

# 공급체인 관리하에서 효율적인 협력업체 선정 및 평가구조 분석에 관한 연구

김진호 · 이병기\*

명지대학교 산업시스템공학부

## A Study on Selection of Effective Supplier and Analysis of Evaluation Structure in Supply Chain Management

Jin-Ho Kim · Byoung-Ki Lee

Dept. of Industrial and System Engineering, Myongji University, Yongin, 449-728

In supply chain management, supplier capacity is very important to meet the customer demand quickly. This paper studies a supplier evaluation structure and then suggests a methodology using fuzzy theory for selecting an effective supplier. Several quantitative and qualitative evaluation factors should be analyzed in the evaluation structure. The qualitative factors includes not only product and service qualities but financial condition. The methodology deals with both the quantitative and qualitative factors together through fuzzy inference. A case study is also presented to show how to choose the best one among potential suppliers.

**Keyword:** supply chain management, supplier evaluation structure, fuzzy theory, fuzzy rule, fuzzy inference, defuzzifier.

### 1. 서론

협력업체 선정에 관한 대부분의 연구는 설문조사를 토대로 평가기준을 정의한 논문으로, Dickson(1966)은 23개의 협력업체 선정 평가기준을 정의했고, Weber *et al.*(1991)은 74개의 논문을 토대로 평가기준의 중요성은 품질, 납기준수능력, 비용의 순임을 알아냈다. 협력업체 선정 방법론을 제시한 논문으로 Weber and Current(1993)는 다중목적계획법(multi-objective programming)을 이용하여 선정된 협력업체들의 비용, 납기준수능력, 품질의 상충관계를 분석했고, Pan(1989)은 선형계획법을 이용하여 선정된 협력업체들의 주문량을 결정했다. Narasimhan(1983), Nydick and Hill(1992), 그리고 Partovi *et al.*(1989)는 AHP(analytic hierarchy process)를 이용하여 협력업체 선정방법을 제

안했고, Ghodsypour and O'Brien(1998)은 AHP와 선형계획법을 통합한 모델을 수립하여 최적 주문량을 결정했다. 또 Willis *et al.*(1993)은 카테고리방법(categorical method), 가중치방법(weighted point method), 비용비율방법(cost ratio method)을 포함한 협력업체평가 모델을 제안하였다.

언급된 협력업체 선정 논문들은 협력업체 선정 평가기준으로 품질, 비용, 납기준수능력을 강조하고 있다. 그러나, SCM 환경하에서 성공적인 협력업체 관계를 지속적으로 유지하기 위해서는 품질, 비용, 납기준수능력뿐만 아니라 정성적인 평가기준인 장기계획, 재정적 상태, 기술 및 설계능력, 지리적 접근성, 정보교환수준, 협력업체의 전문성 및 경험 등이 포함되어 있어야 한다. 최근에 발표된 Lee(2001)와 Maggie(2001)의 논문에서는 AHP를 이용하여 정성적 요인도 같이 포함한 평가방법을

\*연락처 : 이병기 교수, 449-728 경기도 용인시 남동 산 38-2 명지대학교 산업시스템공학부, Fax : 031-321-6598,

E-mail : bklee@mju.ac.kr

2003년 5월 31일 접수, 2회 수정 후 2004년 3월 16일 게재 확정.

제시하였다. 그러나, AHP 방법에서 문제가 되는 것은 가중치 값을 도출하는 과정에 있다고 하겠다. 가중치 값을 도출하기 위하여 전문가의 견해나 설문조사를 토대로 평가요인을 결정하고 각 평가요인에 대한 가중치 값을 도출한다. 이 과정에서 전문가나 설문조사자들의 생각이 주관적으로 관여하여 정확한 평가가 이루어지지 못한다. 따라서 본 논문에서는 퍼지이론의 퍼지추론(Fuzzy Inference)절차를 이용하여 정량적인 요인뿐만 아니라, 정성적인 요인도 함께 고려하여 협력업체를 평가하고 선정하는 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 협력업체 평가를 위한 요인분석

### 2.1 협력업체 평가요인 선정

협력업체 평가지수(Z)는 품질(Y<sub>1</sub>), 비용(Y<sub>2</sub>), 납기(Y<sub>3</sub>), 서비스(Y<sub>4</sub>)에 의해 평가된다. 품질(Y<sub>1</sub>), 비용(Y<sub>2</sub>), 납기(Y<sub>3</sub>), 서비스(Y<sub>4</sub>)는 모두 정성적인 성격의 요인으로 본 논문에서는 0과 1 사이의 실수값으로 정의한다. 그리고 이런 네 개의 요인변수에는 하위 변수들이 존재하는데, 먼저 품질(Y<sub>1</sub>)요인은 정량적 요인인 수입검사에서의 반품(X<sub>1</sub>), 고객으로부터의 반품(X<sub>2</sub>), 생산라인에서의 재작업시간(X<sub>3</sub>), 품질보증기간(X<sub>4</sub>)에 의해 평가된다. 그리고, 비용(Y<sub>2</sub>)은 고정비(X<sub>5</sub>), 단가(X<sub>6</sub>), 운송비(X<sub>7</sub>)에 의해 평가되며, 납기(Y<sub>3</sub>)는 납기일준수율(X<sub>8</sub>), 주문량준수율(X<sub>9</sub>)에 의해 평가된다. 또, 서비스(Y<sub>4</sub>)는 정량적 요인인 생산능력(X<sub>10</sub>), 지리적 접근성(X<sub>11</sub>)과 정성적 요인인 재정적 상태(X<sub>12</sub>)에 의해 평가된다. 서비스 하위 변수인 재정적 상태(X<sub>12</sub>)는 정성적 요인으

로 매출액(W<sub>1</sub>), 영업이익(W<sub>2</sub>), 유동자산비율(W<sub>3</sub>), 부채비율(W<sub>4</sub>)의 하위 변수에 의해 평가된다. <그림 1>은 선정된 평가기준을 바탕으로 작성된 협력업체 평가구조이다.

### 2.2 협력업체 평가구조분석

<그림 1>을 보면 어떤 성질의 요인으로 평가하느냐에 따라 3가지 형태로 분류할 수 있다. 첫째, 협력업체 평가지수(Z)를 평가하기 위한 정성적 요인에 의한 평가가 있다. 그리고 품질(Y<sub>1</sub>), 비용(Y<sub>2</sub>), 납기(Y<sub>3</sub>)요인을 평가하기 위한 정량적 요인에 의한 평가가 있다. 마지막으로 서비스(Y<sub>4</sub>)요인을 평가하기 위해 정량, 정성적 요인에 의한 평가형태가 있다.

#### 2.2.1 정성적 요인에 의한 평가형태

입력 데이터들이 수치적으로 표현 불가능한 성격의 정성적 요인에 의해 평가되는 평가형태이다. 본 논문에서는 Level 1의 품질(Y<sub>1</sub>), 비용(Y<sub>2</sub>), 납기(Y<sub>3</sub>), 서비스(Y<sub>4</sub>)에 의해 Level 0에 있는 협력업체 평가지수(Z)를 도출하는 과정이다. 품질(Y<sub>1</sub>), 비용(Y<sub>2</sub>), 납기(Y<sub>3</sub>), 서비스(Y<sub>4</sub>)는 퍼지추론을 통해 Level 2의 정량적 데이터들을 평가하여 구간[0, 1] 사이의 실수값으로 정량화한다. 이렇게 정량화된 품질(Y<sub>1</sub>), 비용(Y<sub>2</sub>), 납기(Y<sub>3</sub>), 서비스(Y<sub>4</sub>)의 데이터들에 의해 협력업체 평가지수(Z)를 도출할 수 있고, 우수협력업체를 선정할 수도 있다.

#### 2.2.2 정량적 요인에 의한 평가형태

입력 데이터들이 모두 수치적으로 표현 가능한 정량적 데이터로 평가하는 형태이다. 수치적으로 표현 가능하므로 퍼지이

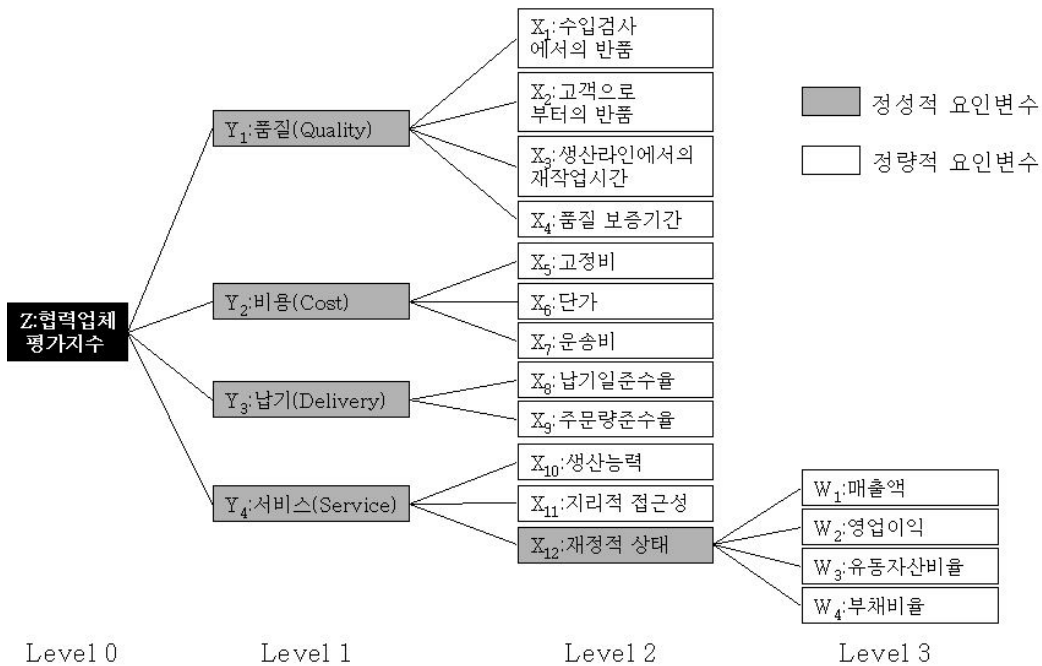


그림 1. 협력업체 평가구조.

론을 적용하지 않고 평가할 수도 있다. 하지만, 정량적 데이터의 성질을 보면 어떤 데이터들은 ‘높으면 좋다’라고 평가되는 데이터가 있는 반면, 어떤 데이터들은 ‘낮으면 좋다’라고 평가되는 데이터들도 있다. <그림 1>에서 품질(Y<sub>1</sub>)요인을 평가하기 위해 수입검사에서의 반품(X<sub>1</sub>), 고객으로부터의 반품(X<sub>2</sub>), 생산라인에서의 재작업시간(X<sub>3</sub>), 품질보증기간(X<sub>4</sub>)을 평가하여야 한다.

이 4가지 요인의 성격을 살펴보면 수입검사에서의 반품(X<sub>1</sub>), 고객으로부터의 반품(X<sub>2</sub>), 생산라인에서의 재작업시간(X<sub>3</sub>)은 짧으면 짧을수록 좋은 성질의 요인이고, 품질보증기간(X<sub>4</sub>)은 길면 길수록 좋다고 평가되는 요인이다. 이렇게 이련류의 데이터들이 혼재되어 있을 경우 퍼지추론을 이용하여 평가할 수 있다. 정량적 요인에 의한 평가형태는 구간 [min, max]사이의 실수값에 의해 평가되는데, 그것은 한 요인에 대해 경쟁하는 여러 협력업체들 중, 가장 작은 값을 min, 가장 큰 값을 max로 하여 구간을 설정한다.

### 2.2.3 정량, 정성적 요인에 의한 평가형태

서비스(Y<sub>4</sub>)요인을 평가하기 위해 생산능력(X<sub>10</sub>), 지리적 접근성(X<sub>11</sub>)과 같은 정량적 데이터와 재정적 상태(X<sub>12</sub>)와 같은 정성적 요인의 데이터를 평가하여야 한다. 정량적 데이터는 수치적으로 표현 가능하므로 그대로 사용하지만, 정성적 요인의 데이터는 수치적으로 표현 불가능하기 때문에 레벨 다운시켜 정량적 데이터에 의해 0에서 1 사이의 값으로 정량화한다. 이렇게 정량적 데이터와 정량화된 데이터를 통해 서비스(Y<sub>4</sub>)요인에 대한 정량화된 값을 도출할 수 있다.

## 3. 퍼지이론을 이용한 협력업체 평가방법

### 3.1 퍼지함수

각 언어변수의 퍼지함수  $\mu(y)$ 는 <그림 2>와 같이 각 구간에서 증가함수와 감소함수의 두 가지 형태로 정의할 수 있다. 여기서  $y$ 는 평가요인의 입력값을 의미하고, 일반적으로  $y$ 의 구간[min, mean]에서의 퍼지함수를

$$\mu(y) = ay^3 + by^2 + cy + d$$

으로 정의할 수 있다. 여기서 3차함수로 정의한 이유는 4차 이상의 고차함수로 정의할 경우 퍼지함수  $\mu(y)$ 는 평가요인 입력값인  $y$ 의 min과 max의 차가 크면 클수록 3차 이상인 항의 계수들이 0에 근접함을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 퍼지함수  $\mu(y)$ 를 3차함수로 정의한다.

증가함수의 경우  $y$ 의 구간[min, mean]에서는  $\mu(\min) = 0$ ,  $\mu(\text{mean}) = 1$ 과 각각의 미분계수인  $\mu'(\min) = 0$ ,  $\mu'(\text{mean}) = 0$ 을 바탕으로 다음과 같은 행렬식을 얻을 수 있다.

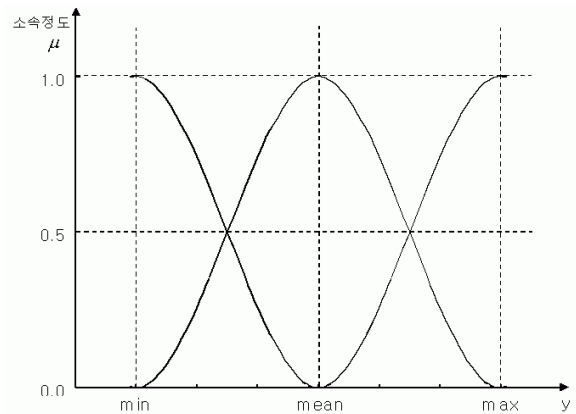


그림 2. 구간별 퍼지함수.

$$\begin{pmatrix} \min^3 & \min^2 & \min & 1 \\ \text{mean}^3 & \text{mean}^2 & \text{mean} & 1 \\ 3\min^2 & 2\min & 1 & 1 \\ 3\text{mean}^2 & 2\text{mean} & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \min^3 & \min^2 & \min & 1 \\ \text{mean}^3 & \text{mean}^2 & \text{mean} & 1 \\ 3\min^2 & 2\min & 1 & 1 \\ 3\text{mean}^2 & 2\text{mean} & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

감소함수의 경우에는 구간[min, mean]에서  $\mu(\min) = 1$ ,  $\mu(\text{mean}) = 0$ 과 각각의 미분계수인  $\mu'(\min) = 0$ ,  $\mu'(\text{mean}) = 0$ 을 바탕으로 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \min^3 & \min^2 & \min & 1 \\ \text{mean}^3 & \text{mean}^2 & \text{mean} & 1 \\ 3\min^2 & 2\min & 1 & 1 \\ 3\text{mean}^2 & 2\text{mean} & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \min^3 & \min^2 & \min & 1 \\ \text{mean}^3 & \text{mean}^2 & \text{mean} & 1 \\ 3\min^2 & 2\min & 1 & 1 \\ 3\text{mean}^2 & 2\text{mean} & 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

행렬식을 통해  $a, b, c, d$ 의 값을 구하여 퍼지함수  $\mu(y)$ 를 정의할 수 있다.  $y$ 의 구간[mean, max]에서는  $\mu(y)$ 를  $t$ 만큼 평행이동하여 구할 수 있다.

(단,  $t = |\text{mean} - \min|$ )

$$\mu(y) = a(y-t)^3 + b(y-t)^2 + c(y-t) + d \quad [\text{mean}, \text{max}]$$

만약, min은 0, mean은 0.5, max는 1이면, 증가함수의  $a, b, c, d$ 는 -16, 12, 0, 0이고 감소함수의 경우는 16, -12, 0, 1이다.

3.2 관련정보들의 퍼지화

협력업체 평가구조를 바탕으로 Level 0과 Level 1의 언어변수를 정리하면 <표 1>과 같다.

Level 1에서의 품질( $Y_1$ ), 비용( $Y_2$ ), 납기( $Y_3$ ), 서비스( $Y_4$ )와 Level 2에서의 재정적 상태( $X_{12}$ )는 정성적 요인으로서 구간을 0에서 1 사이의 실수값을 갖도록 정의한다. 나머지 요인들은 정량적 요인으로 구간이 min, max로 표현되는데, 그것은 한 요인에 대해 경쟁하는 협력업체들 중, 가장 작은 값과 가장 큰 값을 의미한다. 그리고 여기서 발생된 데이터는 수치적으로 표현 가능하므로 직접 사용한다.

표 1. Level 0, 1의 언어변수

Level 0	협력업체 평가지수(Z) 구간[0, 1]	나쁘다( $z_1$ )
		적당하다( $z_2$ )
		좋다( $z_3$ )
		매우좋다( $z_4$ )
Level 1	품질( $Y_1$ ) 구간[0, 1]	나쁘다( $y_{11}$ )
		보통이다( $y_{12}$ )
		좋다( $y_{13}$ )
	비용( $Y_2$ ) 구간[0, 1]	비싸다( $y_{21}$ )
		적당하다( $y_{22}$ )
		싸다( $y_{23}$ )
	납기( $Y_3$ ) 구간[0, 1]	나쁘다( $y_{31}$ )
		보통이다( $y_{32}$ )
		좋다( $y_{33}$ )
	서비스( $Y_4$ ) 구간[0, 1]	나쁘다( $y_{41}$ )
		보통이다( $y_{42}$ )
		좋다( $y_{43}$ )

먼저 협력업체 평가지수(Z)를 결정하려고 할 때, 이와 관련된 요인으로는 Level 1에 있는 품질( $Y_1$ ), 비용( $Y_2$ ), 납기( $Y_3$ ), 서비스( $Y_4$ )이다. 품질( $Y_1$ )은 구간[0, 1]에서 숫자에 의해 표현된다. 그리고 나쁘다( $y_{11}$ ), 보통이다( $y_{12}$ ), 좋다( $y_{13}$ )로 표현되는 세 개의 언어변수와 각 구간에서의 소속정도( $\mu$ )를 가진다. 품질( $Y_1$ )의 퍼지화를 <그림 3>에 나타내었다.

비용( $Y_2$ )은 구간[0, 1]에서 숫자로 표현되고, ‘비싸다, 적당하다, 싸다’의 세 개의 언어변수와 각 구간에서의 소속정도를 가진다. 납기( $Y_3$ ), 서비스( $Y_4$ )도 구간[0, 1]에서 ‘나쁘다, 보통이다, 좋다’의 세 개의 언어변수와 각 구간에서의 소속정도를 가진다. <그림 3>과 같은 형태로 퍼지화할 수 있고, 퍼지함수로 표현하면 <표 2>와 같다.

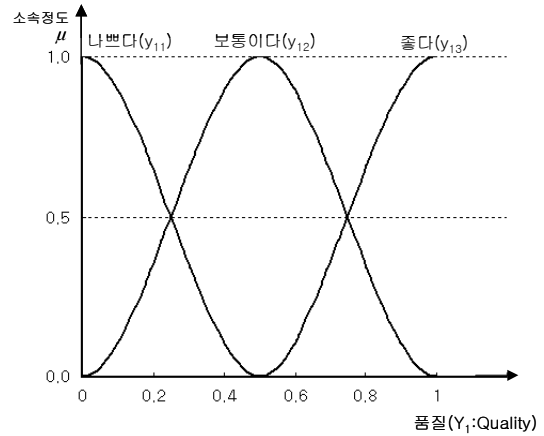


그림 3. 품질에 대한 언어변수.

Level 0에 있는 협력업체 평가지수(Z)는 구간[0, 1]에서 숫자에 의해 표현된다. 그리고, 나쁘다( $z_1$ ), 보통이다( $z_2$ ), 좋다( $z_3$ ), 매우좋다( $z_4$ )로 표현되는 네 개의 언어변수와 각 구간에서의 소속정도를 가진다. 협력업체 평가지수(Z)의 퍼지화를 <그림 4>에 나타내었다.

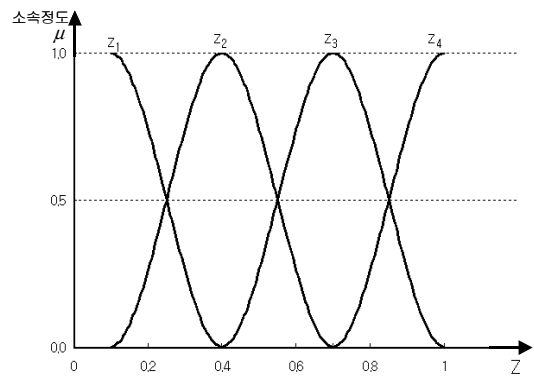


그림 4. 협력업체 평가지수에 대한 언어변수.

3.3 퍼지규칙(Fuzzy Rule)

협력업체 평가지수(Z)를 구하기 위한 요인변수의 수를 p라 하고, 각 요인변수에 대한 언어변수의 수를 q라 하면 퍼지규칙의 수는  $q^p$ 가치가 나온다.

Level 1에서의 요인변수는 네 개로 품질( $Y_1$ ), 비용( $Y_2$ ), 납기( $Y_3$ ), 서비스( $Y_4$ )이고( $p=4$ ), 언어변수는 ‘나쁘다’, ‘보통이다’, ‘좋다’ 이렇게 세 개씩 존재하므로( $q=3$ )  $3^4$ 가지인 81가지의 퍼지규칙이 형성된다. <표 3>은 81가지 협력업체 평가지수(Z)의 퍼지규칙을 나타내었다. <표 3>의 퍼지규칙은 Level 1에서 각 요인별 언어변수인 ‘나쁘다’를 -1로, ‘보통이다’를 0으로, ‘좋다’를 +1로 합산하여 -4에서 +4까지의 값 중 -4, -3, -2, -1은 나쁘다( $z_1$ )로, 0은 적당하다( $z_2$ )로, 1, 2는 좋다( $z_3$ )로, 3, 4는 매우 좋다( $z_4$ )로 결정하였다.

표 2. 언어변수의 퍼지함수

나쁘다	$\mu(y) = 16y^3 - 12y^2 + 1$ 구간 [0, 0.5]
	$\mu(y) = 0$ 구간 [0.5, 1]
보통이다	$\mu(y) = -16y^3 + 12y^2$ 구간 [0, 0.5]
	$\mu(y) = 16(y - 0.5)^3 - 12(y - 0.5)^2 + 1$ 구간 [0.5, 1]
좋다	$\mu(y) = 0$ 구간[0, 0.5]
	$\mu(y) = -16(y - 0.5)^3 + 12(y - 0.5)^2$ 구간[0.5, 1]

Level 2와 Level 3에서도 위와 같은 방법으로 퍼지규칙을 도출하였다. 품질( $Y_1$ ), 비용( $Y_2$ ), 납기( $Y_3$ ), 서비스( $Y_4$ )의 퍼지규칙은 각각 81, 27, 9, 27가지이다. <표 3>은 다음과 같이 해석할 수 있다.

- 규칙1: IF  $Y_1$  is  $y_{11}$ ,  $Y_2$  is  $y_{21}$ ,  $Y_3$  is  $y_{31}$ , and  $Y_4$  is  $y_{41}$  THEN Z is  $z_1$
- 규칙2: IF  $Y_1$  is  $y_{11}$ ,  $Y_2$  is  $y_{21}$ ,  $Y_3$  is  $y_{31}$ , and  $Y_4$  is  $y_{42}$  THEN Z is  $z_1$
- 규칙3: IF  $Y_1$  is  $y_{11}$ ,  $Y_2$  is  $y_{21}$ ,  $Y_3$  is  $y_{31}$ , and  $Y_4$  is  $y_{43}$  THEN Z is  $z_1$
- ⋮
- 규칙81: IF  $Y_1$  is  $y_{13}$ ,  $Y_2$  is  $y_{23}$ ,  $Y_3$  is  $y_{33}$ , and  $Y_4$  is  $y_{43}$  THEN Z is  $z_4$

각각의 규칙에서 'IF' 부분인  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$ 에 대한 상태를 전항이라 하고, 'THEN' 부분인 협력업체 평가지수 Z에 대한 상

표 3. 협력업체 평가지수(Z) 퍼지규칙

	$Y_1$	$y_{11}$			$y_{12}$			$y_{13}$		
$Y_3$	$Y_2$	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$
	$Y_4$									
$y_{31}$	$y_{41}$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_2$
	$y_{42}$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_2$	$z_1$	$z_2$	$z_3$
	$y_{43}$	$z_1$	$z_1$	$z_2$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_2$	$z_3$	$z_3$
$y_{32}$	$y_{41}$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_1$	$z_2$	$z_1$	$z_2$	$z_3$
	$y_{42}$	$z_1$	$z_1$	$z_2$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_2$	$z_3$	$z_3$
	$y_{43}$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_2$	$z_3$	$z_3$	$z_3$	$z_3$	$z_4$
$y_{33}$	$y_{41}$	$z_1$	$z_1$	$z_2$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_2$	$z_3$	$z_3$
	$y_{42}$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_2$	$z_2$	$z_3$	$z_3$	$z_3$	$z_4$
	$y_{43}$	$z_2$	$z_3$	$z_3$	$z_3$	$z_2$	$z_4$	$z_3$	$z_4$	$z_4$

태를 후항이라 한다.

3.4 퍼지추론(Fuzzy Inference)

다음은 Level 1에서 Level 0으로의 퍼지추론 과정이다.

- $Y_p$ : p번째 요인변수 ( $p=1, 2, 3, 4$ )
- $y_{pq}$ : p번째 요인변수에 대한 q번째 언어변수 ( $q=1, 2, 3$ )
- Z: 협력업체 평가지수
- $z_r$ : 협력업체 평가지수에 대한 r번째 언어변수 ( $r=1, 2, 3, 4$ )
- R: i번째 퍼지규칙 ( $i=1, 2, \dots, 81$ )
- IF  $Y_1$  is  $y_{11}$ ,  $Y_2$  is  $y_{21}$ ,  $Y_3$  is  $y_{31}$ , and  $Y_4$  is  $y_{41}$  THEN Z is  $z_r$
- $g_p$ : i번째 퍼지규칙에 대한 p번째 요인변수의 소속정도
- $G_i$ : i번째 퍼지규칙에 대한 Z의 소속정도

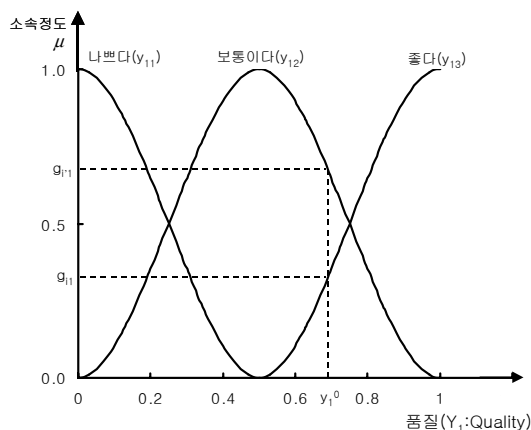


그림 5.  $Y_1=y_1^0$ 에 대한 전항의 소속정도.

먼저 각각의 규칙에서 전항들의 소속정도( $g_{ip}$ )를 결정한다. 그리고 결정된 각 전항들의 소속정도를 가지고 규칙의 총 소속정도를 설정한다. 규칙  $R_i$ 에 포함된 전항( $Y_1$  is  $y_{1i}$ ,  $Y_2$  is  $y_{2i}$ ,  $Y_3$  is  $y_{3i}$ ,  $Y_4$  is  $y_{4i}$ )이 어느 정도의 소속정도를 가지는가를 결정한다. 소속정도는 <그림 5>에서처럼 평가하는 요인의 연장선과 언어변수를 나타내는 그래프가 교차하는 부분에서 결정된다.

이것이 결정되면  $R_i$ 의 총 소속정도  $G_i$ 를 결정하게 되고,  $G_i$ 는 모든 전항의 소속정도 중에서 최소값을 가지게 되는데, 그 이유는 전항의 서로 다른 소속정도 중에서 모든 요인이 공통으로 갖을 수 있는 소속정도가 최소값이기 때문에  $G_i$ 의 소속정도로 결정하게 되는 것이다.

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$G_i = \text{Min}[g_{i1}, g_{i2}, g_{i3}, g_{i4}]$$

규칙  $R_i$ 의 총 소속정도  $G_i$ 는 협력업체 평가지수( $Z$  is  $z_i$ )의 소속정도를 말하고, 요인변수( $Y_p$ )들에 대한 협력업체 평가지수의 부분해(sub-conclusion)가 된다.

3.5 비퍼지화(Defuzzifier)

비퍼지화는 소속함수로 표현되는 퍼지량을 정확한 실수값으로 전환하는 것으로 정의한다. 각각의 후항에 대한 부분해

들이 결정되고 나면, 협력업체평가지수를 나타내는 하나의 그래프에 모두 표현된다. 이 그래프는 품질, 비용, 납기, 서비스에 대한 협력업체 평가지수의 목표값을 나타낸다. 그러나 이는 퍼지집합으로 표현되어 있기 때문에 이를 우리가 알아 볼 수 있는 수치로 변환시켜야 한다. 따라서 적당한 방법을 사용하여 이 그래프를 비퍼지화하여 정확한 목표값을 결정해야 한다.

일반적으로 최대법(max criterion method), 최대평균법(mean of maximum method), 무게중심법(centroid of gravity method)을 이용하는데, 본 논문에서는 무게중심법을 이용하였다. 비퍼지화 수식은 다음과 같다.

$$z^0 = \text{DEFUZZIFIER}[\mu^0(Z)]$$

$$z^0 = \frac{\int \mu^0(Z)ZdZ}{\int \mu^0(Z)dZ}$$

3.6 퍼지추론의 도식적 계산

퍼지추론 과정을 도식적으로 계산하면 <그림 6>과 같다. 품질, 비용, 납기, 서비스에 대한 입력값이  $y_1^0, y_2^0, y_3^0, y_4^0$ 라고 한다면 <표 3>을 참조하여 퍼지규칙을 찾는다. 그리고 각 요

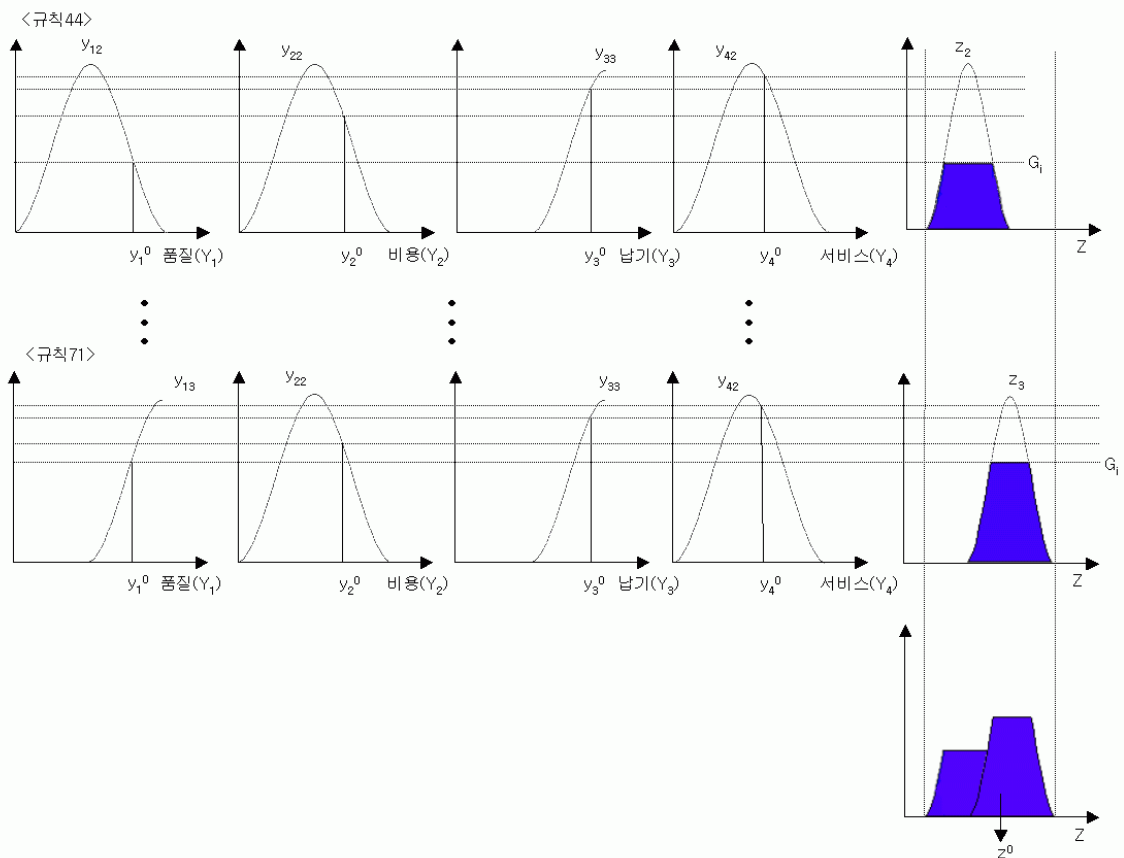


그림 6. 퍼지추론 과정.

인변수의 소속정도( $g_{ip}$ )를 구하고, 그 중 최소값( $G_i$ )으로 하는 협력업체평가지수( $Z$ )의 부분해를 도출한다. 각 규칙에서 도출된 부분해의 합집합을 구하여 협력업체 평가지수의 전체 해집합을 구하고, 비퍼지화를 통해  $z^0$ 를 도출해 낼 수 있다. 이렇게 도출된  $z^0$ 은 여러 협력업체를 평가할 수 있는 지표로 사용하여 어떤 협력업체가 우수 협력업체인지 평가할 수 있다.

4. 사례연구

부품 p를 공급받는 P사가 있다고 가정하자. 협력업체A(S1), 협력업체B(S2), 협력업체C(S3)는 부품 p를 생산하고, P사는 S1, S2, S3 중 한 협력업체를 선정하여야 한다. 평가기준은 품질, 비용, 납기, 서비스로 크게 4가지로 구분하고, 하위 요인으로 <그림 1>의 정량적 요인 15개의 입력 데이터에 의해 평가한다고 가정하자.

<그림 1> 협력업체 평가구조에서 입력 데이터인 정량적 요인의 성격을 살펴보면, 수입검사에서의 반품( $X_1$ ), 고객으로부터의 반품( $X_2$ ), 생산라인에서의 재작업시간( $X_3$ ), 고정비( $X_5$ ), 단가( $X_6$ ), 운송비( $X_7$ ), 지리적 접근성( $X_{11}$ ), 부채비율( $W_4$ )은 수치가 낮으면 좋다고 평가되는 요인이고, 품질보증기간( $X_4$ ), 납기일분수율( $X_8$ ), 주문량준수율( $X_9$ ), 생산능력( $X_{10}$ ), 매출액( $W_1$ ), 영업이익( $W_2$ ), 유동자산비율( $W_3$ )은 수치가 높으면 좋다고 평가되는 요인이다.

<표 4>는 S1, S2 그리고 S3의 입력 데이터이다. 협력업체 평

가지수( $Z$ )를 결정하기 위해, 먼저 정량적 요인에 의한 평가형태부터 살펴보기로 하겠다. <그림 1>에서 재정적 상태( $X_{12}$ )를 평가하기 위해서는 매출액( $W_1$ ), 영업이익( $W_2$ ), 유동자산비율( $W_3$ ), 부채비율( $W_4$ )의 입력 데이터를 받아 퍼지추론 과정을 거쳐 0에서 1 사이의 실수값으로 표현하여야 한다. S1의 경우,  $w_1^0 = 100, w_2^0 = 50, w_3^0 = 100, w_4^0 = 0$ 에 대하여 81( $3^4$ )개의 퍼지 규칙 중 해당되는 퍼지규칙은 IF  $W_1$  is  $w_{13}$  and  $W_2$  is  $w_{23}$  and  $W_3$  is  $w_{33}$  and  $W_4$  is  $w_{43}$  THEN  $X_{12}$  is  $x_{123}$ 으로 한 개가 존재한다. 이때, 각 요인의 소속정도는 모두 1이므로  $X_{12}$ 의 언어변수인  $x_{123}$ 의 영역이 해집합이 된다. 이 해집합을 공식에 의해 비퍼지화

$$\text{하면, } \frac{\int_{0.5}^1 (-16(x-0.5)^3 + 12(x-0.5)^2) x dx}{\int_{0.5}^1 -16(x-0.5)^3 + 12(x-0.5)^2 dx}, \text{ 즉 } x_{12}^0 = 0.85 \text{라는 값을 구할 수 있다.}$$

S2의 경우,  $w_1^0 = 80, w_2^0 = 10, w_3^0 = 60, w_4^0 = 30$ 에 대하여 81개의 퍼지규칙 중 해당되는 퍼지규칙은 16개가 존재하고 이에 대한 해집합영역을 비퍼지화하면  $x_{12}^0 = 0.60$ 이라는 값을 구할 수 있다.

S3의 경우,  $w_1^0 = 10, w_2^0 = -10, w_3^0 = 0, w_4^0 = 200$ 에 대한 퍼지규칙은 IF  $W_1$  is  $w_{11}$  and  $W_2$  is  $w_{21}$  and  $W_3$  is  $w_{31}$  and  $W_4$  is  $w_{41}$  THEN  $X_{12}$  is  $x_{121}$ 로 한 개가 존재한다. 이때 역시, 각 요인의 소속정도는 모두 1이므로  $X_{12}$ 의 언어변수인  $x_{121}$ 의 영역이 해집합이 된다. 비퍼지화하면  $x_{12}^0 = 0.15$ 라는 값을 구할 수 있다.

이제 정량, 정성적 요인에 의한 평가형태를 살펴보겠다. 본문에서는 서비스( $Y_4$ )의 퍼지추론과정이다. S1의 경우, 입력

표 4. 협력업체 평가를 위한 입력 데이터

요인변수 협력업체	$X_1$ [10, 100]	$X_2$ [5, 30]	$X_3$ [5, 10]	$X_4$ [1, 10]	$X_5$ [50, 500]	$X_6$ [5, 30]	$X_7$ [100, 1000]	$X_8$ [70, 100]	$X_9$ [70, 100]	$X_{10}$ [100, 1000]	$X_{11}$ [5, 50]	$X_{12}$ [0, 1]			
	$W_1$ [10, 100]	$W_2$ [-10, 50]	$W_3$ [0, 100]	$W_4$ [0, 200]											
S1	100	30	10	1	50	5	100	100	100	1000	5	100	50	100	0
S2	40	15	8	9	450	20	800	90	77	700	20	80	10	60	30
S3	10	5	5	10	500	30	1000	70	70	100	50	10	-10	0	200
Ideal S	10	5	5	10	50	5	100	100	100	1000	5	100	50	100	0

: 낮으면 좋다고 평가되는 요인  
 : 높으면 좋다고 평가되는 요인

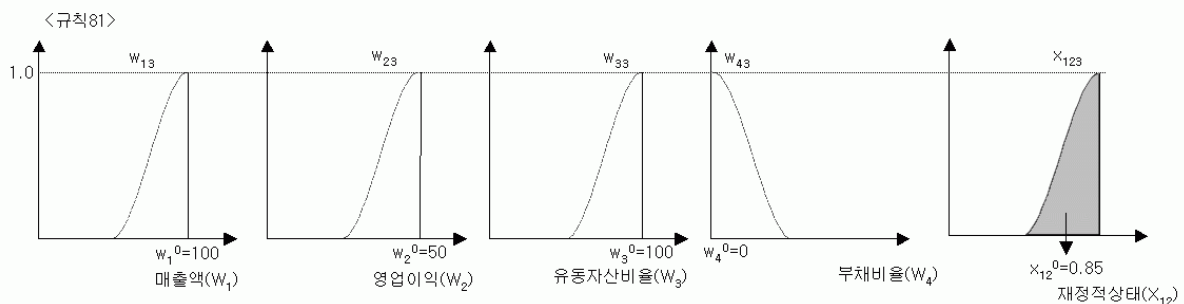


그림 7. X12의 퍼지추론(S1인 경우).

데이터로  $x_{10}^0 = 1000$ ,  $x_{11}^0 = 5$ ,  $x_{12}^0 = 0.85$ 이다. 해당되는 언어변수로는  $X_{10}$ 에서는  $x_{103}$ ,  $X_{11}$ 에서는  $x_{113}$ ,  $X_{12}$ 에서는  $x_{122}$ ,  $x_{123}$ 이다. 퍼지규칙은 IF  $X_{10}$  is  $x_{103}$  and  $X_{11}$  is  $x_{113}$  and  $X_{12}$  is  $x_{122}$  THEN  $Y_4$  is  $y_{43}$ 과 IF  $X_{10}$  is  $x_{103}$  and  $X_{11}$  is  $x_{113}$  and  $X_{12}$  is  $x_{123}$  THEN  $Y_4$  is  $y_{43}$ 으로 2개가 결정된다. <표 5>는 해당되는 언어변수의 소속정도( $g_{ip}$ )와 각 퍼지규칙 중 최소값을 갖는  $Y_4$ 의 소속정도( $G_i$ )를 나타낸 것이다.  $Y_4$ 의 소속정도( $G_i$ )가 정해지면 비퍼지화 과정을 거치면  $y_4^0 = 0.841$ 이라는 값이 나온다. <그림 8>은  $Y_4$ 의 퍼지추론 과정이다. S2의 경우,  $y_4^0 = 0.526$ 이 S3의 경우,  $y_4^0 = 0.159$ 이 나온다.

표 5.  $Y_4$ 의 소속정도(S1의 경우) FR#: 해당되는 퍼지규칙

요인변수 언어변수 FR#	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$		$G_i$	$Y_4$
	$x_{103}$	$x_{113}$	$x_{122}$	$x_{123}$		
26	1.000	1.000	0.216		0.216	$y_{43}$
27	1.000	1.000		0.784	0.784	$y_{43}$

Level 1에서 품질( $Y_1$ ), 비용( $Y_2$ ), 납기( $Y_3$ )의 경우, 위와 마찬가지로 Level 2의 입력데이터에 대한 각각의 언어변수( $x_{pq}$ : Level 2에서 p번째 요인변수에 대한 q번째 언어변수)를 결정하고, 퍼지

표 6. Z의 소속정도(S1인 경우)

FR#: 해당되는 퍼지규칙

요인변수 언어변수 FR#	$Y_1$		$Y_2$		$Y_3$		$Y_4$		$G_i$	Z
	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{32}$	$y_{33}$	$y_{42}$	$y_{43}$		
14	0.784		0.216		0.216		0.238		0.216	$z_1$
15	0.784		0.216		0.216			0.762	0.216	$z_2$
17	0.784		0.216			0.784	0.238		0.216	$z_2$
18	0.784		0.216			0.784		0.762	0.216	$z_3$
23	0.784			0.784	0.216		0.238		0.216	$z_2$
24	0.784			0.784	0.216			0.762	0.216	$z_3$
26	0.784			0.784		0.784	0.238		0.238	$z_3$
27	0.784			0.784		0.784		0.762	0.762	$z_3$
41		0.216	0.216		0.216		0.238		0.216	$z_2$
42		0.216	0.216		0.216			0.762	0.216	$z_3$
44		0.216	0.216			0.784	0.238		0.216	$z_3$
45		0.216	0.216			0.784		0.762	0.216	$z_3$
50		0.216		0.784	0.216		0.238		0.216	$z_3$
51		0.216		0.784	0.216			0.762	0.216	$z_3$
53		0.216		0.784		0.784	0.238		0.216	$z_3$
54		0.216		0.784		0.784		0.762	0.216	$z_4$

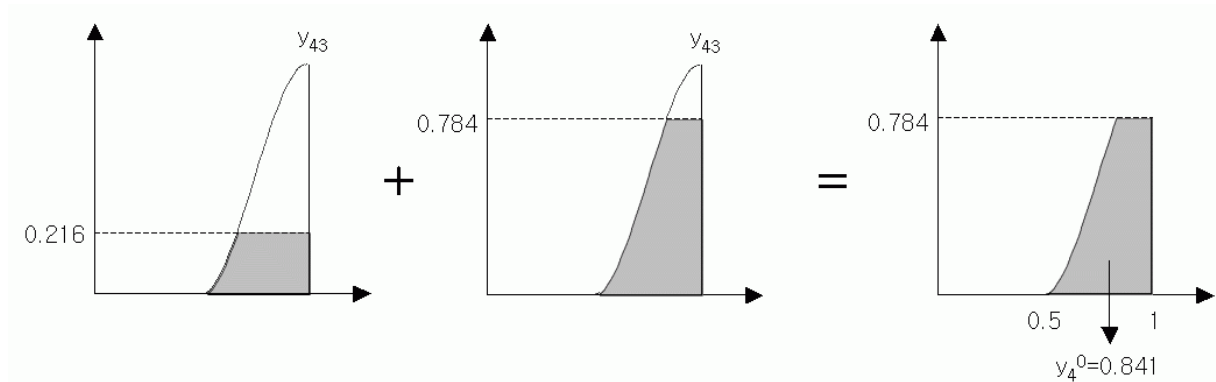


그림 8.  $Y_4$ 의 퍼지추론(S1인 경우).



규칙을 결정하여 각 언어변수의 소속정도( $g_p$ )를 결정한다. 요인변수  $Y_1, Y_2, Y_3$ 에 대하여 각각의 퍼지규칙에서 언어변수의 최소값을 찾고, 각 요인변수의 소속정도( $G_i$ )를 결정한다. 이렇게 결정된 부분해의 합집합을 도출하고, 비퍼지화하면 S1의 경우,  $y_1^0 = 0.150, y_2^0 = 0.850, y_3^0 = 0.850$ 의 값이 나온다. S2의 경우,

$y_1^0 = 0.623, y_2^0 = 0.600, y_3^0 = 0.444$ 의 값이 나온다. 또 S3의 경우,  $y_1^0 = 0.850, y_2^0 = 0.150, y_3^0 = 0.150$ 의 값이 나온다.

마지막으로 정성적 요인에 의한 평가형태를 살펴보자. 본 논문에서는 Level 1에서 Level 0의 과정을 나타낸 것이다. 입력 데이터가  $y_1^0 = 0.150, y_2^0 = 0.850, y_3^0 = 0.850, y_4^0 = 0.841$ 인 S1의

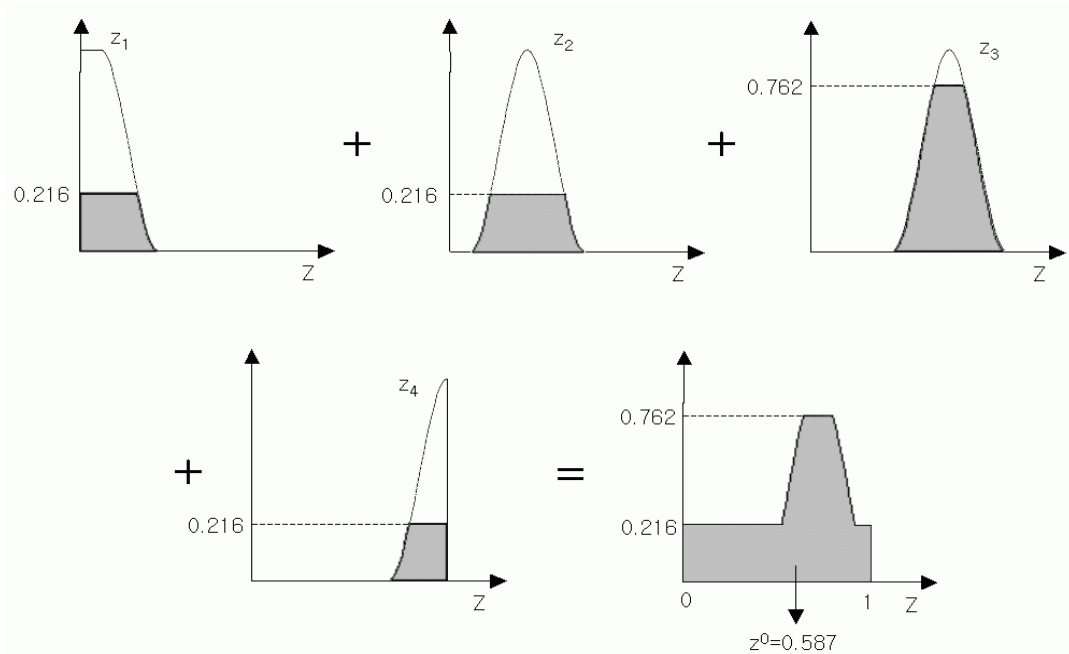


그림 9. Z의 퍼지추론 (S1인 경우).

표 7. Z의 소속정도 (이상적인 협력업체)

FR#: 해당되는 퍼지규칙

요인변수 언어변수 FR#	Y <sub>1</sub>		Y <sub>2</sub>		Y <sub>3</sub>		Y <sub>4</sub>		G <sub>i</sub>	Z
	y <sub>12</sub>	y <sub>13</sub>	y <sub>22</sub>	y <sub>23</sub>	y <sub>32</sub>	y <sub>33</sub>	y <sub>42</sub>	y <sub>43</sub>		
41	0.216		0.216		0.216		0.238		0.216	z <sub>2</sub>
42	0.216		0.216		0.216			0.762	0.216	z <sub>3</sub>
44	0.216		0.216			0.784	0.238		0.216	z <sub>2</sub>
45	0.216		0.216			0.784		0.762	0.216	z <sub>2</sub>
50	0.216			0.784	0.216		0.238		0.216	z <sub>3</sub>
51	0.216			0.784	0.216			0.762	0.216	z <sub>3</sub>
53	0.216			0.784		0.784	0.238		0.216	z <sub>3</sub>
54	0.216			0.784		0.784		0.762	0.216	z <sub>4</sub>
68		0.784	0.216		0.216		0.238		0.216	z <sub>3</sub>
69		0.784	0.216		0.216			0.762	0.216	z <sub>3</sub>
71		0.784	0.216			0.784	0.238		0.216	z <sub>3</sub>
72		0.784	0.216			0.784		0.762	0.216	z <sub>4</sub>
77		0.784		0.784	0.216		0.238		0.216	z <sub>3</sub>
78		0.784		0.784	0.216			0.762	0.216	z <sub>4</sub>
80		0.784		0.784		0.784	0.238		0.238	z <sub>4</sub>
81		0.784		0.784		0.784		0.762	0.762	z <sub>4</sub>

경우에 해당되는 언어변수는, Y<sub>1</sub>인 경우에는 y<sub>11</sub>, y<sub>12</sub>, Y<sub>2</sub>인 경우에는 y<sub>22</sub>, y<sub>23</sub>, Y<sub>3</sub>인 경우에는, y<sub>32</sub>, y<sub>33</sub>, Y<sub>4</sub>인 경우에는 y<sub>42</sub>, y<sub>43</sub>이다. <표 3>을 참조하여 해당되는 퍼지규칙을 정한다. <표 6>은 해당되는 퍼지규칙에 대한 Z의 소속정도를 나타낸 것이다. 퍼지추론을 <그림 9>에 도식화하였다. 비퍼지화한 S1의 협력업체 평가지수(Z)는 0.587이다. S2의 경우는 입력 데이터가 y<sub>1</sub><sup>0</sup> = 0.623, y<sub>2</sub><sup>0</sup> = 0.600, y<sub>3</sub><sup>0</sup> = 0.444, y<sub>4</sub><sup>0</sup> = 0.526이다. 해당되는 퍼지규칙에 대한 Z의 소속정도를 구하고, 비퍼지화하면 S2의 협력업체 평가지수(Z)는 0.467이 나오게 된다. S3의 경우는 입력 데이터가 y<sub>1</sub><sup>0</sup> = 0.85, y<sub>2</sub><sup>0</sup> = 0.15, y<sub>3</sub><sup>0</sup> = 0.15, y<sub>4</sub><sup>0</sup> = 0.159이다. 해당되는 퍼지규칙에 대한 Z의 소속정도를 구하고, 비퍼지화하면 S3의 협력업체 평가지수(Z)는 0.471이다.

세 개의 협력업체 평가지수를 비교하면, 최우수 협력업체는 S1이 된다. 그러나, <표 4>의 입력 데이터를 자세히 보면 S1이 모든 요인에서 우수한 것은 아니다. 협력업체 A(S1)는 품질 면에서 협력업체 C(S3)에 뒤지고 있다. 그렇다면, 협력업체 A(S1)는 이상적인 협력업체(Ideal S)의 평가지수와 얼마만큼의 차이가 있고, 발전기대효과는 얼마나 있는지 알아보자.

<표 7>은 이상적인 협력업체(Ideal S)의 퍼지규칙에 대한 Z의 소속정도를 나타낸 것이다. 16개의 퍼지규칙을 통하여 비퍼지화하면 협력업체 평가지수는 0.690이 나온다. <표 8>은 협력업체 평가결과이다.

표 8. 협력업체 평가결과

	Z [0, 1]			
S1	0.587			
S2	0.467			
S3	0.471			
Ideal S	0.690			
	Y <sub>1</sub> [0, 1]	Y <sub>2</sub> [0, 1]	Y <sub>3</sub> [0, 1]	Y <sub>4</sub> [0, 1]
S1	0.150	0.850	0.850	0.841
S2	0.623	0.600	0.444	0.526
S3	0.850	0.150	0.150	0.159
Ideal S	0.850	0.850	0.850	0.841

최우수 협력업체로 선정된 S1의 발전기대 효과는 다음과 같다.

$$\frac{0.690 - 0.587}{0.690} \times 100 = 14.928\%$$

S1은 P사와의 지리적 접근성 및 운송비의 부담을 해소한다 면 14.928%의 발전기대효과를 얻을 수 있을 것이고, Supply

Chain 내에서 원활한 부품공급이 이루어 질 것이다.

### 5. 결론

본 논문에서는 협력업체의 평가 및 선정에서 발생하는 애매함과 불확실성을 수용하기 위하여 퍼지이론을 이용하였다. 퍼지이론은 추상적이고 불분명한 요인에 소속정도를 부여함으로써 객관적이고 명확한 집합으로 정의할 수 있도록 하기 때문에 협력업체 평가 및 선정의 애매함을 수용할 수 있도록 하였다.

퍼지추론 절차를 협력업체 평가 및 선정에 적용함으로써 기존의 경험이나 주관적 판단에 의해 결정되던 것보다 과학적이고, 객관적인 방법으로 분석할 수 있었다.

### 참고문헌

Dickson, G.W.(1966), An analysis of vendor selection, *Journal of Purchasing*, 2, 5-17.

Ghodspour, S.H. and O'Brien, C.(1998), A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming, *International Journal of Production Economics*, 56, 199-212.

Lee, E.K., Ha, S.D., and Kim, S.K.(2001), Supplier selection and management system considering relationships in supply chain management, *IEEE Trans. Eng. Management*, 48, 307-318.

Maggie, C.Y., and Rao Tummala, V.M.(2001), An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system, *The International Journal of Management Science*, 171-182.

Narasimhan, R.(1983), An analytical approach to supplier selection, *Journal of Purchasing and Material Management Winter*, 27-32.

Nydick, R.L., and Hill, R.P.(1992), Using the analytic hierarchy process to structure the supplier selection procedure. *Journal of Purchasing and Material Management Summer*, 25-31.

Pan, A.C.(1989), Allocation of order quantity among suppliers, *Journal of Purchasing and Materials Management Fall*, 36-39.

Partovi, F.Y., and Burton, B.A.(1989), Application of analytic hierarchy process in operations management. *International Journal of Operations and Production Management*, 10-19.

Shehu, S.F., Dimitar, F., and Reza, L.(2000), Fuzzy Control Synthesis and Analysis, John Wiley & Sons.

Weber, C.A., Current, J.R. and Benton, W.C.(1991), Vendor selection criteria and methods, *European Journal of Operational Research*, 50, 2-18.

Weber, C.A., and Current, J.R.(1993), A multi-objective approach to vendor selection, *European Journal of Operational Research*, 68, 173-184.

Willis, T.H., Huston, C.R., and Pohlkamp, F.(1993), Evaluation measures of just-in-time supplier performance, *Production and Inventory Management Journal*, 34, 1-6.

Zimmermann, H.J.(1996), Fuzzy Set Theory and Its Applications, Kluwer Academic Publishers.



**이 병 기**

서울대학교 전자공학과 학사  
미국 미시간대학교 컴퓨터공학과 석사  
미국 미시간대학교 산업공학과 박사  
현재: 명지대학교 산업시스템공학부 교수  
관심분야: 전문가시스템 응용, 컴퓨터통합생  
산시스템, 협업적 제품개발



**김 진 호**

명지대학교 산업공학과 학사  
명지대학교 산업공학과 석사  
현재: 인포리버 (주) 재직  
관심분야: SCM, 전문가시스템 응용