

품질기능전개에서 입력정보의 불확실성에 대한 고찰 Consideration of Uncertainty in input information of QFD

김덕환, 김광재, 민대기
포항공과대학교 산업공학과

Abstract

Quality function deployment (QFD) is a useful tool for ensuring quality throughout each stage of the product development and production process. Since the focus of QFD is placed on the early stage, the uncertainty in the input information of QFD is inevitable. If the uncertainty is neglected, the QFD analysis results are likely to be misleading. This paper classifies the sources of uncertainty in QFD, and proposes a new approach to model and analyze the effects of uncertainty in QFD.

Keywords : Uncertainty, Input information,
Quality function deployment (QFD)

1. 서론

품질기능전개(Quality Function Deployment; 이하 QFD)는 고객의 목소리(Voice of customer)를 제품 개발 및 디자인 과정에 반영하는 방법으로써(Wasserman, 1993), 고객 지향적인 제품 개발을 통해 품질 혁신을 이룩하는 방법을 의미한다(Govers, 1996). 이러한 QFD의 목적은 제품 개발 기간을 단축시키는 동시에 제품의 품질을 향상시키며, 보다 낮은 원가로 제품을 완성하는 것이다. 궁극적으로는 이를 통해 시장 점유율을 향상시

켜, 기업의 경쟁력을 높이는 것이다(Kim and Moskowitz, 1997).

QFD를 구현하기 위해 House of Quality (이하 HOQ)라는 특수한 도표를 사용하게 된다. HOQ는 '무엇을 할 것인가'에 해당하는 고객요구사항(Customer attributes; 이하 CA)과 '어떻게 할 것인가'에 해당하는 설계특성(Engineering characteristics; 이하 EC), 그리고 이 둘간의 연관관계 등의 정보를 포함하고 있다. HOQ를 바탕으로 한 QFD 분석의 목표는 CA를 가장 잘 반영하도록 EC들의 우선순위를 결정하는 것이다. 이렇게 산출된 EC 우선순위는 EC의 목표값 결정, 개선 전략 수립, 자원 배분 등 QFD의 중요한 의사 결정을 위한 근거로 사용된다. EC의 우선순위는 입력정보를 바탕으로 산출된 EC 중요도에 따라 결정된다. EC 중요도는 CA 중요도와 CA-EC 연관관계의 합으로 산출된다. 이렇게 산출된 EC 중요도의 크기 순서에 따라 EC의 우선순위를 결정하게 된다.

전통적인 QFD는 입력정보가 정확하다는 가정 하에서 분석이 수행된다. 하지만 QFD의 입력정보는 고객이나 엔지니어의 주관적인 생각을 수치적으로 나타낸 것이며 다수의 고객, 엔지니어의 입장을 하나로 값으로 표현한 것이다. 또한 설계 초기 단계에서 QFD가 수행되기 때문에 입력정보는 미래의 가치를 나타내게 된다. 이러한 이유 때문에 QFD의 입력정보가 정확하다는 가정은 비현실적이다(Shen *et al.*, 1999). 실제로 QFD의 입력정보는 불확실성을 가지게

되고, 이는 QFD 분석 시 결과의 변동성을 유발하게 된다(Min and Kim, 2004). 즉, 입력정보의 불확실성은 EC 중요도의 변화를 일으키고 이는 다시 우선순위의 변화를 일으키게 된다. 기존의 QFD 분석에서는 이러한 입력정보의 불확실성을 고려하지 않는다는 한계점이 있다.

본 연구에서는 먼저 QFD 입력정보의 불확실성에 대해 살펴보고, 이를 고려할 수 있는 새로운 분석 방안을 제시한다. 2절에서는 QFD에서 입력정보의 불확실성에 대해 알아본다. 그리고 현재까지 고려되지 않았던 불확실성에 대해 3절에서 이를 고려할 수 있는 새로운 방안을 제시한다.

2. QFD에서 입력정보의 불확실성

2.1. QFD 분석과정과 불확실성의 유입

QFD의 분석과정은 다음 그림 1과 같이 진행된다. 먼저 CA, EC 항목을 도출하고, CA 중요도와 CA-EC 연관관계, EC-EC 상관관계, 벤치마킹 정보를 수집한다. 그리고 수집된 CA 중요도와 CA-EC 연관관계를 바탕으로 EC 중요도를 산출하고 이로부터 EC의 우선순위를 결정한다. 또한 산출된 EC 중요도와 EC-EC 상관관계, 벤치마킹 정보를 함께 고려하여 EC의 목표값을 결정한다.

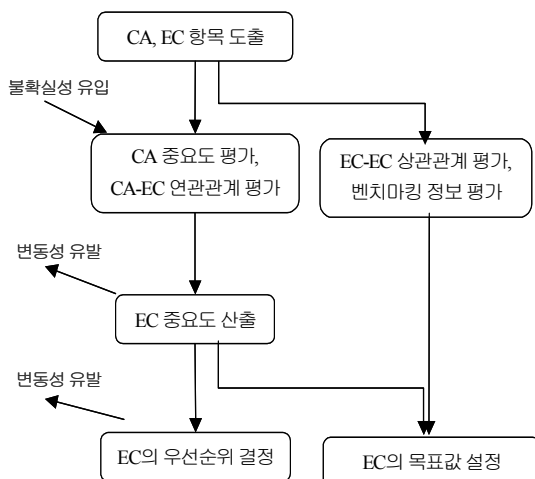


그림 1. QFD의 분석과정

이러한 QFD의 분석과정에서 CA 중요도, CA-EC 연관관계, EC-EC 연관관계, 벤치마킹 정보의 수집 과정에서 불확실성이 유입될 수 있다. 이 중에서 QFD 분석의 주요 목적인 EC 우선순위에 직접적인 영향을 미치는 것은 EC 중요도 산출 시 고려되는 CA 중요도와 CA-EC 연관관계이다. 따라서 본 연구에서는 CA 중요도와 CA-EC 연관관계만을 집중적으로 고려하고 CA 항목, EC 항목은 주어진 것으로 가정한다. 본 연구에서 고려되지 않는 EC-EC 상관관계와 벤치마킹 정보의 불확실성은 추후 연구에서 고려할 것이다.

2.2. CA 중요도, CA-EC 연관관계의 불확실성

CA 중요도와 CA-EC 연관관계는 대부분 고객이나 QFD 팀원들의 주관적인 평가에 의해 결정된다. 이러한 주관적인 평가는 그림 2와 같이 평가대상을 평가자가 가지고 있는 평가기준에 따라 평가영역의 한 점으로 나타내는 것으로 볼 수 있다.

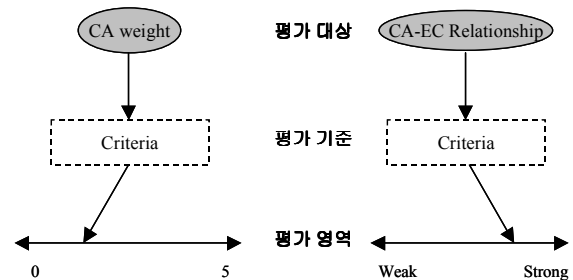


그림 2. 주관적 평가 과정

이러한 주관적 평가 과정에서 평가대상이나, 평가기준, 평가영역이 분명하지 않거나 일정하지 않으면 불확실성이 유발된다. 평가대상이

추상적이거나 이에 대한 정보가 부족한 경우 또는 외부요소에 의해 그 성질이 변화하는 경우 불확실성이 발생한다. 그리고 개인의 평가기준이 분명하지 않거나, 개인 마다 평가기준의 차이가 있는 경우, 그리고 외부요소에 의해 평가기준이 변화하는 경우에도 불확실성이 발생한다. 또한 평가영역이 추상적인 경우나 평가영역의 정의가 불가능한 경우에도 불확실성이 발생한다.

이러한 관점에서 CA 중요도와 CA-EC 연관관계에 나타날 수 있는 불확실성을 Fuzziness, Heterogeneity, Fluctuation, Incompleteness로 구분할 수 있다. Fuzziness는 평가대상이 추상적이거나 평가기준이 분명하지 않은 경우를 의미한다. 이러한 Fuzziness는 평가자가 자신이 내린 평가가 정확하게 되었는지를 확신하지 못하는 불확실성을 의미한다. 이와는 달리 Heterogeneity는 평가자 개인마다 고유한 평가기준을 가지고 있지만, 이러한 기준들이 평가자 개개인 마다 다르기 때문에 발생할 수 있는 불확실성이다. Fluctuation은 시간 등 외부요소에 의해 평가대상의 성질이 변화하거나 평가기준이 변화하기 때문에 발생하는 불확실성이다. 마지막으로 Incompleteness는 정보부족이나 평가영역의 정의 불가능으로 인해 평가결과 획득이 어려운 경우를 의미한다.

2.3. 불확실성에 대한 기존 연구

이 절에서는 2.2절에서 언급한 불확실성의 구분에 따라 기존 연구를 살펴본다. 먼저 Fuzziness에 대해서는 주로 Fuzzy 이론을 QFD에 적용한 연구들이 다수 존재한다. Khoo and Ho(1996)는 주관적인 입력정보를 고려하기 위해 Fuzzy 이론을 QFD에 적용한 FQFD를 제안하였다. 이에 관련되어 Kalargeous(1998)가 FQFD의 사례연구를 수행하였고, Chan *et al.*(1999), Temponi *et*

al.(1999)는 CA 중요도를 Fuzzy 수로 고려하는 방법을 제안하였다. 그리고 Kwong and Bai(2003)에서는 QFD에서 CA 중요도 결정시 많이 이용되는 AHP에 Fuzzy 이론을 적용하는 방법을 제안하였다. 또한 Shen *et al.*(2001A), Wang(1999), Zhou(1998)에서는 Fuzzy 이론을 고려한 QFD에서 EC의 우선순위를 결정하는 방법을 제안하였다.

Heterogeneity와 관련되어서는 기존에 많은 연구들이 수행되지는 않았다. Xie *et al.*(1998)에서는 평가자 개인의 취향의 변화에 따라 QFD 결과가 어떻게 변화하는지를 살펴보고, Olcer and Odabasi(2005)에서는 평가자가 다수일 때의 다속성의사결정법을 제안하였다.

Fluctuation에 관해서는 Shen *et al.*(2001B)에서 시간의 변화를 고려하기 위해 Trend analysis를 수행하고 이를 QFD에 반영하는 방법을 제안하였다. 여기서 Trend analysis는 CA 중요도가 미래에 어떻게 변해갈 것인지 예측하는 것을 의미한다.

Incompleteness에 관해서는 Han *et al.*(2003)에서 QFD의 모든 정보가 주어지지 않은 경우 이를 극복할 수 있는 방법을 제안하였다. 이와 유사하게 Talluri and Narashimhan(2003)는 다속성의사결정에서 정보가 부족한 경우 이를 극복할 수 있는 방법을 제안하였다.

이와 같이 기존의 많은 연구에서 QFD의 불확실성이 연구되었다. 특히 Fuzziness와 Fluctuation, Incompleteness의 경우 불확실성의 고려에서부터 이로 인한 변동성 유발에 이르기까지 많은 기존 연구들이 진행되었다. 하지만 이러한 연구들은 대부분 개인 평가자만을 고려하였다. 실제 QFD 분석 과정에서는 평가자의 의견을 정확히 반영하기 위해 다수의 평가자로부터 정보를 수집하게 된다. 이 경우 평가자간의 차이로 인한 Heterogeneity가 발생

할 수 있다. 3절에서는 Heterogeneity를 고려할 수 있는 새로운 QFD 분석 방법을 제안한다.

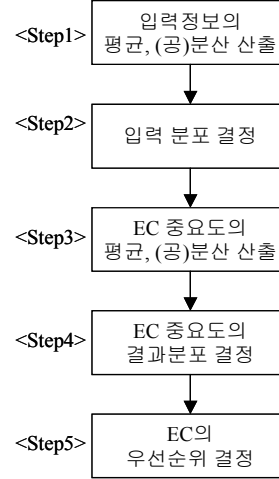
3. Heterogeneity를 고려한 QFD

QFD 분석과정에서는 고객 등의 의견을 정확히 반영하는 것이 무엇보다도 중요하다. 이를 위해 다수의 고객으로부터 CA 중요도를 수집하고, QFD 팀의 의견 수렴을 통해 CA-EC 연관관계를 파악한다. 이러한 과정에서 고객이나 QFD 팀원들의 개인 의견 차이가 발생할 수 있고, 이에 따라 Heterogeneity가 발생할 수 있다.

Heterogeneity를 고려하기 위해 본 연구에서는 CA 중요도와 CA-EC 연관관계를 확률변수로 고려한 방법을 제안한다. 이는 CA 중요도나 CA-EC 연관관계가 확률분포를 가지는 것을 의미한다. 이 경우, 확률변수화 된 입력정보의 (공)분산이나 분포를 고려함으로써 Heterogeneity를 QFD 분석과정에서 고려할 수 있다. 제안된 방법의 절차는 다음 그림 3과 같다.

그림 3. 제안된 방법의 분석 절차

제안된 방법에서는 m 개의 CA 항목, n 개의 EC 항목은 미리 선정되어 있다고 가정하고, l_1 명의 CA 중요도 평가 결과, l_2 명의 CA-EC 연관관계 평가 결과가 주어졌다고 가정한다. 주어진 개인별 평가 결과로부터 입력정보(CA 중요도, CA-EC 연관관계)의 평균과 (공)분산을 산출한다. 그리고 CA 중요도, CA-EC 연관관계의 분포를 결정한다. 그리고 EC 중요도의 평균과 (공)분산을 산출하고, 분포를 결정하게 된다. 이렇게 산출된 EC 중요도의 평균과 (공)분산, 분포를 바탕으로 최종적으로 EC의 우선



순위를 결정한다.

3.1. Step 1: 입력정보의 평균, (공)분산 산출

본 Step에서는 개인별 입력정보, 즉 개인별 CA 중요도 평가 결과와 CA-EC 연관관계 평가 결과를 바탕으로 각각의 평균과 (공)분산을 산출한다. CA 중요도의 경우 CA간의 상관성이 존재한다고 볼 수 있으므로 공분산까지 함께 산출한다. 그리고 CA 중요도와 CA-EC 연관관계는 독립이라고 가정할 수 있으므로 각각 독립적으로 산출한다.

i 번째 CA에 대한 k 번째 평가자가 평가한 중요도를 w_{ik} ($i=1, \dots, m; k=1, \dots, l_1$), i 번째 CA와 j 번째 EC의 연관관계에 대한 k 번째 평가자의 평가 결과를 r_{ijk} ($i=1, \dots, m; j=1, \dots, n; k=1, \dots, l_2$)라고 한다면 각각의 평균, (공)분산은 다음 식 (1) ~ (5)와 같이 산출된다.

(1) i 번째 CA 중요도 평균:

$$E[w_i] = \frac{1}{l_1} \sum_{k=1}^{l_1} w_{ik}$$

(2) i 번째 CA 중요도 분산:

$$\text{var}(w_i) = E[(w_i - E[w_i])^2] = \frac{1}{l_1 - 1} \sum_{k=1}^{l_1} (w_{ik} - E[w_i])^2$$

(3) i 번째 CA와 i' 번째 CA 중요도의 공분산

$$\begin{aligned} \text{cov}(w_i, w_{i'}) &= E[(w_i - E[w_i])(w_{i'} - E[w_{i'}])] \\ &= \frac{1}{l_1 - 1} \sum_{k=1}^{l_1} (w_{ik} - E[w_i])(w_{i'k} - E[w_{i'}]) \end{aligned}$$

(4) i 번째 CA와 j 번째 EC의 연관관계 평균:

$$E[r_{ij}] = \frac{1}{l_2} \sum_{k=1}^{l_2} r_{ijk}$$

(5) i 번째 CA와 j 번째 EC의 연관관계 분산 :

$$\text{var}(r_{ij}) = E[(r_{ij} - E[r_{ij}])^2] = \frac{1}{l_2 - 1} \sum_{k=1}^{l_2} (r_{ijk} - E[r_{ij}])^2$$

3.2. Step 2: 입력 분포 결정

본 Step에서는 입력정보, 즉 CA 중요도와 CA-EC 연관관계의 분포를 결정한다. 본 연구에서는 Normal 분포, Uniform 분포, Triangular 분포만을 고려한다. Normal 분포의 경우 분포가 대칭적이면서 하나의 최빈치가 존재하는 경우를 대표하고, Uniform 분포의 경우 분포가 대칭적이지만 유의한 최빈치가 나타나지 않는 경우를 대표하며, Triangular의 경우 비대칭적인 경우를 대표한다.

분포 결정을 위해 먼저 CA 중요도나 CA-EC 연관관계에 대한 개인별 평가 결과의 도수 분포표를 작성한다. 도수분포표의 결과가 비대칭적이면 Triangular 분포로 결정하고, Triangular 분포의 모수를 결정한다. 모수 결정시에는 도수분포표의 최빈치, 최대치, 최소치를 고려하여 결정한다. 도수분포표의 결과가 대칭적이라면 누적 도수분포표를 작성하고 이의 선형성을 판별한다. 누적 도수분포표가 선형으로 나타난다면 입력정보의 분포로 Uniform 분포를 결정하고 최대치, 최소치를 바탕으로 모수를 결정한다. 도수분포표의 결과가 대칭적이지만 누적도수분포표에서 선형으로 나타나지 않는다면 입력분포를 Normal 분포로 가정한다. 이 때 모수는 Step 1에서 산출한 값을 사용하도록 한다.

3.3. Step 3: EC 중요도의 평균, (공)분산 산출

본 Step에서는 Step 1에서 산출된 CA 중요도의 평균, 분산, 공분산, 그리고 CA-EC 연관관계의 평균, 분산을 바탕으로 EC 중요도의 평균, 분산, 공분산을 산출한다. j 번째 EC 중요도(ECI_j)는 다음 식 (6)과 같이 산출된다.

(6) j 번째 EC 중요도:

$$ECI_j = \sum_{i=1}^m w_i r_{ij}$$

그리고 j 번째 EC 중요도의 평균과 분산, 공분산은 다음 식 (7) ~ (9)와 같이 산출된다.

(7) j 번째 EC 중요도의 평균

$$E[ECI_j] = E[\sum_{i=1}^m w_i r_{ij}] = \sum_{i=1}^m E[w_i] E[r_{ij}]$$

(8) j 번째 EC 중요도의 분산

$$\begin{aligned} \text{var}[ECI_j] &= \text{var}[\sum_{i=1}^m w_i r_{ij}] \\ &= \sum_{i=1}^m \{E[r_{ij}]^2 \text{var}[w_i] + \text{var}[r_{ij}](\text{var}[w_i] + E[w_i]^2)\} \\ &\quad + \sum_{i \neq i'} \sum E[r_{ij}] E[r_{i'j}] \text{cov}(w_i, w_{i'}) \end{aligned}$$

(9) j 번째와 j' 번째 EC 중요도의 공분산

$$\begin{aligned} \text{cov}[ECI_j, ECI_{j'}] &= \text{cov}[\sum_{i=1}^m w_i r_{ij}, \sum_{i=1}^m w_i r_{i'j'}] \\ &= \sum_{i=1}^m E[r_{ij}] E[r_{i'j'}] \text{var}[w_i] \\ &\quad + \sum_{i \neq i'} \sum E[r_{ij}] E[r_{i'j'}] \text{cov}(w_i, w_{i'}) \end{aligned}$$

3.4. Step 4: EC 중요도의 분포 결정

본 Step에서는 EC 중요도의 분포를 결정한다. 일반적인 경우 확률변수의 곱의 합에 대한 분포를 수식적으로 유도하는 것은 불가능하다. 다만 Normal 분포의 선형 결합의 경우 그 결과 역시 Normal 분포를 따른다는 사실은 잘 알려져 있다. 즉, CA 중요도나 CA-EC 연관관계 정보 중 하나만 확률변수이고 나머지는 상수라고 한다면 Normal 분포인 경우에 국한적으로 수식적인 유도를 통해 EC 중요도의 분포를 Normal 분포로 결정할 수 있다. 하지만 다

른 경우에는 수식적으로 분포를 결정하는 것이 매우 어렵기 때문에 본 연구에서는 Simulation 방법을 이용하였다.

Step 1 ~ Step 2에서 산출되고 결정된 CA 중요도와 CA-EC 연관관계의 확률 분포 정보와 동일한 확률 분포를 가지는 난수를 충분히 많이 발생시켜 이 난수들을 바탕으로 EC 중요도를 산출한다. 이러한 Simulation 결과를 도수분포표로 나타내면 EC 중요도의 분포를 파악할 수 있다. 먼저 도수분포표의 결과를 정규성 검증을 통해 Normal 분포를 따르는지를 판별한다. 그리고 정규성이 보장되지 않는다면, 누적 도수분포표를 작성해 선형성이 있는지를 파악한다. 선형성이 있다면 EC 중요도의 분포를 Uniform 분포로 결정할 수 있다. 분포가 결정되지 않는 경우에는 다음의 Step 5에서 분포가 결정된 경우와 다르게 분석을 수행한다.

3.5. Step 5: EC의 우선순위 결정

본 Step에서는 Step 3과 Step 4에서 결정된 EC 중요도의 평균, 분산, 공분산, 분포를 바탕으로 EC의 우선순위를 결정한다. Step 4에서 분포가 Normal 분포나 Uniform 분포로 결정된 경우에는 t-test와 같은 통계적 검증을 통해 EC의 우선순위를 결정할 수 있다.

하지만 Step 4에서 분포가 결정되지 않은 경우에는 Simulation의 결과로부터 EC의 우선순위가 역전이 되는 실험적 확률을 산출할 수 있다. 만약 우선순위가 역전된 확률이 0이라면 Simulation에서 나타난 우선순위에 따라 우선순위를 결정할 수 있다. 역전될 확률이 커질수록 EC간의 우선순위가 명확하지 않은 것이 되므로 이 경우 EC의 우선순위를 동일한 것으로 판단하게 된다.

Step 5에 대한 자세한 절차는 Stochastic dominance(Hadar and Russell,1969; Hanoch and Levy,1969; Rothschild and Stiglitz,

1970; Whitmore, 1970)의 개념에 근거하여 개발될 예정이다.

4. 토의

3절에서 제안된 Heterogeneity를 고려하는 QFD 분석 방법은 기존의 대표값만을 고려하는 QFD에 비해 다음과 같은 장점을 가진다.

먼저 기존 QFD에서 고려하지 못하고 있는 평가자 간의 개인 차이로 인한 불확실성을 고려할 수 있다. 이러한 불확실성의 고려는 고객이나 QFD 팀의 의견을 더욱 정확히 QFD 분석과정에 반영할 수 있다. 기존의 QFD는 고객이 다양한 의견을 표현하게 되면 이를 하나의 대표값으로 통합하는 과정에서 왜곡될 우려가 있다.

또한 제안된 방법은 기존의 QFD에서 많은 시간과 노력을 필요로 하는 입력정보 수집 과정(CA 중요도 수집과 CA-EC 연관관계 수집 과정)을 용이하게 해줄 수 있다. 기존의 입력정보 수집은 다수의 평가자를 상대로 설문조사를 하거나 평가자들을 한 자리에 모아 토론을 거쳐 평가를 하도록 하였다. 설문을 통한 방법의 경우는 고객의 의견이 다양한 경우 이를 하나의 대표값으로 산출하는 과정에 많은 노력이 필요로 하는 단점이 있다. 토론을 통한 평가의 경우에는 지리적으로 분산된 경우 불가능하며, 실제로 수행 시 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 이에 반해 제안된 방법은 지리적으로 분산되어 있더라도 가능하며, 많은 시간을 필요로 하는 토론 과정을 피할 수 있는 장점이 있다. 또한 분산, 분포 등을 함께 고려하여 설문을 통한 방법의 한계를 극복할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 QFD의 입력정보에 포함될

수 있는 불확실성의 근원에 대해 알아보고, 불확실성을 Fuzziness, Heterogeneity, Fluctuation, Incompleteness로 구분한다. 그리고 Heterogeneity를 고려할 수 있는 QFD 분석 방법을 제안한다.

본 연구는 기존의 QFD에서 체계적으로 고려되지 못했던 불확실성을 체계적으로 고려할 수 있도록 불확실성의 근원을 파악하고 이에 따라 불확실성을 구분한 점에서 기여점을 가진다. 또한 기존에 고려가 되지 않았던 Heterogeneity를 고려할 수 있는 방법을 제안함으로써 더 정확하고 용이한 QFD 분석을 가능하게 하였다.

추후 연구 과제로는 EC 중요도의 평균, 분산, 분포를 바탕으로 EC의 우선순위를 결정하는 방법이 연구되어야 할 것이다. 3.5절에서 언급한 바와 같이 분포를 결정할 수 있는 경우 통계적 기법을 활용할 수 있을 것이고, 분포를 결정할 수 없는 경우에는 Simulation 결과를 바탕으로 실험적 확률을 산출하여 우선순위를 결정하는데 이용할 수 있을 것이다.

그리고 평가자의 수가 적어 분포를 고려하기 힘든 경우에 대해서도 연구가 진행되어야 할 것이다. 이러한 경우에는 개인별 평가 결과를 바탕으로 입력정보의 분포를 결정하는 방법이 아닌 QFD 분석자가 입력정보의 분포를 직접 결정할 수 있도록 지침을 제공해야 할 것이다.

마지막으로 EC-EC 상관관계나 벤치마킹 자료의 불확실성에 대해 고려하는 연구가 진행되어야 할 것이다. EC-EC 상관관계나 벤치마킹 자료의 불확실성은 EC의 목표값 설정 등에 영향을 주는 요소이기 때문에 이러한 정보의 불확실성이 목표값 설정에 어떠한 영향을 주는지 파악하는 연구가 필요할 것이다.

Reference

- Chan, L., Kao, H., Ng, A., and Wu, M., "Rating the Importance of Customer Needs in Quality Function Deployment by Fuzzy and Entropy Methods." *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No. 11, 2499-2518, 1999.
- Govers, C.P.M. (1996), "What and How about Quality Function Deployment," *International Journal of Production Economics*, 46-47, 575-585.
- Hadar, J. and Russell, W., "Rules for Ordering Uncertain Prospects," *American Economic Review*, 59, 25-34, 1969.
- Hanoch, G. and Levy, H., "The Efficiency Analysis of Choices Involving Risk," *Review of Economic Studies*, 36, 335-346, 1969.
- Han, C., Kim, J., and Choi, S., "Prioritizing Engineering Characteristics in Quality Function Deployment with Incomplete Information: A Linear Partial Ordering Approach," *International Journal of Production Economics*, Article in Press.
- Kalargeros, N. and Gao, J., "QFD: Focusing on its Simplification and Easy Computerization Using Fuzzy Logic Principles," *International Journal of Vehicle Design*, Vol. 19, No. 3, 315-325, 1998.
- Khoo, L. and Ho, N., "Framework of a Fuzzy Quality Function Deployment System," *International Journal of Production Research*, Vol. 34, No. 2, 299-311, 1996.
- Kim, K.J. and Moskowitz, H. (1997), "Quality Function Deployment: Optimizing Product/Process Design, Integrated Product, Process and Enterprise Design (Ed. Wang, B.)," Chapman & Hall, London, 64-90.
- Kwong, C. and Bai, H., "Determining the Importance Weights for the Customer Requirements in QFD using a Fuzzy AHP with an Extent Analysis Approach," *IIE Transactions*, Vol. 35, 619-626, 2003.

- Min, D. and Kim, K., "Variability Analysis in QFD: Prioritizing Engineering Characteristics," *Proceeding of the Joint Conference of Korean Institute of Industrial Engineering and Korean Operations Research and Management Science Society*, Jeonju, Korea, May 21-22, 2004.
- Olcer, A. and Odabasi, A., "A new fuzzy multiple attribute group decision making methodology and its application to propulsion/manoeuvring system selection problem," *European Journal of Operation Research*, Vol. 166, 93-114, 2005.
- Rothschild, M. and Stiglitz, J., "Increasing Risk I: A Definition," *Journal of Economic Theory*, 2, 225-243, 1970.
- Shen, X., Tan, K., Xie, M., Goh, T., and Wang, H., "Sensitivity of the Relationship Matrix in Quality Function Deployment," *International Journal of Industrial Engineering*, Vol. 6, No. 3, 214-223, 1999.
- Shen, X., Tan, K., and Xie, M., "The Implementation of Quality Function Deployment Based on Linguistic Data," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 12, 65-75, 2001A.
- Shen, X., Xie, M., and Tan, K., "Listening to the Future Voice of the Customer Using Fuzzy Trend Analysis in QFD," *Quality Engineering*, Vol. 13, No. 3, 419-425, 2001B.
- Talluri, S. and Narashimhan, R., "Vendor evaluation with performance variability: A max-min approach," *European Journal of Operation Research*, Vol. 146, 543-552, 2003.
- Temponi, C., Yen, J., and Tiao, W., "House of Quality: A Fuzzy Logic-based Requirements Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol. 117, 340-354, 1999.
- Wang, J., "Fuzzy Outranking Approach to Prioritizing Design Requirements in Quality Function Deployment," *International Journal of Production Research*, Vol. 37, No. 4, 899-916, 1999.
- Wasserman, G.S. (1993), "On How to Prioritize Design Requirements during the QFD Planning Process," *IIE Transaction*, 25, 59-65.
- Whitemore, G., "Third-Degree Stochastic Dominance," *American Economic Review*, 60, 457-459, 1970.
- Xie, M, Goh, T., and Wang, H., "A Study of the Sensitivity of "Customer Voice" in QFD Analysis," *International Journal of Industrial Engineering*, Vol. 5, No. 4, 501-507, 1998.
- Zhou, M., "Fuzzy Logic and Optimization Model for Implementing QFD," *23rd International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Vol. 35, 237-240, 1998.