼지 계량 제어

Fuzzy Weighing Technology for Alloy Iron of Electric Arc Furnace

이기범¹, 허정현², 주문갑³

¹ 경북 포항시 남구 효자동 산 32, 포항산업과학연구원
E-mail: gblee@rist.re.kr

² 경북 포항시 남구 효자동 산 32, 포항산업과학연구원
E-mail: inspace@rist.re.kr

³ 부산시 남구 대연 3동 599-1, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
E-mail: gabi@pknu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 전기로 합금철 투입 중량을 보다 정밀하게 제어하기 위하여 퍼지 함수를 사용한 제어 기법을 적용하였다. 합금철 중량 제어에 사용된 퍼지 제어는 기존 단순 패턴 제어에 비하여 합금철 계량 정밀도를 높였으며, 합금철 계량 시간을 크게 단축시켰다. 한편 퍼지 제어 함수는 제어수식을 일반화시켜서 Programmable Logic Controller (PLC)의 래더 프로그램으로 구현하였다.

Key Words : 퍼지 제어, 합금철, 전기로, 계량, PLC

1. 서 론

전기로[1]는 3개 전극봉으로 이루어져 있으며, 각각의 전극에는 수만 암페어가 흐른다. 각각의 전극이 철 스크랩에 근접하면 강한 전류가 스크랩에 흘러 스크랩이 녹아 버리게 된다. 전기로에서 철을 만들어낼 때 철의 성분을 조정하기 위하여 니켈, 구리, 망간 등의 다양한 합금철을 조업 중에 첨가하게 된다.

합금철 제어기[2]는 전기로에 투입하고자 하는 합금철을 카트에 정해진 중량을 낙하시키고, 낙하된 중량을 계측하여 정해진 중량을 초과하지 않도록 제어하는 페로프 제어기이다.

기존의 전기로 합금철 제어 방식은 고정된 패턴을 정하고, 그에 따른 계량 오차 비교 방법에 의해 합금철을 제어 하였다. 이러한 방식으로는 합금철의 계량 오차를 정밀 제어 할 수 없었으며 계량 오차가 컸다. 따라서 본 논문에서는 합금철의 계량 오차를 줄이고, 계량 시간을 단축하기 위하여 퍼지 함수를 사용한 제어 기법을 적용하였다.

2. 합금철 퍼지 제어기

합금철을 보다 정교하게 제어하기 위하여 직접법(Mamdani 추론법)[3]을 사용하였다. 직접법의 가장 큰 특징은 후반부 변수가 퍼지수[4]라는 점이다. 따라서 다른 추론에 비해 속도가 빠른 편이다. 직접법은 전반부 변수들과 후반부 변수들을 통해 관계(Relation)을 구한다. 규칙이 여러 개일 경우에는 각 규칙에 대한 관계를 구하고 이것들을 하나로 결합하여 최종 관계를 구한다. 이렇게 구해진 관계에 입력 변수를 입력하여 얻어진 출력을 비퍼지화하면 시스템에 대한 응답을 구할 수 있는 것이다.

여기에서 시스템 모델링은 관계(Relation)를 통하여 표현된다. 이 과정은 크게 4단계로 구분된다.

단계 1 : 주어진 입력에 대한 각 규칙의 전반부 적합도를 구한다.

단계 2 : 단계 1에서 구한 적합도를 기초로 각 규칙의 추론 결과를 구한다.

단계 3 : 각 규칙의 추론결과로부터 최종적인 추론결과를 구한다.

단계 4 : 비퍼지화를 통해 실제 필드에 사용 가능하도록 한다.

2.1 바이브레이션 퍼지제어 구성

본 연구에서 제안한 퍼지 제어기의 구성은 그림 1과 같다.

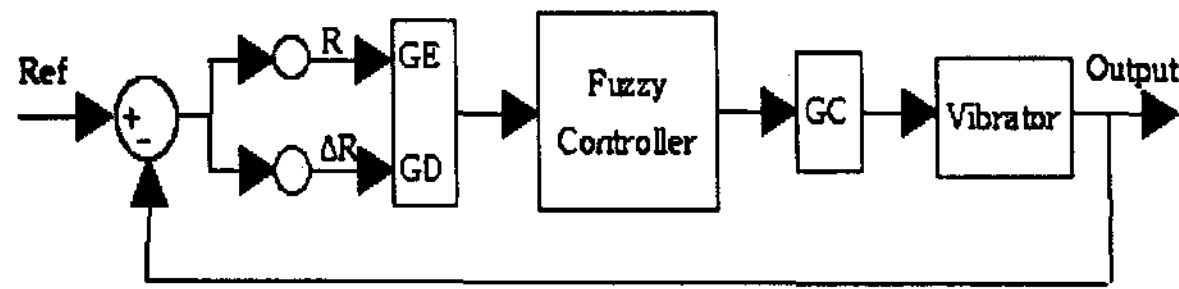


그림 1. 퍼지 제어기 구성

바이브레이션 제어 패턴 설계를 위해 Setting 값에 대한 합금철 투입 잔량(R, Setting 값 - 낙하량)과 투입되는 철의 시간당 변화량(ΔR)을 입력변수로 정의하고, 바이브레이션 강도를 출력 변수로 정의한다.

2.2 퍼지 집합과 퍼지 함수

전건부 및 후건부의 언어적 제어 변수는 투입잔량과 중량의 변화량, 바이브레이션 강도에 대해 각각 VS(Very Small), S(Small), M(Middle), B(Big), VB(Very Big)으로 구성되어 있으며, 각 변수의 소속 함수는 아래 그림 2, 그림 3, 그림 4과 같이 정의하였다. 여기서 투입 잔량 및 잔량의 변화량의 단위는 kg이며, 바이브레이션 강도의 단위는 %이다. 즉, 바이브레이션 강도가 Very Big인 경우, 최대 강도(100%)로 진동함을 의미한다. 바이브레이션 강도 출력은 그림 4와 같이 싱글톤 함수를 사용하여 PLC 래더 프로그램[5] 구현 시 계산 방법을 단순화 시켰다.

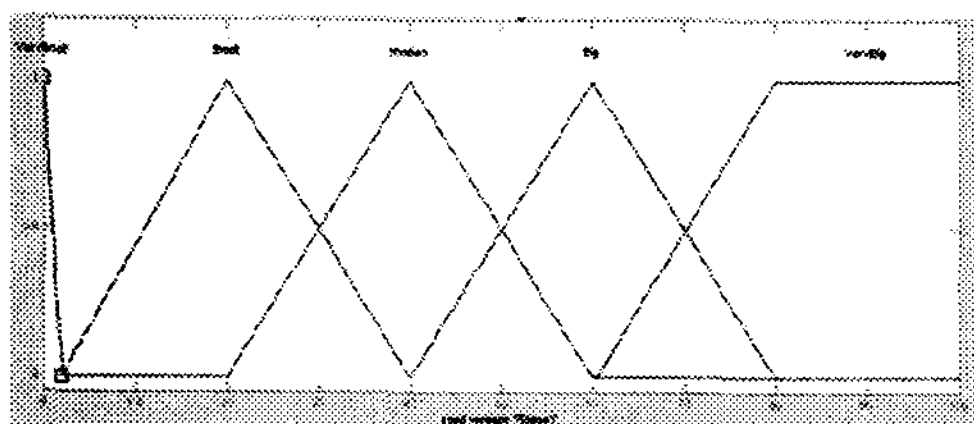


그림 2. 투입잔량(R)

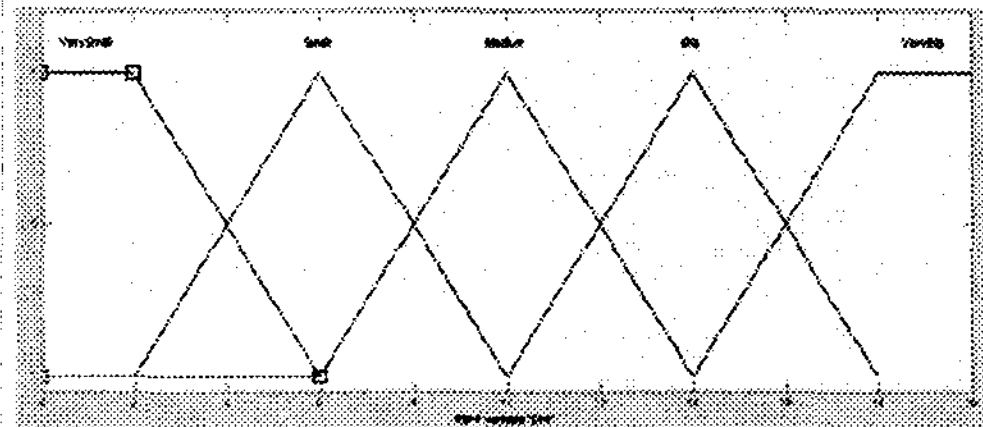


그림 3. 중량변화량(ΔR)

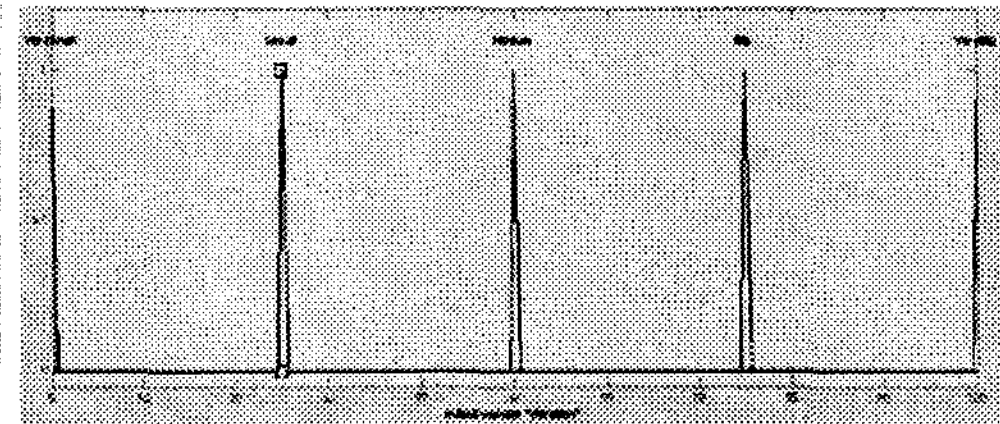


그림 4. 바이브레이션 강도(V)

2.2.1 퍼지 규칙 및 퍼지 추론

앞에서 정의한 소속 함수로부터 퍼지 제어를 위하여 아래 표 1과 같이 퍼지 규칙을 정의하였다.

표 1. 퍼지 제어 규칙

		ΔR				
		VS	S	M	B	VB
R	VS	VS	VS	VS	VS	VS
	S	S	S	S	S	S
	M	M	M	M	M	M
	B	B	B	B	B	B
	VB	VB	VB	VB	VB	VB

2.3 퍼지 제어 바이브레이션 패턴

앞에서 정의한 퍼지 소속함수 및 퍼지 추론의 결과, 그림 5와 같은 제어 패턴을 얻을 수 있다. 그림 5은 투입량을 200kg으로 Setting한 경우이며, 빨간 선은 카트에 더 투입되어야 할 양(kg)을 나타내며, 파란선은 바이브레이션 강도(%)를 나타낸다. 실제 합금철 빈(Bin)에서 바이브레이션을 중단하더라도, 잔여 진동에 의해 일부 합금철이 굴러 떨어지는 경우가 생긴다. 따라서 본 논문에서는 목표 중량이 되기 2kg 전에 바이브레이션을 중단하며, 컴퓨터 시뮬레이션에서는 바이브레이션이 종료된 후 0~2kg 사이의 임의의 값(Random number)이 카트에 더 추가되는 것으로 시뮬레이션 하였다. 따라서 그림 5에서는 최종 중량값이 목표치인 200kg에 도달하지 않고 있다. 이는 합금

철 중량 제어 시스템에서 바이브레이션 중단 시 낙하되는 철의 오차를 감안한 것으로, 실제 합금철 제어 시스템에서도 비슷한 결과를 가져왔다.

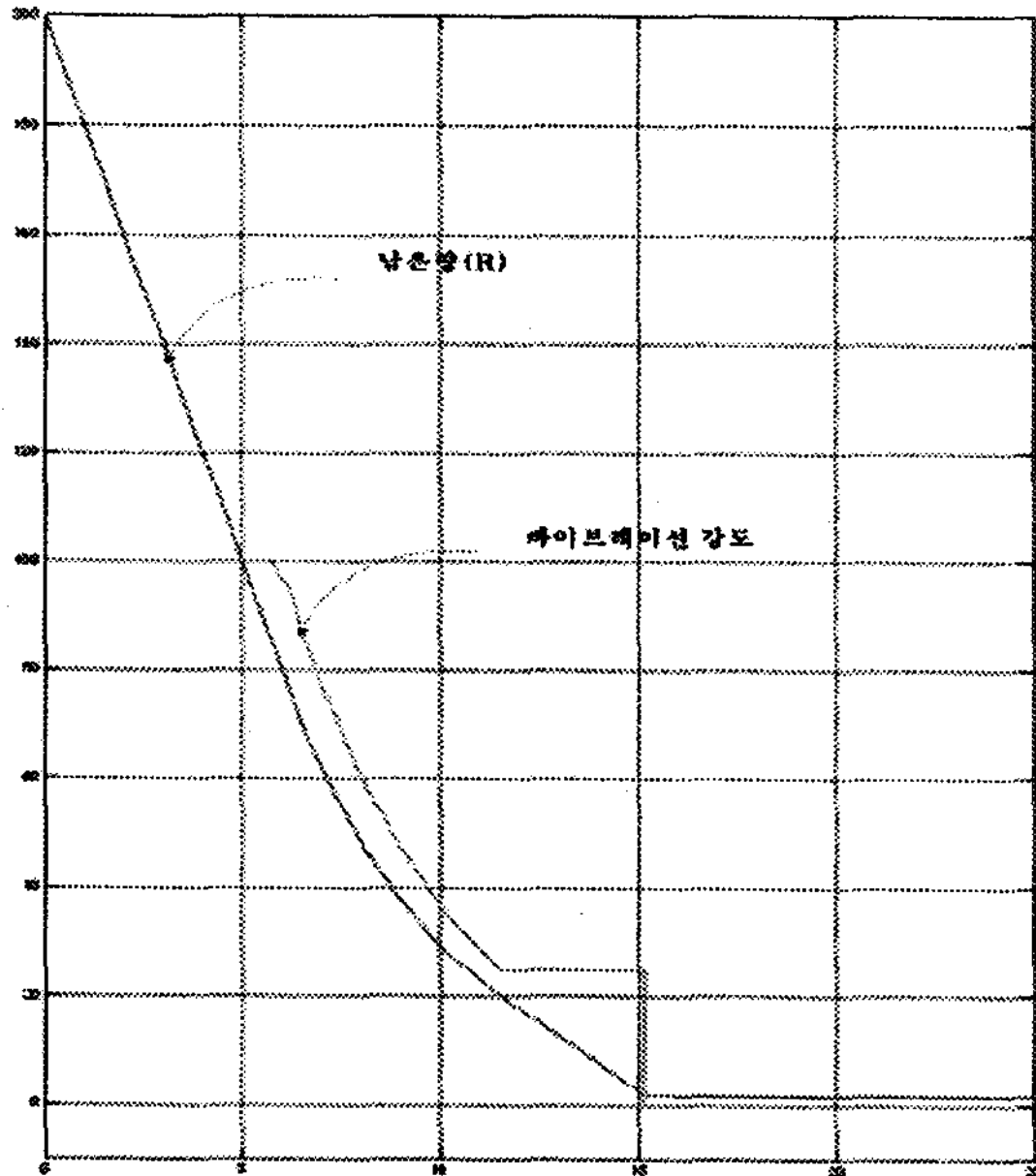


그림 5. 제어 패턴 시뮬레이션 결과

2.4 바이브레이션 강도 제어

실제 시스템에서는 합금철의 종류 및 중량에 따라 적절한 소속 함수를 정의할 필요가 있다. 따라서 합금철 빈(Bin)에 따라 각각에 퍼지 파라미터를 표 2의 기준에 의해 설정하였다.

표 2. 퍼지 파라미터 설정

구분	설정 값 의미
High Vibration	최고 바이브레이션 강도를 지정함 (%)
Low Vibration	최저 바이브레이션 강도를 지정함 (%)
High Weight	최고 바이브레이션으로 부터 그 강도가 줄어드는 시점의 중량값
Low Weight	미세 조정을 위해 최저 바이브레이션 강도를 유지하는 중량값

네 가지 퍼지 파라미터 항목 중에서 High Vibration 및 Low Vibration 은 바이브레이터

의 강도를 지정해 주는 것으로써, 합금철의 종류에 따라 강도의 조정이 필요할 경우 사용한다. 단위는 %이다. High Weight, Low Weight 은 퍼지 집합에서 Very Big, Small의 값을 지정해주는 것으로써, Big, Medium은 Very Big 과 Small의 중간 값을 취한다. 단위는 kg이다.

이 때, 각 변수의 소속함수는 그림 6, 그림 7 와 같이 설정되었으며, PLC는 설정된 소속 함수와 합금철 계량값에 따라 퍼지 제어를 하게 된다.

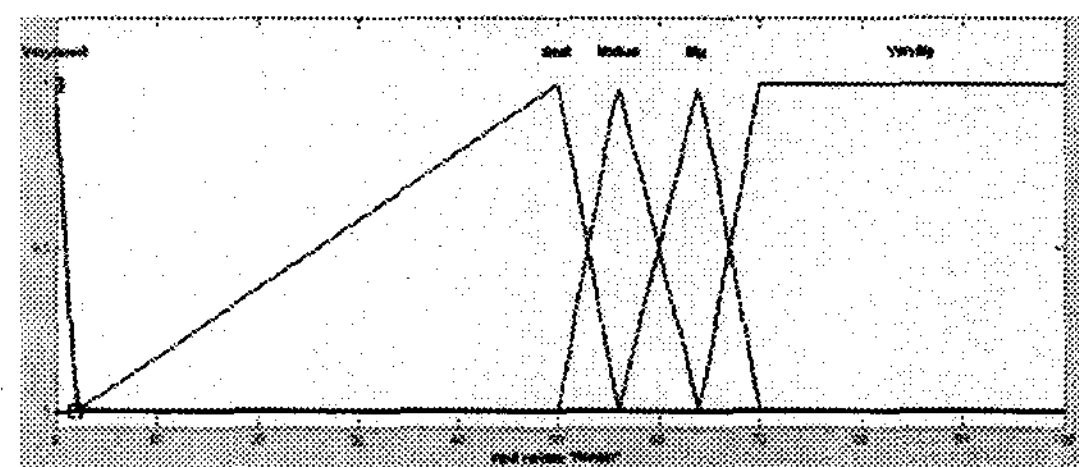


그림 6. 투입잔량(R)

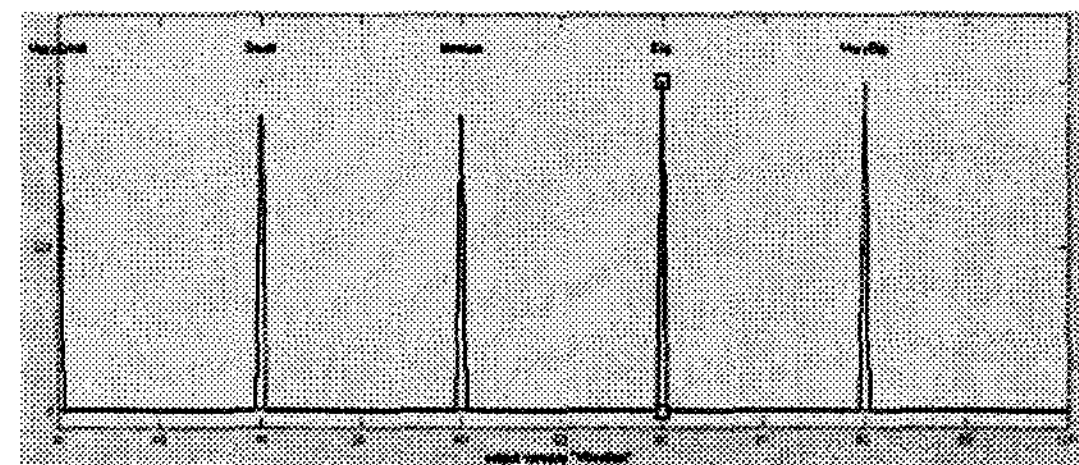


그림 7. 바이브레이션 강도(V)

3. 합금철 퍼지 제어 결과

3.1 퍼지 제어기법

합금철 퍼지 제어기를 PLC 래더 프로그램으로 구현하기 위하여 퍼지 소속 함수 계산식을 투입 잔량에 따라 계산될 수 있도록 아래와 같이 일반화시켰다.

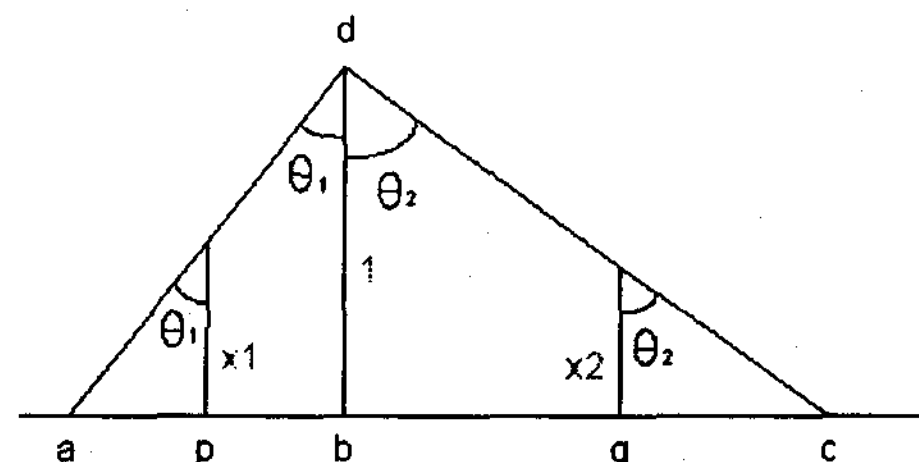


그림 9. 투입 잔량의 소속 함수

. $a < b$ 영역에서 x_1 값 계산

$$x_1 = \frac{p-a}{\tan \theta_1} = \frac{p-a}{b-a}$$

. $b < c$ 영역에서 x_2 값 계산

$$x_2 = \frac{c-q}{\tan \theta_2} = \frac{c-q}{c-b}$$

합금철의 투입량을 조절하기 위하여 바이브레이터에 인가되는 진동 강도는 아래 식에 의해 계산되었다.

$$\text{진동강도}(v) = \frac{\sum(\text{소속함수 값} \times \text{소속함수의 진동강도 값})}{\sum(\text{소속함수 값})}$$

3.2 PLC에 의한 퍼지 제어 결과

퍼지 제어 기법을 활용한 합금철 제어에서는 합금철 계량 오차와 합금철 계량 시간을 그림 9, 그림 10과 같이 크게 단축하였다.

그림 9는 13개 합금철 종류에 따른 개선 전과 개선 후를 비교하여 보여주고 있으며, 그림 10은 17개 합금철 빈에 따른 합금철 계량 시간 차이를 보여주고 있다. 합금철 투입 계량 오차는 약 8배 개선되었으며, 합금철 투입 속도는 평균 56초/200Kg에서 27초/200Kg으로 2배 향상되었다.

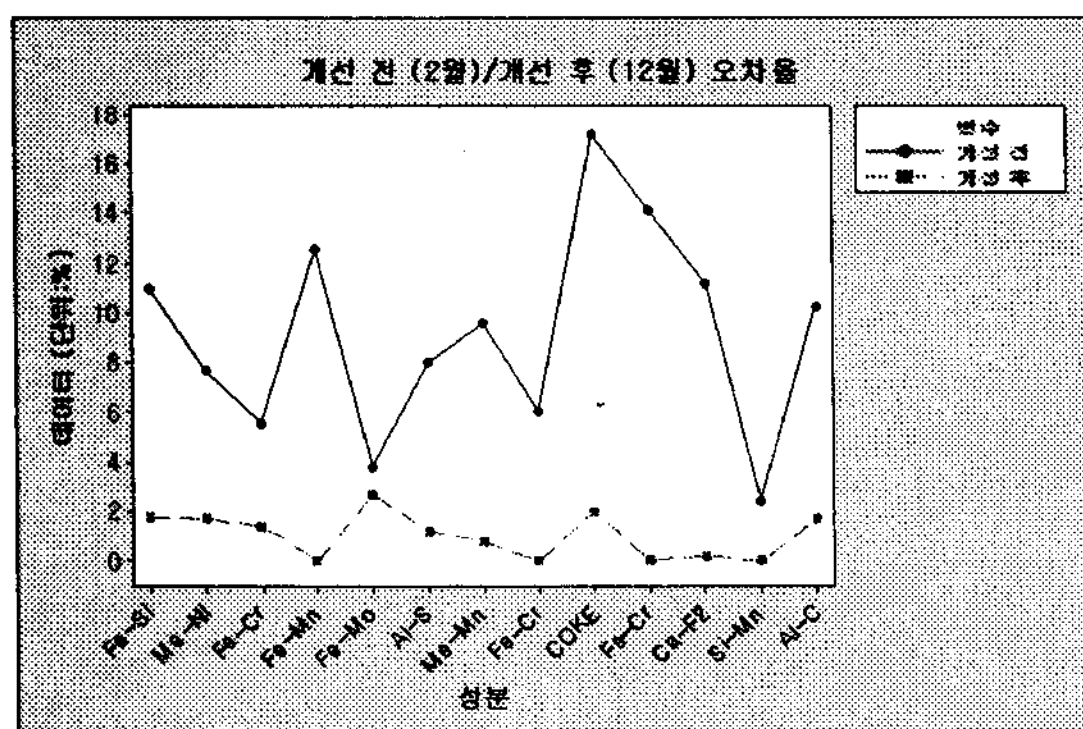


그림 9. 합금철 오차 분석 결과

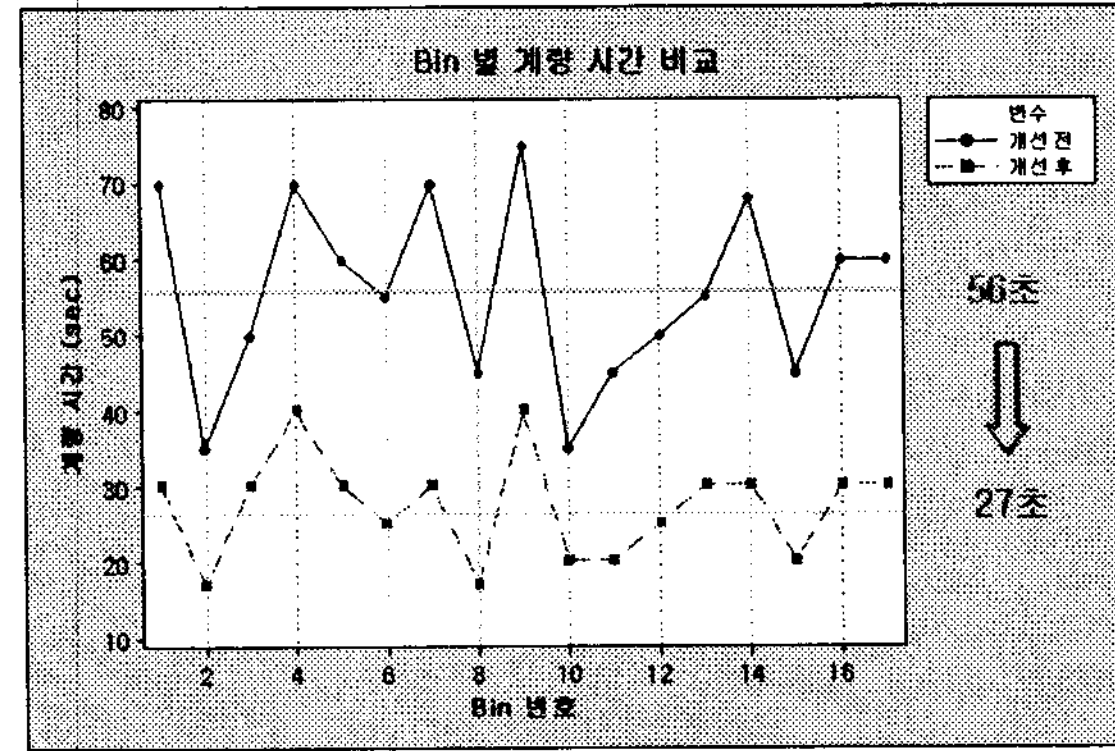


그림 10 합금철 계량 시간 분석

4. 결론

본 논문에서는 합금철 투입 중량을 퍼지 제어기를 사용하여 보다 정밀 제어가 가능하도록 구현하였다. 특히 퍼지제어 기법에서 싱글톤 함수를 사용하여 퍼지제어 기법을 단순화시켰으며, 진동 강도를 제어하기 위하여 PLC가 가지고 있는 일반 연산함수를 사용하여 구현하였다. 퍼지 제어 기법 적용 결과 합금철 투입 계량 오차는 약 8배 축소되었으며, 합금철 계량 속도는 2배 향상되었다. 논문에서 구현한 퍼지제어 기법은 제철소 다양한 공정에 확대 적용 가능하다.

참고 문헌

- [1] Benoit Boulet, Gino Lalli and Mark Ajersch, "Modeling and Control of an Electric Arc Furnace", Proceeding of the American Control Conference, 2003
- [2] 황목빈, 전기로 조업법: 전기야금학, 성안당, 1992
- [3] 이광형, 오길록, Fuzzy 퍼지 이론 및 응용 I권:이론, 홍릉과학출판사, 1991
- [4] 이광형, 오길록, Fuzzy 퍼지 이론 및 응용 II권:응용, 홍릉과학출판사, 1991
- [5] Morris, Programmable Logic Controllers, Prentice Hall, 2000