

## 계층적 Fuzzy 감지기에 대한 연구

### A Study on the multicriteria Fuzzy Fire Detector

서 영 수\*  
Seo, Young-Soo  
백 동 현\*\*  
Baek, Dong-Hyun

---

#### Abstract

In this article, the Fuzzy Logic as the principle of the multicriteria fire detector is used to determine whether the fire takes out or not.

The main contents of this method as follows; most of all, the degree of the fire is represented as the type of the Fuzzy, and then it is possible to examine whether the fire takes out or not by the principle of the Fuzzy Logic.

The input factors of the fuzzy fire detector are temperature sensor, smoke sensor, light sensor applied to digital type.

On the result of this study, the first, the number of the case of the nonfire alarm which is represented in the existing fire detector is reduced, and the second, the applicability of the fuzzy fire detector is demonstrated by the test.

key words : Fuzzy Logic, Fuzzy reasoning.

#### 국문 요약

본 논문은 화재 감지기의 화재판정을 결정하는 방법으로 화재의 정도를 Fuzzy화 한 다음 Fuzzy Logic을 적용하여 화재와 비화재를 판별할 수 있는 새로운 기능의 Fuzzy감지기를 제안한 것이다. Fuzzy 감지기의 입력요소는 화재의 정확한 판단을 위하여 온도센서, 연기센서, 광센서를 이용하였으며 센서출력 신호를 디지털화 하여 적용하였다.

그 결과 기존의 화재 감지기보다 화재감지 능력은 우수하였으나 정확한 화재판단을 위해서는 보다 많은 Rule을 생성할 수 있는 지식이 필요 하였으며 Fuzzy 감지기를 실제 적용할 경우 그 가능성을 보였다.

---

\* 명지대학교 전기공학과 교수

\*\* 경원전문대 소방안전관리과 교수, 학술이사

## 1. 서 론

기존의 화재감지기는 화재시에 발생하는 열, 연기, 불꽃등에 대해 감지기 회로에서의 정정값과의 비교를 통하여 정해진 기준을 넘을 경우 화재로 판정한다. 그러나 데이터에는 측정오차 및 상황에 따른오차등이 포함되어 있으므로 정정값을 기준으로 신호를 발신하게 되어있는 기존의 화재감지기 동작은 상황에 따라 불확실한 경우가 발생하게 된다. 또한 화재판정에 있어서도 어떤 정보를 가지고 어떠한 하나의 기준에 의하여 화재를 판단할 수 있는지가 불확실한 경우도 있다. 이러한 입력정보의 불확실성 및 판정기준의 모호성은 비화재보를 발생하게하여 제품의 신뢰성 저하는 물론 설비의 기능면에까지 부정적 이미지를 갖게 한다.

이제까지 화재감지기에서는 하나의 입력요소에 대해 화재, 비화재의 단순한 형태를 취하여 하나의 요소로써만 화재를 판단하였으나 각 감지기들의 상황을 종합 판단하여 화재를 판별하게 한다면 비화재보의 감소는 물론 제품의 신뢰성을 크게 증대시킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 퍼지 이론을 적용하여 기존의 화재 판정방법보다 더 정확히 화재상태와 정상상태를 판별할 수 있는 새로운 Fuzzy감지기를 제시한 것이다.

Fuzzy감지기에서는 온도센서와 연기센서, 광센서를 이용하여 얻어지는 3개의 입력변수를 설정한다음 이로부터 얻어지는 순차적인 변수들에 대해 퍼지 Logic을 이용하였으며 화재의 판별은 시뮬레이션한 각각의 상태에 따른 결과값을 산정하여 그 타당성을 검토하였다.

## 2. 퍼지시스템의 입력변수 설정

퍼지시스템에 의한 화재감지기의 화재판정 알고리즘을 구성하기 위해서는 우선 화재상황을 판단할 수 있는 입력변수를 설정하여야 한다. 기존 연구되고 있는 Fuzzy 시스템의 입력변수 처리는 "0"에서부터 모든 입력값을 퍼지시스템의

입력 변수로 적용하고 있으나 화재의 특성상 일정값 이하에서는 화재의 우려가 없으므로 모든 입력값을 퍼지처리할 필요는 없다. 따라서 본 논문에서는 입력변수 설정에 정정값을 설정할 수 있도록 한후 화재판정을 위하여 온도센서 및 연기센서, 광센서를 이용하여 3개의 입력변수를 설정하였다.

### 2.1 온도센서에 의한 퍼지 입력변수의 설정

화재감지를 위해 가장 많이 사용되고 있는 열감지기는 열을 감지하는 온도센서를 적용한다. 이 때 화재상태를 판정하기 위해서는 그림 1.과 같이 감지하는 온도에 대응하는 저항값으로 출력하는 온도센서를 이용한다.

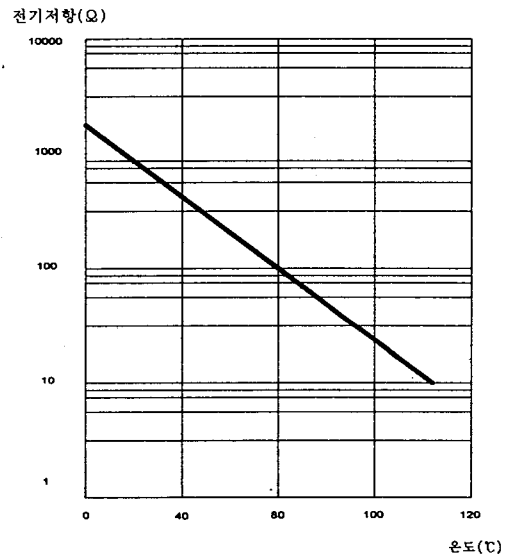


그림 1. 온도센서의 저항 출력.

온도센서로부터 감지된 온도는 식 (1), 식 (2)와 같이 단위시간당 온도의 변화량인 기울기와 측정시의 온도에 따른 값으로 표현한다.

$$T_1 = \frac{\text{온도의 변화량}}{\text{기준시간}} \quad (1)$$

$$T_2 = \alpha(K - T)^\gamma$$

$\alpha : (1 = T > K, 0 = T \leq K)$   
 $\gamma : \text{가중계수}$

(2)

식 (1)에서  $T_1$ 은 그림 2.와 같이 시간에 대한 온도의 변화량인 기울기를 수치화한 것이다. 이 값은 화재발생시 온도의 변화에 따라 화재온도에 도달하는 특성이 고려되어야함으로 화재발생시 빠르고 정확하게 이를 감지할뿐만아니라 정상상태시에는 온도의 변화를 거치지 않으므로 감도를 낮추어 주는 역할을 한다.

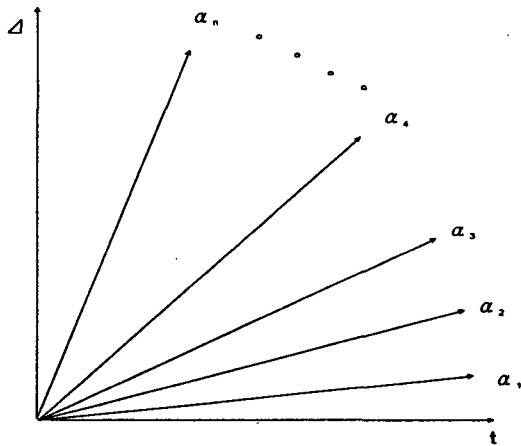


그림 2 시간에 대한 온도 변화량 계수.

식 (2)에서  $T_2$ 는 온도의 가공된 측정값이다. 또한  $\alpha$ 는 설정된 임계값으로 이 값 이하에서는 화재로 인식하지 않도록 하는 온도이다.  $\gamma$ 는 감지기 주위상태에 따른 값이며 시간에 대한 온도 변화량계수를 나타내는 그림 2.에서 임의의 값에 대한 기울기를 기준으로 한다.

이와같은 특성을 이용하여 퍼지 시스템의 입력변수  $FT$ 는 식 (3)과 같이 설정한다.

$$FT = \frac{T_1 \times T_2}{\text{표본시간}} \quad (3)$$

## 2.2 연기센서에 의한 퍼지 입력변수의 설정

가연물의 연소에따라 발생하는 연기에의해 동작하는 연기감지기중 이온화식에서는 연기의 농도가 16 - 32[%], 광전식에서는 5 - 15[%]의 농도에서 동작되도록 하고 있으나 일상의 현상과 확실히 구분되어야만 감지될 것이 요구된다. 그러나 실체는 화재와 유사한 현상들이 많이 발생되고 있으므로 감지기가 설치된 장소에서의 주

위환경이 감지기 회로 자체가 화재라고 판단할 수 있는 기준값 이상이되면 신호를 발신하게 된다. 그러므로 실제 화재가 발생하지 않았어도 감지기의 환경이 화재시 발생하는 상황이 되면 신호를 발신하게 되므로 그림 3.과 같이 연기 농도에 대응되는 저항값으로 출력되는 연기감지 센서를 이용한다.

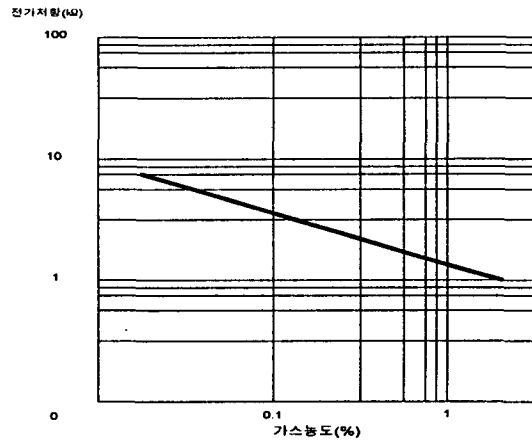


그림 3 연기센서의 저항 출력.

연기센서에서 감지한 연기농도는 온도센서와 같은 방식으로 식 (4), 식 (5)와 같이 단위시간당 연기농도의 변화량인 기울기와 측정시의 농도에 따른값으로 한다.

$$G_1 = \frac{\text{연기농도의 변화량}}{\text{기준시간}} \quad (4)$$

$$G_2 = \beta(K - G)^\gamma \quad (5)$$

$$\beta : (1 - G > K, 0 = G \leq K)$$

$\gamma$  : 가중계수

식 (4)에서  $G_1$ 은 그림 3.의 시간에대한 연기농도의 변화량인 기울기를 수치화한 값이다. 이 값은 화재 발생시 연기농도의 변화에따라 동작점에 도달하는 특성이 고려되어야함으로 화재시 빠르고 정확하게 이를 감지하고, 정상 상태시에는 연기농도의 변화를 거치지 않으므로 감도를 낮추어 주는 역할을 한다.

식 (5)에서  $G_1$ 은 온도에대한 가공된 측정값이다. 또한  $\beta$ 는 설정된 임계값으로 이 값 이하에서

는 화재로 인식하지 않도록 하는 농도이다.  $\gamma$ 는 감지기 주위상태에 따른 값으로 그림 4.에서 임의의 값에 대한 기울기를 기준으로 한다.

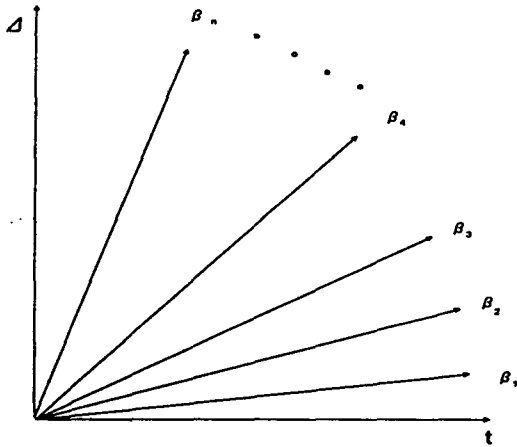


그림 4. 시간에 대한 농도 변화량 계수.

이와같은 특성을 이용하여 퍼지 시스템의 입력변수  $FG$ 는 식 (6)과 같이 설정한다.

$$FG = \frac{G_1 \times G_2}{\text{표본시간}} \quad (6)$$

### 2.3 광센서에 의한 퍼지 입력변수의 설정

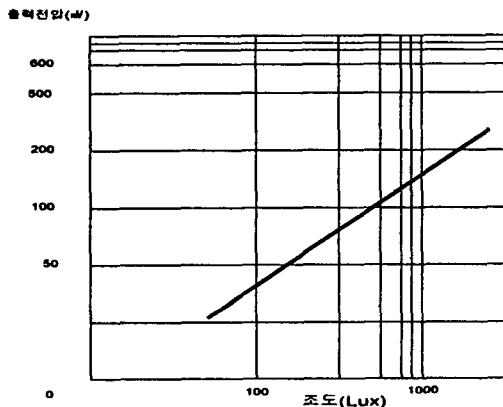


그림 5. 광센서의 전압출력.

광센서에 의한 퍼지입력변수의 설정은 온도, 연기센서에 의한 퍼지입력변수의 설정시와 같은 방법으로 그림 5.와 같이 빛의 조도에 대응되는 전압값으로 출력되는 광센서를 이용하여 식 (7)

과 같이 퍼지시스템의 입력변수  $FL$ 을 설정한다.

$$FL = \frac{L_1 \times L_2}{\text{표본시간}} \quad (7)$$

여기서  $FL$ 은 광센서의 퍼지 시스템 입력변수이며,  $L_1, L_2$ 는 광센서의 각각에 대해서 시간에 대한 빛의 기울기와 빛의 가공된 측정값이다.

### 3. Fuzzy Signal

온도센서에 의한 입력변수  $FT$ 와 연기센서에 의한 입력변수  $FG$ , 그리고 광센서에 의한 입력변수  $FL$ 을 Fuzzy Signal로 변화시키기 위하여 일정한 크기의 데이터 윈도우를 갖는 함수로 정의한다. 각 센서로부터 발생하는 각각의 입력신호에 대해 식 (8).과 같이 평균값과의 편차를 이용하여 식 (9)와 같이 구할 수 있으며 그림 6.과 같이 Fuzzy Signal을 생성하게 한다.

$$g_j = \frac{\sum_{n=1}^N F(x)}{\text{sample window}} \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{\sum (g_{ij} - g_j)}{N-1} \quad (9)$$

$N$  : Data window

$g_{ij}$  : 최근 입력값

$g_j$  : 평균값

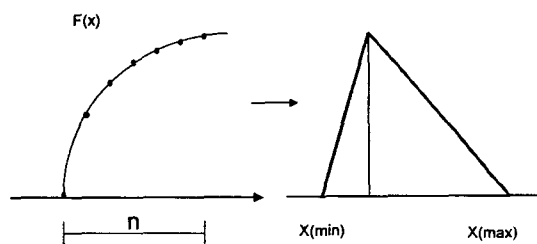


그림 6. Fuzzy Signal 생성.

### 4. Membership 함수의 설정

#### 4.1 Fuzzy Setting 값

Membership 함수의 임계값은 그림 7.과 같이 Membership degree 0.5로 하여 setting한다.

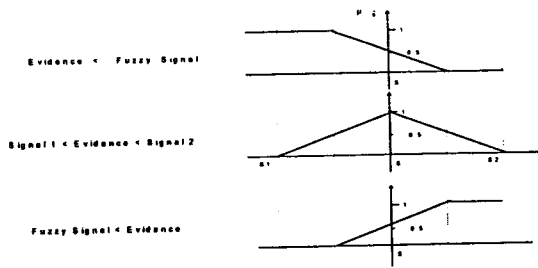


그림 7. Membership 함수.

#### 4.2 퍼지 추론의 정의

본 논문에서 이용한 퍼지 규칙은 모두 15개로 조건부와 결론부로 구성되어 있고, 결론부에는 출력에 영향을 미치는 Headge가 포함되어 있다. 정의된 퍼지추론들은 입력변수 즉 입력센서들의 종류에 따라 3개의 군으로 구성된다.

##### (1) 온도센서의 경우

- Rule 1( $\omega_1$ ) : IF(온도센서의 온도가 약 40도 미만 경우)  
Then(N, 1),
- Rule 2( $\omega_2$ ) : IF(온도센서의 온도가 약 40도 이상, 약 50도 미만 발생)  
Then(F, 0.7)(N, 0.3)
- Rule 3( $\omega_3$ ) : IF(온도센서의 온도가 약 50도 이상, 약 70도 미만 발생)  
Then(F, 0.75)(N, 0.25)
- Rule 4( $\omega_4$ ) : IF(온도센서의 온도가 약 70도 이상, 약 90도 미만 발생)  
Then(F, 0.85)(N, 0.15)
- Rule 5( $\omega_5$ ) : IF(온도센서의 온도가 약 90도 이상 발생)  
Then(F, 1)

##### (2) 연기센서의 경우

- Rule 6( $\omega_6$ ) : IF(연기 센서에 대한 연기 농도가 약 7.5% 미만 발생)  
Then(N, 1)
- Rule 7( $\omega_7$ ) : IF(연기 센서에 대한 연기 농도가 약 7.5% 이상 발생 약 15% 미만 발생)  
Then(F, 0.65)(N, 0.35)

Rule 8( $\omega_8$ ) : IF(연기 센서에 대한 연기 농도가 약 15% 이상 발생 약 20% 미만 발생)

Then(F, 0.7)(N, 0.3)

Rule 9( $\omega_9$ ) : IF(연기 센서에 대한 연기 농도가 약 20% 이상 발생 약 25% 미만 발생)

Then(F, 0.85)(N, 0.15)

Rule 10( $\omega_{10}$ ) : IF(연기 센서에 대한 연기 농도가 약 25% 이상 발생)

Then(F, 1)

##### (3) 광센서의 경우

Rule 11( $\omega_{11}$ ) : IF(광센서에 대한 적외선의 크기가 약 10% 미만 발생)

Then(N, 1)

Rule 12( $\omega_{12}$ ) : IF(광센서에 대한 적외선의 크기가 약 10% 이상 발생 약 30% 미만 발생)

Then(F, 0.65)(N, 0.35)

Rule 13( $\omega_{13}$ ) : IF(광센서에 대한 적외선의 크기가 약 35% 이상 발생 약 50% 미만 발생)

Then(F, 0.7)(N, 0.3)

Rule 14( $\omega_{14}$ ) : IF(광센서에 대한 적외선의 크기가 약 50% 이상 발생 약 70% 미만 발생)

Then(F, 0.85)(N, 0.15)

Rule 15( $\omega_{15}$ ) : IF(광센서에 대한 적외선의 크기가 약 70% 이상 발생)

Then(F, 1)

#### 4.3 Fuzzy 출력의 Defuzzification

퍼지추론규칙에 의한 추론과정을 통해 Fuzzy 연산을 수행하여 이 때의 최종출력이 Fuzzy집합으로 생성되며 Defuzzification의 대상이 된다. Fuzzy시스템에서 최종출력인 Fuzzy집합을 Defuzzification하기 위한 방법으로는 여러 가지가 있으나 가장 계산이 편리한 합성 모멘트법을 적용하였다.



경제성을 고려하여 온도센서, 연기센서, 광센서의 3가지를 적용하였다.

(1) 온도센서.

온도의 검출에는 온도특성에 적합한 모듈형태로 되어있는 전용온도센서를 사용하면 효율이 높고 적용이 용이하나 트랜지스터의 실리콘 열특성을 이용하면 특별한 센서를 사용하지 않고 정확한 온도를 검출할 수 있을뿐만아니라 경제성이 높으므로 이를 적용하였다.

(2) 광센서.

광센서는 전자파의 파장중에서 열에 관계되는 파장을 측정하여 일정 수준 이상일 경우 화재를 감지하는 것으로 화재 감지기에 적용할 수 있는 파장인 자외선,적외선중 실험에서는 760[nm] ~ 1[mm]사이의 파장을 감지할 수 있는 광센서를 적용하였다.

(3) 연기센서

연기센서는 화재발생시 가장 많이 발생하는 가스인 이산화탄소의 농도를 검출할 수 있는 센서를 이용하였다. 감지된 이산화탄소의 농도는 전류의 크기를 변화할 수 있으므로 이 신호를 V-F변환기에서 디지털 신호로 변환하여 적용한다.

5.3 연산 및 출력장치

Fuzzy감지기에 적용한 마이크로프로세서는 V-F컨버터를 가동하는것과 Fuzzy연산을 하는 것으로 구분 할 수 있으나 화재의 특성상 화재감지기는 수 마이크로 초, 혹은 수밀리 초 동안에 계산을 완료하는 것이 아니라 수 초, 또는 수 분

의 화재판단 시간이면 된다. 그러므로 빠른 계산능력보다는 정확한 측정과 연산이 가능하여야 한다. Fuzzy연산은 많은 계산시간이 소요되나 화재감지기에서는 시간적인 제약이 적으므로 비경제적인 고성능 마이크로프로세서를 적용할 필요가 없다. 따라서 One-chip 마이크로프로세서를 적용하여 감지기를 소형화할수 있으며 실제 적용이 가능하도록 구현한다.

출력장치로는 릴레이를 구동하는것과 통신을 이용하여 화재의 상태를 전송하는 것으로 구분할 수 있으며 릴레이의 출력은 기존의 화재감지기와 동일하다. 그러나 기존의 감지기에 없는 통신기능을 부가하여 향후 여러 감지기뿐만아니라 중계기, 수신기등과 유기적으로 결합하여 화재유무를 판정할 수 있도록 한다.

6. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션은 정상상태가 아닌 화재상황을 가정하여 Fuzzy감지기의 개발을 위해 열 및 연기, 빛에 적용한 것이다. 기존의 화재감지 방법은 대부분 열, 연기 및 파장중 각각이 독립적으로 적용되고 있을 뿐만 아니라 감지기에 전달되는 온도의 크기가 일정온도 또는 일정온도상승을 이상의 온도에 도달하였을 경우 이 온도를 감지하여 화재유무를 판정하고, 빛의 양이나 연기 농도에 의한 전류 변화분을 검출하여 화재유무를 판정한다. 그러나 이와 같은 화재유무 판정의 경우 경제적인 면에서는 장점이 있겠지만 환경 및 관리상등의 문제로 인하여 파생되는 감지기 외적인 요소로 인한 비화재보 발생의 방지에는 한계성이 있다. 이를 방지하기 위하여 감지기 설치

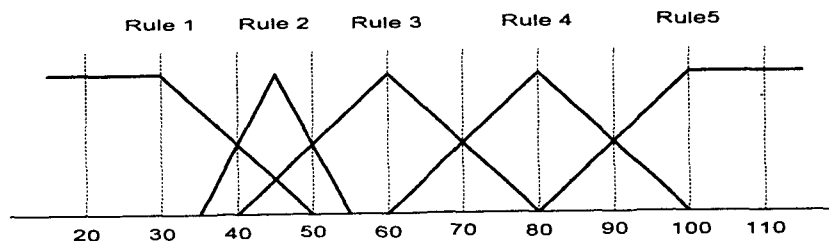


그림 10. 온도센서에 대한 Rule.

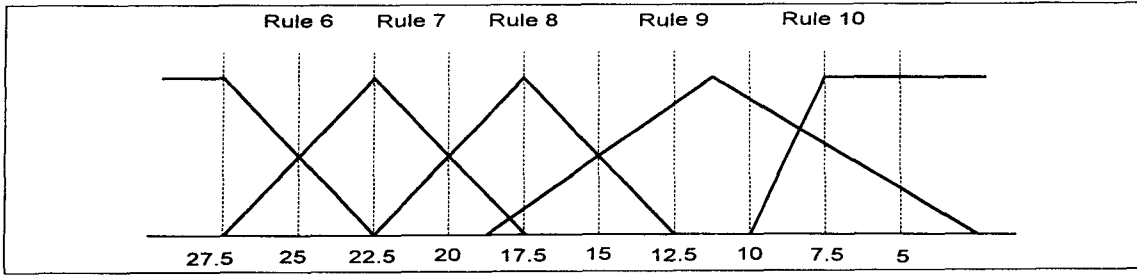


그림 11. 연기센서에 대한 Rule.

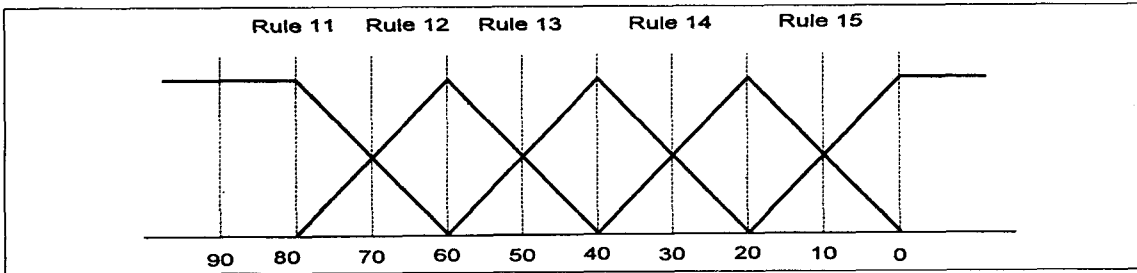


그림 12. 광센서에 대한 Rule.

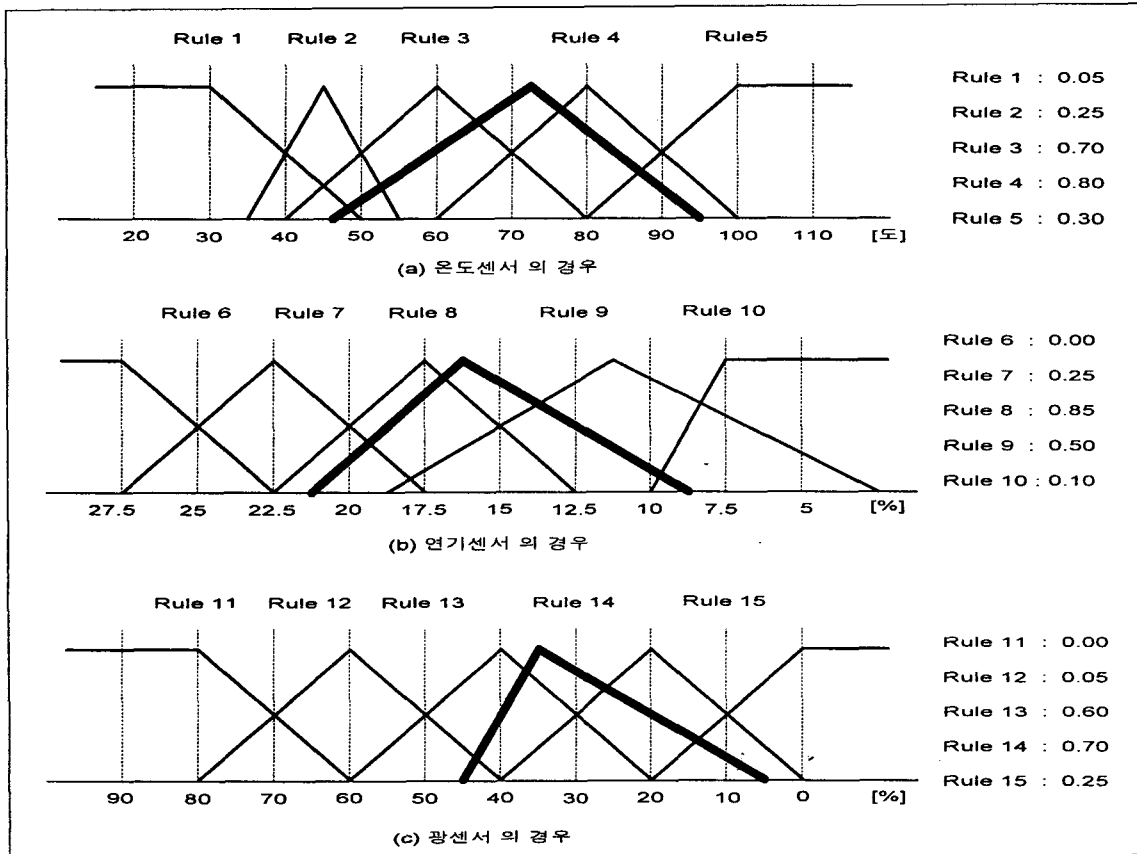


그림 13. Fuzzy감지기의 결합값.



장소의 환경에 따라 이에 적응하면서 변화되는 정정값을 감지기 자체에서 Rule로서 해결하도록 한 것으로, 환경적인 측면을 고려할 수 있는 인공지능 기능을 갖도록 복합 감지센서 또는 단일센서에 의한 감지기의 적용유무를 온도와 연기 및 빛의 3가지 정보를 이용하여 중첩 판단할 수 있도록 하였다.

이를 위해 동일한 조건으로하여 감지기 1개에서 온도별 5개의 Rule과 연기의 농도별 5개의 Rule 및 빛의 파장별 5개의 Rule 등 총 15개의 Rule에 적용하였다. 퍼지화된 시뮬레이션 결과는 그림 13.과 같이 각각의 Fuzzy감지기 결합값으로 나타내어지고, 화재의 판별은 식 (10)에 대한 비퍼지화 결과에 따라 식 (11)을 적용하여 화재(F)와 비화재(N)를 구별하도록 하였다.

$$\delta = \min(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4) \quad (11)$$

## 7. 결 론

본 논문에서는 인공지능의 한분야인 퍼지시스템을 이용하여 화재감지기 알고리즘을 구현한 것은 Fuzzy감지기가 화재발생 유무에 대한 정확한 판단을 하기위하여 다중 센서를 적용하였다. 또한 감지기에서의 비화재보 원인이 되는 감지기 설치장소 주위의 환경으로부터 입력정보의 불확실성을 Fuzzy이론으로 해석하고 사고판정에 있어서 다양한 정보 및 판단기준을 적용하여 종합 판단할 수 있을 뿐만아니라 가격이 저렴한 V-F변환기와 one-chip 마이크로프로세서를 이용하여 Fuzzy연산 처리토록하였으며, 통신기능을 겸비한 새로운 Fuzzy감지기를 제안한 것이다.

그 결과 기존의 감지기에 비하여 우수한 화재 감지능력이 있었으나 퍼지 시스템을 이용하여 화재감지기에 적용하기 위해서는 보다 많은 Rule을 생성할 수 있는 지식이 필요하였다. 논문에서 적용한 시스템은 통신기능을 갖추고 있으므로 다른 감지기와의 통신이 가능하여 더욱

정확한 화재감지가 가능하리라 생각되며 앞으로 중계기, 수신기등과 조합하여 통신화 가능성에 대한 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. 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, 左藤稔由, 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, 平成5年, PP. 51-61.
7. 池田博, ファジィ化 A/D 變換機 設計 チップ化, 日本 ファジィ學會誌. Vol.4, NO3, 1992, pp. 171-178
8. 江口 義宏, "自動試驗 機能付の自動火災報知設備", 日本火災學會誌, Vol.45, NO1, 1995, pp 23-27
9. E. Cox, "Fuzzy System Handbook", 삼각형, 1995.
10. 백동현, "Fuzzy Measure를 이용한 화재감지기의 기본설계", 한국화재·소방학회지 10권 3호, 1996.9.

본 연구는 명지대학교 산업기술연구소의 97 교내 학술연구비 지원으로 수행된 연구과제로 이에 감사드립니다.