

퍼지 전문가 시스템의 유리 용해로 적용에 관한 연구

문 운철

삼성SDS 정보기술 연구소 Tel) 3434-2271 ucmoon@samsung.co.kr

A Study On Fuzzy Expert System For Galss Melting Furnace

Un-Chul Moon

Samsung SDS Technology Research Team Tel) 82-2-3434-2271 ucmoon@samsung.co.kr

Abstract - 본 논문에서는 용해공정을 위한 실시간 퍼지 전문가 시스템을 소개한다. 유리 용해 공정은 운전자의 경험지식에 의해 내부의 상황을 판단하게 되고, 이는 용해로 수명과 제품의 품질에 중요한 영향을 준다. 기존 운전자의 지식을 분석하여 룰을 형성하고, 시스템에 맞도록 구현한 방법을 제시한다. 제시된 퍼지 전문가 시스템은 실제 용해로의 생산공정에 효율적으로 적용되었다.

1. 서 론

유리산업의 공정은 용해, 성형, 연마로 크게 분류된다. 원료의 배합 후 원료는 용해로(Furnace)에 투입되고, 여기서 높은 온도의 복사열을 이용하여 용해된 후 안정된 온도로 유지시키며 다음공정으로 유리 물을 흘려 보내게 된다. 고열 공정의 특성상, 용해로의 이상은 안전과 품질에 결정적인 원인이 되고, 용해로 운전에는 숙련된 운전자의 경험이 많은 부분을 차지하고 있다. 열분사 방식은 오일이나 가스를 사용하여 용해로 안의 공기를 가열함으로써 생성된 복사에너지를 원료에 전달하게 된다. 이때 용해로 안의 온도의 편차를 줄이는 것이 품질 및 불량감소에 중요한 관건이며, 이에 영향을 주는 설비 및 각종 외란에 대해 관리를 하게 된다.

그러나, 용해로의 특성상, 가시적인 용해로 운전 이상의 유무를 직접 판단하기는 매우 어려우며, 이는 용해로에 설치된 각종 Sensor(압력, 온도, 유속)에 의존한 운전자들의 경험과 과거 사례로 판단하게 된다. 또한, 순간적인 Sensor의 값보다는 일정기간의 경향에 운전자들이 판단을 하게 되고, 하나의 Sensor의 값보다는 여러 Sensor의 값과 경향을 가지고 종합적으로 분석한 후 이상유무에 대한 결정을 내리게 되고, 이상에 대한 조치를 취하게 된다. 여러 운전자들의 지식들의 수준과 다양함에 있어 체계적인 작업지침이 존재하기 힘들어 전문가 시스템을 이용한 용해로 이상감시는 운전원의 실수, 용해로의 경험부족에서 오는 오조작을 막고, 고장진단, 사고복구 및 대책 마련에 소요되는 비용을 줄이는데 크게 기여할 수 있다.

본 논문에서는 삼성코닝(주) 수원사업장의 용해로를 대상으로 하여 용해로 이상감시를 위한 용해로 운전 전문가시스템을 구축한 결과를 소개한다. 개발 물로써는 Gensym社 실시간 전문가 시스템 개발 툴인 G2를 사용하였다. 먼저, 설문조사를 통하여 용해로 운전자의 관리 지식을 습득하였고, 이를 각 Rule의 특징에 따라 Crisp Rule과 Fuzzy Rule로 구분하였다. 또한 Fuzzy Rule에 맞도록 Sensor값을 처리하는 방법을 제시한다.

2. 유리 용해로 퍼지 전문가 시스템

2.1 지식 수집

용해로 운전자의 지식을 체계화하는 것은 운전기술 향상, 품질 향상 등과 함께 용해 공정 업무의 중요한 역할을 차지한다. 또한, 용해로 안의 상황을 수식적인 모델

로 표현하고자 하는 시도는 오래 전부터 이루어지고 있는 일이다. 그러나, 다양한 경우를 모두 고려하여 용해로 안의 상황을 판단한다는 것은 외란 변수의 다양성과 경향의 모호함, 시도와 오류의 반복으로 컴퓨터 시스템을 이용하지 않고서는 거의 불가능하다. 또한, 정형화되고 체계적인 지식관리를 위해서는 전문가시스템의 개발이 필요하며, 지식표현에 모호함을 표현할 수 있는 방법이 마련되어야 한다.

운전자의 지식을 얻는데는 인터뷰, 설문지 등의 여러 가지 방법이 있다. 본 연구에서는 기본적인 지식의 표현 방법과 구조, 특성을 파악하기 위해 용해로 운전실무자들을 대상으로 설문지를 배포, 지식베이스를 구축하기 위한 작업을 하였다. 용해공정업무는 Batch, Tank, Refiner, FTH의 공정 수순에 따라, 정기적인 점검작업 및 돌발상황에 대한 조치작업, 그리고 설비에 대한 지속적인 유지작업으로 구분되어진다. 이에 운전자의 지식이나 작업형태도, 공정별 설비별로 구분되어질 수 있다.

지식수집의 방법으로 설비별, 용해로 관련작업별로 다음과 같은 Category로 나누고 세부적인 사항에 대해 발생 가능한 상황에 대한 묘사를 담도록 하는 설문지를 제작 배포하였다.

- ◆ CATEGORY 1 : TANK 내화물
- ◆ CATEGORY 2 : REFINER
- ◆ CATEGORY 3 : TANK CA FAN
- ◆ CATEGORY 4 : BLOCK COOLING FAN
- ◆ CATEGORY 5 : COOLING PORT FAN
- ◆ CATEGORY 6 : E.P (집진설비)
- ◆ CATEGORY 7 : F'TH CA FAN
- ◆ CATEGORY 8 : F'TH WIND COOLING FAN
- ◆ CATEGORY 9 : WIND COOLING & PRESSURE CONTROL SYSTEM
- ◆ CATEGORY 10 : F'TH DUCT
- ◆ CATEGORY 11 : COPLANNER
- ◆ CATEGORY 12 : GOBBER
- ◆ CATEGORY 13 : O'RING
- ◆ CATEGORY 14 : F'TH FIRING
- ◆ CATEGORY 15 : BRANKER FEEDER
- ◆ CATEGORY 16 : OVER FLOW
- ◆ CATEGORY 17 : J.O.B
- ◆ CATEGORY 18 : DAMPER
- ◆ CATEGORY 19 : FLUE
- ◆ CATEGORY 20 : BATCH
- ◆ CATEGORY 21 : COLOR SOLUTION
- ◆ CATEGORY 22 : Electric Booster

표 1은 운전자에게 배포한 설문지의 한 예이다. 표에서와 같이 각 Category별로 Trouble의 종류와 그에 따른 현상을 설문지를 통하여 수집하였다.

표1. 지식 수집용 설문지

Category	Trouble 종류	현상
TANK 내화물	Checker 막힘	Branch 온도의 Unblance 발생
		Branch 온도가 일주일에 걸쳐 50도 하락
		연료량을 올려도 온도 변화적음
Damper	Slag 쌓임	로압이 서서히 상승
		Glass온도가 15일동안 3도 정도 상승

2.2 지식의 표현

설문지를 통한 지식의 수집결과, 운전자들의 사고에 기반한 규칙들은 용해로 관련 Sensor들의 값을 1분, 10분, 1시간 데이터를 근거로 구성되고 있다. 그리고, 그 Data로 판단하는 사실(Fact) 들은, 증가하는 경향, 급격히 감소하는 경향 등의 추상적이고, 기간개념을 갖는 데이터 지향적인 사실들을 포함하고 있다.

본 논문에서는 수집된 규칙의 표현 방법에 따라, Crisp Rule 과 Fuzzy Rule로 구분하여 지식을 표현하였다.

2.2.1 Crisp Rule의 표현

운전자들의 지식 중에는 항상 감시(monitoring)되어야 하고, 구체적인 판단값에 근거하여, 그 판단값의 관리 목표치와 그 허용한계를 명확하게 할 수 있는 것들이 있다. 예를 들어 다음과 같은 운전자의 경험지식이 수집되었다고 가정하자.

“Reversing 후의 안정된 MC1 의 온도 값이 평소 때 보다 높아지면, Bunker C Oil 의 온도가 높아진 상황이다.”

위의 Rule중 “Reversing 후의 안정된 MC1 의 온도 값”이라는 fact는 “reversing 후의 10분 경과 후의 MC1 Sensor값의 평균값”으로 표현될 수 있다. 또한 “평소의 온도 값”이라는 fact는 표준으로 관리하는 온도 값으로, 그리고 운전자가 지정한 상한과 하한의 온도범위를 이용하면 G2상에서 아래와 같은 Coding된 Rule로 표현이 가능하게 된다.

“IF Average-MC1-After-Reversing>Target-Value + Upper-Margin,
Then Inform The Operator “Bunker C Oil 의 온도 상승.”

이 때, “Average-MC1-After-Reversing”은 “reversing 후 10분 경과 후의 MC1 Sensor값의 평균값”을 나타내고, “Target-Value”와 “Upper-Margin”은 각각 운전자가 미리 지정한 “표준으로 관리하는 온도 값”과 “상한의 온도범위”를 나타낸다.

2.2.2 Fuzzy Rule의 표현

이진 Fact/ Crisp Rule에 비교하여, Sensor값의 급격히 증가하는 경향, 일정한 추세, 완만하게 감소하는 추세 등의 모호하거나 정형화하기 어려운 지식들이 있다. 전체적인 경향을 표현하는 지식이나 구체적인 표현으로의 접근이 어려운 운전자들의 지식은 Fuzzy Set을 바탕으로 한 Fuzzy Rule을 이용하여 표현하였다.

예를 들어 다음과 같은 운전자의 경험지식이 수집되었다고 가정하자.

“Center Melter Bottom(CMB)의 온도가 서서히 증

가하는 경향이고, Refiner Bottom(RB)의 온도가 상당히 증가하는 경향이면, Throat 상부 부분의 침식이 상당부분 진행된 상태이다.”

위와 같은 Rule을 처리하기 위하여, 먼저 그림 1 과 같은 NL (Negative Large), NS (Negative Small), ZE (Zero), PS (Positive Small), PL (Positive Large)라는 5개의 퍼지 집합을 정의하였다.

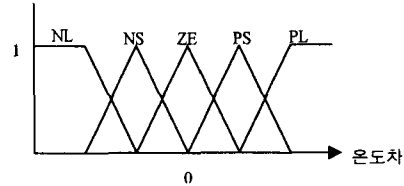


그림 1. 온도차의 퍼지 분할

그 후, 용해로 운전자의 판단에 따라 각 CMB, RB등의 온도 경향을 위의 퍼지 분할에 따라서 Scale하여 운전자의 지식을 표현하도록 하였다. 위와 같은 언어적인 표현을 이용하면, Throat 상부 침식에 관한 Rule은 다음과 같은 Fuzzy Rule로써 표현된다.

“Center Melter Bottom(CMB)의 온도 경향이 PS 이고, Refiner Bottom(RB)의 온도경향이 PL이면 Throat 상부 부분의 침식이 상당부분 진행된 상태이다.”

위와 같이 Fuzzy Rule Base를 구축한 후에는 실제 용해로의 Sensor값을 Fuzzy Rule에 입력하여야 한다. 운전자와의 인터뷰를 통해서, “CMB와 RB의 온도 경향”이라는 Fact는 3일 정도의 온도경향으로 표현될 수 있는 것으로 파악되었다. 하지만 용해로의 온도값은 4~5시간 주기로 연동하기 때문에 Sensor값을 직접 Fuzzy Rule에 입력하기에는 상당한 무리가 있는 것으로 파악되었다.

따라서, 본 논문에서는 이와 같은 3일 정도의 온도 경향을 전문가 시스템에 입력하기 위해서, 3일간 온도분포의 선형회귀분석을 통하여 그 증가 감소하는 경향을 판단하였다. 그림 2는 본 논문에서 사용된 1차 선형회귀 분석의 예를 보여준다. 즉 3일간의 1차 선형 회귀 분석에서 나온 직선의 기울기 A를 이용하여 Fuzzy Rule의 입력으로 사용하였다.

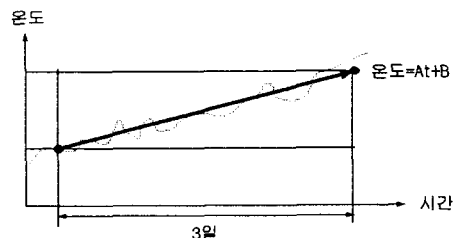


그림 2. 온도 경향의 선형 회귀 분석.

위와 같은 과정을 통하면, Throat 상부 침식에 관한 Rule은 G2상에서 아래와 같은 Coding된 Rule로 표현이 가능하게 된다.

IF Difference-of-CMB-via-Linear-Regression
-Coeff-during-3day is PS,
AND Difference-of-RB-via-Linear-Regression
-Coeff-during-3day is PS
Then Inform The Operator “Throat상부침식 진행”

위와 같이 G2상에서 Coding된 Rule은 조건부의 소속 정도(Membership)을 이용한 최소연산을 통하여 최종적인 Rule의 Firing Strength를 구하게 된다. 각 Fuzzy Rule은 운전자가 지정한 Threshold를 넘어서게 되면 그에 따른 후건부를 실행하도록 하였다.

2.3 구현

삼성코닝(주) 수원사업장 용해로를 대상으로 하여 용해로 이상감시를 위한 용해로 운전 전문가시스템을 구축하였다. 그림 3은 용해로 퍼지 전문가 시스템의 구조도이다. 개발 툴로써는 Gensym社 실시간 전문가 시스템 개발 툴인 G2 V.4.0을 사용하였고, 기존 설치되어 있는 Rosemount社의 DCS (Distributed Control System)와의 인터페이스를 위해 RNI (Rosemount Network Interface) 라이브러리를 이용하여 C Programming을 하였다.

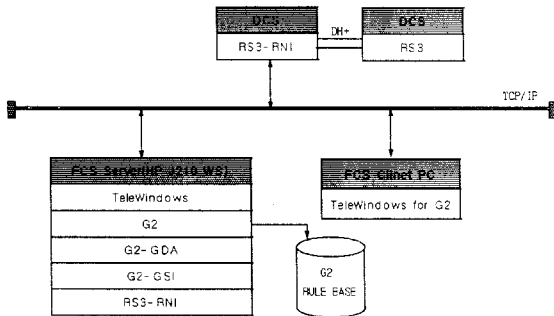


그림 3. 용해로 퍼지 전문가 시스템 구성도.

3. 결론

본 논문에서는 퍼지 로직을 이용하여, 모호한 지식을 표현하도록 한 실시간 용해로 전문가 시스템의 적용 사례를 소개하였다.

유리용해공정의 특성에 맞게 범주(Category)를 나누고, 각 관리단위로 설문지 및 인터뷰를 통하여 용해로 지식을 수집하였다. 수집된 용해로의 지식들에 적합하도록, Crisp Rule과 Fuzzy Rule로 나누어 처리하는 방식을 제시하였다. 또한 실시간 전문가 시스템에 적합하도록 시계열 회귀분석을 이용하여 Sensor값을 처리하는 방식을 제시하였다.

결론적으로, 본 논문은 퍼지 전문가 시스템의 개념 위에 유리용해공정의 특성에 맞는 범주의 구분과 경향규칙의 표현을 제안하고 이를 실제 생산 공정에 성공적으로 적용함으로써 그 효용성을 입증하였다.

[참고 문헌]

- [1] Moti Schneider, Abraham Kandel, Gideon Langholz and Gerard Chew, *Fuzzy Expert System Tools*, Wiley, 1996.
- [2] 김화수, 조용범, 최중욱, *전문가 시스템*, 집문당, 1998
- [3] 이재규, 주석진, 오상봉, *전문가 시스템의 응용과 사례분석*, 법영사, 1995.
- [4] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control system : fuzzy logic controller - Part I & II", *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.*, vol. SMC-20, no. 2, pp. 404-435, 1990.
- [5] M. Sugeno, "An introductory survey of fuzzy control", *Inform. Sci.*, vol. 36, pp. 59-83, 1985.