

논 · 문

Fuzzy Measure를 이용한 화재감지기의 기본설계

백 동 현*

Baek, Dong-Hyun

김 기 화**

Kim, Ki - Hwa

Abstract

This paper present the way the fire detector determines whether a fire has broken out or not using the fuzzy measure.

This method is based on Dempster's combination rule using the belief measure. The detector indicate a 'Fire'(F) or 'Nonfire'(N) when it determines whether a fire has broken out or not. To determine this, the fuzzy rule is applied in the setting value for the heat and smoke detector which is used.

As a result, It is proved that the final decision can be determined more exactly whether a fire has broken out or not in proportion to the frequency of the fuzzy measure and the value of Bel(F).

국문요약

본 논문은 Fuzzy Measure를 이용한 화재감지기의 사고판정을 결정하는 방법을 제시한것으로 Belief measere를 기본으로하여 Dempster의 결합 Rule을 사용하였다. 감지기에서의 화재 판정 결정은 화재(F), 비화재(N)의 2가지로 하였으며, 이를 판정하기 위해 현재 사용되고있는 열, 연기감지기에 대한 정정값에대해 Fuzzy Rule을 적용하여 시뮬레이션 하였다.

그 결과 Fuzzy Rule의 수를 많이 적용 할수록, 최종동작은 Bel(F)의 값을 높게 할수록 확실한 화재 판별이 가능함을 입증 하였다.

Key words : Fuzzy measure(퍼지측도), Dempster의 결합 Rule

1. 서론

화재감지기는 화재시에 발생되는 열, 연기, 불꽃, GAS 등에 대하여 감지기 회로에서의 정정값과의 비교를 통하여 정해진 기준을 넘을 경우 화

* 경원전문대 소방안전관리과 교수, 학술이사
** 상지전문대 전기과 교수

재로 판정한다. 그러나 데이터에는 측정오차 및 상황에 따른 오차등이 포함되어 있으며, 정정값을 기준으로 신호를 발신하게 되어있는 화재감지기의 동작은 상황에 따라 불확실한 경우가 발생한다. 또한 화재판정에 있어서도 화재에서 보듯이 어떤 정보를 가지고 어떤 한가지 기준에 의하여 사고를 판단할 수 있는지가 불확실한 경우도 있

다. 이러한 입력정보의 불확실성 및 판정기준의 모호성은 비화재보를 발생하여 화재감지기의 오동작 원인이 되어 설비의 기능면에까지 영향을 끼쳐 제품의 신뢰성 저하의 요인인 된다.

화재감지기의 성능이 현장에 적용할 수 있도록 되어 있는 것이 아니고 일정한 화재상황이되면 작동되도록 되어있으므로 그동안 화재감지기의 동작신뢰도를 높이기 위해서 단일기준에 의한 판단방법의 개선에 치중하여 왔으나 이는 화재 현상의 복잡성과 다양성에 비추어 볼 때 근본적으로 한계가 있다고 할 수 있으므로 자동화재탐지설비의 고장을 감소 노력과 더불어 감지기에서는 입력정보 및 동작값의 Uncertainty의 처리문제에 대한 개선이 요구된다. 이러한 문제점을 해결하는 방법으로서 최근 축적형 수신기나 Analog 감지기가 개발하여 사용하고 있다. 또한 다중센서(Multiple Sensor)를 사용하여 이를 각각으로부터 발생하는 신호를 인식한다든가, Fuzzy Logic을 이용하여 이온화식 연기감지기에서 발생하는 모든 경우에 있어서의 패턴인식법이 보고^{2~4)}되고 있다. 이종 Fuzzy Logic을 이용하는 방법은 다양한 정보와 다양한 판단방법을 종합적으로 고려할 수 있으므로 화재감지기의 화재판단 신뢰도를 높여줄 것으로 기대된다. 그러나 'Vagueness' 성격의 불확실성을 갖는 Fuzzy Set은 입력정보의 처리에는 적절한 기법이기는 하나 판정방법에 포함된 'Ambiguity' 성격의 불확실성을 다루는데는 어려운점이 있다.

본 논문에서는 Belief Measure를 이용하여 다양한 기준에 의한 화재상황을 종합 판단하는 새로운 개념의 Fuzzy 화재감지기를 제안한다. 입력정보와 화재감지기 정정값의 불확실성을 다루기 위하여 Fuzzy화한 정보로 변환하였으며 이들의 결합으로 화재에 대한 확신도를 결정하며 이를 기준으로 화재 판단을 수행하게 된다.

2. 화재감지기 화재판정 방법

가연물의 연소에 의해 발생하는 모든 현상들이 화재를 감지하는 대상이나 온도, 농도 등을 이용한 열, 연기감지기등이 주로 사용되고 있다. 일반적

으로 감지기 종별에 따라 다르나 열감지기는 온도의 범위가 정온식에서는 종별에 따라 60°C, 90°C, 110°C의 범위에서 화재판정을 하고, 연기감지기의 이온화식에서는 연기농도가 16-32%, 광전식에서는 5-15%의 농도에서 동작되도록 되어 있으며 일상의 현상과 확실히 구분되어야만 감지될 것이 요구되나 실제는 화재와 유사한 현상들이 발생되고 있으므로 감지기가 설치된 장소에서 감지기 회로 자체가 화재라고 판단할 수 있는 정정값 이상이 되면 신호를 발신하게 된다. 그러므로 실제 화재가 발생하지 않았어도 감지기의 환경이 화재시 발생되는 상황이되면 신호를 발신하게 된다. 이러한 감지기는 가격면에서는 유리할지 모르나 동작적으로는 비화재보의 발생을 초래하게되어 설비의 신뢰도에 영향을 미치게하는 요인인 된다.

3. 기본적인 Fuzzy Logic

3.1 Fuzzy Set

임의의 영역에서 어떤 함수 A가 속한 정도를 표현하는 것으로 전체집합 X에 대해 0과 1의 crisp한 값일때 특성함수 μ_A 를 valuation set이라고 부르고, 0과 1사이에 실수의 간격을 고려한 것이 fuzzy set이다.

fuzzy set의 원소는 fuzzy set내의 membership의 정도와 원소의 쌍으로 구성된다. membership 함수는

$$\mu : X \rightarrow [0, 1]$$

이다.

fuzzy set A는

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

X : 전체집합

$\mu_A(x)$: 불확실한 정도

$\mu_A(x)$ 가 높다는 것은 membership의 정도가 높다는 것을 나타낸다.

일반적으로 사용하는 fuzzy set의 정의는 그림 1과 같이 표현된다.

만일 $C = A \cap B$ 이면

$$\mu_C(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2)$$

만일 $C = A \cup B$ 이면

$$\mu_C(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3)$$

그리고 $C = \bar{A}$ 이면

$$\mu_C(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (4)$$

실제로 Min과 Max기능의 적용은 사용하는 사람에 따라 다르게 적용시킬 수 있다.

일반적으로 불확실한 set으로부터 최종적으로 이용하는 명확한 set으로 만드는 것은 α -cut을 이용한다.

$$A_\alpha = \{x | \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad (5)$$

α 값보다 큰값을 명확한 set으로 놓는다.

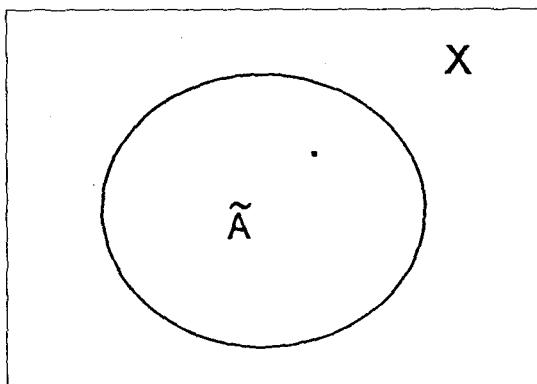


그림 1. Fuzzy Set.

3.2 Fuzzy measure

불확실성 (Uncertainty)에는 'Vagueness'와 'Ambiguity' 두 가지가 있다. Fuzzy Set 이론으로 나누어지는 Vagueness는 경계의 불확실성으로 인한 Uncertainty를 나타내며 Fuzzy Measure로 나누어지는 Ambiguity는 어느 crisp set에 속하느냐의 선택상의 Uncertainty를 나타낸다. 본 연구에서는 그림 2.에서와같이 다루고 있는 화재감지기의 문제(X)는 명확한 경계를 갖고 있는 Crisp 한 상태인 '화재(A)' 아니면 '비화재(B)'의 상태중 현재 상태가 주어진 열, 연기등의 정보를 증거로 볼 때 어느 상태에 속하느냐의 선택의 문제로서 Fuzzy Measure 문제이다.

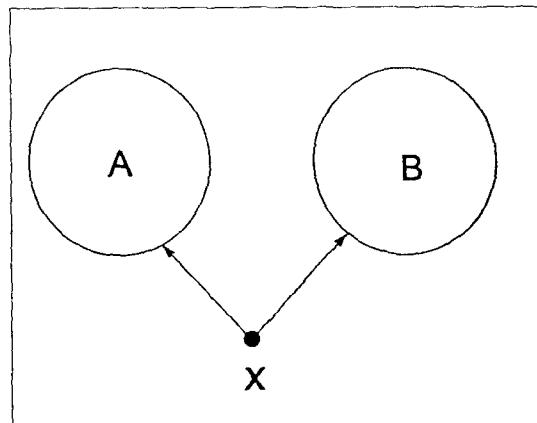


그림 2. Fuzzy Measure.

Fuzzy Measure에는 그림 3.과 같이 Belief measure, Plausibility measure, probability measure, possibility measure, Necessity measures 등이 있으며 이 중 가장 많이 이용되는 Belief Measure의 기본 이론은 다음과 같다.

Belief Measure는 Axiom 1-4를 만족시키고 Universal Set X 의 Power Set $P(X)$ 를 0에서 1 사이의 값으로 mapping 시키는 함수로 정의된다. 즉

$$Bel : P(X) \rightarrow [0, 1]$$

$$\text{Axiom 1} : g(\emptyset) = 0 \text{ and } g(X) = 1.$$

$$\text{Axiom 2} : A, B \in P(X), A \subseteq B, \text{이면}$$

$$g(A) \leq g(B).$$

$$\text{Axiom 3} : A_i \in P(X), i \in N$$

$$A_1 \subseteq A_2 \subseteq \dots \text{ OR } A_1 \supseteq A_2 \supseteq \dots \text{이면}$$

$$\lim_{i \rightarrow \infty} g(A_i) = g(\lim_{i \rightarrow \infty} A_i)$$

$$\text{Axiom 4} : Bel(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) \geq \sum_i Bel(A_i)$$

$$- \sum_{i < j} Bel(A_i \cap A_j) + \dots + (-1)^{n+1}$$

$$Bel(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n)$$

Belief measure는 degree of evidence를 나타내는 bpa (basic probability assignment) 함수 m 으로부터 구하여진다.

$$m : P(X) \rightarrow [0, 1] \quad (6)$$

$$m(\phi) = 0, \sum_{A \in P(X)} m(A) = 1 \quad (7)$$

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B) \quad (8)$$

다수의 정보시 각각의 증거 또는 정보는 각기 다른 m 값을 갖게되며 이들은 Dempster 의 결합률을 이용하여 합성된 m 을 계산할 수 있으며 이로부터 최종 Belief 값이 구하여진다.

$$m_{i,2}(A) = \frac{\sum_{B \cap C = A} m_i(B) \cdot m_2(C)}{1 - K} \quad (9)$$

$$K = \sum_{B \cap C = \phi} m_i(B) \cdot m_2(C) \quad (10)$$

4. FUZZY 감지기의 구성

그림 4.에서 보는바와 같은 기본구조를 갖는 Fuzzy 감지기는 상황으로부터 온도, 연기, GAS 등을 검출할 수 있는 센서들로부터 얻은 다양한 정보를 MAIN CPU에 전달하기 위해 아날로그 필터, 증폭기등 각각의 변환기 TD를 통하여 취득하고, 이 Data를 Digital Filter등으로부터 필요에 따른 가공데이터를 처리하는 PP를 통하여 생성한다. 취득된 Data를 Fuzzy signal FSG에서 Fuzzy 신호화한다. 또한 Fuzzy Rule로부터 생성된 Fuzzy setting값과 그 값을 조절할 수 있는 S

Tuner로부터 제공되는 Fuzzy 정정값과 비교하여 전 Fuzztsignal면적에 대한 Fuzzy setting값과의 중복된 면적을 각각의 Fuzzy setting값과의 비로써 판단 Rule의 조건부 확신도를 결정하고 이 값으로부터 지지되는 상태 (화재, 비화재)를 갖는 판단 Rule의 결론부의 확신도를 곱하여 bpa 값을 MG에서 결정한다. 결정된 값을 Dempster의 결합 Rule인 식 (9)를 이용하여 여러 MG를 복합적으로 산출한다. 이와 같은 과정을 모든 판단 Rule에 적용하여 최종적으로 화재(F), 비화재(N) 상태에 대한 Belief를 계산한다. 산출된 Belief값에 대한 동작의 임계값은 일반적으로 0.5 또는 0.7이상으로 정할 수 있으나 감지기 설치장소의 주위환경 변화에 따른 많은 비화재보 발생을 감안하여 동작의 임계값보다 높은 값인 0.8이상으로 하는 것이 더욱 확실한 동작신호를 생성할 수 있음으로 이러한 값을 결정하는 Bel Tuner로부터의 임계값과 비교를 통하여 최종 동작신호를 발생시킨다.

4.1 FUZZY 신호

입력 정보에 포함된 불확실성을 고려하기 위하여 입력 정보는 데이터 윈도우의 Fuzzy membership degree를 1로하여 입력 Data윈도우 내의 최소값, 최대값을 좌우 경계로한 삼각형 membership 함수를 갖는 Fuzzy신호로 그림 5.와같이 변환시킨다.

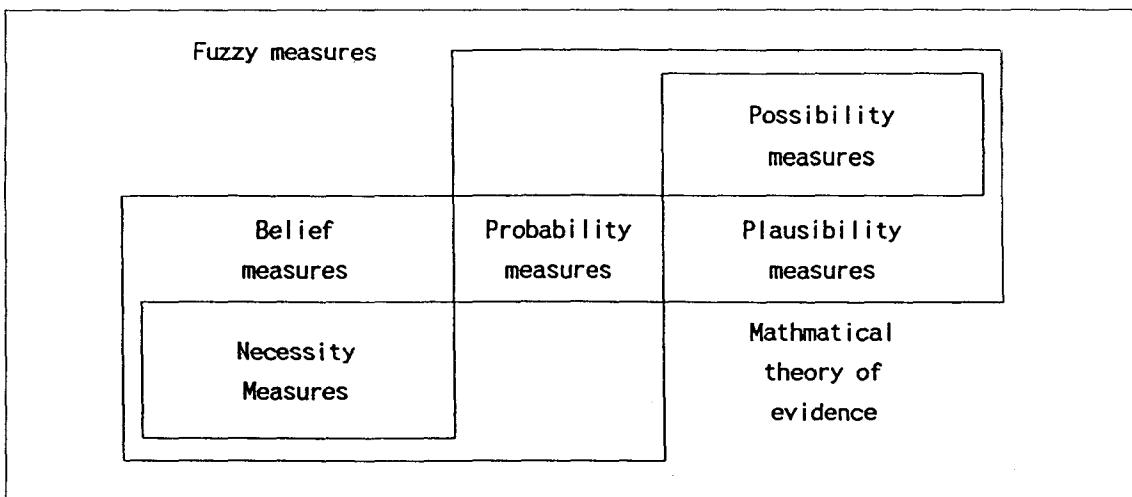


그림 3. Fuzzy Measure의 영역.

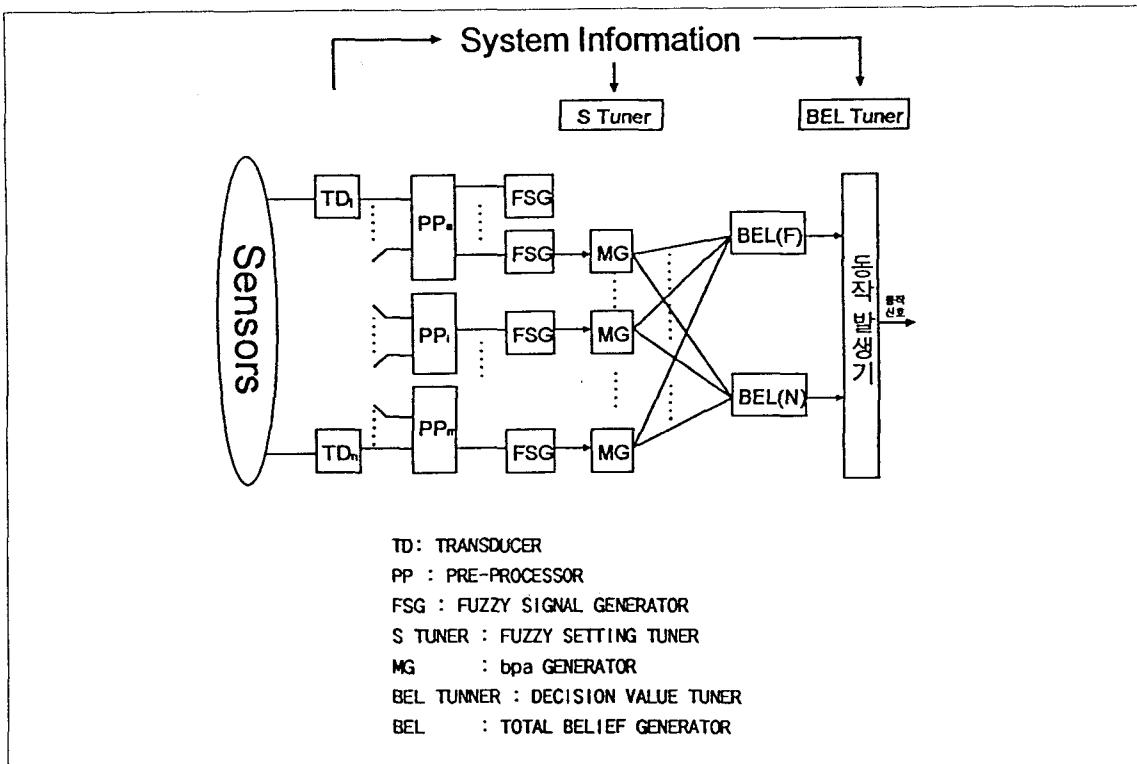


그림 4. Fuzzy 화재감지기의 구조.

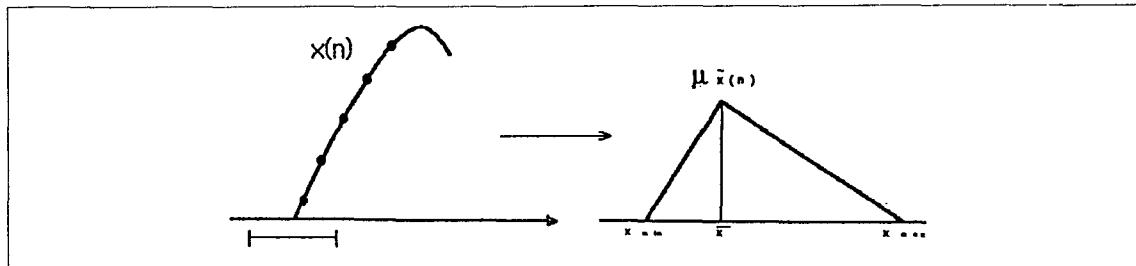


그림 5. Fuzzy Signal.

4.2 판단 RULE 과 Fuzzy 정정값

판단 Rule은 증거부와 이에 의하여 지지되는 상태와 지지도 값으로 구성되는 결론부를 가지며 이의 일반적 형태는 다음과 같다.

$$S_{i1} < E_i < S_{i2} \rightarrow \{F, m_{i1}\}, \{N, m_{i2}\}, \\ \{(F, N), m_{i3}\}, \{H, m_{i4}\}$$

여기서 판단 Rule의 증거 E_i 는 입력 상황으로부터 취득된 Fuzzy Signal로서 Fuzzy 정정값(S_i) 조건을 만족할 경우 지지되는 2가지 상태인 화재

(F), 비화재 (N)와 각각에 배정되는 지지도 (m)로 구성된다. 조건부는 아래의 3가지 형태가 가능하며 각각의 경우에 대한 Fuzzy 정정값은 이에 해당하는 임계값을 membership degree를 0.5로하여 그림 6과 같이 구성한다.

5. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션은 비화재보가 아닌 화재상황을 설정하여 Fuzzy 화재감지기의 개발을 위해 열 및 연

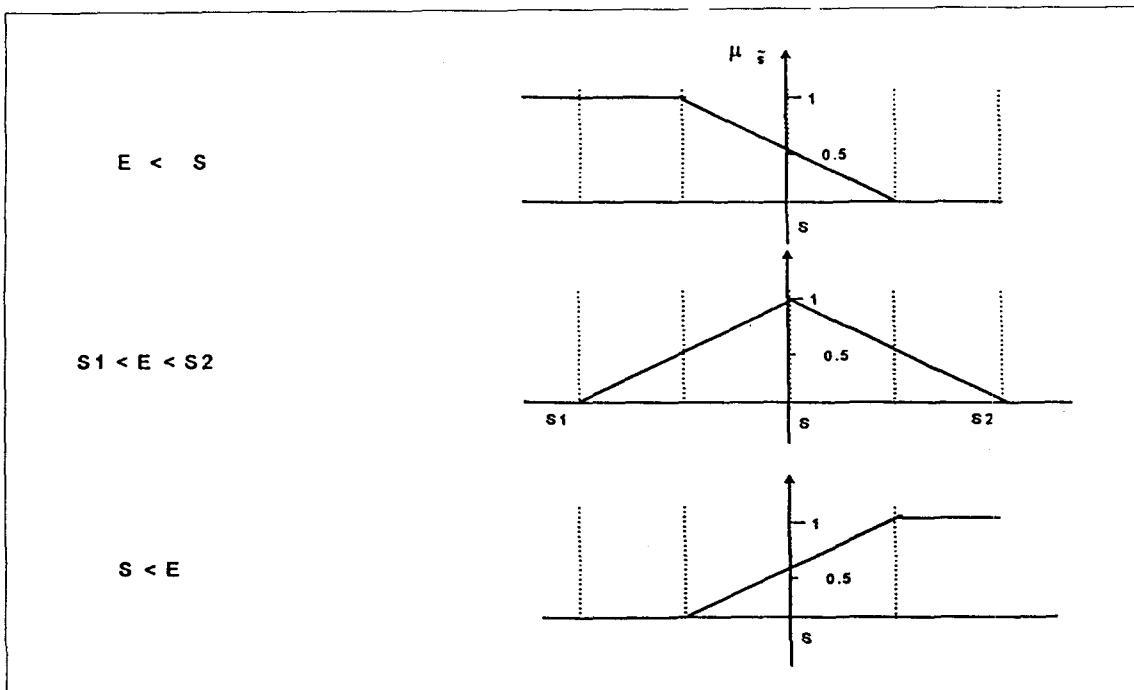


그림 6. Fuzzy Setting.

기감지기에 적용한 것이다. 기존의 화재감지 방법에는 대부분 열감지기 및 연기감지기가 독립적으로 적용되고 있을 뿐만 아니라 열감지기는 감지기에 전달되는 온도의 크기가 일정수준 또는 일정온도상승을 이상의온도에 도달하였을 경우 이 온도를 감지하여 화재유무를 판정하고, 연기감지기는 빛의 양이나 연기 농도에 의한 전류 변화분을 검출하여 화재유무를 판정한다. 그러나 이와 같은 화재유무 판정의 경우 경제적인 면에서는 장점이 있겠지만 감지기 외적인 요소로 발생되는 기능상의 문제점은 한계성이 있기 때문에 감지기 설치장소의 환경에 따라 변화되는 정정값을 감지기 자체에서 해결하도록 한 것이다. 이를 위해 환경적인 측면을 고려할 수 있는 인공지능 기능을 갖도록 복합 감지센서 또는 단일센서에의한 Detector의 적용유무를 온도와 연기의 2가지 정보를 이용하여 중첩 판단할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션은 동일한 조건으로 Rule을 열감지기 3개와 연기감지기 3개, 총 6개에 적용하여 1차 시뮬레이션하였고, 각 감지기에 대해 5개씩 10개의 Rule로 2차 시뮬레이션 하였다. 1차 시뮬레이션 결과값은

표 1과 같고, 2차 시뮬레이션하였을때의 값은 표 2와 같다. 본 논문에서는 2차 시뮬레이션의 내용으로 화재(F)와 비화재(N)를 구별하기 위한 10개의 Fuzzy Rule을 다음과 같이 구성하였다.

(1) 열감지기의 경우

Rule 1 : IF(열 감지기의 온도가 약 90도 이상 경우)

Then(F, 1)

Rule 2 : IF(열 감지기의 온도가 약 70도 이상, 약 90도 미만 발생)

Then(F, 0.8)(N, 0.1)

Rule 3 : IF(열 감지기의 온도가 약 50도 이상, 약 70도 미만 발생)

Then(F, 0.7)(N, 0.2)

Rule 4 : IF(열 감지기의 온도가 약 40도 이상, 약 50도 미만 발생)

Then(F, 0.6)(N, 0.2)

Rule 5 : IF(열 감지기의 온도가 약 40도 미만 발생)

Then(N, 1)

(2) 연기감지기의 경우

- Rule 6 : IF (연기 감지기에 대한 연기 농도가 약 25% 이상 발생)
Then(F, 1)
- Rule 7 : IF(연기 감지기에 대한 연기 농도가 약 20% 이상 발생 약 25%미만 발생)
Then(F, 0.8)(N, 0.1)
- Rule 8 : IF(연기 감지기에 대한 연기 농도가 약 15% 이상 발생 약 20%미만 발생)
Then(F, 0.6)(N, 0.2)
- Rule 9 : IF(연기 감지기에 대한 연기 농도가 약 8% 이상 발생 약 15%미만 발생)
Then(F, 0.6)(N, 0.3)

- Rule 10 : IF (연기 감지기에 대한 연기 농도가 약 8% 미만 발생)
Then(N, 1)

시뮬레이션을 통하여 생성된 연기감지기의 Signal을 Fuzzy Signal로 변환시킨 것은 그림 7 의 (a)와 같으며 열감지기 농도에 대한 Signal을 Fuzzy Signal화한 데이터는 그림 7.의 (b)와 같다.

Fuzzy Rule에 보이는 정정값을 Fuzzy화한 것은 그림 8과 같다.

그림 7.에 의한 Fuzzy 신호와 그림 8.에 의한

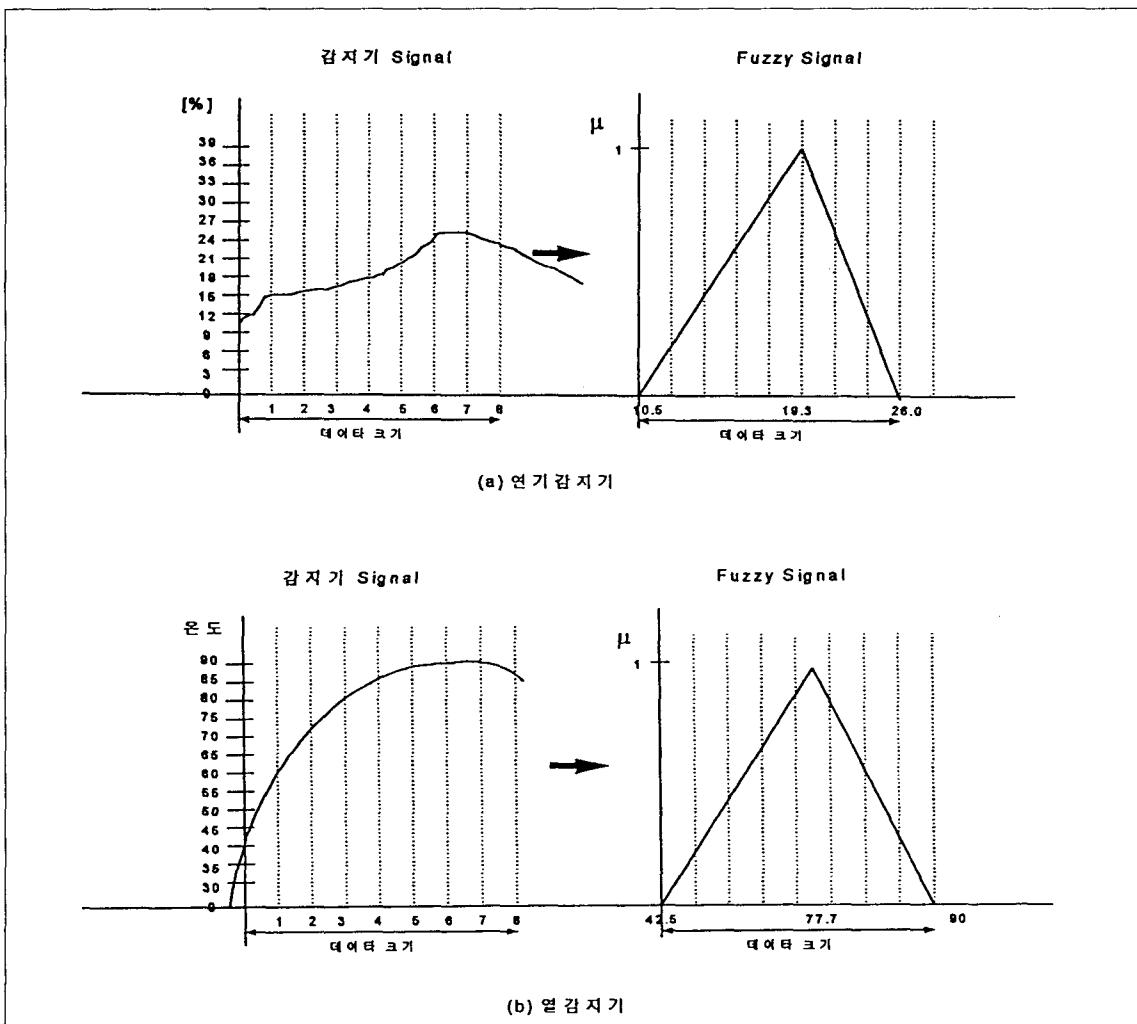


그림 7. Fuzzy signal 변환.

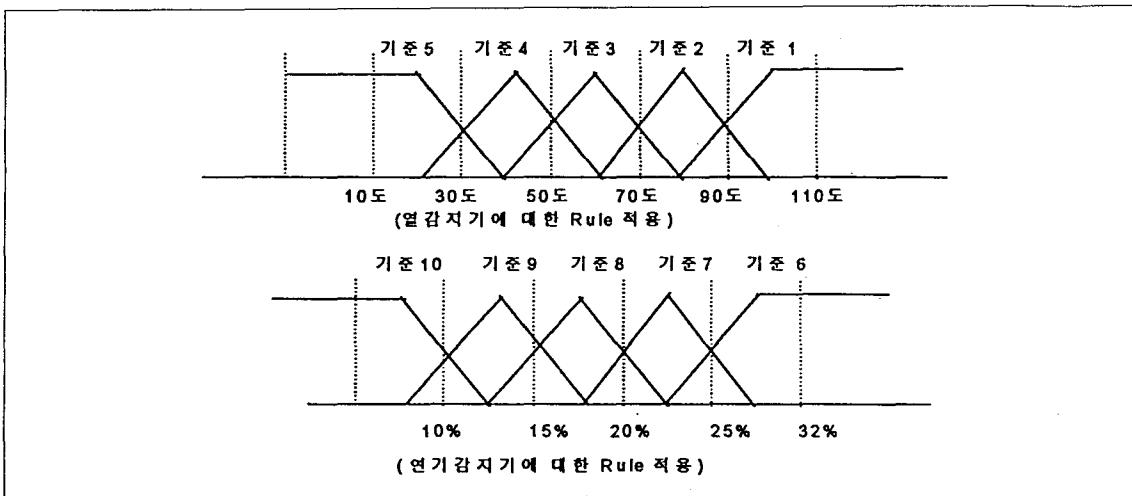


그림 8. 적용 Fuzzy Setting.

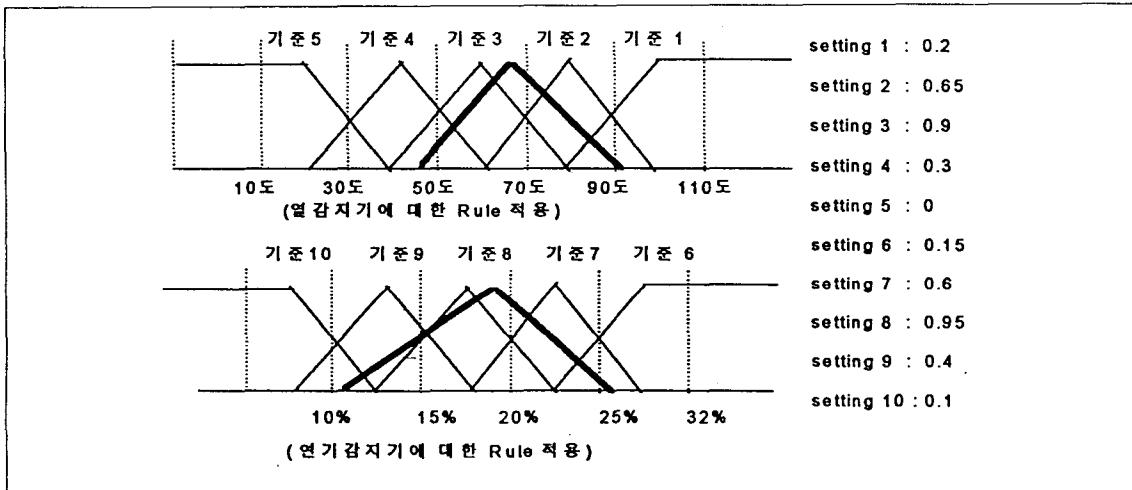


그림 9. 화재 감지기 Setting과 결합값.

Fuzzy 정정값을 면적 비로 구한 각 Rule의 조건부 확신도는 그림 9.와 같이 구하여 진다.

조건부 확신도에서 각 Rule의 확신도 또는 Rule 자체의 bpa는 식 (9)와 식 (10)에 의해 구할 수 있으며 Rule의 최종 bpa는 표 1. 및 표 2.와 같다.

$$Bel(F) = \sum_{A \in F} m(A) = 0.963$$

$$Bel(N) = \sum_{A \in I} m(A) = 0.032$$

1차 시뮬레이션을 통한 화재(F), 비화재(N)의

화재 유무 판정은 표 1.에서와 같이 Rule 1-3인 열감지기에서는 화재(F)가 0.485로 지지되었고 비화재가 0.200로 지지되었으며, Rule 4-6인 연기감지기를 추가하였을 경우에는 화재(F)가 0.576, 비화재(N)가 0.204를 지지하였다. 또한 2차 시뮬레이션 결과 열감지기에서는 화재(F)가 0.853, 비화재(N)가 0.088을 지지하였고, 연기감지기를 포함시켰을 때에는 화재(F)가 0.963, 비화재(N)가 0.032를 지지하였다.

그 결과 Bel Tuner의 값을 0.7로 하였을 경우 1차 시뮬레이션에서는 화재로 동작하지 않았으나 2

표 1. 1차 시뮬레이션 확신도.

Rule 번호	조건부	결론부	F	N	F, N
1	0.30	F : 1.0	0.300	0.00	0.700
2	0.60	F : 0.6	0.526	0.133	0.341
		N : 0.3			
3	0.15	N : 1.0	0.485	0.200	0.315
4	0.30	F : 1.0	0.618	0.149	0.233
5	0.70	F : 0.7	0.629	0.130	0.241
		N : 0.2			
6	0.20	N : 1.0	0.576	0.204	0.220

표 2. 2차 시뮬레이션 확신도.

Rule 번호	조건부	결론부	F	N	F, N
1	0.20	F : 1.0	0.200	0.000	0.800
2	0.65	F : 0.8	0.610	0.053	0.336
		N : 0.1			
3	0.90	F : 0.7	0.831	0.093	0.075
		N : 0.2			
4	0.30	F : 0.6	0.853	0.088	0.061
		N : 0.2			
5	0.00	N : 1.0	0.853	0.088	0.061
6	0.15	F : 1.0	0.873	0.076	0.053
7	0.60	F : 0.8	0.928	0.047	0.026
		N : 0.1			
8	0.95	F : 0.6	0.962	0.031	0.008
		N : 0.2			
9	0.40	F : 0.6	0.967	0.028	0.006
		N : 0.3			
10	0.10	N : 1.0	0.963	0.032	0.005

차 시뮬레이션에서는 0.963으로 나타나 화재상황으로 동작하여 동일 조건에서는 Rule의 수량이 많을수록 정밀도 높은 판정을 하였다. 그러나 Fuzzy 감지기 확신도 결합계산량은 Rule의 수량이 많을수록 이에 비례하여 증가하게 되므로 고성능 프로세서가 요구되며 멀티센서를 이용하면 더욱 정확한 화재 판별이 가능하다.

6. 결 론

본 논문에서는 비화재보의 원인이 되는 감지기 주위 환경으로부터 입력정보의 불확실성을 Fuzzy 이론으로 해석하고 사고판정에 있어서 다양한 정보 및 판단기준을 Belief Measure를 이용하여 종합 판단하는 새로운 화재감지시스템을 제안하였

다.

시뮬레이션 결과 $Bel(F)$ 의 값을 높은 값으로 하였을 경우 보다 확실한 화재 판별이 가능하였으며 설정한 Rule의 수가 많을수록 확신도가 증가하여 다양한 비화재보 발생 요인들에 대해 적용할 수 있음을 확인하였다.

따라서 단일센서를 사용한 감지기에서도 적용이 가능하며 다중센서를 사용한 감지기에 적용하면 그 효과가 배증되어 설비의 신뢰성과 직결되는 비화재보 방지에 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- George J. Klir and Tina A. Folger, Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information, Prentice

- Hall, 1992
2. M.Thuillard "New Method for Reducing the Number of False Alarms in Fire Detection Systems", Fire Technology, Second Quarter, 1995, PP. 250-268
 3. J.A. Mike, "Analysis of Signature Patterns for Discrimination Fire Detection with Multiple Sensors", Fire Technology, Second Quarter, 1995, PP. 121-136
 4. Thuillard, M. "Fehlalarmunterdrückung mit Fuzzy Logic bei Brandmeldern", Proceedings 3,Aachener Fuzzy Symposium(Frankfurt), Oldenburg Verlag,1993.
 5. T.J. McAvoy, "Using Multivariate Statistical Method to Detect Fire", Fire Technology, First Quarter, 1996, PP. 6-23
 6. 田村裕之,左藤灵由, 火災感知器の 性能向上に 關する 研究, 消防 研究所 報告, 第76號 , 平成 5年, PP. 51-61.
 7. 池田博, ファジィ化 A/D 変換器 設計 チップ化, 日本 ファジィ學會誌. Vol. 4, No. 3, 1992, PP. 171-178 附
 8. 江口 義宏, "自動 試験 機能付の 自動火災報知設備", 日本火災學會誌, Vol. 45, No. 1, 1995, PP. 23-27