

論文93-30B-12-6

석회소성용 Rotary kiln에서 필요 연료량의 설정값 산정용 Fuzzy 판단자의 설계

(A Design of the Fuzzy Decision Maker Which Infers Set Value of Fuel Rate in the Rotary Kiln for Making CaO)

李海榮*, 白基男**, 金喆***

(H. Y. Lee, K. N. Peak and C. Kim)

要約

본 논문에서는 생석회 제조용 Rotary kiln에서 Burner에 투입되는 연료인 COG(Coke Oven Gas)량의 설정값 산정과정을 자동화 할 수 있는 Fuzzy 판단자의 설계를 다룬다. 제안된 Fuzzy 판단자는 기능상 두개의 그룹으로 분류된다. 하나는 생산 요구량이 일정한 상태에서 동작하며, 다른 하나는 생산 요구량이 변동되는 상태에서 작용한다. 조건부 및 결론부에 사용될 변수들은 공정의 고유한 특성과 숙련 운전자의 수동 설정 방식을 참고로 하여 선정하였다. 또한 각 변수들의 소속도 함수는 수개월간의 조업 데이터와 실험에 의해 얻은 데이터를 기준으로 설계하였다. 제안된 Fuzzy 규칙을 이용하여 on-line 운전을 실행해본 결과, 매 1분마다 소성에 필요한 적절한 설정값이 추론되어 유량제어기에 전송되면서 안정하게 동작함을 확인할 수 있었다.

Abstract

This paper presents a design of the fuzzy decision maker which infers set value for fuel rate in the rotary kiln of making CaO. The fuzzy decision maker proposed are divided into two groups whose functions are different each other. The one operates when production demand is constant. The other deals with the status of varying production demand. We have chosen several variables used for composing condition and action part by investigating inherent features of the rotary kiln and skilled operators' manual method of inferring fuel rate. Membership function of each variable was designed by analyzing experimental data and field data collected during two months. On-line operation with fuzzy rules suggested was done safely like human operators' action.

I. 서론

*正會員, 嶺南大學校 電氣工學科
(Dept. of Electrical Eng., Yeungnam Univ.)

**正會員, 産業科學技術研究所 制御研究部
(Dept. of Control Engineering RIST.)

***正會員, 光陽製鐵所 銑鋼制御
(POSCO Kwangyang Works, Maintenance Control Dept.)

接受日字 : 1993年 5月 4日

철강제조공정에서 석회소성공정의 역할은 제강공장의 전로에 사용될 생석회를 제조하는 것이다. 석회소성용 장치는 기계적 구조에 따라 Shaft kiln 과 Rotary kiln으로 분류할 수 있으며, 원료(Lime stone)의 입도(Size)에 따라 사용될 형태가 결정된다. 생석회(CaO)는 석회석(CaCO₃)을 1000℃ - 1300℃ 정도로 가열하여 이산화탄소(CO₂)를 제거함으로써

언어지며, 진로에서 용선 (Molten pig iron)중에 포함된 유황(S)과 인(P)을 제거하는 역할을 한다.

본 논문에서 다루고자하는 Kiln은 광양제철소에 설치된 #2 Rotary kiln이며, 이 공정에서 제어되어야 할 물리량들은 원료절출량, Pusher time, Kiln end pressure, Kiln 회전수, Burner에의 유입될 연료량, 제품 냉각용 공기량, 제품 배출 속도등이 있다. 운전자는 생산지시와 Kiln 각 부분의 상태를 종합적으로 판단하여, 각 물리량에 대한 설정값(Set value)을 자신의 운전 경험에의해 선정한다. 여기서 생석회의 품질향상과 환경공해저감에 가장 밀접한 관계를 가진 물리량은 Burner에 유입되는 연료량이다. 현재는 운전자가 생산요구량, 연료의 열량, 원료(Lime stone)의 산지, 소성온도 및 제품분석결과등의 요소들을 관찰하여 현 시점에서 적절하다고 생각되는 연료량을 자신의 운전경험에의해 추론하여 연료량의 케환제어용 Digital one-loop controller의 설정값(Set value)으로 입력시키고있다. 이런 방법으로 연료량이 설정되기 때문에 운전자에따라 제품의 품질이 달라지고, 적시에 적절한 수정을 해주지 못하면 바로 생석회의 품질 열화, 에너지의 과다소모 및 환경공해증가등으로 이어지게 되는 문제점이 있다. 여기서 다루고자하는 문제는 연료 유입량 산정과정을 자동화하는 것인데, 필요연료량의 계산과정에 사람의 경험적 지식이 중요한 역할을 하고있으므로 이런 과정을 자동화하는 것은 매우 어려운 문제이다.

최근 인간의 경험적 '知識'과 '技能'에의해 제어가 이루어지는 과정을 자동화하는 수단으로서 Fuzzy 제어라는 기법이 많은 관심을 받고있다. [1] [2] 본 논문에서는 Fuzzy 제어 기법에의해 Rotary kiln에서 연료 유입량 계산과정을 자동화하는 문제를 다룬다. Hardware 적인 구성에 있어서는 기존에 설치된 제어 시스템에서 Fuzzy 제어방식을 구현하는 것이 공장의 운영적인 면에서 볼 때 불가능하기 때문에, off-line simulation 및 on-line operation 기능을 가지고있는 일본 Fuji Electric 에서 제작한 FRUITAX (Fuzzy Rule Information Processing Tool for Advanced Control System)를 사용하여 기존 제어 시스템과는 독립적인 형태로 구성했다. Fuzzy 규칙의 조건부 및 결론부에 사용될 변수들은 공정의 고유한 특성과 숙련 운전자의 운전 지식등을 참고로하여 결정하였으며, 조건부 변수로서는 Kiln 배기 가스 온도, Kiln 배기 가스 온도의 변화율 및 예열기 배기 가스 온도의 변화율을 선정하였다. 또한 각 변수들에대한 소속도 함수는 수 개월간의 조업 데이터와 몇가지 조건하에서 실험에의해 얻은 데이터를 기준으로 설계하

였다. 마지막으로 Fuzzy 규칙은 수동운전방식을 참고로하여 기능상 두개의 그룹으로 나누어 설계하였다. 첫번째 그룹에 속하는 규칙들은 하나의 정상 상태에서 Kiln 배기 가스 온도의 변동을 제거하는데 필요한 COG 변동량을 추론하는 것이며, 두번째 그룹에 속하는 규칙들은 생산요구량의 변동을 공정변수들의 상태를 보고 평가하여 Kiln에 입력되는 원료의 시간당 투입률 변동에 의한 소성 불량이 발생하는 것을 예방하기 위해 필요한 COG 변동량을 추론하기위한 것이다.

본 논문에서 제안한 연료량 추론 방식의 타당성을 확인하기위해 운전자에의해 수동으로 운전되던 중 임의의 시점에서 Fuzzy 추론에의한 자동 설정방식으로 전환한 결과, FRUITAX 에서는 매 1 분마다 각종 현장 데이터를 받아 Fuzzy 추론과정을 통해 새로운 유량 설정값을 계산하여 유량제어용 one loop controller로 전송하면서 안정한 운전이 이루어짐을 확인하였다.

본 논문의 구성은 II 장에서는 여기서 다루는 Rotary kiln의 기계적인 구성 및 Material flow와 현재의 운전방법등을 언급하고, III 장에서는 기존 제어시스템과 FRUITAX와의 Hardware적인 Interface 및 제안된 연료량 추론용 Fuzzy 규칙과 각 변수에대한 소속도 함수를 설명하고, IV 장에서는 on-line 실험과정과 결과를 보인다.

II. 석회소성용 Rotary kiln의 구성

1. 기계적 설비 구성 및 Material flow

석회소성용 Rotary kiln의 기계적 설비는 그림2-1에 보여져 있으며, 이 설비에서 중요한 몇가지 부분의 기능을 원료(Lime stone, $CaCO_3$)의 흐름에따라 설명한다. 원료절출부는 水洗와 Screening 과정을 거친 원료가 원료저장 Hopper 에서 preheater로 유입되는 원료의 양(Ton/hour)을 조절한다. Preheater는 소성에 필요한 연료를 절감하기위해 Kiln 배기 가스를 활용하여 원료($CaCO_3$)를 $800^{\circ}C - 900^{\circ}C$ 로 예열시키는 장치이다. Pusher는 예열된 석회석을 Kiln에 밀어넣는 장치이며, 10개의 유압 실린더로 구성되어있다. 이 유압 실린더는 5개가 1개의 그룹을 형성하고있으며, 각 그룹내의 실린더들은 같이 동작하게끔 운영되고있다. 여기서 유압실린더가 1회 왕복하는데 걸리는 시간을 Pusher time이라고 부른다. Driver는 원석이 균일하게 소성되도록 원통형 Kiln을 회전시키는 부분이다. Burner는 Coke 공장에서 부산물로 나오는 규정 최저 발열량 $4100 - 4400 kcal/Nm^3$ 을 갖는 COG(Coke Oven Gas)를 연료로 사용하여 Kiln에 공급되는 화염을 만드는 것이다. Cooler는 Kiln으로부터 배출되는 생석회를

공기로 냉각하는 부분이다. 여기에 사용되는 냉각용 공기를 2차공기라 부르며, Burner에 유입되는 연소용 1차공기의 부족분을 보충하는 역할도 한다. Induced draft fan은 Preheater에서 발생하는 배기 가스를 강제 배출시키는 장치이며 Kiln end pressure를 조절하는 기능을 갖는 장치이다. 여기서 다루는 Rotary kiln은 10 - 35 mm의 size를 갖는 석회석을 원료로 사용하며, 500 Ton/Day의 생산능력을 가지고있다.

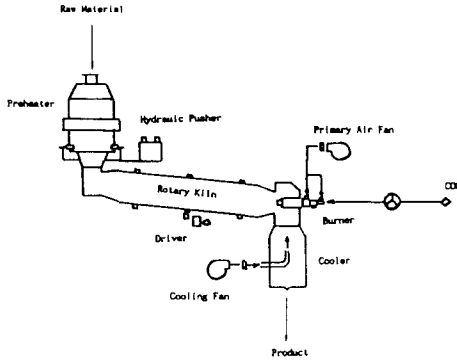


그림 1. Rotary kiln의 구성
Fig. 1. The mechanical structure of rotary kiln.

2. 제어시스템구성과 운전방법

본 석회석성용 Rotary kiln에서 제환제어의 대상이 되는 중요한 물리량들은 원료철출량, Pusher time, Kiln 압력, Kiln 회전수, COG 유입량, 2차 공기량, 제품배출속도등과 같은 7개이다. 각 물리량은 Digital one-loop controller에 의해 제환 제어되며, 각 물리량에 대한 설정값(Set value)은 공장의 상황에 따라 수동으로 운전자의 경험적 지식에 의해 설정되며, 필요할 때마다 on-line으로 적절한 수정이 행해진다. 각 물리량에 대한 지시값 설정 방법을 간단히 살펴보면 다음과 같다. 예를들어 현재 생산요구량이 400 Ton/Day인 상태로 운전되고 있다고 해보자. 여기서 생산요구량이 400 Ton/Day보다 증가하면, COG 증가, Pusher time 감소, Kiln 속도 증가, 2차 공기 증가, Kiln 압력감소등의 순서로, 또 생산요구량이 400 Ton/Day 보다 감소하면 Pusher time 증가, COG 감소, Kiln 속도 감소, 2차 공기 감소, Kiln 압력 증가등의 순서로 증가 또는 감소되는 생산량의 크기에 따라 각 물리량에 적절한 수정을 행한다. 여기서 본 논문에서 다루는 주요내용인 유입연료(COG)량의 설정에대해 좀 더 깊이 살펴보면 다음과 같다. 실제 운전자가 COG 설정량을 결정하기위해

고려하는 요소들은 크게 5가지로 볼 수 있다. 즉 생산요구량, COG 열량, 원료의 산지, 소성온도 및 제품분석결과등이다. 운전자는 위와같은 요소들을 관찰한다음 적절한 COG 유입량을 자신의 경험적 지식에 의해 추론하여 Digital one-loop controller의 설정값(SV)으로 입력시킨다. 이와같은 설정과정은 인간의 오랜 운전 경험을 바탕으로 이루어지기때문에, 운전자에 따라 제품의 품질이 달라지고 적시에 적절한 수정을 해주지 못하면 바로 제품 품질 열화로 이어지게되며, 자동화하는데도 큰 어려움을 가지고있다.

III. 연료량 추론을위한 Fuzzy 추론시스템

1. Hardware적 구성

앞 절에서 언급한 바와같이 on-line operation에 숙련된 사람의 경험적 지식이 필요한 과정을 자동화하는 것은 일반적으로 알려진 제어 기법들로서는 해결하기 매우 어려운 문제이다. 이와같은 자동화 문제를 해결하는데는 인공지능기술의 하나인 Fuzzy 추론 기법이 적절하다고 판단된다. COG 설정량 추론의

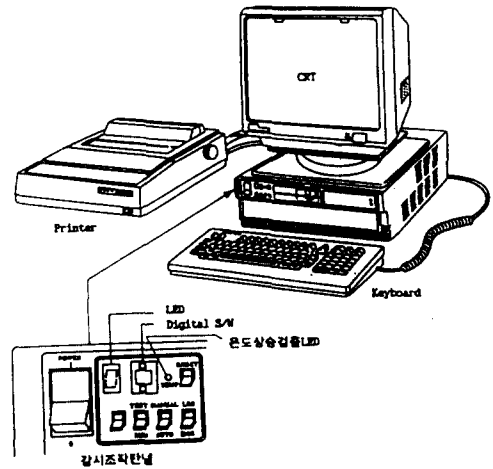


그림 2. Fruitax의 외관
Fig. 2. The shape of Fruitax.

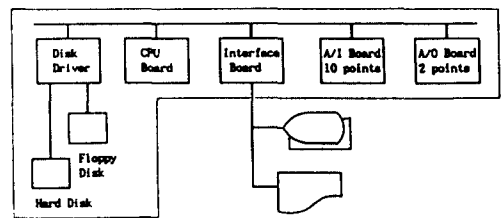


그림 3. Fruitax의 Hardware 구성
Fig. 3. The hardware structure of Fruitax.

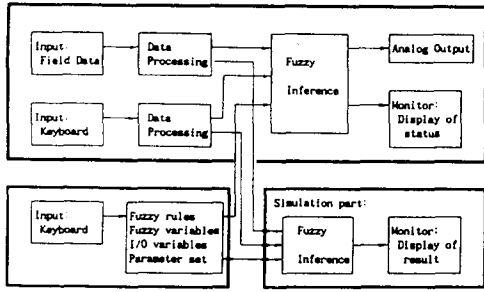


그림 4. Fruitax의 Software 구성
Fig. 4. The software structure of Fruitax.

자동화를 위해 필요한 Hardware적 수단으로 off-line simulation 및 on-line operation 기능을 가지고있는 일본 Fuji Electric 에서 제작한 Fruitax (Fuzzy Rule Information Processing Tool for Advanced Control System)를 사용하였다. Fruitax의 외관은 그림 2에 보여져있다.

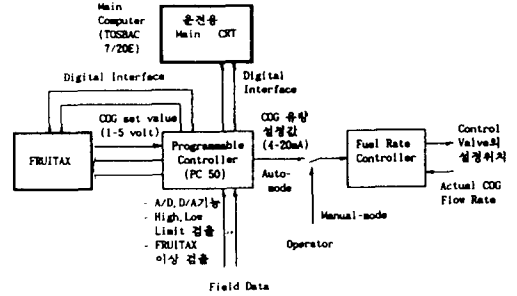


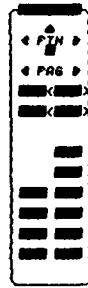
그림 5. Fuzzy 추론시스템과 기존 제어시스템과의 Interface
Fig. 5. The interface between Fruitax and process control system for kiln.

Fruitax는 Hardware적으로는 일반적인 산업용 Computer에 특별한 Switch 몇개와 Analog data의 입출력이 가능한 Board를 내장한 구조로 되어있으며, Software적으로 가지고있는 중요한 기능을 든

603 DATA SET FOR ROTARY KILN (2ND)

INPUT DATA	
DISCHARGE RAW MAT'L Q'TY (41231)	40 TON/H
KILN SPEED (SHIC31)	1 RPM/100
DISCHARGE SPEED (SHIC32)	750 RPM
AIR FLOW (FIC33)	190 M ³ /H
PUSHER TIMER	38 SEC

FUZZY CONTROL	
COG FLOW (FIC31)	513 M ³ /H
KILN PRESS (PIC33)	-133 M ³ /H
DELAY TIME SET (1-2999 SEC)	8880 M ³ /H
DATA SELECT (NO.05586)	YES=J1



108 ROTARY KILN (2ND)

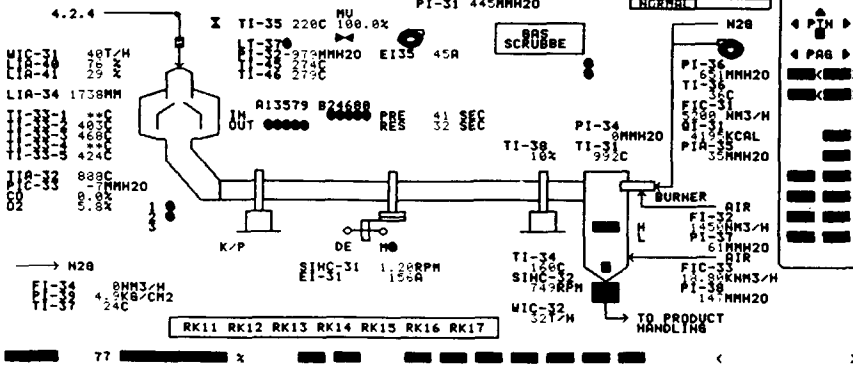


그림 6. 운전용 Main CRT 화면 예
Fig. 6. An example of CRT display for operation.

다면 전용 Editor에 의한 Fuzzy 규칙 입력, off-line simulation 및 on-line operation 기능등이다. 그림 3에 Fruitax의 Hardware 구성을, 그림 4에는 Software 구성을 보인다.

한편 Fuzzy 추론시스템과 기존 제어시스템과의 Interface는 그림 5에 보여져 있으며, 운전용 Main CRT 에서 볼 수 있는 공정감시 화면 예를 그림 6에 보인다. Fuzzy 추론시스템은 10 종류의 현장 데이터를 받아서 필요한 데이터를 가지고 추론을 하여 얻은 COG 설정값(Set value)을 Programmable logic controller(PLC)에 전송한다. PLC에서는 Analog 전압형태로 받은 데이터를 A/D conversion하여 그 값이 지정된 상한 및 하한을 벗어나면 운전용 CRT에 그 상황을 Display하고 Buzzer를 통해 경보음을 울린다. 또한 PLC에서는 FRUITAX와의 Digital Interface를 통해 FRUITAX의 상태를 진단하고, 이상이 발생하면 운전용 CRT에 FRUITAX의 상태를 보여주는 역할을 한다. 마지막으로 PLC에서 D/A conversion을 통해 4-20 mA 의 전류형태로 변환된 COG 설정값은 COG 유량제어용 One-loop controller에 전송된다. 기존에는 Manual mode로서 operator가 자신의 경험적 지식을 이용하여 직접 One-loop controller의 Front panel에 있는 Button으로 COG 설정값을 입력시키고 있었다.

2. COG 설정값 계산을 위한 Fuzzy Rules

보편적으로 Fuzzy 규칙을 설계하려면 먼저 Fuzzy 규칙의 조건부 및 결론부에서 사용될 변수들을 설정해야 한다. 본 논문에서 다루는 문제에서 결론부에 사용될 변수는 COG 설정값으로 이미 결정되어 있다. 따라서 변수설정에서 중요한 문제는 조건부에 사용될 변수를 선정하는 것이다. 여기서 중요한 관점은 현 시점에서 원석의 소성도를 좋게 하기 위해 필요한 COG 설정값을 추론하는데 있어 공정내의 어떤 정보가 중요한 역할을 하고 있는지를 판단하는 것이다. 물론 이 과정을 자동화하기 위해 조건부 변수들은 on-line으로 그 상태를 측정할 수 있어야 한다. 위와 같은 기준들을 가지고 현장에서 운전자가 행하는 COG 설정값 결정과정을 조사해본 결과, 조건부 변수 설정에 대한 Idea를 얻을 수 있었다. 즉 숙련운전자는 대개의 경우 Rotary Kiln 에서 배출되는 배기 가스 온도가 약 1000℃ 정도 되게끔 유지하면서, 생산요구량 변동 지시에 따라 COG 설정값을 조금씩 변경하는 방법으로 조업하고 있었다. 따라서 Kiln 배기 가스 온도와 생산요구량 지시값을 조건부 변수들로 선정하는 것이 타당하다고 판단되었다. 그러나 생산요구량 지

시값은 제어 시스템의 Hardware 구성상 Fruitax에서 on-line으로 받을 수 없게끔 되어 있을 뿐만 아니라, 운전중에 운전자의 판단에 따라 생산량을 임의로 조절하기도하므로 Rotary kiln 내에서 생산요구량 변동에 대한 정보를 가지고 있는 물리량을 찾아야 한다. 수개월간의 조업 데이터를 조사해본 결과, 예열기 배기 가스 온도의 변화율이 생산요구량 변동과 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있었다. 이 사실은 Rotary kiln 에서 배출되는 Kiln 배기 가스 온도가 일정하다고 가정할 때, 예열기 배기 가스 온도는 예열기에 들어오는 원료(Lime Stone)의 양에 따라 변동된다는 것을 생각해 보면 쉽게 이해할 수 있다. 따라서 조건부에 사용될 변수들로서 Kiln 배기 가스 온도, Kiln 배기 가스 온도의 변화율 및 예열기 배기 가스 온도의 변화율을 선정하였다.

이제 다음 할 일은 각 변수들에 대한 Term set^[4]과 Term set의 각 요소에 대한 소속도 함수^[4]를 결정하는 것이다. 소속도 함수의 모양에는 지수형, 사다리형, 삼각형 및 임의형 등 여러가지가 있으나, 여러 종류의 수식 모델에 대한 simulation 및 실험 장치에 대한 Test를 통해 대개의 경우 가장 간단한 형태인 삼각형 함수만으로도 원하는 응답특성을 얻을 수 있다는 사실을 알 수 있었다. 따라서 소속도 함수의 모양으로는 삼각형 형태를 선정하였다.

다음에 각 변수에 대한 Term set을 언급하기 전에, 몇가지 기호를 정의하여 보자. T_{KILN} 을 Rotary Kiln의 배기 가스 온도, ΔT_{KILN} 을 T_{KILN} 의 변화율, ΔT_{PRE} 를 예열기 배기 가스 온도의 변화율 및 ΔQ 를 이전 step에서 one loop controller로 전송된 COG 설정값에 더해지게 될 변화량이라 약속하여 보자. 언어변수 T_{KILN} , ΔT_{KILN} 와 ΔQ 들의 Term set은 모두 동일하며 다음과 같다.

$$\text{Term set} = \{ SA, SM, MM, ML, LA \}$$

여기서 SA는 Small, SM은 Small Medium, MM은 Medium, ML은 Medium Large, 그리고 LA는 Large의 약자이다.

변수 T_{KILN} 의 Term set에 있는 각 요소에 대한 소속도 함수는 조업 데이터를 분석하여 그림 7과 같이 결정했다.

변수 T_{KILN} 을 사용하는 목적은 Kiln 배기 가스 온도가 일정할 때 예열기 배기 가스 온도의 변화량을 관찰하는데 있으므로, 최대 변동량을 정상 상태값의 1%로 정했으며 각 요소에 대한 소속도 함수는 그림 8에 보여져 있다.

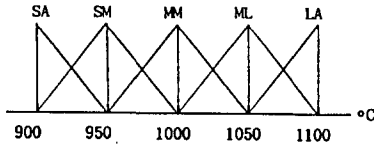


그림 7. TKILN의 각 요소에대한 소속도 함수
Fig. 7. Membership function of each element for ΔT_{KILN} .

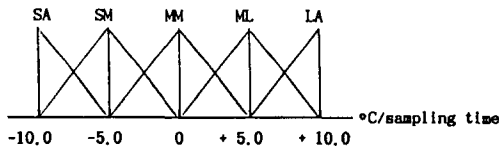


그림 8. ΔT_{KILN} 의 각 요소에대한 소속도 함수
Fig. 8. Membership function of each element for ΔT_{KILN} .

변수 ΔT_{PRE} 의 사용목적은 생산요구량의 변화를 평가하기위한 것이다. 생산요구량이 400 Ton/Day 이고, Kiln 배기 개스 온도가 1000℃ 로 일정할때, 생산요구량을 300 Ton/Day 까지 감소시키는 경우와, 500 Ton/Day 까지 증가시키는 경우에 대해 각각 예열기 배기 개스 온도의 변화 추이를 조사하여 본 결과, 예열기 배기 개스 온도는 240℃ 에서 300℃ 까지의 변화 범위를 가지고있고, 1분간의 Sampling 시간동안 최대 3.6%정도의 변화율을 가짐을 알 수 있었다. 이 실험 결과를 토대로하여 T_{PRE} 의 Term set에 있는 각 요소의 소속도 함수는 그림 9와 같이 결정했다.

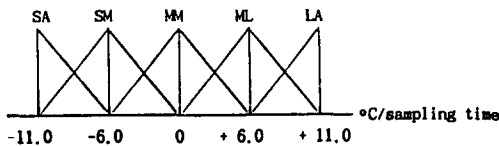


그림 9. ΔT_{PRE} 의 각 요소에대한 소속도 함수
Fig. 9. Membership function of each element for ΔT_{PRE} .

한편 FRUITAX 에서는 결론부에 사용될 변수는 조건부의 변수들과는 다른 Term set을 사용하도록 설계되어 있으며, ΔQ 의 Term set은 다음과 같다.

Term set of $\Delta Q = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$

여기서 NB는 Negative Big, NM은 Negative Medium, NS는 Negative Small, ZE는 Zero, PS는 Positive Small, PM은 Positive Medium, PB는 Positive Big이다. 결론부에 사용될 언어변수를 최종적인 COG 설정값이 아닌 ΔQ 로 정하는 이유는 FRUITAX에서 속도형 추론 방식을 사용하고 있기 때문이다. 따라서 수동운전에서 Fuzzy 추론에 의한 자동운전으로 전환시에는 COG 설정값에 대한 초기값을 운전 평균값 정도로 정해 주어야 한다. 언어변수 ΔQ 는 한 Step 이전에 one loop controller로 전송된 COG 설정값에 더해질 변화량으로서 버너의 능력과 안전성, 제어시스템의 외란제거에대한 응답속도등을 고려하여 Term set에 있는 각 요소의 소속도 함수를 결정해야한다. 여기서는 몇번의 시행착오를 통해 한 Step에서 최대 변동량을 $+5,000 \text{ Nm}^3/\text{Hour} \times 3\%$, 즉 $\pm 150 \text{ Nm}^3/\text{Hour}$ 로 정했으며 그림 10에 각 요소의 소속도 함수를 보인다.

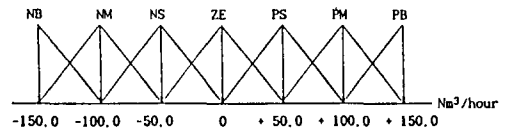


그림 10. ΔQ 의 각 요소에대한 소속도 함수
Fig. 10. Membership function of each element for ΔQ .

최종적으로 One-loop controller로 전송되는 COG 설정량은 그림 11에 보여진 것과 같이 계산된다.

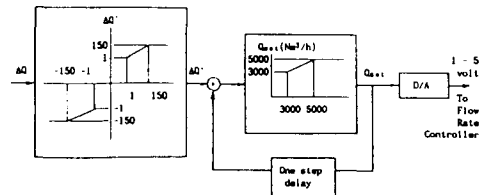


그림 11. Flow rate 제어기로 전송되는 COG 설정값 Limit 과정
Fig. 11. Limit of COG set value transmitted to flow rate controller.

마지막으로 COG 설정값 계산을위한 Fuzzy 추론 규칙은 위에서 언급한 변수들을 사용하여 두개의 그룹으로 설계했다. 첫번째 그룹에 속하는 규칙들은 하나의 정상 상태에서 Kiln 배기 개스 온도의 변동은

제거하는데 필요한 COG 변동량을 추론하는 것이며 다음과 같다.

- IF T_{KILN} is SA THEN ΔQ is PM
- IF T_{KILN} is SM THEN ΔQ is PS
- IF T_{KILN} is MM THEN ΔQ is ZE
- IF T_{KILN} is ML THEN ΔQ is NS
- IF T_{KILN} is LA THEN ΔQ is NM

두번째 그룹에 속하는 규칙들은 생산요구량의 변동을 공정변수들의 상태를 보고 평가하여, Kiln에 입력되는 원료의 시간당 투입률 변동에 의한 소성 불량이 발생하는 것을 예방하기위해 필요한 COG 변동량을 추론하기위한 것이다. 이 그룹에 속하는 규칙들은 다음과 같다.

- IF T_{KILN} is MM & ΔT_{KILN} is MM & ΔT_{PRE} is SA THEN ΔQ is PM
- IF T_{KILN} is MM & ΔT_{KILN} is MM & ΔT_{PRE} is SM THEN ΔQ is PS
- IF T_{KILN} is MM & ΔT_{KILN} is MM & ΔT_{PRE} is MM THEN ΔQ is ZE
- IF T_{KILN} is MM & ΔT_{KILN} is MM & ΔT_{PRE} is ML THEN ΔQ is NS
- IF T_{KILN} is MM & ΔT_{KILN} is MM & ΔT_{PRE} is LA THEN ΔQ is NM

위와같은 Fuzzy 규칙들과 소속도함수들로 부터 주어진 상태에서 새로운 설정값을 계산하는 Fuzzy 추론 방법으로는 잘 알려져있는 Mimumum-Maximum 방법을 사용하며, 비퍼지화(Defuzzification) 방법으로는 무게 중심법(Center of garvity)을 사용하고있다.

IV. On-line 실험과 결과

Fuzzy 추론 규칙을 이용한 COG 설정값 계산 방법의 타당성을 확인하기위해 그림 5에 보여진 두가지 운전 Mode에서 수동 Mode로 운전중에 임의의 시점에서 자동 Mode로 전환하여 제안된 방법의 On-line 실험을 수행했다. FRUITAX 에서는 매 1 분마다 각종 현장 Data를 받아 Fuzzy 추론과정을 통해 새로운 COG 설정값을 계산하여 유량제어용 one loop controller로 전송한다. 또한 FRUITAX 화면상에는 매회 추론시마다 추론 결과가 Graphic 방식으로 제공되므로 추론의 이상여부나 공정상태등을 쉽게 판단할 수 있게 되어있다. 약 2 개월간에 걸쳐 하루에 8 시간 정도씩 간헐적인 On-line 실험을 통해 생산요구량이 350 Ton/Day에서 500 Ton/Day 까지 변화할 때 Fuzzy 추론에의해 계산된 COG 설정값의 변

화추세와 Kiln 배기 가스 온도의 제어성능을 관찰한 결과 대개의 경우 그림 12와 같은 응답특성을 얻을 수 있었다. 그림에서 볼 수 있듯이 COG 설정값은 기존에 수동 설정 방법으로 운전시는 운전자가 가끔 변경시켜주고 그때마다 새로운 설정값으로 Jump하는 비연속적인 Curve를 그리지만 Fuzzy 추론 방식으로 설정할 때는 연속적인 Curve로 되어 훨씬 자연스럽게 제어가 됨을 알 수 있으며, Kiln 배기 가스 온도의 제어성능도 운전자에의해 얻어지는 성능과 동등이상의 결과를 보였다.

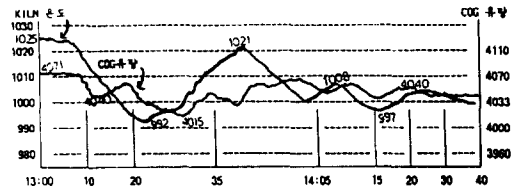


그림 12. 대표적인 응답특성
Fig. 12. A representative response.

V. 결론

본 논문에서는 석회 소성용 Rotary Kiln에서 Burner에 투입되는 연료인 COG의 설정값 산정과정을 자동화 할 수 있는 Fuzzy 추론 규칙과 각 변수들의 소속도 함수등의 설계를 다뤘다. Fuzzy 추론의 Simulation 및 on-line 제어용 Tool인 FRUITAX 를 사용하여 개발된 자동 설정 방식은 조업중에 on-line 실험한 결과 정상적인 상태에서의 Kiln 운전에서는 최소한 운전자와 동등이상의 제어성능을 내면서 안정한 조업이 이루어 질 수 있음을 확인했다. 그러나 본 논문에서 제안된 Fuzzy 규칙들은 수동 모드로 Kiln의 운전이 정상상태에 접근한 상태에서만 사용 가능하며 Kiln의 정지 및 기동시에 대한 문제까지는 다루지 못 하였으므로, 추후 현재까지 조사된 기동 및 정지 기법을 Fuzzy 규칙화 하는 문제가 남아있다. 또한 여기서 개발된 Fuzzy 추론 규칙에서는 Kiln 내벽에 석회석이 달라붙는 소위 「coating 현상」과 같은 특별한 비정상적인 상태가 Kiln 배기 가스 온도에 미치는 영향을 고려하지 않고있다. 이 문제는 Kiln 설비의 정기수리시 내벽을 정기적으로 청소하는 방법에의해 해결 할 수도 있으나, 필요이상의 정비를 하지않기 위해서 「coating 현상」의 진행정도에 따라 COG 설정값을 적절히 변경시켜주는 Fuzzy 추론 규칙이 필요하다. 하지만 「coating 현상」은 온

도만으로 진행정도를 판단할 수는 없으며, Kiln 운전 상태를 종합적으로 파악해야 판단할 수 있으므로 현재는 정기적인 청소를 실시하여 운전하면서 coating의 진행정도를 자동으로 진단 할 수 있는 방법을 모색하는 것이 바람직하다고 생각한다.

參 考 文 獻

[1] M.Sugeno : "Industrial Applications of

Fuzzy Control", Elsevier Science Publishers B.V., 1985.

[2] M.Iwamoto : Nippon Kokan Technical Report, 50(1987), p.1

[3] A.Takekoshi : 計裝, 31(1988), p.30.

[4] H.J.Zimmerman : " Fuzzy Set Theory and Its Applications ", Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985.

著 者 紹 介



李 海 榮(正會員)

1962年 7月 5日生. 1984年 2月 부산대학교 전기기계공학과 졸업(공학사). 1986年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사). 1990年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사). 1990年 2月 ~ 1993年 8月 산업과학기술연구소 제어연구실 연구원. 1993年 9月 ~ 현재 영남대학교 전기공학과 전임강사. 주관심분야는 지능제어 응용, 디지털 제어 시스템, 공정제어 등임.



金 喆(正會員)

1955年 12月 9日生. 1979年 2月 숭실대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1978年 12月 ~ 1985年 2月 포항제철소 압연제어 정비과. 1985年 3月 ~ 1986年 4月 제철연수원 교육계획 그룹. 1986年 4月 ~ 1991年 12月 광양제철소 동력계측 정비 담당 계장. 1991年 12月 ~ 현재 광양제철소 선강제어정비과장. 주관심분야는 분산 제어 시스템(DCS), 계측 기기, 루프제어기 등임.



白 基 男(正會員)

1944年 11月 11日生. 1972年 서울대공대 전기공학과 졸업. 1988年 동대학원 제어계측 공학과 졸업. 1992年 부산대 공대 전기공학과 박사과정 수료. 현재 산업과학기술연구소 시스템연구부장.