

## 품질기능전개에서의 변동성 분석: 설계특성의 우선순위 결정 Variability Analysis in QFD: Prioritizing Engineering Characteristics

민대기, 김광재  
포항공과대학교 기계산업공학부  
경상북도 포항시 남구 효자동 산 31번지

### Abstract

This paper proposes a new framework for variability analysis in QFD. The proposed framework considers the uncertainty of the information contained in the house of quality chart and analyzes the variability resulting in the outcome. A new framework provides a dominance index and a difference index for each pairwise ECs. The indices are helpful to evaluate priorities of each pairwise EC.

**Keywords:** Variability Analysis, EC importance, Dominance Theory

### 1. 서론

품질기능전개(QFD)는 제품 개발과 생산의 각 단계에서 고객의 요구사항을 적절한 설계 특성으로 전환하기 위한 고객 기반 품질경영 및 생산 개발 시스템이다(Sullivan, 1986; Hauser and Clausing, 1988). QFD는 제품의 품질을 향상시키고, 비용을 절감하며, 개발 기간을 단축할 수 있도록 해준다. 오늘날 QFD의 적용분야는 제품 설계에 국한된 것이 아니라, 어떤 주어진 목적들(Whats)에 가능한 대응 방법(Hows)의 우선순위나 최적 목표 수준을 체계적으로 결정하는 다양한 분야로 확대되었다.

QFD는 'House of Quality (HOQ)'라는 특별한 모양의 도표에 의해 전개된다. HOQ는 고객 요구사항(Customer Attributes, CA)과 CA 상대적 중요도, 설계특성 (Engineering Characteristics, EC), CA-EC 연관관계, EC-EC 상관관계, 벤치마킹 등의 입력 정보로 구성된다.

QFD를 통해서 얻어지는 전형적인 결과물은 HOQ의 입력 정보를 근거로 산출되는 EC 중요도이다. 기존의 QFD 분석 방법에서 EC 중요도는 CA 중요도와 CA-EC 연관관계를 곱하여 각 EC별 가중합으로 산출된다. 이 방법이 이해하고 사용하기 매우 쉽지만, HOQ의 입력 정보가 확실하고 정확하다는 것을 가정한다는 점에서 문제점을 가진다.

QFD가 제품설계의 초기단계에 사용된다는 점에서 정확한 입력정보를 획득하기는 어렵다. 따라서, 입력정보에는 '불확실성(Uncertainty)'이 포함되어 있다. 또한 입력정보의 불확실성은 결과값에 '변동성(Variability)'을 가져온다. 기존의 연구들에서 이런 불확실성을 인정하고 이를 고려하려는 시도가

있었다(Chan *et al.*, 1999; Temponi *et al.*, 1999; Shen *et al.*, 2001). 또한, 이런 불확실성으로 인한 EC 중요도와 같은 결과값에서 변동성을 파악하고자 하는 연구도 있었다(Khoo, L.P. and Ho, N.C., 1996; Kalargeros, N. and Gao, J.X., 1998). 하지만, 입력정보의 불확실성을 고려하고, 이로 인한 결과값의 변동성을 파악하여, 우선순위를 평가하는데 활용하는 전체 분석 체계가 요구된다. Wang, J. (1999)과 Han *et al.* (2003)가 전체 체계와 함께 우선순위 결정에 결과값의 변동성을 활용하였지만, 우선순위 차이가 '있다'와 '없다', 또는 우월관계가 '강하다'와 '약하다' 등의 이분법적인 의사결정으로 정보의 손실을 가져왔다.

본 논문에서는 입력정보의 불확실성을 고려하여, 이로 인한 결과값의 변동성을 파악하고, 이를 우선순위 평가에 활용하는 새로운 QFD 분석 체계를 제시하고자 한다. 본 연구의 특징은 불확실성 고려, 변동성 파악 뿐만 아니라, 이를 우선순위 평가에 활용하는 모든 수행이 하나의 분석 체계로 정리되었다는 점이다. 또한 우선순위 평가를 위해 우월지수와 차이지수를 제안하였다는 점이 독특한 특징이다.

2절에서는 본 연구의 배경을 설명하고, 3절에서는 제안하고자하는 새로운 QFD 분석 체계를 단계별로 설명한다. 4절에서는 토론 및 결론을 내린다.

### 2. 배경

#### 2.1. 전통적인 EC 중요도 계산 과정

절대적 EC 중요도(이하 EC 중요도)를 계산하는 전통적인 방법은 CA 중요도와 CA-EC 연관관계 계수를 사용한다. 각각의 EC에 대해서, 중요도는 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{AI}_j = \sum_{i=0}^m \overline{R}_{ij} \overline{WI}_i, j = 1, \dots, n, \quad (1)$$

$\overline{AI}_j$ 는 EC<sub>j</sub>(j번째 EC, j=1,...,n) 중요도의 대표값,  $\overline{WI}_i$ 는 CA<sub>i</sub>(i번째 CA, i=1,...,m) 중요도의 대표값, 그리고  $\overline{R}_{ij}$ 는 CA<sub>i</sub>와 EC<sub>j</sub> 사이의 연관관계 계수를 나타낸다. 계산된  $\overline{AI}_j$ 의 크기가 큰 순서대로 우선순위가 결정된다. 본 논문에서는 고정된 대표값인  $\overline{WI}_i$ 와 구분하기 위하여  $WI_i$ 는 고정되지 않는 CA<sub>i</sub> 중요도 변수를 의미하고, 마찬가지로  $R_{ij}$ 는 연관관계 계수 변수를,  $AI_j$ 는 EC<sub>j</sub> 중요도 변수를 의미한다.

## 2.2. 불확실성과 변동성

HOQ의 불확실성은 입력 정보의 값을 정확하게 알지 못하는 상태를 의미한다. QFD는 제품설계의 초기단계에 사용되기 때문에 정보가 양적, 질적으로 불충분하여 HOQ의 입력 정보는 불분명하고 (fuzzy), 모호한(vague) 특성을 가지고 있다. 본 연구에서, 입력 정보의 불확실성은 QFD의 모든 입력 성분에서 나타날 수 있다. 따라서 불확실성은 CA 중요도, CA-EC 연관관계, EC-EC 상관관계, 벤치마킹에서 나타난다.

변동성은 결과값의 상승이나 하락의 변동폭을 의미한다. 이것은 입력 정보의 불확실성에 의한 파급효과로 나타난다. 본 연구에서는 EC 중요도에서 변동성이 나타난다. 따라서, 어떤 EC 중요도를 형성하는데 관여하는 CA 중요도와 CA-EC 연관관계의 불확실성이 크면 클수록 변동성도 커지게 되고, 반대의 경우 변동성은 작아진다.

본 연구에서는 HOQ 입력 정보의 불확실성을 고려하고, 불확실성의 효과로 나타나는 결과값의 변동성을 우선순위 결정을 위한 분석에 활용하기 위한 방법론의 체계를 제시하고자 한다.

## 2.2. 기존 연구

QFD 연구가 크게 성장하였지만, HOQ 입력 정보의 불확실성을 고려하고, 결과에 나타나는 효과를 분석하는 QFD 분석 방법에 대한 연구는 많은 관심을 받지 못했다.

입력 정보의 불확실성에 대한 관심은 불확실성이 결과값에 어떤 영향을 미치는지 확인하는 연구에서 확인할 수 있다. Xie *et al.* (1998)은 AHP를 활용하여 산출한 CA 중요도에 불확실성이 있는 경우를 가정하여 민감도 분석을 실시하였다. Shen *et al.* (1999)은 EC 중요도가 CA-EC 연관관계 계수에 대해 둔감하도록 계수를 결정하였다. 이 연구들은 불확실성이 존재하는 것을 인정하였다는 점에서 의미가 있다. 하지만, AHP를 CA 중요도에 사용한 특정 상황에 대한 연구로 일반적인 상황에 적용하기 위한 분석 체계가 요구된다.

HOQ 입력 정보의 불확실성을 고려하기 위해 특정 입력 성분을 퍼지하게 표현하는 것과 관련된 기존의 연구가 있다. Chan *et al.* (1999)은 CA 중요도의 불확실성을 고려하여 이를 퍼지수로 나타내고, 벤치마킹 정보로 보정하여 최종 CA 중요도를 퍼지하게 표현하였다. Temponi *et al.* (1999)은 CA-EC 상관관계 계수를 퍼지하게 표현하여 이 입력 성분의 불확실성을 고려하고자 하였다. Shen *et al.* (2001)은 기존 CA 중요도에 퍼지수 형태의 동향 (Trend) 요소를 추가하여 최종 CA 중요도를 퍼지하게 나타내어 불확실성을 고려하였다. 이 연구들은 HOQ 입력 정보에 불확실성을 고려하여 표현하는 것과 관련된 연구들이다.

입력 정보의 불확실성을 고려하고, 이것의 효과로 발생하는 EC 중요도의 변동성을 파악하기 위한 체계를 제안한 연구들이 있다. Khoo, L.P. and Ho, N.C. (1996)와 Kalageros, N. and Gao, J.X. (1998)는 퍼지수를 이용하여 CA 중요도와 CA-EC

상관관계 계수를 표현하고, 퍼지 연산을 이용하여 EC 중요도를 퍼지수로 산출하는 방법 체계를 제안하였다. Zhou, M. (1998)도 퍼지 이론을 이용하여 EC 중요도를 퍼지수로 산출하는 방법론을 제안하였다. Shen *et al.* (2001)은 퍼지수로 산출된 EC 중요도를 다시 하나의 숫자로 전환하는 방법을 제안하였고, Kwong and Bai (2003)은 CA 중요도가 AHP를 통해서 산출되었을 경우 불확실성을 고려하기 위한 퍼지 AHP를 제안하고 EC 중요도를 퍼지수 형태로 산출하였다. 이와 같은 연구들을 통해 HOQ 입력 정보의 불확실성에 의한 효과가 EC 중요도의 변동성으로 산출될 수 있다.

Wang, J. (1999)과 Han *et al.* (2003)은 EC 중요도의 변동성을 EC 우선순위 결정을 위한 의사 결정에 활용하였다. Wang, J. (1999)은 퍼지아웃랭킹(Fuzzy Outranking) 방법을 이용하여, 두 EC 중요도 순위가 높은 EC를 결정하는 방법을 제안하였다. Han *et al.* (2003)은 입력 정보의 불확실성을 LPI (Linear Partial Information) 형태로 고려하고, 완전우월 (Strict Dominance)과 약한우월 (Weak Dominance)로 EC 우선순위를 결정하였다. 약한우월의 경우 완전우월에 가까운 것부터, 우월관계가 거의 없는 것까지 다양하지만, 그 정도에 관해서는 파악할 수 없다. 즉, EC 중요도의 변동성을 우선순위 결정에 활용하였지만, 두 EC간의 관계가 단지 우선순위가 높고 낮음의 두 가지 범주로 구분되면서 정보의 손실이 발생한다.

## 3. 새로운 QFD 변동성 분석 체계 제안

새로운 QFD 변동성 분석 체계는 HOQ 입력 정보의 불확실성을 고려하여, 이로 인해 야기되는 결과의 변동성을 이용하여 우선순위 평가에 활용하는 방법이다. 제안된 체계는 5단계로 구성된다: (i) 불확실성 모형 구축, (ii) EC 중요도의 변동성 계산, (iii) 우월지수 계산, (iv) 차이지수 계산, 그리고 (v) 우선순위 다면평가.

제안된 분석 체계의 특징은 불확실성의 고려와 이것의 효과인 변동성 파악, 그리고 이를 활용한 우선순위 평가가 하나의 체계에 모두 포함된다는 점이다. 다른 하나의 독특한 특징은 두 EC 중요도 사이의 우선순위를 우월 정도의 지수로 나타낼 뿐만 아니라, 의미 있는 차이 정도를 지수로 나타낸다.

### 3.1. 불확실성 모형 구축

불확실성 모형은 입력정보에 내재된 불확실성 정도가 정량적으로 표현된 것을 의미한다. 불확실성 모형 구축 단계에서는 수집된 데이터를 이용하여, 불확실성 모형을 산출한다. 불확실성 정도를 정량적으로 표현하기 위해서는 분포(Distribution)의 형태나 간격(Interval)의 형태가 사용될 수 있다. 따라서 불확실성 모형 구축 단계에서는 불확실성 모형의 형태를 선택하고, 형태에 따라 필요한 모수를 결정한다.

불확실성 모형 구축의 대상은 모든 HOQ 입력

성분이 될 수 있다. 본 연구에서는 CA 중요도의 불확실성을 고려하고, 다른 입력 성분은 기존의 체계에서 사용하였던 것과 같이 고정된 값을 사용한다.

본 연구에서는 CA 중요도의 불확실성 모형으로 간격 형태를 사용한다. 간격 형태는 일반적으로  $[\overline{W}_i - \alpha_i^L, \overline{W}_i + \alpha_i^U]$ 으로 표현될 수 있다. CA 중요도에 관한 수집된 데이터의 대표값으로부터 위로  $\alpha_i^U$ , 아래로  $\alpha_i^L$ 만큼의 간격으로 불확실성을 의미한다. 따라서,  $\alpha_i^U$ 와  $\alpha_i^L$ 의 값을 결정하는 것으로 불확실성 모형은 구축된다. 이 불확실성 모형은 EC 중요도의 변동성을 계산하는데 사용된다.

### 3.2. 두 EC간 중요도 차이의 변동성 계산

입력정보의 불확실성은 EC 중요도의 변동성을 가져온다. 또한, EC 중요도의 변동성은 두 EC간의 중요도 차이를 변화시킨다. 우선순위 결정을 위해, 두 EC간 중요도 차이의 변동성을 파악해야 하므로, 이 단계에서는 두 EC간 중요도 차이의 변동성을 계산한다.

본 연구에서는  $EC_k$ 와  $EC_l$  간의 중요도 차이를  $Z_{kl}$ 로 정의한다. (일관성 있는 설명을 위해, 기존의 방법을 통해서 얻어진 중요도의 차이가 항상 양수가 되도록 더 큰 중요도의 EC를  $k$ 에, 작은 EC를  $l$ 로 정한다.)  $Z_{kl}$ 의 최소값과 최대값은 다음과 같은 선형계획법을 이용하여 계산할 수 있다(Hiller and Lieberman, 1995).

$$Z_{kl}^{\min} = \text{minimize } AI_k - AI_l = \sum_{i=1}^m (\overline{R}_{ik} W_i - \overline{R}_{il} W_i)$$

subject to

$$\overline{W}_i - \alpha_i^L \leq W_i \leq \overline{W}_i + \alpha_i^U, i = 1, \dots, m, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m W_i = 1,$$

$$Z_{kl}^{\max} = \text{maximize } AI_k - AI_l = \sum_{i=1}^m (\overline{R}_{ik} W_i - \overline{R}_{il} W_i)$$

subject to

$$\overline{W}_i - \alpha_i^L \leq W_i \leq \overline{W}_i + \alpha_i^U, i = 1, \dots, m, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m W_i = 1,$$

$Z_{kl}^{\min}$ 은 두 EC간 중요도 차이가 가장 작은 경우의 값이며, 이 경우에  $EC_k$ 가  $EC_l$ 과 관련하여 가장 작아지는 경우이다. 이 값은 음수, 양수가 모두 가능하며, 음수인 경우에는 기존의 방법에서는  $EC_k$  중요도가 더 크지만, 불확실성 상황에서  $EC_l$ 이  $EC_k$ 보다 더 커질 수 있다는 것을 의미한다. 반대로,  $Z_{kl}^{\max}$ 는 두 EC간 중요도 차이가 가장 큰 경우의 값으로, 항상 양수만 나온다. 두 EC간  $Z_{kl}^{\min}$ 과  $Z_{kl}^{\max}$ 은 우월지수와 차이지수를 계산하는데 사용된다.

### 3.3. 우월지수 계산

우월지수를 계산하기 전에,  $Z_{kl}^{\min}$ 을 이용하여 두 EC간 우월관계를 정의할 수 있다.  $Z_{kl}^{\min}$ 가 0이거나 양수인 경우에는  $EC_k$ 가  $EC_l$ 에 완전우월한 관계이다. 이것은  $EC_k$ 가 불확실성 상황에서도 항상  $EC_l$ 보다 크다는 것을 의미한다.  $Z_{kl}^{\min}$ 가 음수인 경우에는 약한우월한 관계로, 상황에 따라서는  $EC_l$ 이 더

커질 수도 있다는 것을 의미한다(Kmietowicz and pearman, 1984).

우월지수는 두 EC간의 우월관계 정도를 0과 1사이의 지수로 표현하는 것이다. 완전우월의 경우 1의 값을, 약한우월의 경우에는  $[0,1)$  범위의 값을 갖는다. 0인 경우는 기존의 방법으로 두 EC 중요도가 같은 경우이다. 이와 같은 성질을 갖도록 우월지수( $D_{kl}$ )를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$D_{kl} = \begin{cases} 1, & Z_{kl}^{\min} \geq 0 \\ \frac{Z_{kl}^{\max} + Z_{kl}^{\min}}{Z_{kl}^{\max} - Z_{kl}^{\min}}, & Z_{kl}^{\min} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$Z_{kl}^{\min}$ 이 -0.3이고,  $Z_{kl}^{\max}$ 이 0.5인 경우 약한우월 관계이며,  $D_{kl} = (0.5 + (-0.3)) / (0.5 - (-0.3)) = 0.25$ 으로 계산된다.

### 3.4. 차이지수 계산

차이지수는 우월관계가 비슷한 두 EC간 차이 정도를 통해 현실적으로 의미 있는 차이인지를 파악하기 위한 지수이다. 즉, 차이가 현실적으로 큰 경우 1의 값을, 작을 경우 0에 가까운 값을 갖는다. 0인 경우는 기존의 방법으로 두 EC 중요도가 같은 경우이다. 먼저 평균 절대값 차이를  $|Z|_{kl}^{avg} = (|Z_{kl}^{\max}| + |Z_{kl}^{\min}|) / 2$ 으로 정의하고, 위와 같은 성질의 차이지수( $F_{kl}$ )를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$F_{kl} = \begin{cases} 1, & |Z|_{kl}^{avg} \geq Z_{\max} \\ \frac{|Z|_{kl}^{avg}}{Z_{\max}}, & |Z|_{kl}^{avg} < Z_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

$Z_{\max}$ 는 최대값 상수로, 의사결정자에 의해 결정된다. 두 EC간 중요도 차이가 얼마일 때, 1의 지수값을 주겠느냐는 질문을 통해 최대값 상수를 구할 수 있다. 평균 절대값 차이가 이 최대값 상수보다 클 경우에 차이지수는 1의 값을, 작을 경우에는 이 평균 절대값 차이에 대한 선형 함수로 구할 수 있다.

### 3.5. 우선순위 다면평가

우선순위 다면평가 단계에서는 우월지수, 차이지수에 의한 다면 평가를 실시한다. 다면 평가의 결과는 우월관계와 함께 우선순위에 대한 전략적 지침을 제공할 수 있다.

한 쌍의 EC에 대해 우월지수와 차이지수는 각각 계산될 수 있다. 가로축을 우월지수로, 세로축을 차이지수로 하는 2차 평면을 생각해 보면, 한 쌍의 EC는 이 평면위에 하나의 점으로 표시될 것이다. 이 평면을 그림 1과 같이 4개의 영역으로 나누어 설명할 수 있다.

I의 경우 우월지수와 차이지수가 모두 높은 경우이다. 따라서  $EC_k$ 는  $EC_l$ 보다 더 중요하다는 것에 신뢰할 수 있으며, 그 차이도 현실적으로 유효하다는 것을 의미한다. II의 경우 우월지수는 높지만 차이지수는 높지 않는 경우이다. 따라서  $EC_k$ 가  $EC_l$ 보다 더 중요하다는 것은 신뢰할 수 있지만, 그 차이가 크지 않다는 것을 의미한다. III의 경우에는 반대로, 차이지수는 크지만, 우월지수가 낮은 경우이

다. 이 경우는  $EC_k$ 와  $EC_l$ 중 어느 것이 더 중요하다고 말할 수는 없지만, 불완전성에 의해 중요도 역전 현상이 큰 경우이다. 끝으로 IV의 경우 두 지수 모두 낮은 경우로,  $EC_k$ 와  $EC_l$  중 어느 것이 더 중요하다고 말하기 힘들고, 그 차이도 크지 않다는 것을 의미한다.

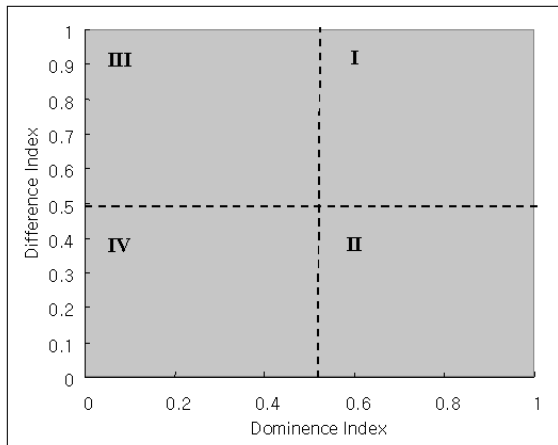


그림 1. 우선순위 다면평가를 위한 평면

#### 4. 토의 및 결론

본 논문에서는 입력정보의 불확실성을 고려하여, 이로 인한 결과값의 변동성을 우선순위 평가에 활용하는 새로운 QFD 분석방법을 제안하였다. 설계특성후보를 체계적으로 도출하기 위한 방법을 제안하였다. 본 연구는 불확실성 고려, 변동성 파악뿐만 아니라, 이를 우선순위 평가에 활용하는 모든 수행이 하나의 체계로 정리되었다는 특징이 있다. 또한, 우선순위 평가를 위해 우월지수와 차이지수를 제안하여, 정보의 손실을 줄이고, 유용한 정보를 제공한다는 독특한 특징이다.

새로운 분석 체계의 검증에 대해 사례 연구를 필요로 하고 있다. 특히, 소비자 요구사항의 변화가 커서 불확실성을 많이 내포하고 있는 사례가 본 분석 체계를 검증하기 적절할 것이다.

새로운 분석 체계는 다양한 연구 방향을 제시한다. 불확실성 모형을 결정하는 다양한 방법들이 제시될 수 있을 것이고, 변동성을 계산하는 방법들도 개발될 수 있다. 이에 따라, 변동성의 활용 영역도 넓어질 것이다. 예를 들면, 불확실성 모형을 어떤 분포로 가정하였을 경우, 변동성 역시 분포의 형태를 도출할 수 있어야 할 것이다. 이런 경우 확률적 우월관계를 정의할 수 있으며, 두 EC간 우월한 정도를 확률값의 형태로 제공할 수 있을 것이다.

#### 참고 문헌

1. Chan, L. K., Kao, H. P., Ng, A., and Wu, M. L.(1999), Rating the importance of customer needs in quality function deployment by fuzzy and

entropy methods, *International Journal of Production Research*, 37(11), 2499-2518.

2. Han, C.H., Kim, J.K., and Choi, S.H., Prioritizing engineering characteristics in quality function deployment with incomplete information: A linear partial ordering approach, *International Journal of Production Economics*, Article in Press.

3. Hauser, G. R. and Clausing, D.(1988), The House of Quality, *Harvard Business Review*, 63-73.

4. Hiller, F.S. and Lieberman, G.J.(1995), *Introduction to Operations Research*, McGraw-Hill, New York.

5. Kalageros, N and Gao, J.X.(1998), QFD: focusing on its simplification and easy computerization using fuzzy logic principles, *International Journal of Vehicle Design*, 19(3), 315-325.

6. Kmietowicz, Z.W., and Pearman, A.D.(1984), Decision Theory, Linear Partial Information and Statistical Dominance, *Omega*, 12(4), 391-399.

7. Khoo, L.P. and Ho, N.C.(1996), Framework of a fuzzy quality function deployment system, *International Journal of Production Research*, 34(2), 299-311.

8. Kwong, C.K. and Bai, H.(2003), Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach, *IIE Transactions*, 35, 619-626.

9. Shen, X.X., Tan, K.C., and Xie, M.(2001), The implementation of quality function deployment based on linguistic data, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12, 65-75.

10. Shen, X.X., Tan, K.C., Xie, M., and Wang, H.(1999), Sensitivity of the relationship matrix in quality function deployment, *International Journal of Industrial Engineering*, 6(3), 214-223.

11. Shen, X.X., Xie, M., and Tan, K.C.(2001), Listening to the future voice of the customer using fuzzy trend analysis in QFD, *Quality Engineering*, 13(3), 419-425.

12. Sullivan, L.P.(1986), Quality function deployment, *Quality Progress*, 19(6), 39-50.

13. Temponi, C., Yen, J., and Tiao, W.A.(1999), House of Quality: A fuzzy logic-based requirements analysis, *European Journal of Operational Research*, 117, 340-354.

14. Wang, J.(1999), Fuzzy outranking approach to prioritizing design requirements in quality function deployment, *International Journal of Production Research*, 37(4), 899-916.

15. Xie, M, Goh, T.N., and Wang, H.(1998), A study of the sensitivity of "customer voice" in QFD analysis, *International Journal of Industrial Engineering*, 5(4), 301-307.

16. Zhou, M.(1998), Fuzzy logic and optimization model for implementing QFD, *23rd International Conference on Computers and Industrial Engineering*, 35, 237-240.