

열과 연기농도를 입력변수로 갖는 퍼지로직을 이용한 화재감지시스템 A Fire Detection System Using Fuzzy Logic with Input Variables of Temperature and Smoke Density

홍성호[†] · 김두현 · 김상철*

Sung-Ho Hong[†] · Doo-Hyun Kim · Sang-Chul Kim*

충북대학교 안전공학과, *세명대학교 안전공학과
(2004. 8. 25. 접수/2004. 12. 20. 채택)

요 약

본 논문은 열과 연기농도를 입력변수로 갖는 퍼지로직을 적용한 화재감지시스템을 제시한 연구이다. 본 논문에서 제시한 화재감지시스템은 열과 연기농도를 입력신호로 받아들이고 이를 통하여 화재가능성이 추론되는 퍼지추론시스템을 포함하고 있다. 이 추론시스템의 조건부(antecedent part)는 fuzzy 단일값(singleton)으로 열과 연기농도가 입력되도록 하였고, 결론부(conclusion part)는 화재가능성으로 적용하였다. 또한 퍼지추론을 위하여 적용된 membership함수는 삼각형 membership함수이다. 추론하는 방법은 Mamdani가 제안한 minimum 연산을 사용하였다. 그리고 이러한 계산을 위하여 Matlab 프로그램을 사용하였고 이 프로그램을 이용하여 GUI(graphic user interface)기반의 화재감지프로그램을 개발하였다. 이와 같은 퍼지로직이 적용된 화재감지시스템의 신뢰성을 검증하기 위하여 불꽃화재와 훈소화재에 대한 실험을 통하여 추론되는 화재가능성을 분석하였다. 그 결과 본 연구의 퍼지로직을 적용한 화재감지시스템은 연소상황에 따라 비교적 정확하게 화재가능성을 추론하였다.

ABSTRACT

This paper presents a study on the analysis of fire detection system using fuzzy logic with input variables of temperature and smoke density. The input variables for the fuzzy logic algorithm are measured by fire experiment of small scale with temperature detector and smoke detector. The antecedent part of fuzzy rules consists of temperature and smoke density, and the consequent part consists of fire possibility. Also the triangular fuzzy membership function is chosen for input variables and fuzzy rules to simplify computation. In order to calculate fuzzy values of such fuzzy system, a computer program is developed with Matlab based on graphics user interface. The experiment was conducted with paper and ethanol to simulate flaming fire and with plastic and sawdust to model smoldering fire. The results showed that the fire detection system presented here was able to diagnose fire very precisely. With the help of algorithms using fuzzy logic we could distinguish whether fire or not.

Keywords : Fire detection system, Fuzzy logic, Fire possibility

1. 서 론

화재감지시스템은 화재로부터 발생하는 열과 연기를 감지하여 화재발생을 조기에 관계자에게 경보하여 주는 시스템이다. 현재 이러한 화재감지시스템은 일정 규모 이상의 건축물에 필수적으로 설치되어 있으며 이 시스템으로 많은 인명과 재산이 보호되고 있다. 그

러나 화재감지시스템은 설계시의 의도와는 다른 비화재보를 자주 발생시킨다. 예를 들어 열감지기의 경우는 화재가 아닌 경우에 발생하는 열에 의해서도 화재신호를 발생시키고, 연기감지기의 경우에도 역시 화재에 의한 연기이외의 신호에도 화재신호를 발생시킨다. 이러한 비화재보의 원인은 기존 화재감지시스템은 감지환경으로부터 각 감지기에 따라 하나의 고정되어 있는 열, 연기 등의 수치가상이 되면 화재경보를 울리게 된다. 그러나 실제 환경에서는 화재가 아닌 경우에도

[†]E-mail: hshfire@empal.com

화재감지시스템의 고정된 열과 연기농도 수치이상 발생하는 경우가 있고 이때 화재감지시스템은 화재가 아닌데 화재경보를 발하게 된다. 이와 같은 비화재보 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 비화재보를 감소시키기 위한 방법과 연구^{1,4)}는 많이 있었지만, 비화재보율을 감소시키는 것은 여전히 화재감지시스템을 개발하는데 있어 주요 과제로 남아 있다. 따라서 본 연구에서는 비화재보감소를 위한 방법으로 퍼지로직을 적용한 화재감지시스템을 제시하고 타당성을 검토하였다. 퍼지로직을 적용하기 위하여 입력신호는 화재시 발생하는 열과 연기신호 모두 선택하였고, 타당성을 검토하기 위하여 불꽃화재와 혼소화재에 대한 화재실험을 수행하였다.

2. 퍼지이론

본 연구에서 화재감지를 위하여 적용한 퍼지이론은 퍼지이론의 응용분야인 퍼지제어이다. 일반적으로 퍼지제어는 얻어지는 정보가 부정확하고 불확실한 경우에 기존의 시스템보다 우수한 제어결과를 나타내는 것을 볼 수 있다. 본 연구는 화재감지시스템에 입력되는 열과 연기농도가 화재로부터 발생한 것인지 일반적인 상황으로부터 발생한 것인지에 대한 정보가 부정확하고 불확실하다는 개념에서 출발하여 퍼지제어를 화재감지에 적용하였다.

퍼지제어시스템 또는 퍼지추론시스템은 일반적으로 Fig. 1에 나타난 것처럼 3가지 부분으로 구성된다.⁵⁾ 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 작업인 비퍼지화(defuzzification)로 구성된다.

2.1 퍼지화(Fuzzification)

퍼지추론시스템은 퍼지논리를 응용하므로 하나의 명확한 값으로 측정된 입력변수 값도 적절한 퍼지값 또는 퍼지집합으로 바뀌어져야 하는데, 이 작업은 퍼지

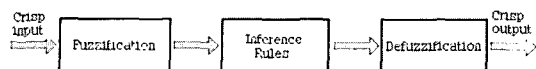


Fig. 1. Fuzzy inference system.

시스템의 도입부에서 이루어져야 한다. 대체로 센서로부터 측정된 값의 영역을 그대로 입력부의 퍼지변수의 영역으로 사용하기보다는 이를 퍼지연산에 편리하도록 미리 정해 놓은 입력 퍼지변수의 전체집합으로 맞추어 주는 것이 편리하다. 또한 입력정보의 특성에 따라서 여러 가지 방법으로 퍼지화하게 되는데, 대체로 퍼지 단일값(fuzzy singleton)과 삼각 퍼지소속함수(triangular fuzzy membership function)를 많이 사용한다.⁶⁾ 이 중 퍼지 단일값은 입력변수값에 애매성이 도입되지 않아서 간단하면서도 합리적인 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서도 화재에서 발생하는 온도와 연기의 신호를 퍼지단일값(fuzzy singleton)으로 표현하였다.

2.2 퍼지추론 및 규칙(Fuzzy Inference and Rules)

추론규칙은 일반적으로 “if-then” 형식의 언어적 규칙으로 표현된다. 퍼지규칙을 구성하는데 있어서 우선 되는 작업은 적절하게 입·출력 변수를 선정하는 것이다. 이것은 퍼지시스템의 동작특성을 특징지어 주는데 매우 중요한 관건이 된다.

퍼지규칙은 다음과 같은 형식의 퍼지조건문들로 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 퍼지조건문들로 구성되는 것이 보통이다. 본 연구에서 적용된 추론규칙에는 조건부에 온도와 연기농도로 구성하고, 결론부에는 화재가능성으로 구성하였다. 또한 조건부에 온도와 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 ……

Fig. 2와 3은 조건부에 해당하는 온도와 연기농도의 membership 함수이고 Fig. 4는 결론부에 해당하는 화재가능성에 대한 membership함수이다. 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 고려하여 membership함수를 구성하였다. 여기에서 VLow, Low, Medium, High, VHigh는 If…Then

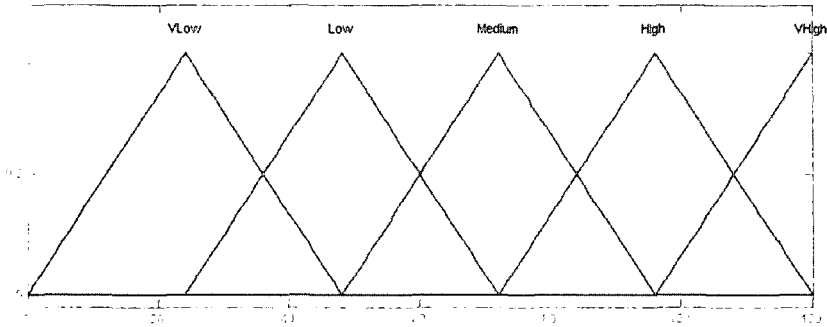


Fig. 2. Membership functions for temperature.

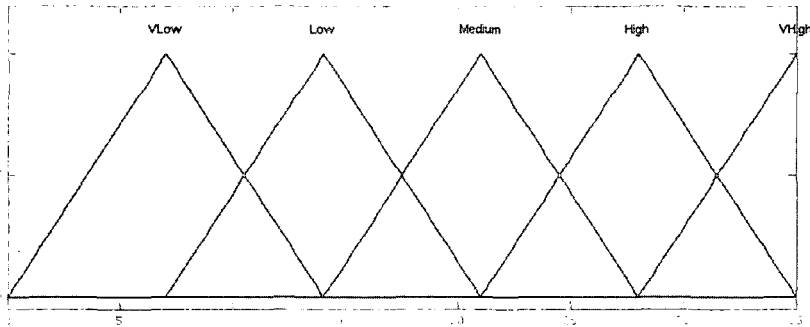


Fig. 3. Membership functions for smoke density.

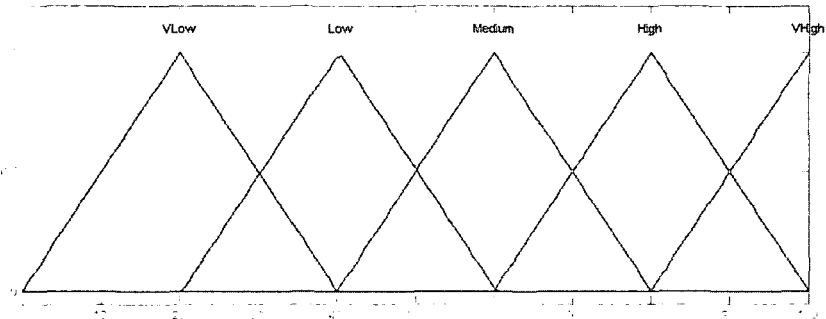


Fig. 4. Output fire probability membership functions.

규칙에 포함된 언어변수인 Very Low, Low, Medium, High, Very High를 나타낸다. Fig. 2에서 보듯이 각각의 언어변수에 해당하는 온도는 48°C이하, 24~72°C, 48~96°C, 72~120°C, 120°C이상이다. 또한 연기농도도 마찬가지로 화재가 발생했을 때 신속하게 감지해야 하는 초기의 연기농도를 35%이하로 고려하여 membership 함수를 구성하였다. Fig. 3에서 보듯이 각각의 언어변수에 해당하는 연기농도는 14%이하, 7~21%, 14~28%, 21~35%, 35%이상이다. 일반적으로 퍼지시스템을 구성

함에 있어서 membership 함수는 표현이 간단하고 연산상의 편리성 때문에 삼각형 또는 사다리형의 membership 함수가 종종 선택된다.⁷⁾ 따라서 본 연구에서도 Fig. 2, 3, 4와 같이 삼각형 membership 함수를 이용하였다. 그리고 이와 같이 구성된 퍼지규칙을 이용하여 추론하는 방법은 Mamdani의 minimum 연산과 Larsen의 product 연산, Mizumoto의 product-sum 연산 등이 있다.⁸⁾ Mamdani 방법에 있어서 'and'는 minimum 연산으로 대체되는데 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\mu_C(z) = \mu_{C_1}(z) \vee \mu_{C_2}(z) \cdots \vee \mu_{C_n}(z) \quad (1)$$

여기서 $\mu(*)$: *의 membership 함수

$\mu_{C_i}(z)$ 는 i 번째 추론규칙에 대한 동작을 나타내는 것으로

$\mu_{C_i}(z) = \mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_i}(y) \wedge \mu_{C_i}(z)$ 이다.

Larsen 방법은 Mamdani 방법중 minimum 연산대신 product 연산을 취하는 방법으로써 $\mu_{C_i}(z)$ 는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\mu_{C_i}(z) = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \cdot \mu_{C_i}(z) \quad (2)$$

Mizumoto 방법은 Larsen 방법에서 더 나아가 maximum 연산대신에 sum 연산을 취하는 방법으로써 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\mu_C(z) = \mu_{C_1}(z) + \mu_{C_2}(z) \cdots + \mu_{C_n}(z) \quad (3)$$

여기서 $\mu_{C_i}(z)$ 는 Larsen 방법과 같은 식으로 구하게 된다.

이 추론방법 중에서 Mamdani 방법은 추론규칙의 조건부와 결론부를 모두 일반언어로 대응시킬 수가 있고, 정성적으로 표현이 가능하며 추출과정을 그래프로 표현하기 쉽다는 장점이 있어 가장 많이 사용되는 방법이다. 따라서 본 연구에서도 추론방법으로 Mamdani 방법을 채택하였다.

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.⁹⁾ 이 중에서 무게중심법은 퍼지입력과 단일값입력에 의하여 출력된 경우 모두에 적용될 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 비퍼지화 방법으로 무게중심법을 이용하였다. 무게중심법(centroid method)은 합성된 출력 퍼지집합의 무게중심(center of gravity)을 구하여 그 해당하는 값을 입력으로 사용하는 방법으로써 식 (4)와 같이 표현된다.

$$C = \frac{\sum_{i=0}^n d_i \mu(d_i)}{\sum_{i=0}^n \mu(d_i)} \quad (4)$$

여기서 d_i 는 i 번째 정의구역이고, $\mu(d_i)$ 는 이에 해당하

는 membership 함수이다.

본 연구에서는 이와 같은 Mamdani minimum연산과 비퍼지화연산, 그리고 GUI(graphic user interface) 프로그램을 위하여 Matlab을 이용하였다.

3. 시스템 구성

Fig. 5는 본 연구에서 제안하는 퍼지로직(fuzzy logic)을 적용한 화재감지시스템의 구성도이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제안하는 화재감지시스템은 온도와 연기농도를 측정하는 2개의 입력센서가 있다. 온도를 측정하기 위한 센서는 K-type thermocouple 이고 연기농도를 측정하기 위한 센서는 광투과형 연기농도측정기를 이용하였다. 이렇게 입력되는 온도와 연기신호는 2장에서 고찰한 퍼지이론의 추론 계산과정을 포함하고 있는 PC의 화재감지프로그램으로 입력된다. 이 추론시스템에 입력된 온도와 연기농도를 이용하여 최종 화재가능성을 계산하게 된다. 계산된 최종 화재가능성이 60%를 넘게 되면 모니터로는 화재주의를 알리는 메시지가 나타나고 점점 더 화재가능성이 높아져 80%를 넘게 되면 모니터로는 화재발생을 알리는 창이 나타나게 되고, 스피커로는 음성신호를 발신하게 된다.

본 연구의 연소실에 기존 화재감지시스템의 차동식 spot형 2종 감지기를 설치하고 목재 crib을 이용하여 연소실험한 결과 목재 crib이 일정량이상이 되지 않으면 감지기는 동작하지 않았다.¹⁰⁾ 이것은 기존 화재감지기는 연소물에서 발생하는 열 등이 감지기에서 미리 고정되어 있는 값을 넘지 않으면 동작하지 않는다는 것을 의미한다.

기존 화재감지기가 동작하지 않는 목재 crib의 양을 연소시켰을 때 발생하는 온도와 연기농도를 입력하여 화재가능성을 추론한 결과 경계값이 약 68%정도였다. 따라서 화재실로부터 발생하는 온도와 연기농도가 입력되어 추론되는 화재가능성이 68%이상이면 화재로

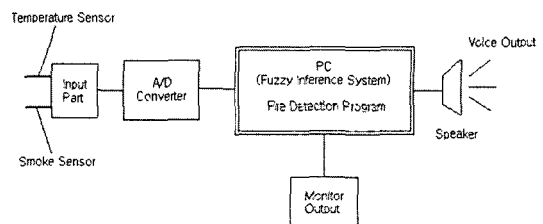


Fig. 5. Construction diagram of fire detection system applying fuzzy logic.

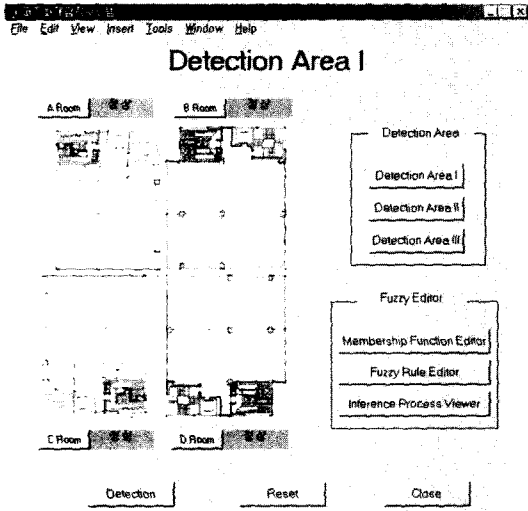


Fig. 6. Fire detection state of normal situation.

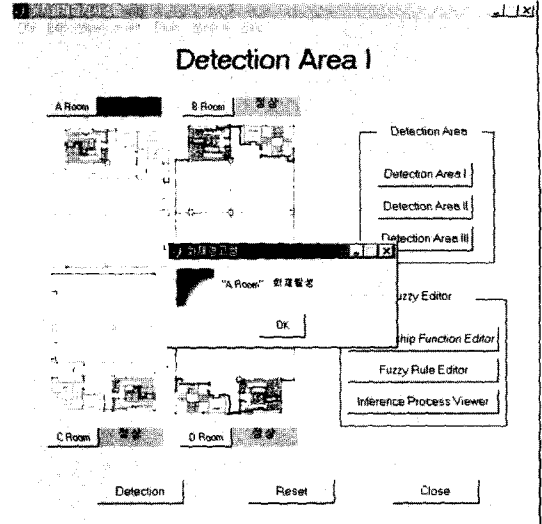


Fig. 7. Fire detection state of fire situation.

발전할 가능성이 있는 상황이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 이 68%의 값에 안전한계를 고려하여 예비경보 경계값을 60%로 구성하였다.

또한 본 연구의 연소실에서는 일정량 이상의 목재 crib이 연소하면 기존 화재감지시스템의 감지기는 짧은 시간에 동작하였다.¹⁰⁾ 기존 화재감지기가 동작하는 정도의 목재 crib을 연소시켰을 때 발생하는 온도와 연기 농도를 입력하여 화재가능성을 추론한 결과 약 80%이상의 값이 추론되었다. 따라서 본 연구에서는 화재실로부터 발생하는 온도와 연기농도가 입력되어 추론되는 화재가능성이 80%이상이면 확실한 화재상황으로 고려하였다. 즉, 추론된 화재가능성이 60%가 넘게 되면 예비화재경보, 80%가 넘게 되면 화재경보로 구성하였다.

Fig. 6은 Matlab을 이용하여 퍼지추론시스템을 구현한 퍼지화재감지시스템의 초기화면이다. 초기화면에서 'Fuzzy Edit'에 있는 버튼들은 멤버쉽함수나 퍼지추론 규칙, 그리고 전체 추론과정을 나타낼 수 있도록 하기 위한 기능키들이다. 화재를 감지해야 하는 구역을 편의상 'Detection Area I', 'Detection Area II', 'Detection Area III'.....등과 같이 구획하였다. 즉, 하나의 구역에 여러 개의 감지기를 사용하여 화재를 감지하는 형태이다. 따라서 당연히 각 detection area에는 감시해야할 실이 있을 것이므로 'Detection Area I'에는 4개의 실이 있다고 가정하면, 이 4개의 실에 입력센서로 온도와 연기농도 센서가 각각 부착되어 있는 것이라 할 수 있다. 이 감시해야할 실을 편의상 'A Room', 'B Room', 'C Room', 'D Room'으로 구획하였고 'Detection Area

II', 'Detection Area III'에도 역시 각각 E Room, F Room,등과 같이 구획할 수 있다. 감시해야 할 구역은 얼마든지 첨가 또는 삭제할 수 있으므로 여기서는 'Detection Area I'을 예로 들어 본 연구의 시스템을 설명하였다.

초기화면에서 'Detection'버튼을 누르면 화재감지를 시작하게 되고, 화재가 발생하지 않은 상태에서는 모든 구역에 있어서 각 실의 지구구역칭이라 할 수 있는 구역칭에 '정상'이라고 표시된다. Fig. 6은 각각의 실에 해당하는 감시창을 나타내며, 화재가 발생하지 않으면 그림과 같이 각 지구구역칭에 정상을 표시하게 된다.

실제 화재가 발생하게 되면 화재주의를 알리는 예비경보가 먼저 울리게 되고 계속적으로 실내에서 높은 온도와 연기농도가 발생하게 되면 본 연구의 시스템이 계산한 화재가능성이 계속적으로 상승하게 되어 화재경보를 발하게 된다. Fig. 7은 화재가 발생했을 때 본 연구의 시스템이 화재경보를 울린 상태를 나타내는 창이다. 예를 들어 'A Room'에서 화재가 발생했다고 한다면 그림에서 보는 바와 같이 'A Room'의 지구구역칭에 적색으로 화재발생을 표시하게 되고 스피커로 음성신호를 발하게 된다. 전체 화재가능성을 알고 싶으면 'Detection Area I'버튼을 누르면 Fig. 8과 같은 창이 나타나게 된다. 그림에서 보듯이 현재 'A Room'의 화재가능성은 약 93.5%로써 상당히 높은 상황임을 알 수 있다. 따라서 이러한 경우에 본 연구의 시스템은 음성신호를 계속적으로 발하여 건물내의 인원이 대피할 수 있도록 작동하게 된다.

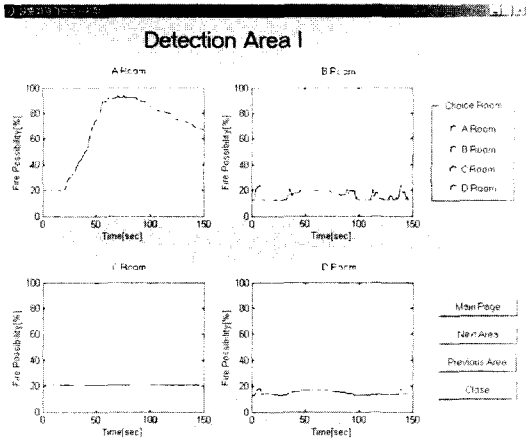


Fig. 8. Displaying fire possibility of each room.

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 제한한 화재감지시스템의 타당성을 검증하기 위하여 열이 많이 발생하는 불꽃화재와 연기가 많이 발생하는 훈소화재에 대한 화재실험을 수행하고 이로부터 얻어지는 열과 연기농도를 본 연구의 화재감지시스템에 입력하여 추론되는 화재가능성을 분석하였다.

불꽃화재를 모사하기 위해 종이는 A4용지를 이용하였는데, A4용지의 무게를 측정하고, ‘^’와 같은 모양으로 접어서 세운 다음 일반 휴대용 라이터를 이용하여 점화시키고 화염현상과 열과 연기농도를 측정하였다. 사용된 종이의 무게는 500 g과 1,000 g이다. 그리고 에탄올은 500 ml를 22 cm×22 cm의 사각형 용기에 넣고 점화한 다음 열과 연기농도를 측정하였다. 또한 플라스틱은 일반 휴대용 라이터로는 점화시킬 수 없기 때문에 500 g과 1,000 g의 무게를 측정하고, 플라스틱을 철제 앵글로 지지한 다음 밑에 소량의 에탄올을 놓고 에탄올에 점화시켜 연소시켰다. 사용된 플라스틱은 일상에서 흔히 볼 수 있는 식품팩으로 많이 이용되는 PET이다. 톱밥은 50 cm×50 cm의 철판 위에 놓은 상태에서 에탄올을 10 ml로 톱밥을 적신 후 연소실 밖에서 연소시킨 다음 에탄올의 불꽃이 보이지 않는 시점에서 연소실에 넣고 톱밥에 의해 발생하는 열과 연기농도를

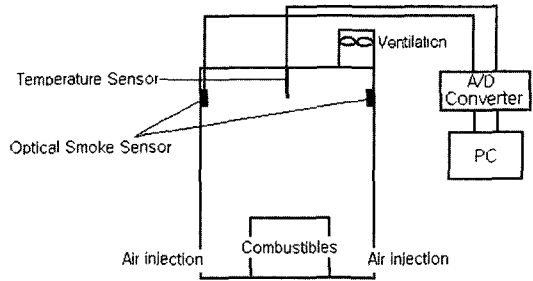


Fig. 9. Schematic of experimental setup for fire simulation.

측정하였다. 사용된 톱밥의 무게도 500 g과 1,000 g이다. 본 연구의 연소실에서는 이러한 양의 가연물을 연소시켰을 때 기존 화재감지시스템의 정온식, 차동식, 이온화식과 광전식감지기는 짧은 시간에 모두 동작하였다. 따라서 이러한 양의 가연물을 화재상황으로 고려하였다.

Fig. 9는 실험장치의 개략도를 나타낸다. K-type thermocouple과 광투과형 연기농도측정기를 Fig. 9와 같이 부착하여 small-scale로 화재실험을 수행하였다. 사용된 연소실은 가로 1.1 m×세로 1.1 m×높이 1.7 m로서 약 2 m³이다. 연소실의 재질은 STS-304이고 온도와 연기농도 측정은 상온 대기압하에서 수행하였다. 연소실의 K-type thermocouple의 표면은 알콜로 세척하여 온도편차가 발생되지 않도록 하였다.

5. 결과 및 분석

Fig. 10은 Matlab에서 화재가능성이 추론되는 과정

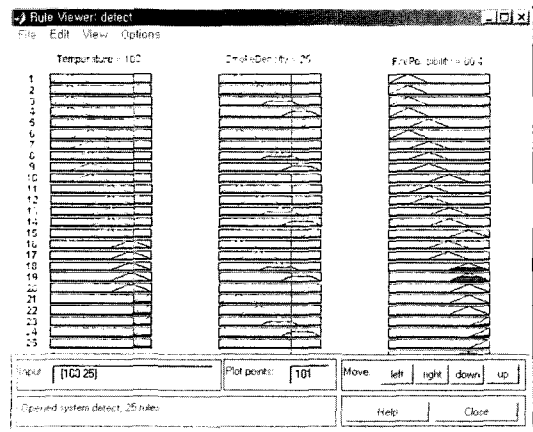


Fig. 10. Determination of the crisp output value according to temperature and smoke density.

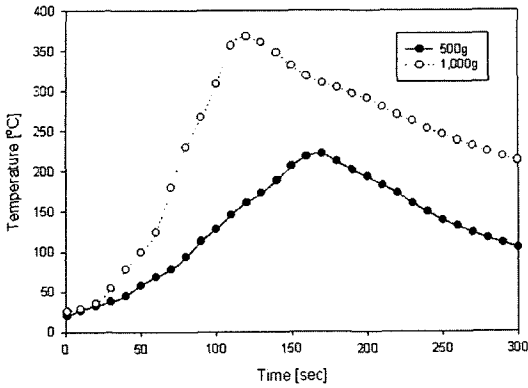


Fig. 11. Temperature vs. time for paper.

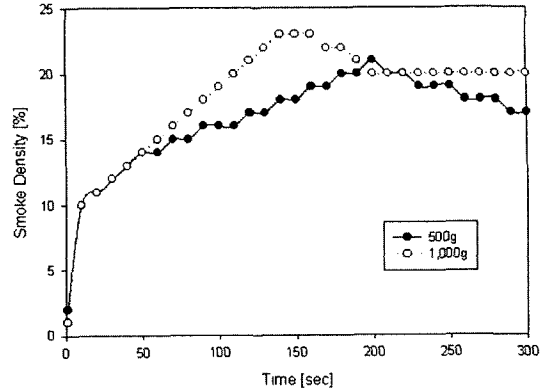


Fig. 12. Smoke density vs. time for paper.

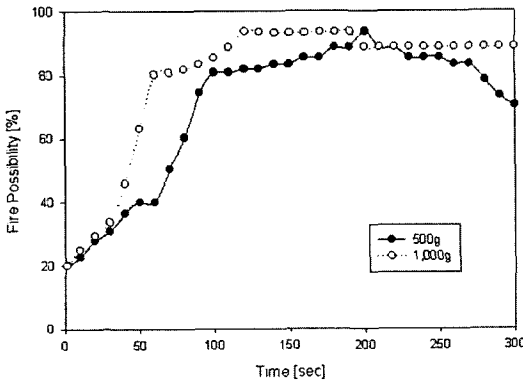


Fig. 13. Fire possibility vs. time for paper.

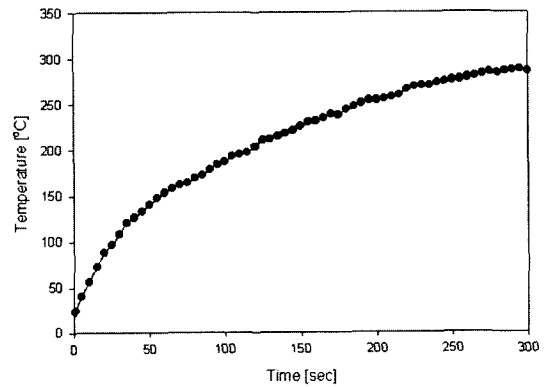


Fig. 14. Temperature vs. time for Ethanol.

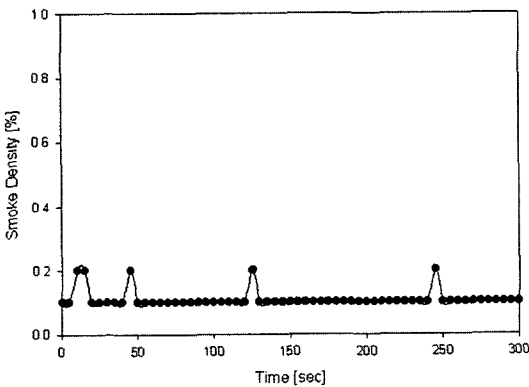


Fig. 15. Smoke density vs. time for Ethanol.

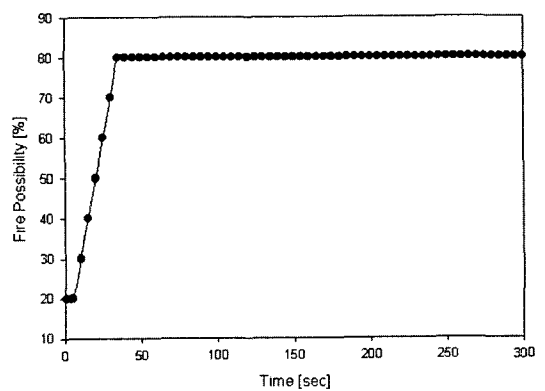


Fig. 16. Fire possibility vs. time for Ethanol.

을 나타낸 것이다. 그림은 온도 100°C, 연기농도 25%가 입력되었을 때 화재가능성 추론에 대한 예를 나타낸 것으로 화재가능성이 80.4%로 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 과정으로 추론된 화재가능성을 시간에 따라 나타낸 것이 Fig. 13, 16, 19, 22이다.

Fig. 11, 12는 종이 500g과 1,000g을 연소시켰을 때 발생하는 온도와 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. Fig. 13은 종이 500g와 1,000g에 대한 시간에 따른 화재가능성을 나타낸다. 시간에 따라 온도와 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. 14, 15는 에탄올 500ml를 연소시켰을 때 발생하는 열과 연기농도를 나타낸다. 에탄올은 연기가 거의 발생되지 않고 많은 화염만 발생하면서 연소한다. Fig. 16은 에탄올에 대한 화재가능성을 나타낸다. 에탄올의 화재가능성은 20%~80%이고 80%가 되는 시점에서 본 연구의 시스템은 화재경보를 발신하게 된다.

Fig. 17, 18은 플라스틱 500g, 1,000g에 대한 열과 연기농도를 나타낸다. 플라스틱은 적은 화염과 많은 양의 연기를 발생하면서 연소한다. 그림에서 알 수 있듯이 본 연구의 결과도 마찬가지로 상대적으로 온도에 비하여 높은 연기농도값이 측정되었다. 이것을 실제상

황으로 예를 들면, 대구지하철 화재사고와 같은 다량의 유독가스와 연기가 발생하는 화재로 간주할 수 있다. 따라서 이러한 경우에 화재감지시스템은 반드시 화재경보를 발신해야 한다. Fig. 19는 본 연구의 연소실에서 플라스틱 500g과 1,000g이 연소했을 때의 화재가능성을 나타낸다. 500g의 플라스틱을 연소시켰을 때 화재가능성은 40.8%~69.1%로 본 연구의 시스템은 화재가능성이 60%가 되는 시점에서 예비경보를 발신함으로써 관리자에게 화재에 대한 주의를 경고하게 된다. 또한 1,000g의 플라스틱을 연소시켰을 때 화재가능성은 33.8%~88.1%로 나타났다. 마찬가지로 화재가능성이 60%가 되는 시점에서는 예비경보를 발신하고, 발생하는 온도와 연기농도의 양에 따라 추론되는 화재가능성이 계속 높아져 80%가 되는 시점에서는 화재경보를 발신하게 된다.

Fig. 20, 21은 본 연구의 연소실에서 톱밥 500g과 1,000g을 연소시켰을 때 발생하는 온도와 연기농도를 나타낸다. 톱밥은 화염은 보이지 않고 연기농도만 많

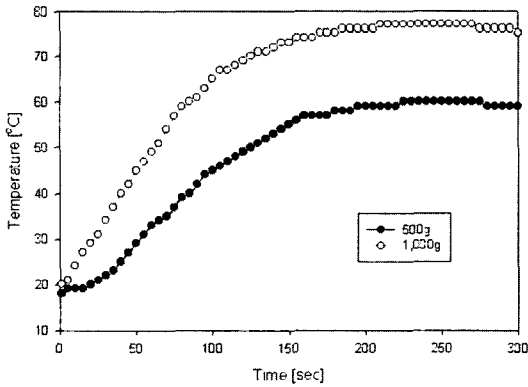


Fig. 17. Temperature vs. time for plastic.

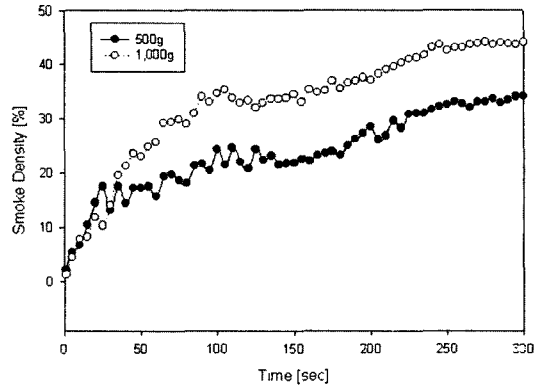


Fig. 18. Smoke density vs. time for plastic.

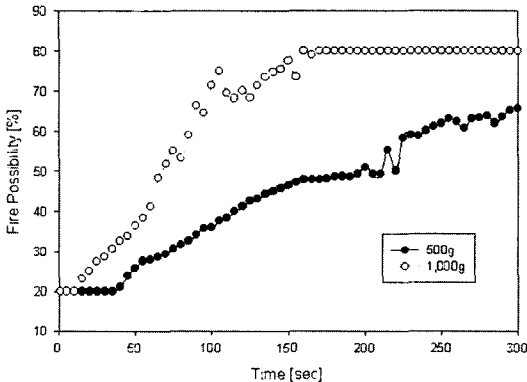


Fig. 19. Fire possibility vs. time for plastic.

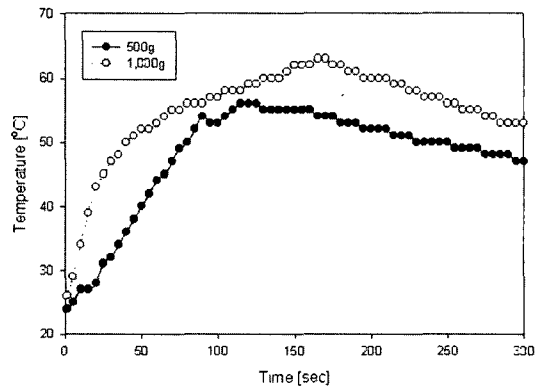


Fig. 20. Temperature vs. time for saw dust.

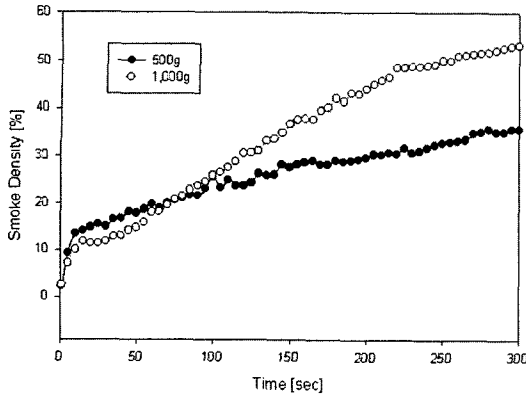


Fig. 21. Smoke density vs. time for saw dust.

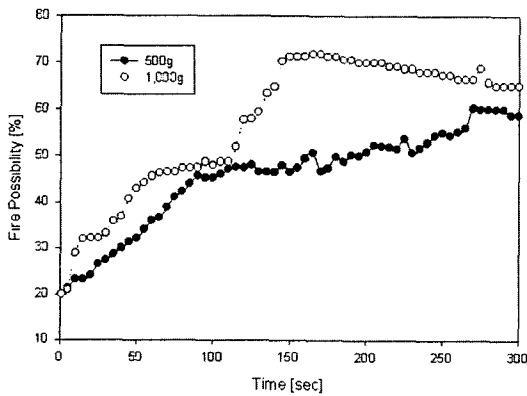


Fig. 22. Fire possibility vs. time for saw dust.

이 발생하면서 연소하였다. 톱밥을 연소시키면 많은 양의 연기가 발생하게 되는데 플라스틱의 예와 마찬가지로 이와 같은 상황은 훈소화재로 간주할 수 있다. Fig. 22는 톱밥 500g와 1,000g에 대한 화재가능성을 나타낸다. 500g의 경우에는 화재가능성이 60%가 되는 시점에서 본 연구의 시스템은 예비경보를 발신하게 된다. 따라서 관리자는 예비경보가 울린 지역을 점검하게 되고, 약간의 연소물이 연소하고 있는 상태라면 관리자가 조기에 소화함으로써 더 큰 화재로 확대되는 것을 방지할 뿐만 아니라 실제 화재경보에 의하여 건물내의 사람들이 피난 등으로 인한 사회적, 경제적 손실도 미연에 방지할 수 있게 된다. 1,000g의 경우에는 화재가능성이 20%~73%로 500g의 경우와 마찬가지로 예비화재경보를 발신하게 된다.

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

6. 결 론

본 논문은 화재로부터 발생하는 온도와 연기농도를 이용하여 퍼지로그직을 적용한 화재감지시스템을 제시한 연구이다. 본 연구에서 제시하는 화재감지시스템은 온도와 연기농도의 입력변수를 가지고 추론 알고리즘을 통하여 화재가능성을 계산하는 프로그램을 포함하고 있다. 시스템의 성능을 검증하기 위해서 불꽃화재와 훈소화재에 대하여 분석한 결과 본 논문의 조건하에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존 화재감지시스템의 ON-OFF식 화재판정기준과는 달리 본 연구에서 제안하는 화재감지시스템은 화재로부터 발생하는 온도와 연기농도를 가지고 퍼지추론하여 계산된 화재가능성의 수치에 따라 예비화재경보, 화재경보와 같이 단계별로, 화재가능성의 비율로 화재를 경보할 수 있어 보다 다양한 정보를 제공할 수 있다.

2. 불꽃화재를 상정하기 위하여 종이와 에탄올을 연소시켜 분석한 결과 종이는 화재가능성이 90%이상, 에탄올은 80%의 높은 값을 나타냈다. 이를 통하여 본 연구의 화재감지시스템은 화염이 많이 발생하는 불꽃화재에 대하여 비교적 정확하게 화재를 진단하는 것으로 판단된다.

3. 훈소화재를 상정하기 위하여 플라스틱과 종이를 연소시켜 분석한 결과 플라스틱은 화재가능성이 69.1%와 80%이상의 값을 나타냈고, 톱밥은 60.4%와 70%이상의 값을 나타내어 본 연구에서 제안하는 화재감지시스템은 연기가 많이 발생할 때 확실한 화재상황과 화재로 전이할 수 있는 상황에 대하여 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Muller, H. C. and Fischer, A., "A Robust Fire Detection Algorithm for Temperature and Optical Smoke Density using Fuzzy Logic", IEEE Security Technology Proceedings, pp197-204(1995).
2. Shu Wang, "A Trend-Duration and Gradient Detector for Automatic Fire Detection", Fire Safety Journal, Vol. 27, pp239-248(1996).
3. 백동현, 김기화, "Fuzzy Measure를 이용한 화재감지의 기본설계", 한국화재소방학회지, Vol. 10, No. 3, pp19-28(1996).
4. 서영수, 백동현, "계층적 Fuzzy 감지기에 대한 연구", 한국화재소방학회지, Vol. 11, No. 2, pp45-53(1997).
5. T. J. Ross, Fuzzy Logic with Engineering Applications, pp.82-126 McGraw-Hill Inc.(1995).

6. 이광형, 오길록, 퍼지이론 및 응용, Vol. 2, pp5-14, 홍릉과학출판사(1992).
7. 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, pp1161-1171(2000).
8. 채 석, 오영석, 퍼지이론과 제어, pp.269-286, 청문각 (2003).
9. A. Kandel and G. Langholz, Fuzzy Control Systems, pp100-134, CRC Press(1994).
10. 홍성호, 김두현, "열방출률을 이용한 열감지기의 오동작 경계값분석", 한국화재소방학회지, Vol. 17, No. 3, pp26-30(2003).