퍼지모델과 유전 알고리즘을 이용한 쓰레기 소각로의 최적 운전 보조 소프트웨어 개발

Development of an Optimal Operation Support Software for Refuse Incineration Plant using Fuzzy Model and Genetic Algorithm

박종진°, 최규석*
충남산업대학교 °인공지능학과, *전산학과

Jong-Jin Park°, Kyu-Seok Choi*
°Dept. of Artificial Intelligence, Choonam Sanup University,
*Dept. of Computer Science, Choonam Sanup University
San 29 Namjangri Hongsungeup Hongsunggun Chungnam, Korea
Tel.:+82-0451-30-3236, Fax.:+82-0451-34-8700
E-mail: jjpark@cswww.csunet.ac.kr

Abstract-In this paper, an operation support software for combustion control of refuse incineration plant is developed using fuzzy model and genetic algorithm. It has two major modules which are simulation module and optimal operation module. In simulation module, fuzzy modelling is performed to obtain fuzzy model of the refuse incineration plant and obtained fuzzy model predicts outputs of the plant when inputs are given. This module can be used to obtain control strategy, and train and enhance operators' skill by simulating the plant. And in optimal operation module, genetic algorithm searches and finds out optimal control inputs over all possible solutions in respect to desired outputs. In order to testify proposed operation support software, computer simulation was carried out.

Ⅰ. 서 론

쓰레기 소각로는 연료로 사용되는 쓰레기의 물리적 특성의 변동 그리고 연소현상의 복잡성 등으로 인해 매우 복잡한 공정으로 다음과 같은 제어특성을 가진다. 첫째, 제어변수간의 상호간섭이 심한 다변수 계통이고, 둘째, 소각 등 현상이 복잡하며, 셋째, 부하의 변동이 심하며(쓰레기의 질이 매일 변함), 넷째, 여러 가지 제어 목적을 동시에 만족시켜야 한다. 그러므로 소각로의 수학적인 모델을 얻기가 힘들고, 수학적인 모델에 기초한 제어기의 설계에 의해 원하는 제어 성능을 얻기가 힘들다. 또한 요즈음 쓰레기 소각로의 배출가스에 대한 환경 기준치가 갈수록 엄격해 지고 있는 상황에서 쓰레기의 불완전 연소에 의한 공해요인 발생의 억제나 후처리 정화공정의 비용을 낮추기 위해서 쓰레기의 완전연소의 필요성은 더욱 증가되는

실정이다.

기존의 소각로에는 ACC(Automatic Combustion Control)가 있어 PID제어기나 시퀀스 제어기가 내장되어 있으나 거의 사용되지 않고, 많은 경우 소각로의 제어는 운전자의 경험에 의한 수동운전에 의존하고 있다. 따라서 쓰레기의 불완전 연소에 의한 대기오염 방지와 연소과정에서 발생되는 증발량과 로의 온도를 일정하게 유지하는 최적의 운전이 가능하도록 도와주는 운전 보조 시스템의 필요성이 대두된다.

본 논문에서는 쓰레기 소각로 연소제어를 위한 운전 보조 소프트웨어를 개발한다. 제안된 소프트웨어는 소각로의 퍼지모델을 구하기 위해 퍼지모델링을 행하고 공정의 출력을 예측하는 시뮬레이션 모듈과 유전 알고리즘에 의해 최적의 제어입력을 탐색하는 최적 운전 모듈로 이루어진다. 제안된 운전 보조 소프트웨어의 성능을 평가하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다.

II. 운전 보조 소프트웨어

그림 1은 제안된 운전 보조 소프트웨어의 개요도를 나타낸다. 이것은 시뮬레이션 모듈과 최적운전 모듈로 이루어진다. 시뮬레이션 모듈에서는 소각로의 퍼지모델을 구하기 위해 공정입, 출력 데이터를 가지고 퍼지모델링이 행해지며 구해진 퍼지모델은 주어진 입력에 대한 공정 출력을 예측하기 위해 사용된다. 또한 부하변동에 의한 공정 파라미터의 변화시에는 온-라인 퍼지 모델링을 행한다. 그리고 시뮬레이션 모듈은 공정 출력의 예측에 의한 모의 실험을 통해 제어전략을 구축하거나 연소제어 모의 훈련을 통한 운전기술의 숙련을 가져올 수 있다.

최적 운전 모듈에서는 예측된 공정출력과 유전 알고리즘을 이용하여, 원하는 공정 출력에 대해 가능한 해 집합 안에서의 최적의 공정제어입력을 탐색하여 구한다. 얻어진 최적제어입력은 운전자에 의해 소각로에 가해짐으로써 제어가 행해진다.

2.1 시뮬레이션 모듈

시뮬레이션 모듈에서는 Takagi-Sugeno의 퍼지모델링이나 Jang의 ANFIS을 이용하여 후건부가 선형식인 Takagi-Sugeno형 퍼지모델을 얻는다. 퍼지모델은 기존의 수학적인 모델에 의해서는 잘 나타낼 수 없는 복잡하고 잘 정의되지 않는 그리고 불확실한 시스템을 if-then 형태의 규칙에 의해 잘 나타낼 수 있다고 알려져 있다. 소각로의 퍼지모델의 입력 변수로는 쓰레기 투입량, 주입기 속도, 1차 공기온도, 1차 및 2차 공기량이 고려되고 출력 변수로는 발전이나 지역 난방에 중요한 증발량과 소각의 안정과 공해방지 측면에서 중요한 로내 온도이다.

이러한 소각로의 퍼지모델은 다중 입, 출력 시스템이므로 다중 입력-단 출력의 퍼지모델을 확장하여 얻는다. 먼저 각 출력 변수인 로내 온도와 증발량에 대한 다중 입력-단 출력의 퍼지모델을 얻고 이들을 결합하면 전체적인 소각로의 퍼지모델을 얻을 수 있다. 또한, 부하 변동시에는 온-라인 퍼지모델링에 의해 퍼지모델의 파라미터가 온-라인으로 추정된다.

얻어진 퍼지모델은 운전자가 현재의 소각로의 입력변수 값들을 입력하면 그에 대한 공정 출력 값들을 예측하므로 제어전략을 구축하거나 연소제어의 모의 훈련을 통한 운전기술의 숙련을 가져올 수 있다.

2.2 최적 운전 모듈

최적 운전 모듈에서는 원하는 공정 출력에 대해 최적제어입력을 찾기 위해 최적값 탐색기로 잘 알려진 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용한다. 유전 알고리즘은 퍼지모델에 의해 예측된 공정출력을 가지고 미리 정해진 비용함수를 최소화하도록 가능한 해 집합 안에서의 최적의 공정제어입력을 탐색한다. 유전 알고리즘의 도식적 개요는 그림 2와 같다.

GA에서는 기본적으로 이진수로 표현되는 개체들이 있고, 이 개체들이 모여서 개체군을 이룬다. 개체군은 한세대의 모든 개체들의 집합을 의미하며, GA에서는 항상 초기 개체군의 생성에서부터 시작하여 평가, 선택, 유전연산 실행, 다음 세대 재생산의 사이클을 반복하며 최적해를 도출한다. 이러한 유전 알고리즘의 최적해 탐색 과정은 다음과 같다.

단계 1: 부호화 및 초기화

문제에 대한 가능해를 이진 스트링(개체)으로 표현하여 초기 해 집단을 구성한다.

단계 2: 평가

각 개체를 디코딩하고 목적 함수를 사용하여

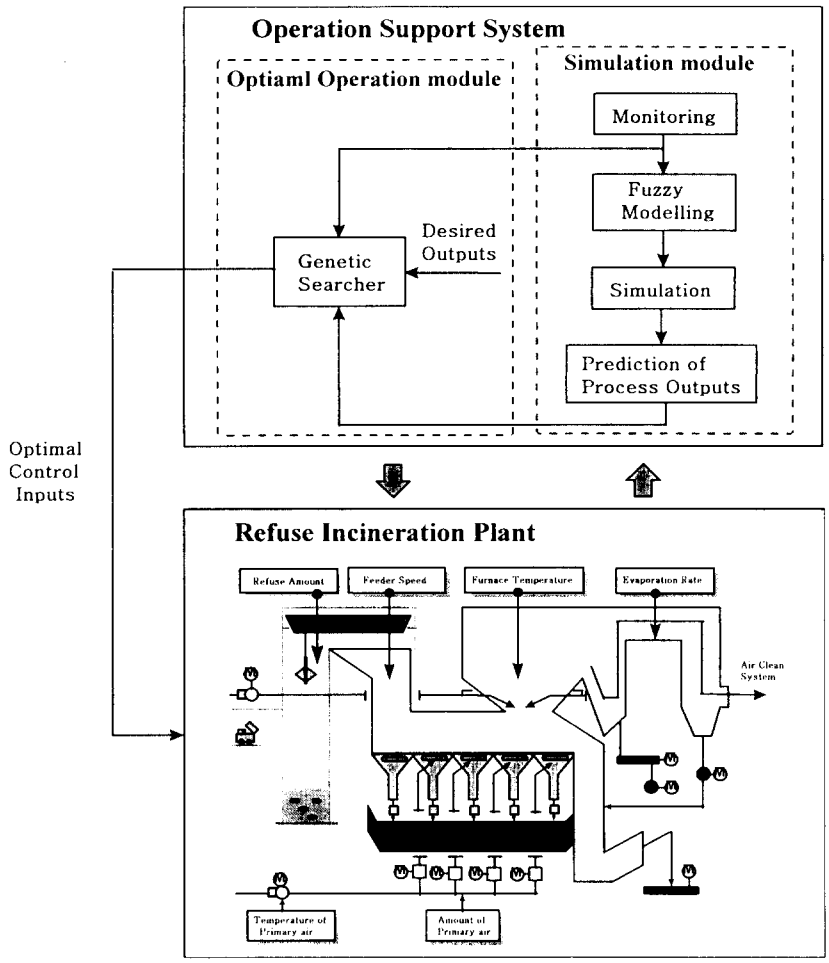

그림 1. 제안된 운전 보조 소프트웨어의 개요도

적합도를 계산함으로써 각 개체를 평가한다.

단계 3: 종료 조건 검사

종료 조건에 도달하였으면 탐색 과정을 중단하고 아니면, 다음 과정을 계속한다.

단계 4: 재생산

자연 생태계의 적자생존의 원리를 이용하여 높은 적합도를 가진 개체에 대해 다음 세대로 복제될 확률을 높게 하여 랜덤하게 부모 세대의 개체를 선택하여 동일한 개수의 세대를 재구성한다. 고전적 유전 알고리즘에서는 재생산을 위한 부모 개체의 선택 방법으로 룰렛 선택 방법을 많이 사용한다. 룰렛 선택 방법은 룰렛 게임에서와 같이 적합도 값이 좋은 개체에게 많은 선택 확률을 부여하고 나쁜 개체에는 적은 선택 확률을 부여함으로써 확률적 랜덤 탐색이 가능하도록 하는 방법이다.

단계 5: 교배 및 돌연변이

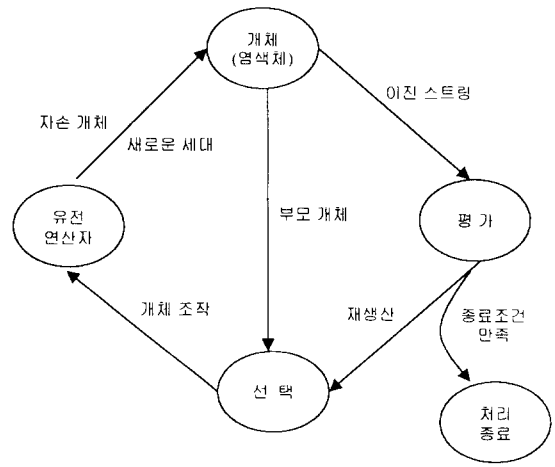

그림 2. 유전 알고리즘의 도식적 개요

재구성된 세대 내의 개체에 교배 및 돌연변이

을 적용하여 새로운 정보를 갖는 자손 개체군을 생성한다. 여기서, 교배는 부호화된 스트링으로 표현된 한 개체내에서 랜덤하게 일부 비트열을 선택하여 그와 대응되는 다른 개체의 비트열과 교환하는 것을 말하며, 돌연변이는 생물체의 돌연변이 효과처럼 개체내의 임의의 비트 또는 비트열을 변환시키는 것을 말한다.

단계 6: 단계 2의 과정으로 복귀

새로운 세대에 대한 적합도를 평가하기 위해 단계 2로 돌아간다.

Ⅲ. 모의실험 및 결론

제안된 운전 보조 소프트웨어의 성능을 평가하기 위해 모의 실험을 행하였다. 먼저 시뮬레이션 모듈에서 소각로의 입·출력 데이터를 가지고 소각로의 퍼지모델을 구하였다. 퍼지모델의 입력에서 1차 공기의 온도와 2차 공기량은 일정한 값으로 하고 주입기의 속도는 쓰레기 투입량과 일정한 관계를 갖는다고 본다. 따라서 소각로의 입력은 1차 공기량과 쓰레기 투입량으로 하였다. 표 1은 대상 소각 플랜트에서 사용되는 각종 입·출력 변수값들이다.

표 1. 소각로의 입·출력 변수들

변 수	설 정 범 위
소각로 온도(℃)	850~1050
증발량(Ton/Hour)	26~28
공기량(Ton/Hour)	가변
1차공기온도(℃)	160~180
쓰레기량(Ton/Hour)	가변

본 논문에서는 소각로의 온도를 980(℃), 증발량은 26(Ton/Hour)을 설정값으로 하였다. 소각로의 설정 온도를 위와 같이 정한 것은 요즈음 문제가 되고 있는 소각로와 퓨란류는 750℃ 이하에서 파괴되고 다이옥신과 퓨란의 전구 물질의 가능성이 있는 몇몇 염화 벤젠류들은 800~900℃에서 파괴되므로 소각로 내의 최소 온도가 900℃ 정도보다 높다면, 소각 과정에서 발생되는 독성 유기물들은 열적으로 분해될 수 있기 때문이다.

그리고 최적 운전 모듈에서 유전 알고리즘과 시뮬레이션 모듈에서 얻어진 퍼지모델을 가지고 주어진 출력 변수들의 설정값과 공정 출력값들의 차인 적합도를 최소로 하는 최적제어입력을 찾는다.

그림 3은 최적 운전 모듈에서 유전 알고리즘을 이용한 최적제어입력 탐색에 의한 소각로의 연소제어 결과와 운전자의 수동운전을 비교한 것이다. 여기서 점선은 제안된 운전 보조 소프트웨어에 의한 결과를 나타내고 직선은 수동운전에 의한 결과를 나타낸다. 제안된 운전 보조 소프트웨어에 의한 결과가 수동운전에 의한 결과보다 우수한 것을 볼 수 있고 설정값 주위에서 안정적으로 제어되는 것을 볼 수 있다.

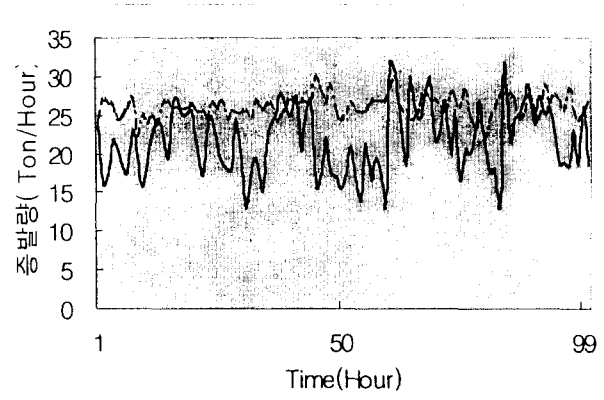

그림 3. 쓰레기 소각로 연소제어의 결과

Ⅳ. 참고 문헌

1. H. ONO etc., "combustion control of refuse incineration plant by fuzzy logic", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 32, pp. 193-206, 1989.

2. M. Fuziyoshi, " A Fuzzy automatic combustion control System of refuse incineration plant," *Proc. of the 2nd Inter. Conf. on Fuzzy Logic & Neural Networks*, pp.469-472, 1992

3. B. Krause etc., "A neuro-fuzzy adaptive control strategy for refuse incineration plants", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 63, pp. 329-338, 1994.

4. 연세대학교 신에너지 시스템 연구소, *21세기를 대비한 신환경 기술과 관리*, 1995.