

P형 화재감지시스템과 퍼지논리를 적용한 화재감지시스템의 동작특성 비교분석

홍성호 · 김두현 · 김상철*

충북대학교 안전공학과 · *세명대학교 안전공학과

1. 서 론

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 현재 설비되고 있는 화재감지시스템은 화재 시에 발생하는 열, 연기 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 연기이외의 신호에도 화재신호를 발생시킨다. 이러한 고정값과의 비교에 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 방법으로 퍼지 Logic을 이용하여 화재를 감지하는 화재감지기법을 제시하였다. 이를 위하여 화재시 발생하는 열과 연기신호 모두 입력신호로 받아들여 화재의 여부를 판정하였다. 또한 기존 P형 화재감지시스템의 동작하는 상황과 동작하지 않는 상황을 재현하기 위하여 목재 crib의 층수를 조절하면서 실험을 수행하였고, 이 결과와 본 연구에서 제시하는 퍼지논리를 적용한 화재감지시스템과의 동작특성을 비교·분석하였다.

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 결론 부의 조건문으로 이루어지는 퍼지추론규칙(fuzzy inference rules), 출력부 전제집합에서 정의된 퍼지값을 명확한 비퍼지값으로 변환시켜주는 작업이 비퍼지화(defuzzification)이다. 본 연구에서 화재감지시스템을 위하여 적용된 퍼지이론은 다음과 같다^{3),4)}



Fig.1. Fuzzy logic system

2.1 퍼지화(Fuzzification)

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 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 ·····

화재를 감지한다는 것은 화재발생 초기에 감지하여 피난 및 소화활동을 돕는 것을 의미한다. 따라서 본 연구에서는 화재가 발생했을 때 감지해야 하는 초기의 온도를 120[°C] 이하로 보고 membership 함수를 구성하였다. 또한 연기농도도 마찬가지로 화재가 발생했을 때 신속하게 감지해야 하는 초기의 연기농도를 30[%]이하로 고려하여 membership함수를 구성하였다. 본 연구에서는 계산의 편의를 위하여 삼각 퍼지membership 함수를 선택하였다. 그리고 이와 같은 퍼지규칙을 추론하는 방법은 Mamdani

가 제안한 Min-max operation을 사용하였다. Mamdani법에 있어서 ‘and’는 Minimum operation으로 대치되는데 연산은 다음과 같이 표현된다.

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

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.

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

비퍼지화 방법들 중에 가장 많이 사용되는 방법은 무게중심법이다. 무게중심법(center of area method, 또는 centroid method)은 합성된 출력 퍼지집합의 무게중심(center of gravity)을 구하여 그 해당하는 값을 입력으로 사용하는 방법으로써 식(2)와 같이 표현된다. 본 연구에서는 이와 같은 Mamdani Min-max 추론과 Centroid법에 대하여 Matlab이라는 프로그램을 이용하여 계산하였다.

3. 화재실험

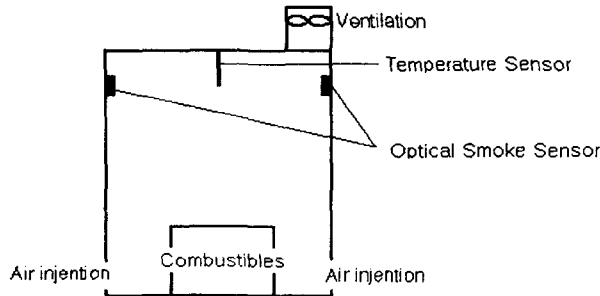


Fig.2. Schematic of experimental setup for fire simulation

화재로부터 발생하는 열을 감지하기 위하여 K-type thermocouple을 사용하였고 연기농도를 감지하기 위하여 EplusT사의 OP-100이라는 광투과형 연기농도측정기를 사용하였다. 이러한 센서들을 그림 2와 같이 부착하여 small-scale로 화재실험을 수행하였다. 또한 본 연구의 연소실내에서 P형 화재감지시스템이 동작하는 경우와 동작하지 않는 경우로 구분하기 위하여 그림 3과 같이 두께 0.35[cm], 길이 9[cm]의 목재를 crib 형태로 쌓은 후 목재 crib의 층수를 조절하면서 화재실험을 수행하였다. 본 연구에서 사용한 P형 화재감지시스템의 열감지기는 일반 건축물에 많이 사용되는 차동식 스포트형 2종이며, 연기감지기는 광전식과 이온화식을 모두 사용하였다. 또한 퍼지논리를 적

용한 목재 crib의 층수에 따른 화재가능성을 계산하고 기존 P형 화재감지시스템과 동작특성을 분석하였다. 그리고 기존 P형 화재감지시스템이 오동작하는 경우와 똑같은 상황을 구성하여 온도와 연기농도를 측정하고, 본 연구의 화재감지기법과 화재가능성을 비교 분석였다. 이와 같은 화재실험을 위하여 사용된 연소실의 체적은 2[m³]이다.

4. 결과 및 분석

그림 3과 4는 목재 crib의 층수가 1단에서 5단까지의 시간에 따른 온도와 연기농도를 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 본 연구의 연소실에서는 crib이 5단인 경우에 온도는 120[°C]이상이고 연기농도도 30[%]이상인 것을 알 수 있다. 또한 P형 화재감지시스템은 목재 crib의 층수가 2단 이하이면 화재경보를 울리지 않았는데, 그림에서 보듯이 crib의 층수가 2단인 경우에는 상당한 양의 열과 연기농도가 발생하는 것을 알 수 있다.

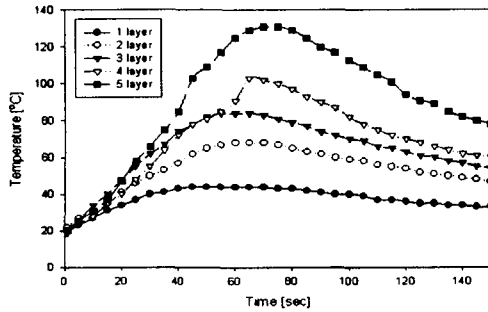


Fig.3. Temperature vs. time

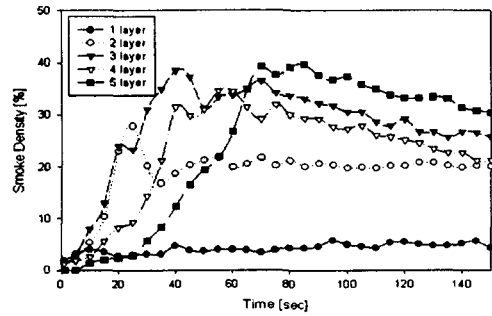


Fig.4. Smoke density vs. time

그림 5, 6은 실험으로부터 얻은 열과 연기농도를 가지고 퍼지 logic을 사용하여 계산한 시간에 따른 화재가능성을 나타낸다. 그림 5는 목재 crib의 층수가 1단에 대한 것으로 본 연구의 연소실 내에서는 이러한 양의 목재가 연소하였을 경우에는 기존 P형 화재감지시스템은 동작하지 않았다. 퍼지 logic을 이용하여 계산한 결과도 마찬가지로 약 20~25[%]로써 화재가능성이 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 2단인 경우에는 그림 6에서 보듯이 화재가능성의 최대값은 약 68[%]로 나타났다. 이러한 경우에는 연소되고 있는 상태가 전혀 고려되지 않는 단순 ON-OFF식의 기존 화재감지시스템은 화재가 아니라고 판정하였지만 목재가 2단인 경우에는 상당한 양의 열과 연기가 발생한다. 따라서 이와 같은 경우는 연소 상태가 작고 화염온도가 일정값 이상이 되지 않는다 해도 주위 가연물로 화염의 전파가 가능하고 대형화재로 확대될 수 있다는 것을 의미한다.

그림 7은 목재 crib의 층수가 3, 4, 5단에 대한 것으로 기존 화재감지시스템은 crib의 층수가 3단 이상일 경우에는 짧은 시간에 화재경보를 발신하였다. 이 경우는 확실한 화재상황이라고 판단할 수 있으므로 본 연구에서 제시한 화재감지시스템도 그림에서 보듯이 화재가능성이 80[%]이상이고 목재의 양이 더 많아질수록 화재가능성은 더 높은 값으로 나타났다. 본 연구에서 제안한 퍼지 화재감지기법은 화재상황으로부터 발생하는 열과

연기농도를 가지고 퍼지 logic을 이용하여 화재가능성을 추론하는 것으로 추론결과 약 1 분정도 화재가능성이 80[%]이상 지속되면 확실한 화재상황이라고 판단할 수 있다.

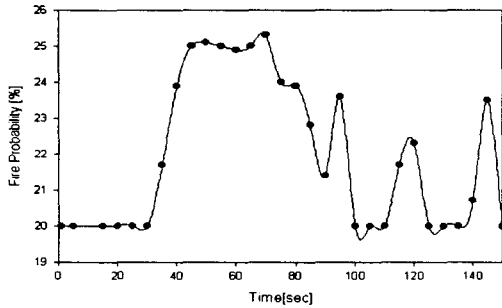


Fig.5. Fire probability for 1 layer in wood cribs

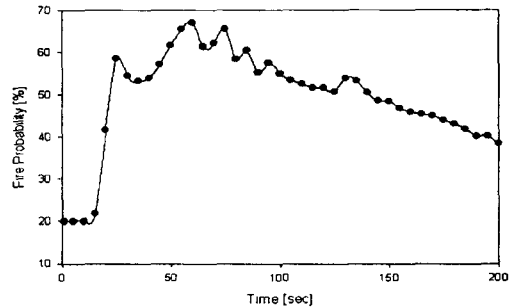


Fig.6. Fire probability for 2 layer in wood cribs

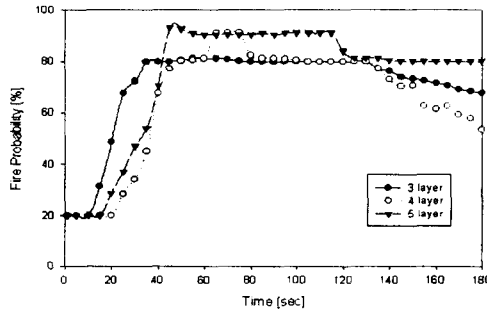


Fig.7. Fire probability vs. time (for fire simulated situation)

그림 8은 담배연기의 양에 따른 연기감지기의 동작시간을 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 본 연구의 연소실 내에서 담배를 6개비 정도 연소시켰을 때 담배로부터 발생하는 연기에 의하여 연기감지기는 약 5분 정도에 동작하였다. 이 동작시간은 풍향이나 풍량 등의 다른 조건 없이 순수하게 담배를 연소시켰을 때 측정된 시간이다. 물론 감지기 검정기술기준에 연기감지기의 동작시험법이 있지만 본 연구의 목적은 기존 화재감지시스템이 오동작하는 상황에서도 정확하게 화재를 감지하는 화재감지기법을 제시하는 것이다. 따라서 본 연구의 연소실내에서 연기감지기가 오동작하는 상황에 대한 하나의 예로써 담배에 의한 연기를 발생시켰고 실제로 담배연기에 의한 연기감지기의 오동작 문제가 종종 보고되고 있다.

그림 9는 담배 6, 8, 10개비에 대한 시간에 따른 화재가능성을 나타낸 그림이다. 연기감지기는 그림 8에서 확인한 바와 같이 화재로부터 발생하는 연기가 아닌 경우에도 일정량의 연기만 존재하면 화재신호를 발신하는 오동작이 종종 발생된다. 그러나 본 연구에서 제안한 화재감지기법은 그림 9에서 보듯이 시간적 차이는 있지만 화재가능성이 40[%]이하인 것을 알 수 있다. 화재가능성이 40[%]까지 올라 간 것은 온도에 비해 상대적으로 높은 연기농도 때문인 것으로 판단되며 이와 같은 경우에는 화재상황이 아니

라고 판정할 수 있다.

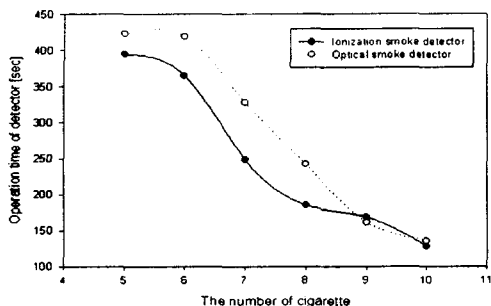


Fig.8. The operation time of smoke detector vs. the number of cigarette

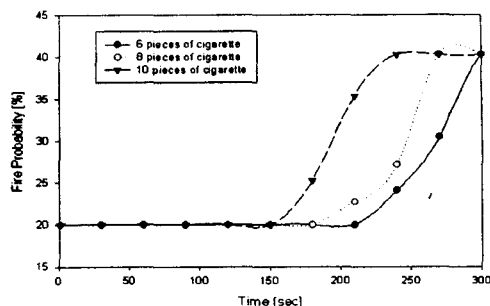


Fig.9. Fire Probability by smoke of cigarettes

5. 결론

본 논문은 화재시 P형 화재감지시스템과 본 연구에서 제안한 퍼지 logic을 적용한 화재감지시스템의 동작특성을 비교 분석한 연구로써 목재를 이용하여 small-scale의 화재실험을 한 결과 본 연구의 실험조건하에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 목재 crib의 층수가 1, 2단인 경우의 화재가능성의 peak치는 25[%], 68[%]로 나타났고, 이를 통하여 비화재 상황과 화재로 전이할 수 있는 가능성이 있는 상황을 추론할 수 있었다.
- 2) 목재 crib의 층수가 3, 4, 5단인 경우의 화재가능성의 peak치는 각각 81[%], 91[%], 94[%]로 나타났고, 이와 같이 확실한 화재상황에서는 화재가능성이 높게 추론되는 것을 알 수 있었다.
- 3) 연기감지기가 화재라고 판정한 담배연기에 의한 화재가능성은 담배연기의 양에 관계없이 약 40[%]이하로 계산되었다. 이를 통하여 화재상황이 아닌 경우에 발생하는 연기에 대하여 정확한 화재가능성을 추론하는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) M. Thuillard, "New Methods for Reducing the Number of False Alarms in Fire Detection Systems", Fire Technology, Second Quarter, pp.250-268, 1994
- 2) 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
- 3) T. J. Ross, Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill Inc., 1995
- 4) Lotfi A. Zadeh, Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Systems, World Scientific, 1996