

퍼지추론을 사용한 화재감지시스템 개발

The Development of Fire Detection System Using Fuzzy Inference

홍성호 · 김두현 · 김상철* · 박양범**

충북대학교 안전공학과 · *세명대학교 안전공학과

**청주기능대학 전기과

1. 서론

지금까지의 화재감지시스템은 하나의 입력요소에 대하여 화재, 비화재로 판단하는 단순한 형태의 신호를 발신하여 하나의 요소로만 화재를 판단하여 왔다. 또한 기존의 화재감지시스템은 화재 시에 발생하는 열, 연기, 불꽃 등에 대하여 감지기회로에서의 미리 지정한 고정값과의 비교를 통하여 정해진 기준을 넘을 경우 화재로 판정한다. 그러나 고정값을 기준으로 신호를 발신하게 되어있는 화재감지기의 동작은 상황에 따라 불확실한 경우가 발생한다. 예를 들어 열감지기의 경우는 화재가 아닌 경우에 발생하는 열에 의해서도 화재신호를 발생시키고, 연기감지기의 경우에도 역시 화재에 의한 연기 이외의 신호에도 화재신호를 발생시킨다. 이러한 입력정보의 단순성 및 고정값과의 판정에 의한 판정기준의 단순성은 비화재보를 발생하여 화재감지시스템의 오동작과 오보를 발생시키는 원인이 된다. 이러한 화재감지시스템의 오보를 감소시키기 위한 방법과 연구^[1-2]는 많이 있었지만, 오보율을 감소시키는 것은 여전히 화재감지시스템을 개발하는데 있어 주요 과제로 남아있다. 따라서 본 연구에서는 오보 감소를 위한 방법으로써 퍼지추론을 이용하여 화재를 감지하는 새로운 형태의 화재감지시스템을 제시하였다. 이를 위하여 화재시 발생하는 열과 연기신호 모두 입력신호로 받아들여 화재의 여부를 판정하였다. 또한 퍼지추론을 위하여 사용한 추론방법은 Mamdani의 추론방법을 이용하였고 최종 화재가능성을 추론하는 비퍼지화방법은 Centroid법을 사용하였다. 그리고 모의 화재실험을 통하여 여러 가지 가연물을 연소시켜 화재가능성을 계산하였다.

2. 퍼지이론

퍼지 논리 시스템은 일반적으로 그림 1에 나타난 것처럼 3가지 부분으로 구성된다. 3가지 부분은 하나의 명확한 값(crisp value)으로 측정된 입력변수의 값을 적절한 퍼지값으로 바꾸는 퍼지화(fuzzification), 조건부와 결론부의 조건문으로 이루어지는 퍼지추론규칙(fuzzy inference rules), 출력부 전체집합에서 정의된 퍼지값을 명확한 비퍼지값으로 변환시켜주는 작업이 비퍼지화(defuzzification)이다. 본 연구에서 화재감지시스템을 위하여 적용된 퍼지이론은 다음과 같다.^[3]

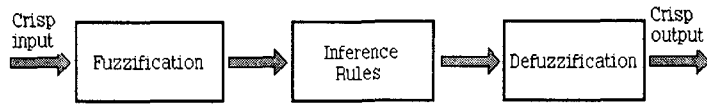


Fig.1 Fuzzy logic system

2.1 퍼지화(Fuzzyfication)

퍼지시스템은 도입부에서 하나의 명확한 값(crisp value)으로 측정된 입력변수 값을 적절한 퍼지값(퍼지집합)으로 바꾸어준다. 대체로 센서로부터 특정된 값의 영역(range)을 그대로 입력부의 퍼지변수의 영역으로 사용하기보다는 이를 퍼지연산에 편리하도록 미리 정해놓은 입력 퍼지변수의 전체 집합으로 맞추어 주는 것이 편리하다. 따라서 퍼지화의 작업은 전체 집합에 따라 적절히 크기를 변환시키는 작업이 된다.

본 연구에서는 화재에서 발생하는 열과 연기의 신호를 퍼지단일값(fuzzy singleton)으로 표현하였다. 퍼지 단일 값을 사용하면 입력값이 명확한 값을 가지므로 퍼지화를 통해서 입력 변수 값에 애매성이 도입되지 않아서 간단하면서도 합리적인 결과를 얻을 수 있다.

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 된다.

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 연구에서 적용된 추론규칙에는 조건부에 온도와 연기농도로 구성하고, 결론부에는 화재가능성으로 구성하였다. 또한 조건부에 7개씩 총 49개의 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 2는 조건부에 해당하는 온도의 membership function이고 그림 3은 결론부에 해당하는 화재가능성에 대한 membership function이다. 화재를 감지한다는 것은 화재발생 초기에 감지하여 피난 및 소화활동을 돕는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 화재가 발생했을 때 감지해야 하는 초기의 온도를 150[°C] 이하로 보고 membership function을 구성하였다. 여기서 VVLow, Vlow, Low, Medium, High, Vhigh, VVhigh는 If…Then 규칙에 포함된 언어변수인 Very Very Low, Very Low, Medium, High,

Very High, Very Very High를 나타낸다. 또한 연기농도도 마찬가지로 화재가 발생했을 때 신속하게 감지해야 하는 초기의 연기농도를 25[%]이하로 고려하여 membership function을 구성하였다. 일반적으로 퍼지논리시스템을 구성함에 있어서 membership function은 표현이 간단하고 연산상의 편리성 때문에 삼각형 또는 사다리형의 membership function이 종종 선택된다^[4-5]

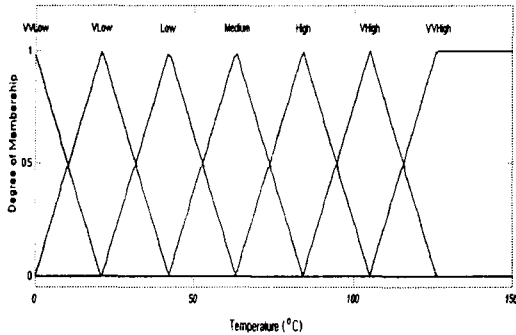


Fig.2 Membership functions for temperature

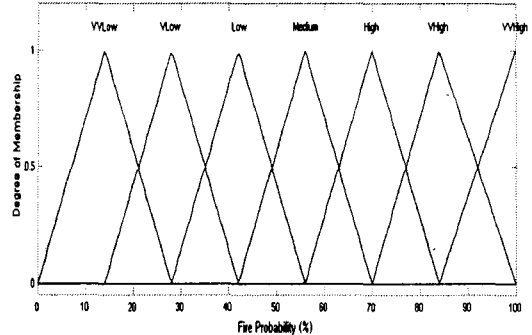


Fig.3 Output fire probability membership functions

본 연구에서는 계산의 편의를 위하여 삼각퍼지membership function을 선택하였다. 그리고 이와 같은 퍼지규칙을 추론하는 방법은 Mamdani가 제안한 Minimum operation을 사용하였다. Mamdani 방법에 있어서 'and'는 Minimum operation으로 대치되는데 연산은 다음과 같이 표현된다.

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

2.3 비퍼지화(Defuzzification)

출력부 전체 집합에서 정의된 퍼지 조작량을 명확한 비퍼지 조작량으로 변환시켜주는 작업을 비퍼지화 또는 일점화라 한다. 비퍼지화 방법에는 여러 가지가 있으나, 그 대표적인 것으로 최대값방법, 최대평균법, 무게중심법 등이 있다. 이 방법들 중에 무게중심법이 가장 많이 사용된다. 무게중심법(center of area method, 또는 centroid method)은 합성된 출력 퍼지집합의 무게중심(center of gravity)을 구하여, 그 해당하는 값을 입력으로 사용하는 방법으로써 다음과 같은 식으로 표현된다.

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

여기서 d_i 는 i 번째 정의구역 값이고 $\mu(d_i)$ 는 그에 대한 membership function이다.

3. 화재실험

화재로부터 발생하는 열을 감지하기 위하여 K-type Thermocouple을 사용하였고 연기농도를 감지하기 위하여 CO센서와 광전식 분리형 연기감지기를 사용하였다. 이러한 센서들을 그림 4와 같이 부착하여 Small-Scale로 화재실험을 수행하였다. 또한 실제 화재상황을 상정하기 위하여 주위에서 흔히 볼 수 있는 목재와 종이 그리고 플라스틱(폴리에틸렌)을 사용하여 화재를 발생시켰다. 또한 기존의 화재감지기가 화재와 유사한 상황에서 비화재보를 자주 발생시키는 것을 감안하여 화재상황뿐만 아니라 화재와 유사한 상황도 만들어주기 위하여 목재, 종이, 플라스틱의 양을 100[g], 500[g], 1,000[g]으로 조절하여 화재실험을 수행하였다. 이와 같은 화재실험을 위하여 사용된 연소실의 면적은 1.21[m²]이고 높이는 1.7[m]이다. 이로부터 얻은 온도와 연기농도를 가지고 위의 퍼지추론을 이용하여 화재가능성을 분석하였다. 실험장치에 대한 개략도는 그림 5와 같다.

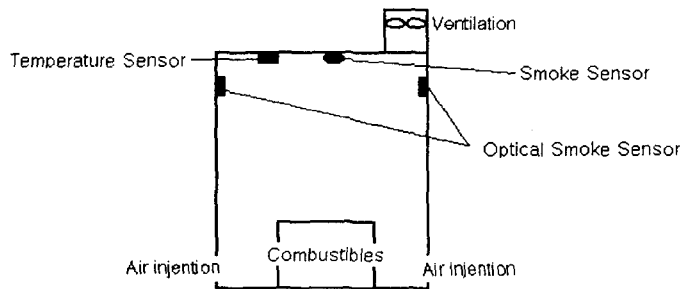


Fig.4 Schematic of experimental setup for fire simulation

4. 결과 및 분석

그림 5~10은 본 연구의 실험으로부터 얻은 열과 연기농도를 가지고 퍼지추론을 사용하여 계산한 시간에 따른 화재가능성을 나타낸다.

그림 5, 6, 7은 가연물의 양에 대한 화재가능성을 나타낸다. 100[g]에서는 거의 비슷하게 30[%]~56[%]의 화재가능성을 나타내었지만 종이와 목재에 비해서 플라스틱은 좀더 완만하게 하강하는 것을 알 수 있다. 이것은 목재나 종이보다 플라스틱의 화재는 좀더 오래 지속된다는 것을 의미한다. 500[g]에서 목재는 49[%]~78[%], 종이는 32.7[%]~94.7[%], 플라스틱은 40.8[%]~69.1[%]로 종이가 가장 높은 화재가능성을 나타내었다. 1,000[g]에서 목재는 49.8[%]~95[%], 종이는 33.7[%]~95[%], 플라스틱은 33.8[%]~89.8[%]로 목재와 종이가 비슷한 화재가능성을 나타내었고 플라스틱은 서서히 상승하였다. 여기서 화재가능성의 하한은 가연물이 서서히 연소하기 시작한 때부터의 온도와 연기농도를 측정했기 때문에 실제 화재가능성은 상한값을 의미한다고 할 수 있다.

그림 8, 9, 10은 각 가연물에 따른 화재가능성을 나타낸다. 목재는 100[g]를 태웠을 때 화재가능성이 31[%]~55[%]로 계산되었다. 100[g]은 화재와 유사한 상황을 모델링한 것임을 고려하면 상당히 정확한 값이라고 할 수 있다. 또한 목재를 1,000[g] 태웠을 때는 높은 열과 많은 양의 연기를 발생시키면서 화염이 10분 이상 지속되었다. 따라서

이것을 full scale로 확대시키면 실제화재로 간주할 수 있다. 이 경우에 있어서 화재가
 능성은 90[%]이상 나타나므로 화재경보를 울려야 한다.

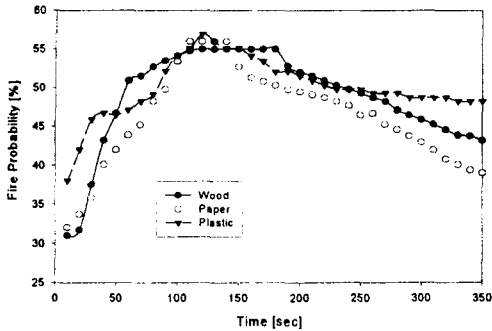


Fig.5 Fire probability for 100[g]

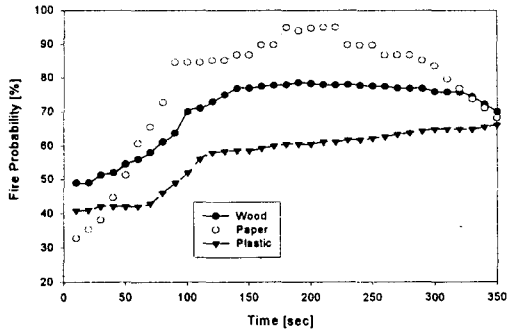


Fig.6 Fire probability for 500[g]

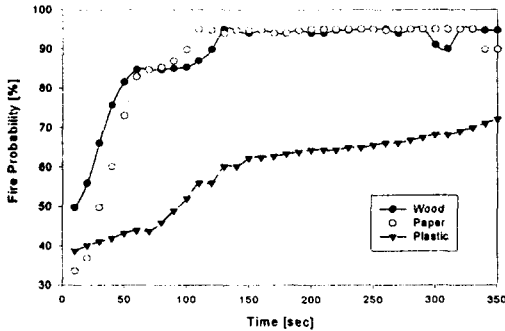


Fig.7 Fire probability for 1,000[g]

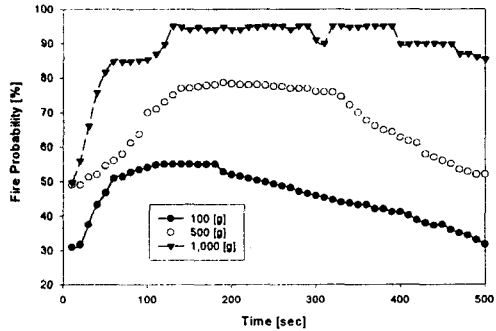


Fig.8 Fire probability for wood

또한 종이의 경우에 있어서는 목재보다 짧은 시간에 고온의 화염과 연기를 발생시키
 면서 연소하였다. 그림 9에서 보듯이 500[g]의 화재가능성이 아주 높게 나타났다. 이것
 은 종이가 다른 가연물보다 쉽게 발화하므로 어느 일정량이상이면 빠르게 고온의 화염
 을 발생시키면서 연소하기 때문이다. 500[g]의 시간에 따른 화재가능성을 보면 짧은시
 간에 급격히 상승하여 가연물이 전소되면 다시 급격히 하강하는 것을 알 수 있다.
 1,000[g]은 목재와 마찬가지로 가연물의 양이 많기 때문에 높은 화재가능성을 나타내었
 다.

플라스틱은 목재나 종이와는 다르게 작은 화염과 많은 연기를 발생시키면서 연소하
 였다. 특히 100[g]에서는 아주 작은 화염만이 보이고 다량의 연기가 발생하였다. 이것
 을 실제상황으로 예를 들면 주방의 조리에 의한 다량의 연기가 발생했을 경우나 좁은
 실내에서 깍연 등으로 인한 연기발생의 경우와 유사한 상황으로 간주할 수 있다. 따라
 서 이와 같은 경우에 있어서 화재감지기는 화재경보를 울리지 않아야 한다. 그러므로
 본 연구에서 제시한 퍼지추론을 사용하여 계산된 화재가능성은 비교적 정확하다 할 수
 있다.

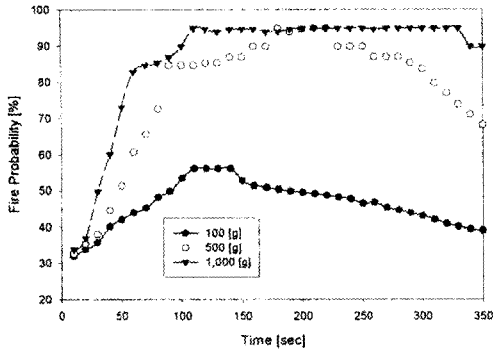


Fig.9 Fire probability for paper

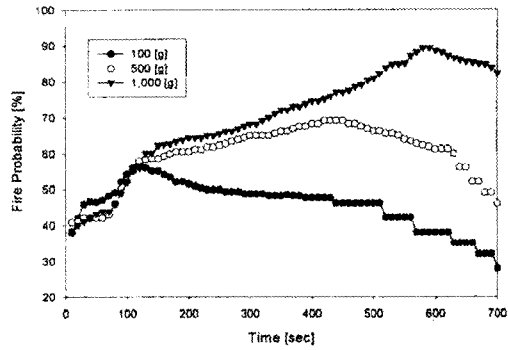


Fig.10 Fire probability for plastic

5. 결론

본 논문은 열과 연기농도를 입력변수로 하는 퍼지논리를 적용한 화재감지시스템을 제안한 연구로써 여러 가지 가연물을 통하여 small-scale의 화재실험을 한 결과 본 연구의 실험조건하에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 100[g]의 목재, 종이, 플라스틱을 연소시켰을 때 화재가능성은 각각 55[%], 56[%], 56[%]로 나타났다.
- 2) 500[g]의 목재, 종이, 플라스틱을 연소시켰을 때 화재가능성은 각각 78[%], 94.7[%], 69.1[%]로 나타났다.
- 3) 1,000[g]의 목재, 종이, 플라스틱을 연소시켰을 때 화재가능성은 각각 95[%], 95[%], 89.8[%]로 나타났다.

이상과 같은 결과에서 100[g]은 화재와 유사한 상황을, 1,000[g]은 실제 화재상황을 모델링한 것임을 감안하면 본 연구에서 제안한 화재감지시스템은 정확한 화재가능성을 추론하는 것으로 판단된다.

추후 연구로는 다양한 경험을 통한 더 많은 퍼지규칙을 첨가하고 full-scale의 화재 실험에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Albert T. P., W. L. Chan, "A Computer Vision Based and Fuzzy Logic Aided Security and Fire Detection System", Fire Technology, Third Quarter, pp.341-356
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. T. J. Ross, Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill Inc., 1995
4. S. Y. Foo, "A fuzzy Logic Approach to Fire Detection in Aircraft Dry Bays and Engine Compartments", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol.47, No.5, pp.1161-1171, 2000
5. S. H. Hong, D. H. Kim, S. C. Kim, "Fire Detection Technique Using Fuzzy Logic with Input Signal of Temperature and Smoke Density", Journal of the KIIS