

Mamdani 추론기법을 적용한 화재감지시스템

홍성호, 김두현, 이종호, 김상철*

충북대학교 안전공학과, 세명대학교 안전공학과*

A Fire Detection System Applying Mamdani Inference Method

Sung-Ho Hong, Doo-Hyun Kim, Jong-Ho Lee, Sang-Chul Kim*

Chungbuk National University, Semyung University*

1. 서론

화재감지시스템은 화재로부터 발생하는 열과 연기 등을 감지하여 화재발생을 조기에 관계자에게 경보하여 주는 시스템이다. 현재 이러한 화재감지시스템은 일정 규모 이상의 건축물에 필수적으로 설치되어 있으며 이 시스템으로 많은 인명과 재산이 보호되고 있다. 그러나 이러한 화재감지시스템은 설계시의 의도와는 다른 오보를 자주 발생시킨다. 이러한 오동작 원인은 기존 화재감지시스템은 감지환경으로부터 각 감지기에 따라 하나의 고정되어 있는 열, 연기 등의 수치이상이 되면 화재경보를 울리게 된다. 그러나 실제 환경에서는 화재가 아닌 경우에도 이러한 화재감지시스템의 고정된 수치이상 발생하는 경우가 있고 화재가 발생했어도 고정된 수치이하로 열, 연기 또는 불꽃이 발생할 수 있다. 이와 같은 화재감지시스템의 완벽하지 못한 신뢰성 때문에 화재감지시스템의 소음으로 인하여 사람들이 불편을 겪는 경우가 있고 심지어 시스템의 전원을 OFF시키는 경우도 있어 실제 화재가 발생하였을 때 화재로 인한 대참사를 야기시킬 수도 있다. 화재감지시스템의 오보를 감소시키기 위한 방법과 연구는 많이 있었지만, 오보율을 감소시키는 것은 여전히 화재감지시스템을 개발하는데 있어 주요 과제로 남아있다. 따라서 본 연구에서는 오보 감소를 위한 방법으로 Mamdani가 제안한 추론방법¹⁾을 적용하여 화재가능성을 추론하는 화재감지시스템을 제시하였다. 본 연구의 시스템은 화재시 발생하는 열과 연기신호를 입력신호로 받아들이고 추론과정을 거쳐서 감시환경에 대한 화재가능성을 추론한다. 또한 불꽃화재, 훈소화재에 대한 화재실험을 통하여 얻어진 열과 연기농도를 가지고 추론을 통하여 정확한 화재가능성을 추론하는가에 대한 타당성을 검토하였다.

2. 이론적 고찰

퍼지추론시스템은 일반적으로 그림 1에 나타난 것처럼 3가지 부분으로 구성된다²⁾. 3가

지 부분은 하나의 명확한 값(crisp value)으로 측정된 입력변수의 값을 적절한 퍼지값으로 바꾸는 퍼지화(fuzzification), 조건부와 결론 부의 조건문으로 이루어지는 퍼지추론규칙(fuzzy inference rules), 출력부 전제집합에서 정의된 퍼지값을 명확한 비퍼지값으로 변환시켜주는 작업이 비퍼지화(defuzzification)이다.

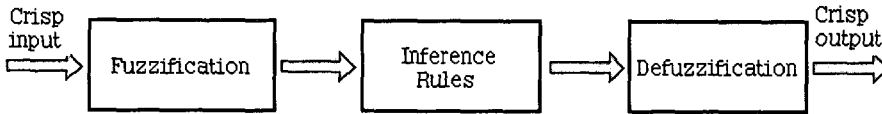


Fig.1. Fuzzy inference system

2.1 퍼지화(Fuzzification)

퍼지시스템은 퍼지논리를 응용하므로 하나의 명확한 값으로 측정된 입력변수 값도 적절한 퍼지값 또는 퍼지집합으로 바뀌어져야 하는데, 이 작업은 퍼지시스템의 도입부에서 이루어져야 한다. 대체로 센서로부터 측정된 값의 영역을 그대로 입력부의 퍼지변수의 영역으로 사용하기보다는 이를 퍼지연산에 편리하도록 미리 정해 놓은 입력 퍼지변수의 전제집합으로 맞추어 주는 것이 편리하다. 또한 입력정보의 특성에 따라서 여러 가지 방법으로 퍼지화하게 되는데, 대체로 퍼지 단일값(fuzzy singleton)과 삼각퍼지소속함수(triangular fuzzy membership function)를 많이 사용한다³⁾.

퍼지화를 통해서 입력 변수 값에 애매성이 도입되지 않아서 간단하면서도 합리적인 결과를 얻을 수 있기 때문에 본 연구에서는 화재에서 발생하는 열과 연기의 신호를 퍼지단일값(fuzzy singleton)을 사용하였다.

2.2 퍼지추론 및 규칙(Fuzzy Inference and Rules)

추론규칙은 일반적으로 “if-then”형식의 언어적 규칙으로 표현된다. 퍼지 규칙을 구성하는데 있어서 우선되는 작업은 적절하게 입·출력 변수를 선정하는 것이다. 이것은 퍼지시스템의 동작특성을 특징지어 주는데 매우 중요한 관건이 된다⁴⁾.

퍼지 규칙은 다음과 같은 형식의 퍼지 조건문들로 이루어진다.

IF (특정 조건들이 만족된다면), **THEN** (특정 결과들이 유추될 것이다.)

괄호 속의 조건들을 각각 조건부(antecedent)와 결론부(consequent)라 하고 정성적인 언어로 표현된다. 조건부와 결론부에는 각각 복수개의 퍼지 변수들이 도입될 수가 있으며, 전체 규칙은 여러 개의 복수 입력·복수 출력 퍼지 조건문들로 구성되는 것이 보통이다. 본 연구에서는 다양한 멤버쉽함수와 추론규칙을 구성하고 실험을 통하여 가장 합리적인 결과값을 도출하는 것을 멤버쉽함수와 추론규칙으로 결정하였다. 본 연구에서 적용된 추론규칙에는 조건부에 온도와 연기농도로 구성하고, 결론부에는 화재가능성으로 구성하였

다. 또한 조건부에 열과 연기농도 각각 5개씩 총 25개의 추론규칙이 적용되었다. 본 연구에서 적용된 규칙의 예를 들면 다음과 같다.

IF Temperature is Low AND Smoke Density is Low
THEN Fire Probability is Low ·····

그림 2와 3은 조건부에 해당하는 온도와 연기농도의 membership 함수이고 그림 4는 결론부에 해당하는 화재가능성에 대한 membership 함수이다. 이와 같은 퍼지추론규칙에 대하여 결과값을 추론하는 방법은 Mamdani가 제안한 Minimum operation을 사용하였다. Mamdani 방법에 있어서 'and'는 Minimum operation으로 대치되는데 연산은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\mu_B(y) = \text{Max}[\text{Min}\{\mu_1(x_1) \wedge \mu_1(x_2) \wedge \dots \wedge \mu_1(x_m)\}] \quad (1)$$

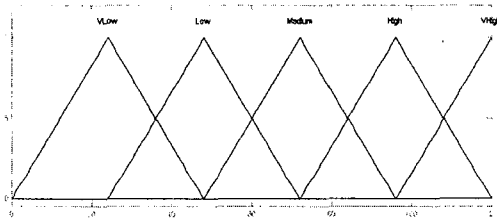


Fig. 2. Membership functions for temperature

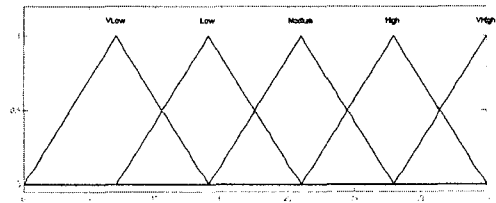


Fig. 3. Membership functions for smoke density

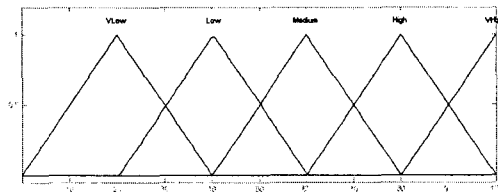


Fig. 4. Output fire possibility membership functions

2.3 비퍼지화(Defuzzification)

출력부 전체 집합에서 정의된 퍼지 조작량을 명확한 비퍼지 조작량으로 변환시켜주는 작업을 비퍼지화 또는 일점화라 한다⁵⁾. 본 연구에서 사용된 비퍼지화방법은 무게중심법이다. 무게중심법(centroid method)은 합성된 출력 퍼지집합의 무게중심(center of gravity)을 구하여 그 해당하는 값을 입력으로 사용하는 방법으로써 식 (2)과 같이 표현된다.

$$C = \frac{\sum_{i=0}^n d_i \mu(d_i)}{\sum_{i=0}^n \mu(d_i)} \quad (2)$$

여기서 d_i 는 i 번째 정의구역이고, $\mu(d_i)$ 는 이에 해당하는 membership 함수이다.

본 연구에서는 이와 같은 Mandani min-max 연산과 비퍼지화 연산, 그리고 GUI(graphic user interface) 프로그램을 위하여 Matlab을 이용하였다.

3. 시스템 구성

그림 5는 본 연구에서 제안하는 퍼지로직(fuzzy logic)을 적용한 화재감지시스템의 구성도이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제안하는 화재감지시스템은 열과 연기농도를 측정하는 2개의 입력센서가 있다. 열을 측정하기 위한 센서는 K-type thermocouple이고 연기농도를 측정하기 위한 센서는 광투과형 연기농도측정기를 이용하였다. 이렇게 입력되는 열과 연기신호는 퍼지이론의 추론 계산과정을 포함하고 있는 PC의 화재감지프로그램으로 입력된다. 이 추론시스템에 입력된 열과 연기농도를 이용하여 최종 화재가능성을 계산하게 된다.

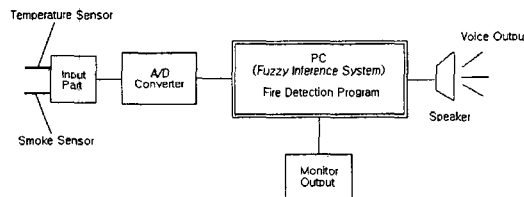


Fig.5. Construction diagram of fire detection system applying fuzzy logic

4. 사례연구를 위한 화재실험

화재는 연소되는 재료에 따라 어떤 경우에는 열이 많이 발생하고, 어떤 경우에는 연기가 많이 발생하게 된다. 그러므로 화재감지시스템은 이와 같이 열만 많이 발생하는 화재나 연기만 많이 발생하는 경우 모두 정확하게 화재를 감지하여 인명피해가 없도록 조기에 경보를 해야 한다. 따라서 본 연구에서는 제안한 화재감지시스템의 타당성을 검증하기 위하여 열이 많이 발생하는 불꽃화재와 연기가 많이 발생하는 훈소화재에 대한 화재실험을 수행하고 이로부터 얻어지는 열과 연기농도에 따라 본 연구의 화재감지시스템이 어떻게 화재가능성을 추론하는가에 대하여 분석하였다.

불꽃화재를 모사하기 위하여 종이 500g과 1000g을 연소시켰고, 훈소화재를 모사하기 위하여 플라스틱 500g과 1,000g을 연소시켰다.

그림 6은 실험장치의 개략도를 나타낸다. K-type thermocouple과 광투과형 연기농도측정기를 그림 6과 같이 부착하여 small-scale로 화재실험을 수행하였고 사용된 연소실의 체적은 2m³이다.

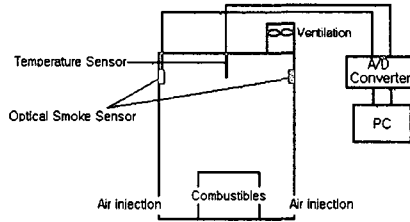


Fig. 6. Schematic of experimental setup

5. 결과 및 분석

그림 7, 8은 종이 500g과 1,000g을 연소시켰을 때 발생하는 열과 연기농도이다. 그림에서 나타난 바와 같이 종이 500g과 1,000g을 연소시키면 아주 높은 열을 발생하면서 연소하는 것을 알 수 있다. 따라서 이것을 실제 크기로 확대시켰을 때 많은 열을 발생하는 불꽃화재로 간주할 수 있다. 그림 9는 종이 500g과 1,000g에 대한 시간에 따른 화재가능성을 나타낸다. 시간에 따라 열과 연기농도가 높아짐에 따라 화재가능성도 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 500g의 경우는 화재가능성이 32.7%~93.2%로서 최대치가 93.2%이고, 1,000g의 경우는 33.7%~93.7%로서 최대치가 93.7%로 나타나 높은 화재가능성을 보이고 있다.

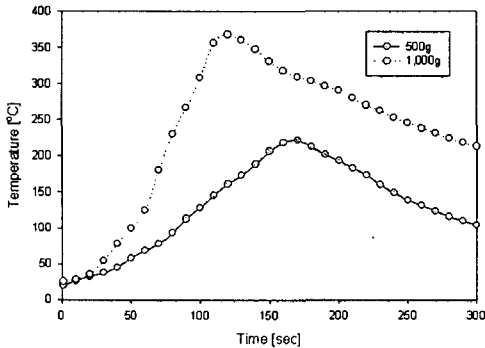


Fig.7. Temperature vs. time for paper

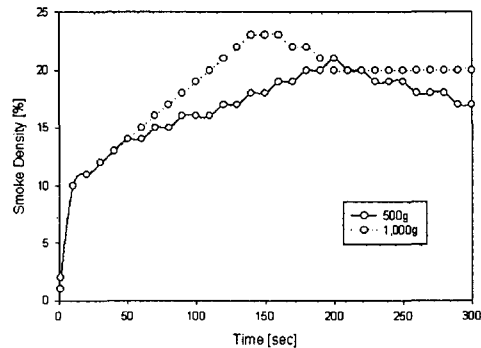


Fig.8. Smoke density vs. time for paper

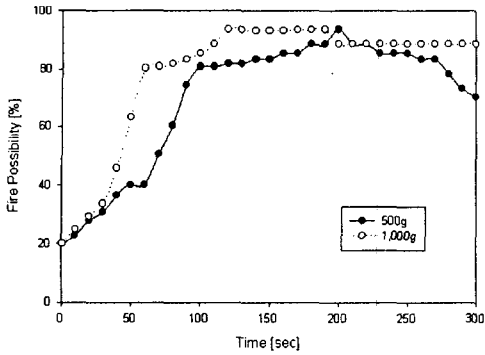


Fig.9. Fire possibility vs. time for paper

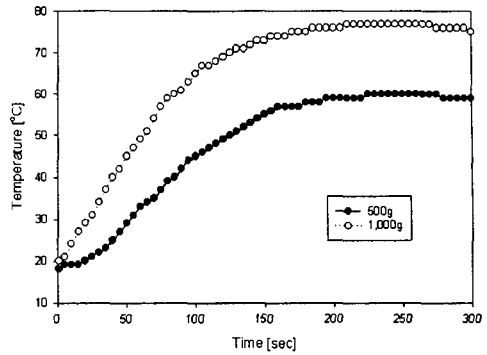


Fig.10. Temperature vs. time for plastic

그림 10, 11은 플라스틱 500g, 1,000g에 대한 열과 연기농도를 나타낸다. 플라스틱은 적은 화염과 많은 양의 연기를 발생하면서 연소한다. 그림에서 알 수 있듯이 본 연구의 결과도 마찬가지로 많은 양의 연기농도가 측정되었다. 플라스틱을 연소시켰을 때는 아주 작은 화염만이 보이고 다량의 연기가 발생하였다. 이것을 실제크기로 확대시키면 다량의 유독가스와 연기가 발생하는 화재로 간주할 수 있다. 따라서 이러한 경우에 화재감지시스템은 반드시 화재경보를 발신해야 한다. 그림 12는 본 연구의 연소실에서 플라스틱 500g과 1,000g이 연소했을 때의 화재가능성을 나타낸다. 500g의 플라스틱을 연소시켰을 때 화재가능성은 40.8%~69.1%로 나타났다. 또한 1,000g의 플라스틱을 연소시켰을 때 화재가능성은 33.8%~88.1%로 나타났다.

이상과 같은 열과 연기농도가 각각 많이 발생하는 화재에 대한 사례연구의 분석을 고려해 볼 때 본 연구에서 제시한 화재감지시스템은 비교적 정확한 화재가능성을 추론하는 것으로 판단된다.

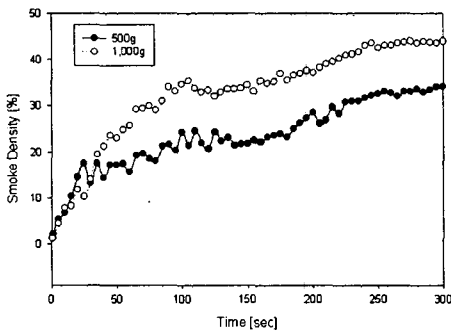


Fig.11. Smoke density vs. time for plastic

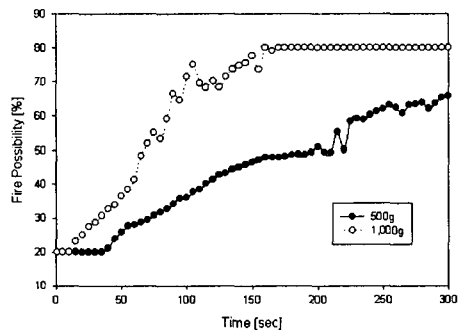


Fig.12. Fire possibility vs. time for plastic

6. 결 론

본 논문은 화재로부터 발생하는 열과 연기농도를 가지고 Mamdani 추론기법을 이용하여 화재가능성을 추론하는 화재감지시스템을 제안한 연구이다. 본 연구의 시스템은 열과 연기농도의 입력변수를 가지고 추론 알고리즘을 통하여 화재가능성을 계산하는 프로그램을 포함하고 있다. 시스템의 성능을 검증하기 위해서 불꽃화재와 혼소화재에 대하여 분석한 결과 본 논문의 조건하에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존 화재감지시스템의 ON-OFF식 화재판정기준과는 달리 본 연구에서 제안하는 화재감지시스템은 화재로부터 발생하는 열과 연기농도를 가지고 퍼지추론하여 계산된 수치에 따라 화재가능성의 비율로 화재를 경보할 수 있어 보다 다양한 정보를 제공할 수 있다.
- 2) 불꽃화재를 상정하기 위하여 종이 500g과 1,000g을 연소시켜 분석한 결과 최대 화재가능성이 각각 93.2%, 93.7%이고, 혼소화재를 상정하기 위하여 플라스틱 500g과 1,000g 연소시켜 분석한 결과 최대 화재가능성이 각각 69.1%, 88.1%로 나타나 비교적 정확한 화재가능성이 추론되는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) E. H. Mamdani, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis", IEEE Trans. Computers, Vol. 26, No. 12, pp1182-1191, 1977
- 2) M. Thuillard, "New Methods for Reducing the Number of False Alarms in Fire Detection Systems", Fire Technology, Second Quarter, pp.250-268, 1994
- 3) S. Y. Foo, "A Fuzzy Logic Approach to Fire Detection in Aircraft Dry Bays and Engine
- 4) T. J. Ross, Fuzzy Logic with Engineering Applications, pp.82~126 McGraw-Hill Inc., 1995
- 5) E. Cox, Fuzzy System Handbook, pp.260~265, Academic Press Inc., 1995