한국산업정보학회논문지 제6권 제1호 (2001. 3)

관능평가를 위한 효율적인 퍼지추론 규칙의 설계

(Designing efficient fuzzy inference rules for the sensory evaluation)

이 진 춘*
(Jin-choon Lee)

요 약 본 연구는 관능검사에서 얻은 결과로 평가규칙을 설계하고 이를 이용하여 추후의 관능평가에 응용할 수 있는 방법을 제안함에 있어서, 퍼지추론의 규칙을 효율적으로 설계하는 것에 관련된 것이다. 퍼지추론 규칙의 수는 규칙의 전건부의 구조와 파라미터를 설계함에 있어서 퍼지분할의 수에 따라 결정되는데, 분할의 수가 많다고 해서 최적은 아니므로 효율적으로 규칙의 수를 축소하는 것이 규칙을 응용할 때의 효율성을 제고하는 동시에 실무에 응용할 때 추론엔진의 속도를 높일 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 선행연구에서 제시된 사례를 이용하여 추론규칙의 수를 축소하여도 대등한 결과를 얻을 수 있음을 수치예를 통하여 증명하였다. 본 연구의 결과는 향후 관능검사를 이용하는 다른 분야에도 유효하게 응용될 수 있을 것이다.

Abstract This study concerns designing effective fuzzy inference rules, which can be used to evaluate other experiment sets for sensory tests. The number of fuzzy inference rules might be determined by the fuzzy division of variables. For the more the number of fuzzy division doesnot mean the more effectiveness, the number of inference rules should be reduced to improve efficiency of inference engine of expert system. This study verified that its suggested method and inference rules are effective in comparision with the existing studies'.

1. 서 론

일반적으로 제품은 다속성 품질을 가지고 있으며 이를 총체적으로 평가하기 위해서는 서로 다른 차원의 속성을 통합하여 총합평가치를 구하는 방안이 필요하다[4]. 제품의 속성은 정량적으로 평가할 수 있는 속성과 정성적으로 평가할 수 밖에 없어 관능평가를 이용해야 하는 속성이 있다. 그러므로 제품에 대한 총체적 평가는 정량적 속성과 정성적 속성을 통합하여 평가해야 하는 문제가 대두된다. 이를 해결하기 위해서 다속성평가법인 DEA(Data Envelopment Analysis)나 AHP(Analytic Hierarchi- cal Process)나 다목표의사결정 등에 준하는 기법들을 이용하기도 한다[10].

이러한 평가를 원활히 하고 신속히 하기 위해서 평가과정을 규칙화하여 이를 지식베이스로 설정해두면 향후의 평가에 이용할 수 있는 전문가시스템을 구축할 수 있게 된다. 전문가시스템을 설계하기 위한 핵심은 추론규칙을 기초로 하는 추론엔진을 설계하는 것이다. 같은 맥락에서 관능평가를 정형화하고 나아가서 관능평가 혹은 검사 전문가의 지식을 지식베이스로 구축하는 준비단계로서 관능평가 규칙을 구축하는 것이 중요하다 할 것이다.

그런데, 평가자의 감성을 이용하는 관능평가는 전문가의 오랜 숙련을 바탕으로 하는 비선형평가과정이므로 확정치(crisp number) 계수로 구성되는 선형관계식으로 설명할 수 없다. 따라서 감성평가 혹은 관능검사에서는 1차원 척도인 경우에는 일대비교법을 이용하거나[1] 다수의 평가속성이 있는 다차원 척도인 경우에는 SD(Semantic Difference)척도를 사용하여 총합평가치를 구한다[5].

평가규칙을 설정하기 위해서는 상황별 총합평가치를 구하고 이를 이용하여 상황규칙을 설정하게 된다. 상황규칙을 설정하기 위해서는 전문가의 숙련된 경험을 규칙으로 이용하거나, 설정된 상황에서 다수의 평가자의 평가치를

* : 경일대학교 산업시스템공학부 교수

이용하여 상황별 규칙을 설정하는 방법이 있다. 전자는 평가대상의 평가치를 결정하는 속성이 명백한 경우 전문가의 경험으로 규칙을 설정할 수 있는 경우이고, 후자는 모든 속성을 구해야 하는 감성평가의 경우에 해당한다. 관능평가 혹은 감성평가에 있어서 이들 모두는 실험조건을 한정적인 상황으로 확정지울 수 없다. 따라서 실험의 조건은 퍼지집합으로 표시하거나 Zadeh[6]가 제안한 언어변수(linguistic variable)을 사용하여 규칙을 설정할 수밖에 없다. 조건식이 퍼지집합으로 표시되면 기존의 2치추론을 적용이 불가능하고 다치추론을 가능케하는 퍼지추론을 도입할 수밖에 없다. 결국 대부분의 감성평가 혹은 관능검사 규칙은 퍼지집합을 도입한 퍼지추론을 행할 수밖에 없다.

본 연구는 추론규칙을 효율적으로 설정하는 방법론에 초점을 두고 있다. 추론규칙의 설정방법으로 실험을 통한 효율적 규칙 설정법을 제안하고자 한다. 기존의 연구를 보면, 관능검사 실험을 통한 추론규칙의 설정이 부분적으로 제시된 연구가 있다. 李等(1994)은 관능검사를 위한 퍼지추론의 도입가능성을 실험예를 이용하여 제시하였고[3], 金等(1996)은 이의 유효성을 동일한 실험예를 확장하여 입증하였다[2]. 그러나 이들 연구들은 효율적인 규칙의 설계에 대해서 접근하지 못하고 기존의 실험에서 제시된 규칙을 그대로 이용하고 있다. 그러나 효율적인 추론엔진을 설계하기 위해서는 최소의 규칙으로 최대의 평가를 할 수 있는 접근법이 필요하다.

따라서 본 연구는 감성평가를 위한 퍼지추론규칙을 설계함에 있어, 실험을 통한 규칙의 설정법을 체계화하고 규칙의 수를 축소하여 효율적인 추론규칙을 설계하는 방법을 제시하고자 한다. 제시한 방법의 타당성을 설명하고 그 효율성을 검토하기 위해서 기존의 연구에서 이용된 실험사례를 이용하여 분석을 실시한다.

2. 이론적 배경

2.1. 퍼지추론에 대한 이론적 고찰

일반적으로 퍼지추론법은 크게 4가지로 나누어진다. 즉, ①일치도를 이용한 퍼지추론, ②射影을 이용한 퍼지추론, ③퍼지관계의 합성에 의한 퍼지추론 ④적합도에 의한 퍼지추론으로 나누어진다[8]. 여기서 앞의 3가지는 퍼지집합을 직접 계산하여 결론을 얻는 직접법이며, 마지막의 적합도 추론은 퍼지집합이 아니라 퍼지진리치를 대상으로 결론을 도출하므로 간접법이라 한다. 직접법은 근본적으로 동일한 방법인데, 퍼지집합을 대상으로 집합간의 소속도 연산으로 그 결론을 도출하게 된다.

여기서는 논리전개의 명확화를 위해서 퍼지관계의 합성으로 설명하고, 관능평가를 위한 알고리듬을 설계한다.

이러한 과정을 수식으로 예를 들어 표시해 본다. 즉, 평가할 제품의 속성변수가 2개이고, 사용하고 있는 평가규칙이 n개이며, 이들 규칙은 각각 or로 결합되어 있다고 하자. 다음의 식으로 규칙을 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} &R^1\text{:If } x_1 = A_{11} \text{ and } x_2 = A_{12} \text{ then } y = B_1 \\ &\qquad\vdots \\ &R^i\text{: If } x_1 = A_{i1} \text{ and } x_2 = A_{i2} \text{ then } y = B_i \\ &\qquad\vdots \\ &R^n\text{:If } x_1 = A_{n1} \text{ and } x_2 = A_{n2} \text{ then } y = B_n \end{aligned} \tag{2-1}$$

여기서 i번째 평가규칙은 x_1, x_2, y의 공간을 각각 X_1, X_2, Y로 하면,

$X_1 \times X_2 \times Y$ 상의 퍼지관계 R^i에 의해,

$$(x_1, x_2, y) \text{ is } R^i \tag{2-2}$$

로서 나타낼 수 있다. 이를 퍼지관계식으로 나타내면

$$R^i = (A_{i1} \times A_{i2}) \times B_i \tag{2-3}$$

로 된다. 이때 A_1, A_2, B는 x_1, x_2, y의 소속도함수이다. $R_1, R_2, \cdots, R_n$는 or결합되어 있기 때문에 n개의 규칙 전체로서는,

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \cdots \cup R_n = \bigcup_{i=1}^{n} R_i \tag{2-4}$$

로 된다.

지금 입력은 A_1^0, A_2^0라고 하고 그 합의추론을 퍼지관계 R이라고 하면,

$$B^0 = R \cdot (A^{0_1} \times A^{0_2}) \tag{2-5}$$

로 표시한다. 입력 x_1, x_2에 대응하는 y는

$$B^0(y) = \max_{x_1, x_2}[R(x_1, x_2, y) \wedge A_1^0(x_1) \wedge A_2^0(x_2)] \tag{2-6}$$

가 된다. 여기서 적용하고자 하는 퍼지 다속성평가문제에서는 x_1, x_2가 확정 수치로 주어지므로, 이를 x_1^0, x_2^0라고 하자. 여기서 이들 측정치의 소속도 A_1^0, A_2^0를

$$A_1^0 = \begin{cases} 1, & x_1 = x_1^0 \\ 0, & x_1 \neq x_1^0 \end{cases} \tag{2-7}$$

$$A_2^0 = \begin{cases} 1, & x_2 = x_2^0 \\ 0, & x_2 \neq x_2^0 \end{cases} \tag{2-8}$$

라고 한다면, 이들은 퍼지집합의 특수한 경우이므로 식 (2-6)은

$$B^0(y) = R(x_1^0, x_2^0, y) \tag{2-9}$$

가 된다

식(2-3)의 R은 전체 퍼지관계로 확장할 수 있으므로 $R_i=(A_{i1}\times A_{i2})\times B_i$이고, 이들 각 퍼지관계는 합집합 관계로 결합되므로,

$$R(x_1^0,x_2^0,y)=R_1(x_1^0,x_2^0,y)\vee R_2(x_1^0,x_2^0,y)\vee\cdots\vee R_n(x_1^0,x_2^0,y) \tag{2-10}$$

가 된다. 이 중 관계 i의 R_i는

$$R_i(x_1^0,x_2^0,y)=A_{i1}(x_1^0)\wedge A_{i2}(x_2^0)\wedge B_i(y) \tag{2-11}$$

가 된다. 여기서

$$\omega_i=A_{i1}(x_1^0)\ \wedge\ A_{i2}(x_2^0) \tag{2-12}$$

로 정의하면, 평가규칙이 되는 식(2-6)는

$$\begin{aligned}B^0(y)&=[\omega_1\wedge b_1(y)]\vee[\omega_2\wedge B_2(y)]\vee\cdots\vee[\omega_n\wedge B_n(y)]\\&=\bigvee_{i=1}^{n}[\omega_i\wedge B_i(y)]\end{aligned} \tag{2-13}$$

가 된다. 즉, 식(2-13)에서 구한 출력값은 여러 개의 규칙의 합성에서 구하여 단일 출력으로 제시된다.

2.2. 간략화 퍼지추론

간략화 퍼지추론은 前田와村上[11], 菅野[9]에 의해 제안된, 퍼지추론의 고속화와 간략화를 추구하는 기법으로서, 제어규칙의 후건부가 퍼지집합이 아니고, 정수로 주어지는 경우를 생각한다. 본 연구가 대상으로 하는 관능평가의 경우도 평가자의 평가치가 수치로 주어지므로 간략화퍼지추론이 효과적으로 사용될 수 있다. 일반적으로 간략화 퍼지추론은 통상의 퍼지추론보다도 제어결과가 양호한 것으로 말해진다.

이제 입력변수 x_1, x_2로 하고, 출력변수를 y로 하면, 간략화 퍼지추론규칙은 다음의 식으로 표시할 수 있다.

규칙 i:If $x_1$is $A_{i1}$and $x_2$is A_{i2}then y is b_i (2-14)

여기서 b_i $(i=1\cdots n)$은 비퍼지수인 실수이다.

이제, 입력의 비퍼지값 x_1^*, x_2^*가 주어지는 경우, 추론결과인 출력 y^*를 구하는 순서는 다음과 같다.

단계1: 각 규칙의 적합도 w_i를 계산한다.

$$w_i=\mu_{A_{i1}}(x_1^*)\times\mu_{A_{i2}}(x_2^*) \tag{2-15}$$

이 경우, ×(積) 대신에 Min을 사용할 수 있다.

단계2: 추론결과인 출력 y^*를 다음의 식으로 계산한다.

$$y^*=\frac{\sum_{i=1}^{n}w_i\cdot b_i}{\sum_{i=1}^{n}w_i} \tag{2-16}$$

여기서 PB(Positive Big), NS(negative small)은 퍼지변수, f_1은 실수치이다.

입력데이타(x_1', x_2')가 입력되면, 식(2-11)에서 다음의 결론을 얻을 수 있다.

$$A_j(f_j)=A_{PB}(x_1')\cdot A_{NS}(x_2')\cdot 1 \tag{2-17}$$

여기서 · 는 적연산이고 A_j는 소속도를 나타낸다.

식(2-14)의 제어규칙은 복수 개인데, 식(2-14)의 결과를 총합한 최종 추론 결과는 다음과 같이 된다.

$$A_0=\frac{\sum A_j(f_j)\cdot f_j}{\sum A_j(f_j)} \tag{2-18}$$

2.3. 관능평가와 퍼지추론

관능평가는 평가대상의 다수 평가속성에 대해 관능검사자 혹은 피험자가 1개의 평가치를 제시하는 과정으로 볼 수 있다. 따라서 이는 多入力- 1 出力의 다속성총합평가문제이며 이러한 관계는 식(2-1)에서와 같이 다수의 독립변수와 1개의 종속변수로 정형화할 수 있으며 이를 식으로 표시해 본다.

설명을 간단히 하기 위해, 어떤 제품이 4가지의 속성으로 구성된다고 가정하면 관능검사는 아래와 같은 비선형함수로 표시된다.

$$y=f(x_1,x_2,x_3,x_4) \tag{2-19}$$

여기서 y는 관능검사결과를 나타내며 복수의 평가자가 있을 경우에는 복수 평가치의 대표치를 구하여 사용하며 그리고 $x_1,\cdots,x_4$는 평가대상의 속성을 나타낸다. 이를 식(2-14)의 If-then추론규칙으로 전환된다.

3. 퍼지추론을 이용한 효율적 관능평가규칙의 설계

3.1. 관능평가 규칙 설계 알고리즘

기본적으로 관능평가를 위한 퍼지추론은 각 조건부의 퍼지집합의 소속도의 적합도 혹은 일치도를 도출하여 전체 규칙을 통합 합성하여 결론을 구하게 된다. 이러한 맥락에서 퍼지추론을 이용하여 관능평가를 하는 알고리즘을 설계한다. 관능평가는 아래와 같이 5단계로 구성된다.

단계 1: 각 속성변수의 공간을 소수의 퍼지 공간으로 분할하고 각 공간에서의 소속도함수를 결정하여 소속도 $A_i(X_i)$를 決定한다2).

---

2) 소속도 함수가 좌우대칭 삼각형이라면 다음의 식으로 일반화 할 수가 있다. 여기서 x_i 는 속성변수를 a_i는 속성변수의 소속도의 중심점이며, b_i는 소속도함수의 전체 폭을 나타내고, i 는 변수를 j는 규칙을 나타낸다.

$$A_i(X_i)=\begin{cases}1-\dfrac{2|x_i-a_i|}{b_i}, & (b_i>0,\ a_i-\dfrac{b_i}{2}<x_i<a_i+\dfrac{b_i}{2})\\ 0, & (b_i>0,\ X_i\le a_i-\dfrac{b_i}{2},\ X_i\ge a_i+\dfrac{b_i}{2})\end{cases}$$

단계 2: 각 변수에 대한 퍼지 분할이 만드는 조합에 대한 규칙을 작성한다.

규칙 j: If $x_1 = A_{i1}$ and $x_2 = A_{i2}$ and $x_3 = A_{i3}$

then $y = B_j$ (3-1)

단계 3: 각 규칙($j = \prod_i K_i$개의 규칙: 여기서 i=변수, K=각 변수의 분할 수)에 대해서 y_j를 결정한다.

단계 4: 각 규칙에 대한 적합도를 결정한다.

$$w_i^* = A_{i1}(x_1) \cdot A_{i2}(x_2) \cdot A_{i3}(x_3) \qquad (3\text{-}2)$$

단계 5: 간략 추론법에 의해서 값을 결정한다.

$$y = \frac{\sum w_i \times B_i}{\sum w_i} \qquad (3\text{-}3)$$

단, 여기서 이용되는 멤버쉽함수 A_{ij}는 규칙에 독립적으로 설정하는 것으로서 결론부의 B_j는 실수치로 한다.

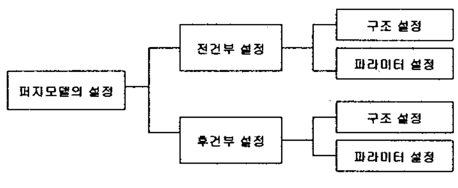
3.2. 효율적 퍼지추론규칙의 설계

3.2.1 퍼지모델링

퍼지추론규칙을 설계하는 것을 일반적으로 퍼지모델링이라고 부르는데, 이는 식(3-1)과 같은 퍼지추론규칙에 구체적으로 입출력 데이터를 주고 여러 변수를 설정(identification)하는 것이다.

일반적인 시스템론에 있어서 설정은 구조설정과 파라메터 설정으로 나누어지지만, 퍼지모델링에서는 더욱 복잡하므로 <그림3-1>과 같이 정형화할 수 있다[8].

<그림3-1>에서 전건부의 설정은 전건부 변수의 조합과 변수공간의 퍼지분할을 설계하는 것을 의미한다. 전건부의 구조설정은 도입할 변수의 종류와 개수를 결정하는 것을 말하는데, 이는 2가지 의미로 볼 수 있다. 첫째, 고려할 입력변수 중에 전건부 변수의 조합으로, 둘째는 전건부 변수가 구성하는 공간의 퍼지분할을 의미한다. 따라서 전건부 변수의 조합과 변수공간의 퍼지분할을 찾아내는 것이다. 마찬가지로 후건부의 설정에 있어서, 구조란 후건부에 관계되는 변수의 조합을 말하고 파라미터는 후건부가 선형식으로 표시된다면 이 식의 계수를 의미한다.



<그림3-1> 퍼지모델링

3.2.2 효율적인 퍼지모델(퍼지추론규칙)의 설계

퍼지모델에서 퍼지분할(퍼지기본집합)의 결정이 퍼지규칙의 수를 정하게 된다. 분할의 수는 많을수록 좋은 것이 아니고 최적의 분할 수가 있다[8]. 물론 분할의 수가 많으면 추론규칙의 정도가 높아지는 효과가 있다.

전건부와 후건부의 구조와 파라미터를 결정하는 순서는 퍼지제어에서는 전건부의 여러 가지 변동을 고려하고 최적의 후건부를 찾은 다음 전건부를 수정하는 방식으로 결정하는[8] 반면에, 본 연구가 대상으로 하는 관능평가에서는 후건의 값은 단일치로 얻을 수 있는 상황이므로 더 단순한 구도이다. 제어에서는 전건부의 설정방법으로 콤플렉스법, GMDH 등이 이용되고 있는데, 기본적으로 탐색법에 의하여 후건부의 변수를 줄여가면서 전건부의 변수를 증가시키면서 구조를 설정한다[8].

본 연구가 대상으로 하는 관능평가를 위한 퍼지추론규칙은 식(3-1)에서와 같이, 후건부의 값을 결정하기 위해 전건부 변수의 퍼지분할을 결정하고, 각 분할별로 검사실험에서 후건부의 값을 구하는 것이다. 더욱이 관능검사에서 퍼지규칙을 설계할 때는 후건부의 값이 단일치로 결정되므로 효율적인 퍼지추론규칙 즉, 퍼지모델링을 하려면 전건부의 조합이 어느 때가 최적인가를 결정하면 된다. 그러므로 효율적 퍼지추론규칙을 설계하기 위한 방법론을 다음과 같이 규정한다.

1. 전건부의 구조에서 퍼지분할의 수를 가능한 한 최소로 하면 규칙의 수가 감축된다.

2. 전건부의 파라미터를 설정할 때, 가능한 모든 조합에서 현실적으로 불가능하거나 불필요한 조합은 배제한다.

이 방법에 따라서 본연구에서는 기존의 연구에서 제시된 규칙을 감축하여 그 효율성을 검정한다.

3.2.3 관능평가 사례

(1) 실험의 개요

李等의 연구(1994)[3]는 관능검사를 이용한 커피맛의 연구실험을 실시하고 그 결과를 평가규칙으로 전환하는 과정을 제시하였고, 金등의 연구(1996)[2]은 李등의 연구[3]가 실시한 실험을 검사자 패널을 확대하여 규칙의 일반화를 도모하고 퍼지추론을 하더라도 유효한 결과를 얻을 수 있음을 보여주었다.

본 연구에서는 비교가능성을 제고하기 위해, 선행연구에서 사용된 데이터를 이용하여 본연구에서 제안하는 규칙을 이용하여 규칙을 감축하여 제시하고 그 성과를 비교 분석한다.

선행연구의 관능평가의 적용사례는 커피맛의 평가이다. 커피맛을 결정하는 속성변수는 4가지로 구성되어 있다. 즉, 커피, 프림, 설탕, 물로 구성되며, 그 평가모형은 식(2-19)

와 같다. 식(2-19)에서 y는 커피에 대한 총합 평가치, x_1은 커피의 양, x_2는 프림의 양, x_3은 설탕의 양 그리고 x_4는 물의 온도를 나타낸다.

이를 이용하여 퍼지모델링하면 아래와 같다. 즉,

규칙 i :If $x_1 = A_1$ and $x_2 = A_2$ and $x_3 = A_3$ and $x_4 = A_4$ then $y = b$

인데, y의 값인 b는 관능검사자 패널에 제시한 검사치들의 대표치이다. 본 연구에서는 金등의 연구[2]에서처럼 평균을 사용하지 않고, 李[5]가 제시한 바와 같이 검사자의 개인차를 고려하기 위해 퍼지측도를 도입하고 쇼케적분을 실시한 결과를 이용할 것이다.

李等의 연구[3]에서 수행된 관능평가실험은 각 속성요소에 대한 기본퍼지집합은 실험의 편의를 위해 각 2개의 기본집합으로 퍼지분할하고 있다. 즉, 속성요소인 커피의 양, 프림의 양, 설탕의 양 그리고 물의 온도에 대해서 통상 사용되는 내용에 대해서 양극단으로 2개로 분할하여 실험집합을 구성하였다. 따라서 각 요소별로 2가지의 경우로 설계하였으므로 전체 실험조합은 2×2×2×2로 하여 16개의 조합을 구성하였다. 이는 커피맛을 나타내는 전체 실험을 실행할 수 있도록 분할하였고, 여기는 모든 경우의 커피맛이 모두 포함된다는 전제에서 나눈 것이다. 그 실험의 구성은 <표3-1>에 제시하였다.

<표3-1> 커피맛 관능검사 결과표

구분 / 실험조합	전건부				후건부
	커피	프림	설탕	물온도	쇼케 적분치
실험1	2	4	5	75	4.771
실험2	2	4	5	90	5.771
실험3	2	4	5	90	4.378
실험4	2	4	6.5	90	5.378
실험5	2	5.5	5	75	4.607
실험6	2	5.5	5	75	5.607
실험7	2	5.5	5	90	3.995
실험8	2	5.5	6.5	90	4.995
실험9	3	4	5	75	6.378
실험10	3	4	5	90	7.602
실험11	3	4	6.5	75	5.995
실험12	3	4	6.5	75	6.771
실험13	3	5.5	5	75	6.224
실험14	3	5.5	5	90	6.995
실험15	3	5.5	6.5	75	5.607
실험16	3	5.5	6.5	90	6.607

(2) 퍼지 If-then 규칙 수의 축소

<표3-1>에는 실험의 내용에는 본 연구에서 이용하는 16개 실험조합의 내역과 관능검사자 대표치, 즉, 쇼케적분치를 나타내었다[5]. 李등의 연구[3]는 이들을 이용하여 전체 16개 규칙을 설계하였는데, 본 연구에서는 제안된 축소법을 이용하여 8개로 축소한 규칙을 설계한다.

<표3-1>에 주어진 결과는 퍼지추론과는 관계없이 전체 가능한 실험조합을 각 속성요소별로 2개 퍼지집합으로 분할을 하여 설계한 것이다. 이제 관능평가규칙의 설계알고리즘에 따라서 설계한다.

(1)속성요소의 퍼지기본집합과 소속도함수의 설정

<표3-1>에서 제시된 실험자료의 각 속성요소(변수)의 소속도 함수를 결정해야 추론을 위한 준비를 마칠 수 있다. <표3-1>에 제시된 실험에 사용된 데이터분포에 따라서 속성요소의 정의역을 분할하고, 그 소속도함수의 형태를 결정지어야 한다. 우선 본 연구에서는 속성요소의 퍼지기본집합의 수를 2개로 한정한다. 기본퍼지집합의 수가 많아질수록 퍼지집합의 精度가 높아지므로 계산의 결과에 정밀성을 높일 수 있다.

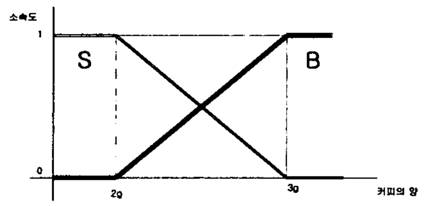
그러나 여기서의 적용은 퍼지이론의 관능평가에 대한 적용성과 그 유효성을 기존연구의 것과 대비시켜 분석하여야 하므로 기존연구에서 설계한 것을 그대로 이용한다. 즉, 4가지 속성요소 중, 커피의 양(x_1), 프림의 양(x_2), 설탕의 양(x_3)의 경우는 기본퍼지집합을 <그림3-1>과 같이 S(Small)와 B(Big)의 2가지로 한정하고, 그 함수의 형태를 <그림3-1>과 같이 설정하지만, 물의 온도(x_4)에 대해서는 B(Big)의 1가지로 국한시켜서 규칙의 수를 축소한다. 왜냐하면 李等의 연구(1994)에서 실시한 실험에서 물의 온도를 중요한 속성결정요소로 간주하고 2개의 조합으로 나누어 실험을 했지만, 현실적으로 사람들이 커피를 끓일 경우, 끓는 물을 바로 이용하고 있는 것이 현실적인 관행이므로 구태여 물을 식혀서 커피를 타는 경우는 배제해도 무리가 없을 것이기 때문이다. 따라서 <표3-1>에 제시된 실험조합 중에서 물의 온도를 단일 기본집합으로 처리한다면 규칙의 수는 8개로 축소된다. 대신에 물의 온도(x_4)에 대한 소속도 함수를 <그림3-2>와 같이 별도로 정의한다.

속성요소 커피의 양의 소속도 함수는 다음의 식으로 설정할 수 있다. 이는 각주1)에 제시한 대칭형 삼각형 함수의 특수한 경우로서, 2개의 퍼지집합의 소속도가 0 혹은 1이 되는 경우이다. 이를 수식으로 표시하면 다음과 같다. 즉,

$$A_1(x_1)=\begin{cases} 1-\dfrac{2|x_1-a_1|}{b_1}, & (b_1>0,\ a_1-\dfrac{b_1}{2}<x_1<a_1+\dfrac{b_1}{2}) \\ 0 \text{ or } 1 & ,(b_1>0,\ x_1\le a_1-\dfrac{b_1}{2},\ x_1\ge a_1+\dfrac{b_1}{2}) \end{cases}$$

(3-4)

로 나타난다. 여기서 커피의 양의 경우 <그림3-1>에서 보듯이, 퍼지기본집합 S(=Small)의 경우 a_1=2, b_1=2이므로 $x_1 \le a_1 - \frac{b_1}{2}$이면 소속도는 '1'이되고 $x_1 \ge a_1 + \frac{b_1}{2}$이면 소속도는 '0'이다. 또한 기본퍼지집합 B(=Big)의 경우, a_1=3, b_1=2이므로 $x_1 \le a_1 - \frac{b_1}{2}$이면 소속도는 '0'이되고 $x_1 \ge a_1 + \frac{b_1}{2}$이면 소속도는 '1'이다. 같은 방식으로 x_2, x_3에 대해서도 소속도함수를 도출하고 그 값을 구할 수 있다.



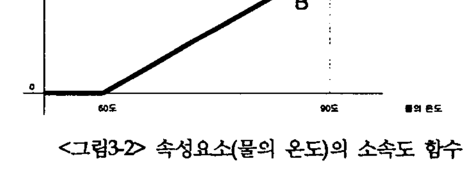
<그림3-1> 속성요소(커피의 양)의 소속도함수

속성요소 물의 온도(x_4)에 대한 소속도함수는 식(3-5)로 정의된다.

$$A_4(x_4)=\begin{cases} 1-\dfrac{2(x_4-a_4)}{b_4}, & (b_4>0,\ a_4-\dfrac{b_4}{2}<x_4<a_4+\dfrac{b_4}{2}) \\ 0 \text{ or } 1 & ,(b_1>0,\ x_4\le a_4-\dfrac{b_4}{2},\ x_4\ge a_4+\dfrac{b_4}{2}) \end{cases}$$

(3-5)

여기서 중심인 a_4=90이며, b_4=60이다. 그 형태는 <그림 5-2>와 같다.



<그림3-2> 속성요소(물의 온도)의 소속도 함수

(2) 퍼지 If-then 규칙의 설계

<표3-1>에 나타난 실험의 내용을 이용하여 관능평가를 위한 퍼지 If-then규칙을 설계한다.

<표3-1>의 실험에서 각 속성요소에 대한 반복실험은 Small과 Big의 2개의 기본퍼지집합으로 구성되어 있다. 예를 들어 <표3-1>의 실험14의 경우를 보면, 커피의 양은 3g으로서 Big, 프림의 양도 5.5g으로서 Big, 설탕도 5g으로서 Small, 물온도는 75도로서 Big의 조합으로 구성되어 있다. 이 실험은 커피와 프림은 많이 넣고 설탕은 조금 넣고 물은 뜨겁게 할 때 가장 좋은 커피의 맛을 내는 것을 의미한다. .이때 관능검사자 5인의 평가결과의 대표치는 쇼케적분치 6.995를 이용한다.

이러한 결과를 이용하여 퍼지 If-then 규칙을 설정하면 다음과 같다. 즉,

규칙14: If x_1=B and x_2=B and x_3=S and x_4=B then y=6.995

이다. 이때 속성요소별 퍼지집합의 소속도 함수는 <그림3-1>과 같은 형태로 식(3-4)에 의하여 도출된다. 즉, 커피의 경우, 3g인 경우 <그림3-1>의 소속도함수에 의하면 B집합의 경우 소속도가 1이다. 마찬가지로 프림, 설탕 그리고 물온도의 경우도 모두 소속도를 구할 수 있다.

같은 방식으로 전체 실험조합 16개에 대한 규칙을 수립하면 각 실험조합별로 규칙을 설정할 수 있으므로 16개의 관능평가를 위한 퍼지추론규칙을 설정할 수 있다. 이 규칙들을 이용하여 다음에 다른 실험에 대한 평가를 내릴 수 있다.

규칙 1: If x_1=S and x_2=S and x_3=S and x_4=S then y=4.771

규칙 2: If x_1=S and x_2=S and x_3=S and x_4=B then y=5.771

규칙 3: If x_1=S and x_2=S and x_3=B and x_4=S then y=4.378

규칙 4: If x_1=S and x_2=S and x_3=B and x_4=B then y=5.378

규칙 5: If x_1=S and x_2=B and x_3=S and x_4=S then y=4.607

규칙 6: If x_1=S and x_2=B and x_3=S and x_4=B then y=5.607

규칙 7: If x_1=S and x_2=B and x_3=B and x_4=S then y=3.995

규칙 8: If x_1=S and x_2=B and x_3=B and x_4=B then y=4.995

규칙 9: If x_1=B and x_2=S and x_3=S and x_4=S then y=6.378

규칙10: If x_1=B and x_2=S and x_3=S and x_4=B
then y=7.602

규칙11: If x_1=B and x_2=S and x_3=B and x_4=S
then y=5.995

규칙12: If x_1=B and x_2=S and x_3=B and x_4=B
then y=6.771

규칙13: If x_1=B and x_2=B and x_3=S and x_4=S
then y=6.224

규칙14: If x_1=B and x_2=B and x_3=S and x_4=B
then y=6.995

규칙15: If x_1=B and x_2=B and x_3=B and x_4=S
then y=5.607

규칙16: If x_1=B and x_2=B and x_3=B and x_4=B
then y=6.607

이 규칙들은 기존연구(金等, 1996[2])에서 제시된 규칙칙에서 후건부의 값을 쇼케적분치로 바꾼 것인데, 본 연구에서는 이를 축소하여 8개로 줄인다. 이는 물의 온도의 퍼지분할을 1가지로 축소하면 가능하다. 본 연구에서는 규칙2, 규칙4, 규칙6, 규칙8, 규칙10, 규칙12, 규칙14 그리고 규칙16만을 적용하여 16가지 규칙을 모두 적용한 경우와 효율성을 비교 검토한다.

4. 퍼지추론규칙의 효율성 검정

앞에서 설계한 퍼지관능검사 규칙을 이용하면 추가적인 관능검사를 하지 않고 다른 실험조합에 대해 관능검사치를 구할 수 있다. [표3-2]에 제시된 임의의 실험조합에 대해 이 규칙을 이용하여 퍼지추론을 실행하여 관능검사치를 구하고 퍼지추론의 유효성을 검증한다.

<표3-2> 판정용 실험데이터

조합	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
x_1	2.5	2.0	2.0	3.0	1.5	3.0	2.5	3.0	1.5	2.0	2.5	1.5	3.0	1.5	2.0	2.5
x_2	5.5	4.0	5.0	4.0	5.5	5.5	4.5	4.5	4.0	5.5	4.0	4.5	5.0	5.0	4.5	5.0
x_3	5.5	5.0	5.5	6.5	6.0	5.0	5.0	5.5	5.5	6.5	6.0	6.5	6.0	5.0	6.0	6.5
x_4	60	60	65	65	65	70	65	75	70	75	75	60	60	75	70	70

<표3-2>의 16개 실험조합에 대해서 앞에서 제시한 관능검사 알고리즘에 따라 실행한다.

우선 <표3-3>, <표3-4>, <표3-5> 그리고 <표3-6>과 <표3-7>에는 각 실험조합별로 속성요소에 대한 퍼지기본집합의 소속도를 구하여 제시하였다.

<표3-2>의 각 실험조합에 대해서 앞에서 제시한 8개의 퍼지관능검사 규칙을 적용하여 각 규칙별로 적합도를 구하여 <표3-8>에 나타내었다. 마찬가지 방식으로 16개 규칙에 대해서도 구할 수 있다. 유의할 점은 <표3-8>에 나타낸 적합도는 본연구에서 물의 온도(x_4)의 기본집합을 단일집합으로 규정하여 16개 추론규칙을 8개로 축소하여 적용한 결과라는 것이다.

각 규칙별 적합도를 식(3-3)을 이용하여 각 규칙의 추론의 결과치를 실험조합별로 구하여 <표3-9>에 나타내었다. <표3-9>에는 16개 규칙을 적용한 경우와 본 연구에서 축소한 8개 규칙을 적용한 경우의 추론 결과를 대비시켜 나타내었다.

추론한 결과를 판정해 보면, 16개 규칙을 적용한 경우나 8개 규칙을 적용한 경우나 공히 대등한 결과를 얻었으며, 실험조합 8의 경우가 가장 좋은 결과를 보이고 있다. 이 실험조합은 x_1=B, x_2=B, x_3=S x_4=B로 구성되는데, 설탕의 양의 경우 소속도가 0.5로서 많지도 적지도 않은 경우이다. 즉, 커피맛이 가장 좋으려면 커피와 프림을 많이 넣고 설탕은 적당히 넣은 뒤, 물은 많이 끓일 때이다. 이 같은 결론은 앞에서 도출된 퍼지추론규칙14와도 일치한다.

본 연구에서 제시한 관능평가에서의 퍼지추론의 유효성을 판정할 절대적인 기준은 없다. 그러나 본 연구에서 제시한 퍼지추론을 이용한 관능평가의 수치예는 기존의 전통

<표3-3> 커피 양의 소속도

조합	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S	0.50	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	1.00	1.00	0.50	1.00	0.00	1.00	1.00	0.50
B	0.50	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.50	0.00	1.00	0.00	0.00	0.50

<표3-4> 프림 양의 소속도

조합	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S	0.00	1.00	0.33	1.00	0.00	0.00	0.67	0.67	1.00	0.00	1.00	0.67	0.33	0.33	0.67	0.33
B	1.00	0.00	0.67	0.00	1.00	1.00	0.33	0.33	0.00	1.00	0.00	0.33	0.67	0.67	0.33	0.67

<표3-5> 설탕 양의 소속도

조합	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S	0.67	1.00	0.67	0.00	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.00	0.33	0.00	0.33	1.00	0.33	0.00
B	0.33	0.00	0.33	1.00	0.67	0.00	0.00	0.33	0.33	1.00	0.67	1.00	0.67	0.00	0.67	1.00

<표3-6> 물 온도의 소속도(2개 퍼지분할 경우)

조합	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
B	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00

<표3-7> 물 온도의 소속도(1개 퍼지분할 경우)

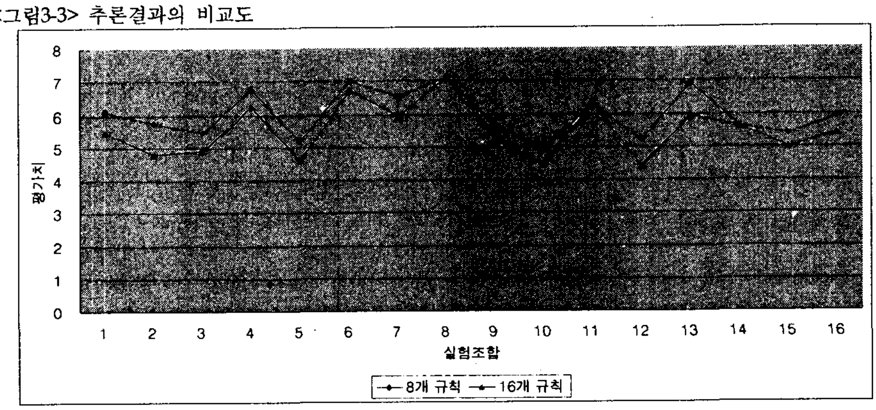
조합	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
B	0.63	0.63	0.75	0.75	0.63	0.88	0.75	1.00	0.88	1.00	1.00	0.63	0.63	1.00	0.88	0.88

<표3-8> 각 규칙의 적합도

실험조합	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
R2	0.00	0.63	0.33	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.67	0.00	0.33	0.00	0.00	0.33	0.33	0.00
R4	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.50	0.63	0.00	0.00	0.67	0.33
R6	0.50	0.00	0.67	0.00	0.33	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.33	0.00
R8	0.33	0.00	0.33	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.33	0.50
R10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.67	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
R12	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.50	0.00	0.33	0.00	0.00	0.33
R14	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
R16	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.50

범례: R=규칙

<그림3-3> 추론결과의 비교도



적 방법으로 측정된 수치를 이용하여 퍼지이론을 적용하여 변형하는 과정을 제시한 것이므로, 전통적 방법으로 방법의 유효성을 검정해도 무리는 없을 것이다. 즉, 본 연구가 적용한 사례에서 속성요소들이 커피맛을 결정하는 요소라고 생각하고 그리고 기존의 방법대로 각 평가치가 연산이 가능한 것이라고 전제하고 분석하기로 한다.

<표3-9>의 추론결과와 <표3-1>의 실험조합의 각 속성요소값을 대응시켜 회귀분석을 실시하여 결정계수를 구한 결과, r^2=0.744499가 되었다. 이는 추론결과의 75%를 설명하고 있으므로 유의한 결과라고 할 수 있다.

더욱이 본 연구에서 제시한 축소형 8개규칙을 적용한 결과는 전체 16개 규칙을 적용한 경우의 결과를 비교해 볼 때, <그림3-3>에 나타난 바와 같이 대등한 추세를 보이고 있다. <표3-9>에서 보듯이 두 경우에 대한 평균자승오차를 보면, 0.3317에 불과하여 대등한 결과를 보이고 있다고 할 수 있다. 단지, 소수의 규칙을 적용하고 퍼지기본집합이 축소된 영향으로 상대적으로 평가치가 상승하는 효과를 보이고 있다.

따라서 본 연구에서 제시한 축소형 퍼지추론규칙이 유효하다고 할 수 있으며 규칙의 수를 반으로 축소해도 대등한 결과를 얻을 수 있으므로 더욱 효과적이라고 할 것이다.

5. 결 론

본 연구는 평가자의 주관적 감성적 측정을 이용하는 관능검사에서 각 상황별 검사치를 도출한 다음, 이를 이용하여 퍼지추론규칙을 설계하여 차후의 평가에 이용하게 함에 있어서, 추론규칙을 효율적으로 설계하는 방법을 제시하였다. 추론규칙을 설계할 때, 전건부의 퍼지분할의 수가 많을수록 규칙의 精度가 개선되는 효과가 있지만 반면에 규칙의 수가 많아져서 복잡성이 증가하는 문제가 있다. 또한 현실적으로 규칙의 수를 모든 상황에 맞게 모두 설정할 필요는 없으므로 본 연구에서는 선행연구의 사례를 이용하여 규칙의 수를 반으로 줄이더라도 대등한 결과를 얻을 수 있음을 수치예에서 증명하였다.

여기서 유의할 점은, 본 연구에서 이용한 사례는 그 결과의 보편성에 초점이 있는 것이 아니라 제시한 방법론의 설명에 이용하고 있을 뿐이라는 것이다. 그 결과의 보편성 객관성을 담보하기 위해서는 더욱 엄밀한 상황하에서 실험을 수행해야 할 것이다.

본 연구의 결과로서, 향후에 수행되어야 할 과제는 다음과 같다.

첫째, 추론 규칙의 설계를 위한 자료를 실험을 통해서 얻었으나 전문가의 관능검사 지식을 언어변수를 도입하여 설계하고 이를 적용하는 방법도 연구할 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서 사용하는 각 속성요소의 소속도함수를 더욱 엄밀히 설정하고 그에 대한 민감도분석이 있어야 할 것이다.

셋째, 본 연구에서 제시한 관능평가법을 이용하여 이를 시스템화하고 커피 자판기 등에 그 결과를 현실화하는 방안을 모색할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1]김정만, 이상도,"一對비교에 의한 관능평가 능력의 동적 판별", 대한 인간공학회지, 제12권, 제2호, 1993. 12, pp.85-91.

[2]김정만, 이상도, "관능검사에 대한 fuzzy 추론의 유효성 평가", 품질경영학회지, 제24권, 제3호, 1996, pp.1333-144.

[3]이진춘, 김정만, "퍼지추론를 이용한 관능검차치의 평가", 한국퍼지시스템학회 발표논문집, .Vol. 4, No. 2, 1994, pp.105-111.

[4]이진춘, "DEA를 이용한 다속성 품질의 평가", 품질경영학회지, 제25권 2호, 1997, pp.169-188.

[5]이진춘, "퍼지적분을 이용한 관능검사치의 정량화", 경일대학교, 산업기술연구소 논문집, 1999, pp.727-740.

[6]Zadeh, L.A., "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning", Part 1 and 2, Information Sciences, Vol. 8, 1975, pp.199-249, pp.301-357.

[7]日本ファジイ學會, ファジイ測度, 講座ファジイ3、 日刊工業新聞社, 1992.

[8]日本ファジイ學會, 講座ファジイ4: ファジイ論理, 日刊工業新聞社, 1992.

[9]菅野道夫, ファジイ制御, 日刊工業新聞社, 1988.

[10]刀根薫, 經營效率性の測定と改善, 日科技連, 1993.

[11] 前田幹夫, 村上周太, 自己調停ファジイコントローラ,計測自動制御學會論文集, Vol. 24, No.2, 1988, pp.191-197.

이 진 춘 (Lee Jin-choon)

경북대학교 경영학과를 졸업하고, 경북대학교 대학원 경영학과에서 경영학석사 및 경영학 박사를 취득하였다. 1988년에 경일대학교 산업시스템공학부에 부임한 이래, 현재에 이르고 있으며, 1993년에 日本大阪府立大學 經營工學科에서 퍼지이론의 응용에 관한 공동연구를 수행하였다.

주요관심분야는 퍼지이론의 응용, 정보시스템의 구축, 공정관리 등이다.