

쓰레기 소각로 자동 연소를 위한 퍼지 제어기의 개발

Development of Fuzzy Logic Controller for Automatic Combustion of Refuse Incinerator

Young-Seuk Song^{*+}, Jang-Geon Choi^{*}, Yong-Tae Kim^{**}, HeYoung Lee^{**} and Zeungnam Bien^{***}

^{*} Department of Automation & Design Engineering, KAIST,

^{**} Department of Electrical Engineering, KAIST,

^{***} Professor of the Department of Electrical Engineering, KAIST

Abstract - In this paper, a fuzzy controller is proposed for the operation of stoker-type refuse incinerator with many kinds of uncertain factors. To build the exact mathematical model is very difficult because of the variation of physical-chemical properties of refuse as a fuel and the complexity of the combustion process. The fuzzy controller consists of fuzzy sensor, fuzzy decision maker and tracking part. The rules based on the professional operators' empirical knowledge are made for the control of the boiler evaporation rate, emission gas and refuse throughput. For the performance measure of the proposed fuzzy controller, the model of the incinerator is constructed and the simulation results are given.

Keywords : Fuzzy controller, Fuzzy Decision Maker, Fuzzy Sensor, Refuse Incinerator, Combustion.

I 서론

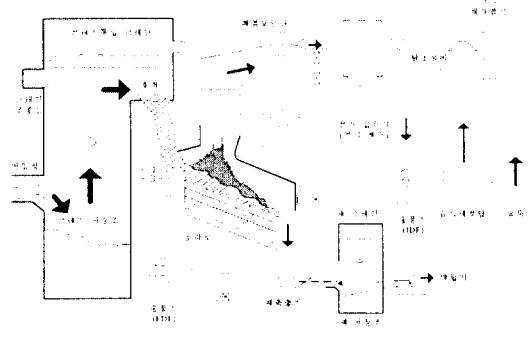
쓰레기를 소각할 때 발생하는 각종 배출 가스는 불완전 연소가 일어 날 경우 환경 기준치를 초과 할 수 있다. 비록 화학적 처리에 의한 배출 가스의 정화 시스템을 후처리 공정에서 채택하고 있으나 근본적으로 공해 물질을 줄이고 후처리 공정의 비용을 낮추기 위하여 완전 연소 제어는 매우 중요하다. 또한 발생하는 열량을 효율적으로 이용하기 위하여 쓰레기의 단위 시간당 소각량을 쓰레기의 질에 따라 제어하는 것이 필요하다.

이와 같은 목적을 달성 하기 위해서는 쓰레기의 투입량, 투입 연소 공기량 및 온도를 복합적으로 제어 할 필요가 있다. 그러나 쓰레기의 소각 공정은 매우 복잡한 화학/물리 현상이므로 수학적인 모델을 얻기가 매우 어렵고 쓰레기의 종류 및 상태, 성상, 질, 계절적인 요소 등이 복합적으로 연소에 영향을 미치므로 수학적인 모델을 바탕으로 한 제어기를 구성 할 경우 원하는 제어 성능을 얻을 수 없다[1][2].

기존의 ACC는 PID 제어와 시퀀스 제어를 주로 한 연소 지원 시스템에 의하여 행하여져 왔다. 연소 지원 시스템은 주로 쓰레기의 과다한 투입시에 발생한 급격한 압력 상승 및 배출 가스 성분이 나빠지지 않게 하기 위하여, 피더를 정지한 후 노내 압력을 낮추는 등의 순차 조작을 행한다. 이 연소 지원 시스템은 최악의 연소 상태를 회피하기 위한 것으로, 보통의 경우에 연소 상태를 개선하는 것은 힘들다. 이 때문에 종래의 제어기에서는 다음과 같은 문제점이 존재한다.

첫째로 쓰레기의 열량 변동이 큰 경우에 쓰레기 투입량 일정 제어로는 증기 발생량을 충분히 제어 할 수 없다. 둘째로 피더속도를 일정하게 유지한 경우에도 쓰레기질에 따라 정량공급성이 크게 다르기 때문에, 첫번째의 문제를 더욱 악화시키는 경우가 있다.

종래의 연소 지원 시스템에서 행하고 있었던 쓰레기 투입량 일정제어에서는 쓰레기의 질을 고려하지 않아 증기 발생량을 충분히 안정화 하는 것은 불가능하여 개선의 여지가 남아 있다[4].



모델링이 어려운 복잡한 시스템의 제어는 기존의 제어 방법에 비하여 전문가의 지식을 바탕으로 한 퍼지 제어를 사용하는 것이 많은 경우에 더 좋은 성능을 보인다는 것은 잘 알려진 사실이다. 따라서 본 논문에서는 쓰레기 소각로에 퍼지제어 기법을 적용하여 전문 작업자의 조정 및 운전 기법을 규칙 화하여 제어기를 구성함으로써 기존의 제어 시스템보다 나은 성능을 갖는 퍼지 제어기를 구성하는 것을 목적으로 한다. 특히 고 연소 효율을 지향하며 보일러 증발량, 쓰레기 처리량을 제어한다. 또한 유해한 배기가스의 발생을 최소화 하도록 쓰레기를 연소시킨다.

II 퍼지 제어 시스템의 구성

소각로의 연소 특성은 쓰레기의 단위 무게 당 열량 및 수분량과 물리적/화학적 특성 등 쓰레기 성상 등에 의해 결정된다. 하지만 이러한 양들로부터 연소 정도를 정량적으로 파악하기란 매우 어렵다. 또한 소각로는 복잡한 연소 과정을 수반하고, 비선형성, 시변성의 성질을 가지고 있으므로 기존의 방식으로 제어를 수행하는데 상당한 어려움이 있다[2].

각 관할 변수의 변화시 사용되는 조절 변수의 우선 순위는 다음과 같다. 증발량의 증가시 노내의 압력 변화를 통하여 쓰레기 과다투입이 판단 되면 피더 ON/OFF 제어기의 설정치를 낮추어 쓰레기의 투입을 중단한 후 상태를 지켜본다. 피더와 스토커의 속도를 낮춘다. 그래도 계속 증발량이 증가하면 연소 공기량을 줄이고 연소 공기 온도를 낮추어 증발량의 증가를 억제한다.

1 일 처리량을 달성하기 위해 시간당 처리량이 감소 할 때는 우선 증발량을 보아 연소가 원활한지를 판단하여 증발량 및 노내 온도가 원활하여 연소가 잘 진행되면 증발량의 설정치를 증가시켜 더 많은 쓰레기를 노내로 투입하되 노내 온도가 너무 증가 되는 것은 피한다.

노내의 온도가 증가 될때는 먼저 증발량의 설정치를 낮게 하여 피더의 동작을 정지시킨 후 지켜본다. 그 후 계속 증가 되면 오리피스 템퍼의 개도를 조절하여 연소 공기량을 감소하고 다음은 증기식 공기 조절 밸브를 조절하여 연소 공기 온도를 낮춘다.

배출가스중에 이산화탄소가 증가하면 이것은 연소 상태가 악화된 것이므로 오리피스 템퍼의 개도를 조절하여 연소 공기량을 증가시킨다. 이것의 원인이 잘 안타는 폐기물에 기인하면 스토커의 속도 및 피더의 속도를 줄이고 오리피스 템퍼의 개도를 조절하여 연소 공기량을 증가시키고 연소 공기온도를 증가시킨다.

위의 조절들은 우선 순서대로 기술을 하였다. 우선 순위가 높은 조절변수를 조절을 한후 지켜본 다음 회복이 안되면 다음 순위의 조절변수를 조절한다. 인터뷰에 의한 전문가 추출 내용은 다음과 같다.

- A. 연소 제어를 위해서는 배출가스 중 산소농도와 이산화탄소의 농도를 관찰한다.
- B. 쓰레기의 질이 연소 상태에 많은 영향을 미치므로 질이 고른 쓰레기 투입은 자동 연소 제어에 많은 도움을 준다.
- C. 쓰레기 질이 저하된 경우에는 증발량의 설정치를 정상 질보다 낮추어 운전을 수행한다.

IV 모의 실험

정상 운전 중에 쓰레기의 상태 변화에 의해 연소가 크게 변화된다. 질이 나쁜 쓰레기가 노내로 투입이 되면 연소 상태가 저하되어 노내의 온도 및 보일러의 증발량이 감소되어 이에 따른 제어가 필요하다. 여기에서는 다음과 같은 두 가지의 경우에 대하여 모의 실험을 행하였다. Case 1 은 정상상태 30 분 후에 저질의 쓰레기가 투입된 경우이다. 이와 같이 쓰레기 질이 저하 될 때 증발량을 일정하게 하을 보이고 있다. Case 2 는 처리량 설정치를 3.6[kg/sec]에서 4.1[kg/sec]로 높이는 경우 대한 실험이다. Case 1 의 모의 실험 결과에 의하면 쓰레기 질의 저하로 인한 역응답 현상이 발생했을 때 연소 공기량을 증가시키고 연소 공기 온도를 증가시켜 연소를 개선하는 것을 알 수 있다. 이로 인하여 증발량 및 노내 온도를 원래대로 회복한다.

피더 센서에 의한 소각로의 상태를 간접적으로 알 수 있다. Case 1 의 경우, 쓰레기 질의 저하, 발열량의 저하를 알 수 있고 쓰레기 과다 투여로 인한 쓰레기 두께 증가, 역응답 현상 발생, 연소 상태의 악화 등을 알 수 있다. Case 2 의 경우, 즉 처리량의 목표치를 높이는 경우에 피더속도의 증가로 쓰레기량을 많이 주입하여 목적을달성하는 것을

볼수있다.

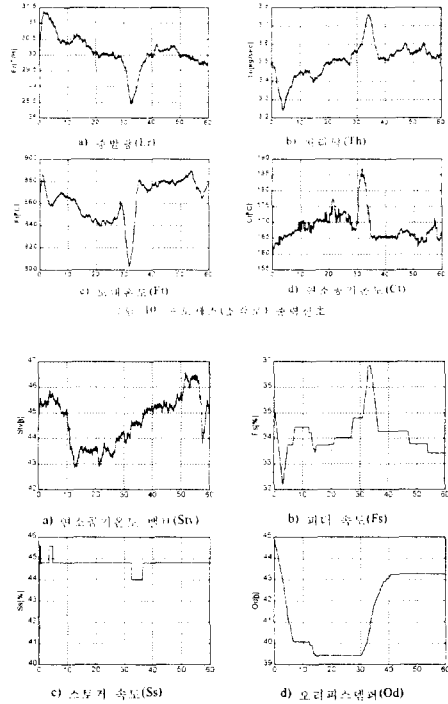


Figure 11. Control response to a disturbance

V 결론

피더제어기는 소각로의 연소 상태와 같이 직접 측정이 불가능한 상태에 대한 정보를 수집하는 피더 센서부, 인간의 의사결정 과정을 모사하는 피더 의사 결정부, 주어진 목표치를 추종하는 피더 추종 제어부의 세 부분으로 구성되었다. 이를 위하여 대상 플랜트로 선정된 일산 소각로를 기능적, 구조적 측면에서 분석하였고 쓰레기 연소 과정을 물리/화학적 측면에서 분석하였으며 소각 공정에 대한 각종 실측 자료를 수집하였다. 또한 현장 전문가의 운전 지식을 인터뷰 및 운전에 직접 참여하는 방식으로 수집하였다. 이와 같이 수집된 정보를 관찰,분석하여 피더 제어기에 필요한 피더 제어 규칙을 추출하였고 더 나아가서 시공자가 제공하는 운전 지침서, 기존의 발표된 논문을 분석하여 제어 규칙을 추출 하였다. 구현된 피더제어기의 기능 및 성능을 평가하기 위하여 소각로의 여러 가지 중요한 기능을 모사하는 소각로 모델을 구축하여 모의 실험을 행하였다.

본 연구에서는 인간 행동의 모사에 적합한 피더 논리 기법을 도입하여 제어기를 구성하여 기존의 제어 기법으로는 제어 목적을 달성하기가 매우 어려운 소각로 시스템의 제어에 사용하였다. 그리고 모의 실험을 통하여 구현된 제어기의 타당성 및 성능이 우수함을 보였다.

폐기물 소각로에서 일차적인 목적은 폐기물의 소각에 의한 감량이지만 부수적으로 발생하는 열량을 이용하는 것도 매우 중요하다. 소각 연소실 내부의 온도를 일정한 범위 내에서 적절하게 유지해 주어야만 연소가 일어나 연소 과정을 제어할 수 있으며, 과도한 열손실이 있어도 안되지만 연소실 내부가 일정한 온도 이상으로 과열되는 것 또한 바람직하지 않다. 소각 시스템에 대한 요구 사항이 얼마 전까지는 소각에 의한 폐기물의 감량과 열에너지의 활용에 주로 국한되었으나 최근에 들어서는 이들 일차적 목적과 함께 발생하는 공해 물질의 극소화에 조치가 모아지고 있다[6]. 이 논문에서는 처리량 일정 제어, 증발량 일정 제어, 배출 가스 제어라는 세가지 제어 목적이 수행된다.

어떤 일정 기간 동안에 쓰레기 소각장에서 일정량의 쓰레기를 소각 처리하는 것은 쓰레기 소각장의 기본 목표로서 이를 달성하기 위한 제어가 필요하다. 일산 소각로의 경우에는 하루 동안에 300 톤의 쓰레기를 처리하도록 되어 있다. 목표한 처리량을 만족하기 위하여는 피더에 의한 쓰레기 공급량을 제어 할 필요가 있다. 조성이 불 균일하여 발열량의 변화가 심한 쓰레기를 소각하는 경우 공급량을 일정하게 하더라도 증발량에 왜란을 주는 결과로 되므로 증발량 설정치를 수정하여 목표로 하는 처리량을 만족하도록 할 필요가 있다[3]. 보일러의 증발량을 일정하게 할과 동시에 배출 가스 농도를 허용기준치보다 낮게 연소 하는 것을 최적 연소라 한다.

쓰레기를 연소시켜서 처리하는 소각로에서 완전연소를 평가하는 방법으로 증발량이 일정한지 아닌지를 보고 판단하는 것도 한가지 방법이다. 쓰레기가 불완전 연소 되면 노내 온도가 급격하게 변하게 되므로 이에 따라 증발량도 변하게 된다. 이를 이용하여 불완전 연소인지 아닌지를 간접적으로 판단을 할 수 있다.

대기 오염 물질 배출을 최소화하기 위해서는 기본적으로 다음과 같은 연소조건을 만족시켜야 한다. 먼저 연소 발생 물질의 연료 과잉 포켓을 최소화하기 위하여 연료와 공기를 잘 혼합 시켜야 하며, 둘째로는 탄화수소 화합물이 파괴되도록 산소가 존재하는 고온의 영역을 유지하여야 하며, 마지막으로 연소 반응 중에 급속한 냉각이나 노 벽의 저온부 형성을 방지하여야 한다.

소각로의 입력량은 쓰레기량, 연소 공기량, 연소 공기 온도, 교반 속도 등 이 있다. 이와 같은 소각로의 입력량을 발생시키기 위한 액추레이터는 피더, 스토커, 스팀 에어 히터, 오리피스 템퍼 등이 있다.

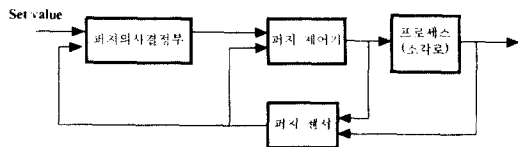


그림 2 퍼지 제어 시스템의 구성도

본 연구에서 퍼지 제어기는 퍼지 센서, 퍼지 의사결정부, 퍼지 논리 제어기의 세부분으로 구성된다. 퍼지 의사 결정부는 액추레이터의 한계 또는 노의 내열 특성, 보일러 기구적 특성 등과 같은 플랜트의 제약 사항이나 여러 개의 제어 목표(설정)값을 동시에 고려하여 제어기의 새로운 목적(설정)치를 결정하는 부분으로써 전문가의 운전 지식을 기반으로 의사 결정부의 규칙이 구성된다. 퍼지 센서는 노

의 상태나 연소 상태에 대한 인간의 관찰을 대신하는 부분으로써 전문가의 지식을 기반으로 퍼지 추론 관계를 이용하여 플랜트의 상태를 간접적으로 측정하는 것이다. 퍼지 논리 제어기는 크게 두 부분으로 나누어 볼 수 있다. 한 부분은 퍼지 의사 결정부에서 결정된 수정된 설정치(modified set value)를 잘 따라가는(tracking) 부분이고 다른 부분 전문 운전자의 운전 지식을 모사하여 제어를 수행하는 부분이다. 소각로 제어를 위한 퍼지 제어기의 구성은 그림 2와 같다.

A. Fuzzy Sensor

제어기가 소각로 운전 상태에 따라 효과적으로 동작하기 위해서는 직접적으로 측정 가능한 데이터 뿐만 아니라 인간이 사용하는 불명확한 정보도 필요하다[7][8]. 이와 같은 여러 가지 정보들을 사용하면 소각로의 내부 상태에 대해 더 많은 정보를 얻을 수 있으므로 좀더 효과적인 제어를 설계 할 수 있다.

퍼지제어기가 필요로 하는 소각로 내부 상태에 대한 정보는 소각로 각 부위에서 측정되는 데이터를 종합적으로 추론하여 정보를 제공하게 하는 퍼지 센서를 이용하면 가능하다. 즉 퍼지 센싱은 소각로 제어에 필요한 정보를 직접 측정할 수 없는 경우에 사용되는 정보 수집 방법이며, 이 방법은 공정 변수와 조절 변수 사이의 관계를 명확하게 규명할 수 없는 경우에 유용하게 사용될 수 있다.

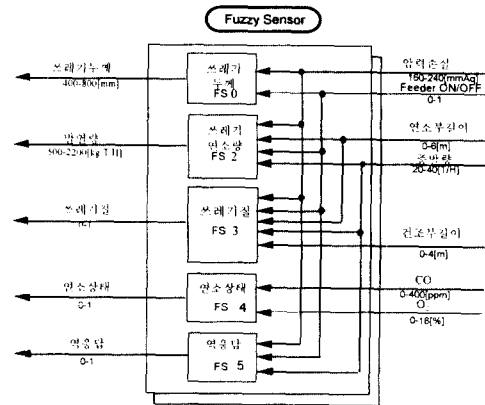


그림 3 퍼지 센서

소각로가 정상 운전하고 있는 중에 불완전 연소가 발생할 경우, 운전자는 쓰레기 연소 상태와 소각로의 쓰레기 상태를 관찰하여 불완전 연소의 원인을 파악하고 자신이 수행할 동작이 무엇인지 결정을 한다[1]. 그러나 제어기 관점에서 보면 센서로 측정을 할 수 없는 연소 상태와 같은 것은 제어기가 출력을 발생하게 하는데 매우 애매하다. 퍼지 제어에서는 여러 종류들의 불명확한 입력 신호를 허용하고 있다. 이러한 관점에서 퍼지 센서는 운전자가 쓰레기의 질, 쓰레기의 두께, 연소 상태 등 조작 행위를 결정하는데 이용하는 불명확한 상태를 추론하고 정보화한다.

스토커안으로 쓰레기가 많이 들어 갈수록 쓰레기 층을 통과하는 연소용 공기의 압력 손실은 커진다. 결과적으로 쓰레기의 두께는 압력 손실에 대한 퍼지 관계로부터 추정할 수 있다.

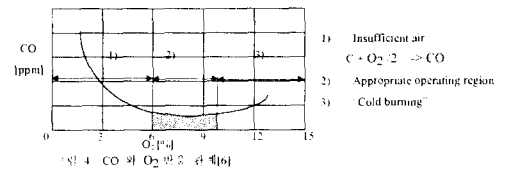
운전자는 쓰레기 연소량과 관련이 있는 연소 구간의 길

이와 쓰레기 두께의 추정 및 측정을 통하여 현재 연소하고 있는 쓰레기의 연소량을 추정할 수 있다.

쓰레기의 발열량을 알면 발열량을 기준으로 쓰레기의 입력량을 조절하여 소각로내의 증발량(노내온도)을 일정하게 할 수 있다. 쓰레기의 발열량을 쓰레기의 성분을 정확하게 파악하기 전에는 알 수 없으므로, 피지 관계를 이용하여 간접적으로 측정을 하는 방법을 이용한다.

본 논문에서는 쓰레기 질을 다음과 같은 압력손실, 피더 ON/OFF, 건조부의 길이, 증발량, 연소부의 길이 등 5개 입력으로부터 계층구조를 이루어 좀더 정확한 쓰레기 질을 피지 관계를 이용 추론한다. 쓰레기의 질은 정상적인 의미에서 쓰레기가 연소하기 쉬운 정도를 나타낸다. 운전자는 쉽게 연소 될 수 있는 쓰레기를 "양질의 쓰레기"라 한다. 피지 센서는 숙련된 전문가처럼 피지 추론을 이용하여 쓰레기의 질을 판단한다.

효율적인 연소를 위해서는 연소 상태를 파악하여야 한다. 그러나 연소 상태를 직접 측정할 수 있는 센서가 없으므로 정확하게 판단할 수 없다. 연소 상태 피지 센서는 운전자와 같이 연소 상태와 피지 관련이 있는 CO 농도와 O₂ 농도의 측정에 의해서 개략적으로 연소 상태를 추론한다. 구간 1)은 공기가 너무 적게 공급되어 CO가 산소와 결합되지 않고 고온부를 빠져나가게 되어 CO 농도량이 많아 운전자는 불안전 연소라고 추론한다. 구간 2)는 쓰레기의 양과 연소용 공기가 적절히 혼합되어 있어 CO가 적게 배출된다. 구간 3)는 "Cold burning"이라 불리며, 연소용 공기가 너무 많이 공급되어 연소실의 온도가 낮아지게 되어 CO가 CO₂ 반응을 지배하는 OH 라디칼의 농도를 낮추어 반응이 느려진다. 이와 같은 관계로부터 간접적으로 최적 연소를 추론할 수 있다. 부록에 규칙 및 소속 함수를 보여 주고 있다.



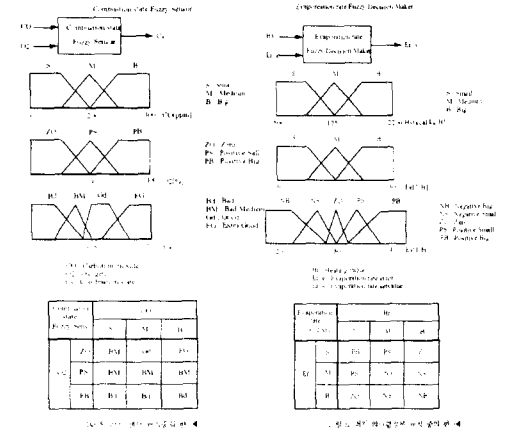
역응답은 피더에 의한 쓰레기 투입량이 증가해서 너무 많은 쓰레기가 노내로 들어가 연소 공기량의 부족 및 연소 지연 때문에 증발량이 감소는 현상을 의미한다. 역응답 피지 센서는 숙련된 동작자와 같이 쓰레기 두께와 증발량의 피지 관계로부터 추론할 수 있다.

B. 피지 의사 결정부

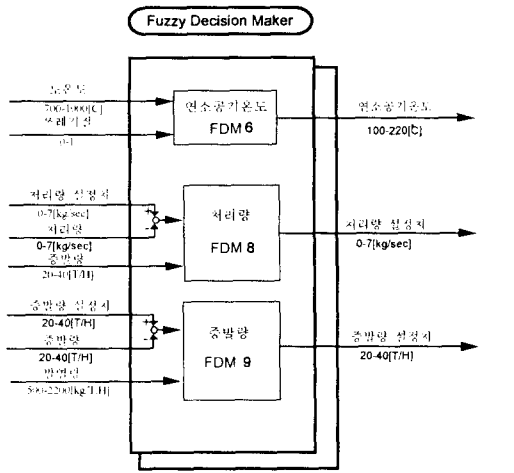
의사 결정부의 목적은 제한된 제어 출력들의 집합에서 프로세스 성능을 최고로 하는 제어 출력을 선택하는 것이다[9].

피지 의사 결정부는 액츄에이터의 한계 또는 노의 내열 특성, 보일러 기구적 특성 등과 같은 플랜트의 제약 사항이나 여러 개의 제어 목표(설정)값을 동시에 고려하여 제어기의 새로운 목적(설정)치를 결정하는 부분으로써 전문가의 운전 지식을 기반으로 의사 결정부의 규칙이 구성된다.

연소 공기 온도는 피지 센서의 결과인 쓰레기 질과 노내 온도로부터 추론한다. 연소 가스 온도를 일정하게 유지하



기 위한 것이고 주로 전문 운전자의 제어 지식으로부터 만들었다. 다음은 연소 공기 온도에 대한 전문가 지식의 한 예이다. "질이 좋지 않은 쓰레기가 투입 되었을 때, 만약 연소 공기 온도를 증가하면, 약한 노내 온도는 안정화 될 것이다."



처리량을 일정하게 하기 위하여는 피더에 의한 쓰레기 공급량을 일정 이상으로 유지할 필요가 있으며, 쓰레기의 조성이 불균일하여 발열량의 변동이 심한 쓰레기를 소각하는 경우 공급량을 일정하게 하더라도 증발량에 위란을 주는 결과가 되어 증발량이 일정하지 않게 된다. 전문 운전자는 증발량을 고려하여 그때 그때 처리량의 설정치를 높였다가 줄였다가 하여 1일 처리량을 달성한다. 이와 같은 운전자의 지식을 모방하여 의사 결정부를 구성하였다. 입력은 현재 처리량과 설정치와의 차와 증발량이다. 이것에 의하여 새로운 설정치를 결정하게 된다.

운전자는 쓰레기의 발열량을 고려하여 증발량과 비교하여 증발량의 설정치를 새로 결정하여 최적 연소를 이루는 동시에 증발량(노내온도)을 일정하게 한다. 입력은 증발량과 설정치와의 차와 발열량이고 이것에 의해서 새로운 증발량 설정치를 결정한다.

C. 피지 제어기

피지 제어기는 크게 두 부분으로 나누어 볼 수 있다. 한 부분은 피지 의사 결정부에서 결정된 수정된 설정치(modified set value)를 잘 따라가는(tracking) 부분이고 다른 부분은 전문 운전자의 운전 지식을 묘사하여 제어를 수행하는 부분이다.

설정된 연소 공기 온도를 맞추기 위해서 제어 입력은 연소 공기 온도 와 그의 설정치 사이의 차이이고 또 하나는 연소 공기 온도 변화량이다. 이것으로 스팀 에어 히터의 밸브를 조정하여 연소 공기 온도 설정치를 맞춘다.

설정된 증발량을 맞추기 위해서 제어 입력은 증발량과 설정치 사이의 차와 증발량의 변화량이다. 부록에 규칙과 소속 함수를 나타낸다. 증발량에 대해서는 각 universe of discourse 내에서의 값의 중요 도가 비슷하여 대칭적인 소속 함수로 모두 정하였다. 규칙은 증발량이 높은 경우 또는 증발량의 변화가 양(+)으로 클 경우는 피더를 동작시키고 증발량이 낮고 또는 증발량의 변화가 음(-)으로 클 경우는 피더를 정지한다. 증발량과 증발량의 변화량에 대해서 조정해야 하는 피더의 동작을 나타낸다.

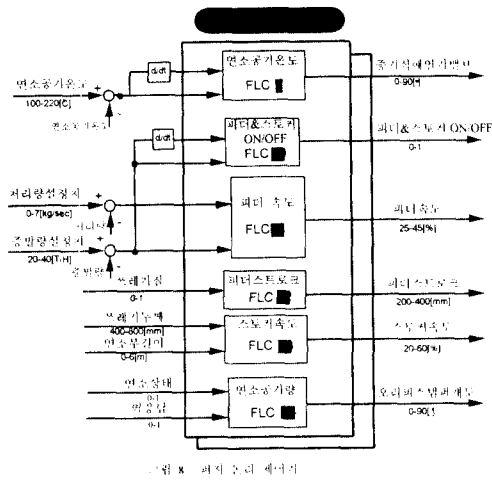


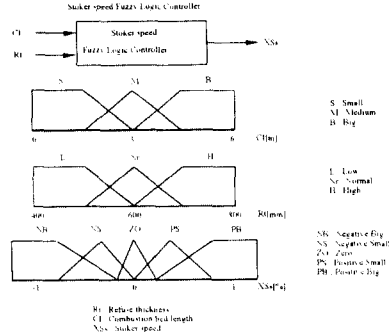
그림 8 피지 논리 제어기

운전원은 피더 속도를 조절하기 위해서 증발량 및 처리량을 주로 관찰하므로 피지 제어기의 입력 변수는 증발량과 처리량이다. 이 제어 규칙은 전문 운전자의 규칙을 기반으로 만든 것이다

설정된 증발량을 맞추기 위해서 제어 입력은 증발량과 설정치 사이의 차와 증발량의 변화량이다. 부록에 규칙과 소속 함수를 나타낸다. 증발량에 대해서는 각 universe of discourse 내에서의 값의 중요 도가 비슷하여 대칭적인 소속 함수로 모두 정하였다. 규칙은 증발량이 높은 경우 또는 증발량의 변화가 양(+)으로 클 경우는 피더를 동작시키고 증발량이 낮고 또는 증발량의 변화가 음(-)으로 클 경우는 피더를 정지한다. 증발량과 증발량의 변화량에 대해서 조정해야 하는 피더의 동작을 나타낸다.

운전원은 피더 속도를 조절하기 위해서 증발량 및 처리량을 주로 관찰하므로 피지 제어기의 입력 변수는 증발량과 처리량이다. 이 제어기의 규칙과 소속 함수는 부록에 보여주고 있다. 입력은 증발량과 증발량 개선된 설정치 사이의 차와 처리량과 처리량의 개선된 설정치 사이의 차이

이다. 이것에 따른 피더의 속도가 규칙으로 표시되어 있다. 처리량이 낮고 또는 증발량이 낮은 경우 피더 속도를 높이고 처리량이 높고 또는 증발량이 낮은 경우는 피더 속도를 낮춘다. 이 제어 규칙은 전문 운전자의 규칙을 기반으로 만든 것이다



Stoker speed		Fuzzy Logic Controller			
		L	N	H	
CI	S	Z	PS	PS	
	M	NS	Z	PS	
	B	NB	NS	Z	

III 피지 제어 규칙

피지 제어를 구성하는데 있어서 중요한 부분 중 하나는 피지 제어 규칙을 구성하는 것이다. 실제로 복잡하고 이해하기 힘든 소각로 시스템은 피지 제어 규칙들을 수집하기가 매우 어렵다. 실제 현장에서 오랜 기간 동안 숙련된 운전자라도 대개 자신이 알고 있는 부분만을 자세히 알뿐 그 외 다른 부분은 잘 모르고 있으며, 오랜 경험으로 얻은 지식도 제어 설계자에게 이를 전달하는 데 한계가 있으며, 또한 같은 상황에 대해서도 운전자에 따라서 운전하는 방법에 차이가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 크게 세 가지의 방법으로 제어 규칙을 수집하고 구성하였다.

첫째로 설문지 및 면담을 이용해 가급적 많은 운전자로 부터 운전 법칙을 수집하였다. 설문지는 일산 소각로의 운전자 6명을 대상으로 2 차례에 수행되었으며, 다음과 같은 내용을 조사 하였다.

- 소각로에서 수행되는 제어 종류와 현재 제어 방법.
- 입력 변수와 출력 변수 및 최대/최소값
- 조절 변수를 조절하는 시기 및 상황.
- 기존의 제어 규칙의 타당성과 수정 사항.

셋째로는 기존의 소각로 시스템의 정상 운전 관련 자료, 실제 운전 데이터 및 기존의 소각로 피지 제어기 개발에 관련된 연구 논문을 참고하여 규칙을 구성하였다. 제어에서 관찰하는 입력 변수로는 증발량, 처리량, 배출 가스 중의 산소 농도, 이산화탄소 농도, 노내 온도, 연소 공기 온도, 1 차 연소 공기 압력, 노내 압력, CCTV 를 통한 연소부의 길이, 1 차 연소 공기량, 2 차 연소 공기량 등이 있고 조절하는 것으로는 피더 ON/OFF, 피더 속도, 피더 스트로커, 스트로커 ON/OFF, 스트로커 속도, 스팀 에어 히터, 오퍼스 템퍼 등이 있다.

참고 문헌

- [1] H. ONO, T. OHNISHI, and Y. TERADA. "Combustion Control of Refuse Incineration Plant By Fuzzy Logic". *Fuzzy sets and systems* vol.32, pp.193-206, 1989
- [2] Tsuyoshi Goromaru, Hideo Hanafusa, Yoh Yonezawa, Ryozo Itoh, Hayashi Morimoto, Osamu Takano and Nobuhiro Iwakawa. "Modeling of a Refuse Incineration Plant and Its Application to Combustion Control Problem". *計測自動制御學會論文集*, vol. 26, No. 81, pp. 894-901, 1990
- [3] 岡田光浩, 棚尺良夫, 久保田俊司, 高橋摩, 小林圭三, 小野秀隆. "Development of Automatic Control System of Refuse Incineration Plant". *三菱重工技報* vol. 22, No. 6, 1985.11
- [4] Minoru Tanabe, Takashi Noto. "Fuzzy Combustion Control for Fluidized Bed Incineration Plant". *NKK*, No.148, 1994
- [5] EPA. "Municipal Waste Combustion Study-Combustion Control of Organic Emissions". 1987.
- [6] "소각로 설계의 고려사항". 최상민, 김성중. 환경관리연구소. 1994.1
- [7] Gilles Mauris, Eric Benoit, laurent Foulloy. 'The aggregation of information by examples via fuzzy sensors'. Laboratoire d'Automatique et de MicroInformatique Industrielle, LAMII/CESALP, Université de Savoie, 41 Avenue de la Plaine, BP 806, 74016 ANNECY CEDEX.
- [8] Gilles Mauris, Eric Benoit, laurent Foulloy. 'Fuzzy sensor for the perception of colour'. Laboratoire d'Automatique et de MicroInformatique Industrielle, LAMII/CESALP, Université de Savoie, 41 Avenue de la Plaine, BP 806, 74016 ANNECY CEDEX.
- [9] Witold Pedrycz. 'Fuzzy Control and Fuzzy Systems'. Dep. of EE University of Manitoba winnipeg, Canada.

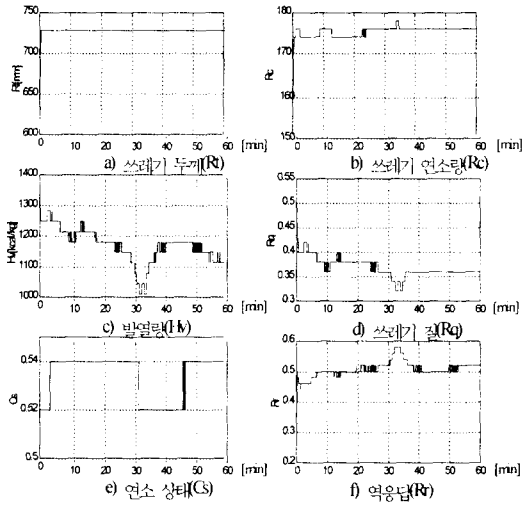


그림 12. 퍼지 센서의 출력(Case 1)

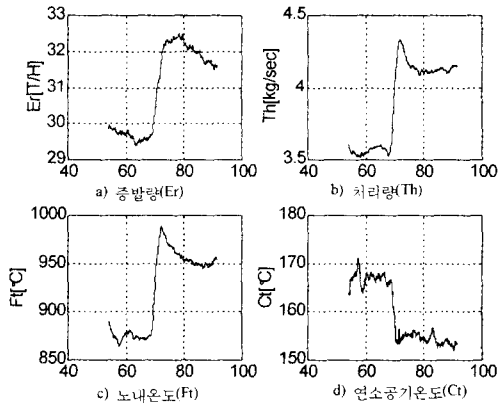


그림 13. 소각로 출력 신호(Case 2)

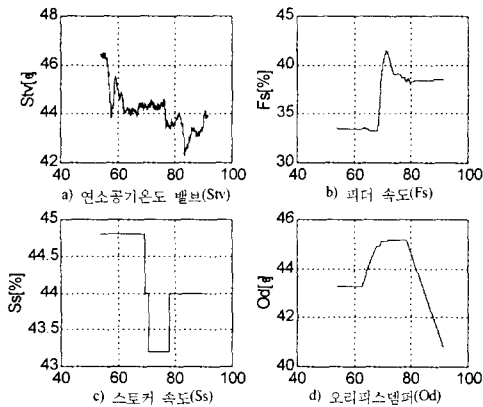


그림 14. 소각로 입력 신호(Case 2)