품질기능전개의 확장을 통한 제품설계 지원†

Product Design Using QFD and Axiomatic Design

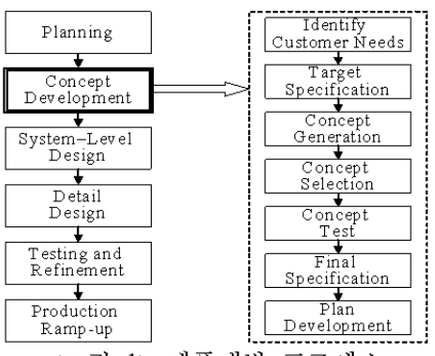
최홍필[1], 정재윤[1], 배준수[2], 강석호[1]
[1]서울대학교 산업공학과, [2]전북대학교 산업공학과

Abstract

신제품 개발에서 고객의 요구를 정확히 분석하여 제품설계에 반영하는 것은 매우 중요한 일이다. 하지만, 제품의 설계시 고객의 요구를 정확히 분석하고 정량화해서 이를 충족시키는 제품을 개발하는 것은 많은 노력과 시간을 필요로 한다. 본 연구에서는 효율적인 제품설계를 지원하기 위한 방법론으로 품질기능전개와 공리적 설계를 통합적으로 적용하는 방안을 제안한다. 우선, 고객의 애매한 요구들을 분석하여 제품기능요구로 변환하고, 제품설계 과정에서 품질기능전개와 공리설계이론을 적용시킨다. 효과적인 제품설계를 위한 품질기능전개와 제품설계의 성능평가를 제공하는 공리적 설계를 통하여 품질기능전개의 의미를 확장하는 프레임워크를 제안한다.

1. 서론

기업이 하나의 제품을 개발하기 위해서는 고객의 요구분석을 시작으로 단계적인 제품개발 프로세스를 거친다. 전반적인 제품개발 프로세스는 <그림 1>의 왼쪽과 같이 계획, 개념 구축, 시스템 설계, 상세 설계, 시험 및 개선, 제품 출시 단계를 거친다. 그 중에서 개념 구축 단계는 그림의 오른쪽과 같은 세부적인 제품설계 프로세스로 수행된다[1].



<그림 1> 제품개발 프로세스

제품설계 프로세스는 제품의 품질과 비용, 시간에 많은 영향을 미친다. 따라서 제품의 설계단계에서 고객의 요구를 만족시키고, 품질을 향상시키며, 설계비용을 줄이기 위한 노력은 꾸준히 전개되었다[1]. 특히, 고객의 요구를 반영한 효율적인 제품 설계방법론으로서 품질기능전개(QFD; Quality Function Deployment)는 전사적 품질 경영(Total Quality Management)의 한 기법으로서 널리 활용되어 왔다[2].

그러나 고객의 요구는 정성적인 면을 가지고 있기 때문에 이를 정량적인 설계로 변환하는 것은 어려운 일이다. QFD의 이러한 어려운 제품설계방법을 보완하기 위해 여러 가지 분석적 기법을 적용하려는 노력이 있었고[2, 3, 4, 5] 많은 성과를 이루어 내었다. 하지만 QFD는 고객만족의 제품설계의 협력적, 분석적 방법론이라는 장점이 있는 반면, 설계자체의 성능에 대한 평가방법은 크게 고려되지 않았다. 즉 설계자체에 대한 성능 평가방법이 없고, 전문가들에 의해 주관적이고 경험적으로 이루어져 왔다.

따라서 본 연구에서는 QFD에 의해 이루어진 제품설계에 대한 체계적인 평가 기준을 제공함으로써, 고객요구 만족과 동시에 설계 시스템 자체의 최적화를 확인할 수 있는 프레임워크를 제안한다. 본 연구에서는 제품설계의 최적화를 위해 QFD에 공리적 설계(Axiomatic Design)를 적용한다.

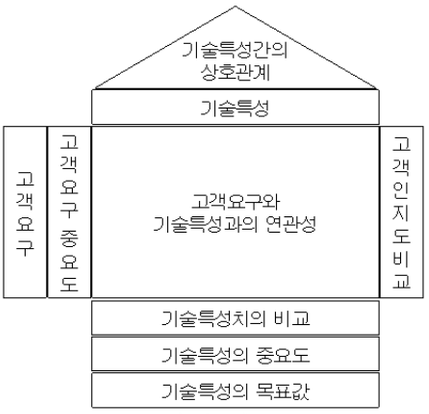
2. 제품설계 방법론

제품설계를 위하여 품질기능전개, 공리적 설계, TRIZ, 안정적 설계(Robust Design) 등 다양한 접근법이 사용된다. 본 연구에서 다루고 있는 QFD와 공리적 설계는 각각 고객 요구의 다원적인 분석, 체계적인 설계대안 분석이라는 장점을 지닌다.

2.1 품질기능전개

품질기능전개(QFD)는 고객의 요구를 설계 사양으로 바꾸는 대표적인 방법론으로서 제품의 품질 향상과 비용절감을 위하여 효과적으로 사용할 수 있다. QFD는 우수한 제품 특성을 결정하기 위하여 고객의 요구를 분석하여, 이를 기반으로 품질의 집(HoQ; House of Quality)이라는 틀을 구축한다. 이 HoQ는 QFD의 핵심으로, 고객의 요구와 공학적 특성의 연관관계를 분석하여 제품 설계를 도와준다[6]. HoQ는 <그림 2>와 같이 고객요구와 기술특성의 연관성 분석을 중심으로, 고객인지도 비교, 기술특성치 비교 등을 통하여 최종적으로 기술특성의 목표값을 수립하게 한다.

† 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00155-0) 지원으로 수행되었음.

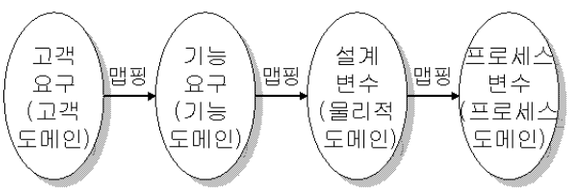


<그림 2> 품질의 집(HoQ)의 구조

QFD는 고객요구의 정확한 분석, 부서간의 팀 워크 및 협력 향상, 설계변경의 감소, 개발기간의 단축, 테스트시의 문제점 감소 등의 장점을 갖지만, 고객요구와 기술특성간 연관성의 정량적 분석이 힘들고, 설계자의 주관적이고 경험적인 판단에 의존하는 단점이 있다. 또한 제품설계 결과에 대한 성능평가를 위한 척도가 명확히 제안되지 않았다.

2.2 공리적 설계

공리적 설계(Axiomatic Design)는 과학분야에서의 자연법칙(natural laws)과 유사하게 설계 프로세스에서의 과학적 기반을 제공한다[7]. 공리적 설계는 기능적 요구(FR; functional requirement)와 설계변수(DP; design parameter), 프로세스 변수의 계층구조와 이를 연결하는 설계 매트릭스로 구성된다. 또한 중계 모듈이나 플로우 다이어그램의 형태를 이용한 전체적인 시스템 아키텍처를 제공한다. 현재, 공리적 설계는 시스템, 기계, 소프트웨어, 제품 등 다양한 분야에 적용된다[8].

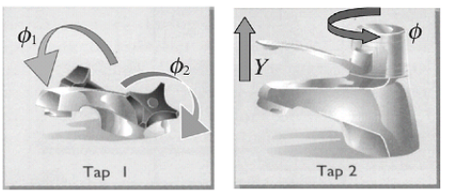


<그림 3> 공리적 설계의 4단계 과정

공리적 설계의 기본적인 과정은 <그림 3>과 같이 4단계 도메인의 맵핑으로 진행된다. 공리(axiom)란 반례(counter example)나 예외상황이 존재하지 않는 일반적으로 받아들여지는 이론을 의미한다. 제품 설계를 위한 공리로는 아래와 같은 두 가지가 제시되었다[8].

- 공리 1. 독립성 공리(Independence Axiom): 기능요구들의 독립성을 유지해야 한다. 이때 설계 매트릭스는 대각행렬이나 삼각행렬의 형태이다.
- 공리 2. 정보 공리(Information Axiom): 설계에 있어서의 정보량(information content)을 최소화해야 한다.

<그림 4>는 공리적 설계에 대한 간단한 예를 보여준다. 제품 설계를 위한 품질 기능이 수도꼭지의 물의 양과 온도라고 할 때, 공리적 설계 중 독립성 공리에 의하면 왼쪽보다 오른쪽의 설계가 우수하다고 할 수 있다.



<그림 4> 공리적 설계에 의한 제품개선의 예[9]

왜냐하면, 두 설계에서 품질 기능 요구(물의 양 V와 온도 Θ)와 설계변수(ϕ_1와 ϕ_2, Y와 ϕ) 간의 관계를 행렬로 표현하면 다음과 같이 후자가 독립성 공리를 만족하기 때문이다.

$$\begin{pmatrix} V \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & X \\ X & X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{pmatrix} \quad \cdots \text{[첫 번째 설계]}$$

$$\begin{pmatrix} V \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y \\ \phi \end{pmatrix} \quad \cdots \text{[두 번째 설계]}$$

<그림 4>와 같이 품질에 대한 기능요구 분석 시 공리 1을 만족시키도록 설계변수를 선정하면, 제품의 기능요구를 충족시키는 데 필요한 최소의 설계변수 조정만으로 가능하게 된다. 또한 공리 2를 적용하면 공리 1을 만족하는 여러 설계 대안을 평가하여 가장 우수한 설계(성공할 확률이 높고 프로세스 혹은 시스템의 복잡성을 최소화하는 설계)를 선택할 수 있다[10]. 공리 2는 다음과 같은 확률의 관점으로 계산된다.

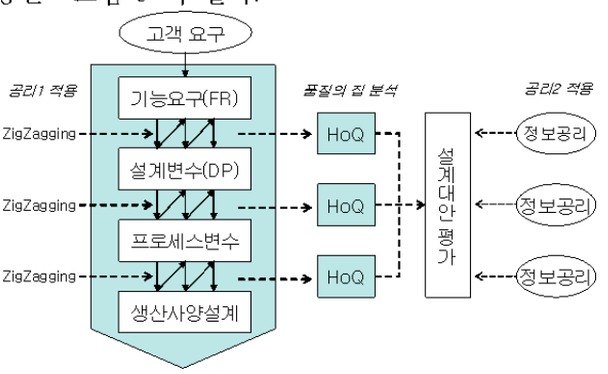
$$I(\text{Information content}) = \sum (\log_2 1/P_i)$$

이때, P_i는 i번째 설계변수가 i번째 기능요구를 만족할 확률이며, (설계변수와 시스템의 공통범위 A_{cr}) / (시스템의 범위 A_{sr})로 계산된다.

이와 같이 공리 설계는 두 가지 공리와 파생된 이론을 통하여 설계의 복잡성을 줄이고, 시스템의 유지 및 변경의 용의, 설계의 성능 평가 등을 수행할 수 있는 기반을 제공한다.

3. 품질기능전개 확장을 위한 프레임워크

QFD는 설계를 위한 하나의 툴이라기보다는, 고객의 요구와 기대를 만족시키기 위한 시장 중심적이고 고객 중심적인 제품과 서비스의 설계, 개발을 위한 하나의 방법론이다[11]. 따라서 제품설계 방법론중의 하나인 QFD는 설계시 전문가의 주관과 경험에 의존한 설계방법론이었다. 본 연구에서는 이러한 QFD의 설계방법론을 보완하기 위하여 설계 시스템의 최적화에 대한 과학적 방법론인 공리적 설계의 통합을 위한 프레임워크를 제안하며 그 내용은 <그림 5>와 같다.



<그림 5> QFD 확장을 위한 프레임워크

<그림 5>에서 제안된 프레임워크의 핵심은 QFD 설계과정의 가장 주요한 요소인 품질의 집 작성 시에 공리이론을 적용하는 것이다. 즉, 고객요구사항을 분석하여 요구되는 품질의 기능을 정의하고, 이를 만족시키는 제품개발을 위한 설계변수들을 정할 때 공리 1을 따르도록 한다. 이런 절차를 통해 고객요구를 만족시킴은 물론, 설계자체의 중복과 복잡성을 줄이며, 설계 자체의 성공확률도 측정할 수 있도록 하여 설계자들의 제품 설계과정을 도와줄 수 있다. 단, 본 연구에서는 제품의 기능요구와 제품의 설계변수의 맵핑 과정만을 고려하며, 다른 단계는 이와 유사하게 적용되어 질 수 있다. 또한 QFD와 공리설계에서 사용되는 용어의 혼돈을 피하기 위해 앞으로는 품질기능요구와 설계변수로 한정하여 사용한다.

기존의 QFD 방법론의 궁극적인 목적은 고객요구를 최대한 만족시키는 제품을 개발해 내는 것이었기 때문에, 제품의 품질향상을 위한 설계가 중점이었다. 반면, QFD에 공리적 설계를 적용하면, 1) 품질 만족과 동시에 2) 설계측정을 통한 설계 최적화로 제품설계의 성능 또한 향상을 시킬 수 있다.

4. 품질기능전개 확장을 위한 절차

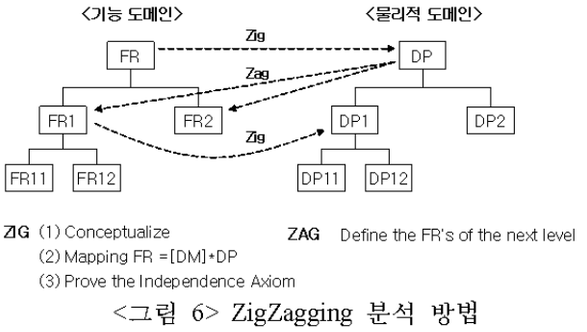
본 연구에서는 공리적 설계를 적용하여 기존의 QFD를 확장함으로써 설계대안의 평가 및 최적화를 시도한다. 이를 위하여 확장된 QFD는 아래와 같이 고객 요구분석, 도메인 변수간 매핑, 품질의 집 분석, 설계대안 평가의 네 단계로 수행된다.

(1) 고객의 요구분석

우선 제품설계를 위해서 고객의 요구를 분석한다. 고객의 요구는 소비자, 판매자, 분배자를 대상으로 인터뷰나 시장조사를 통하여 이루어진다.

(2) ZigZagging 분석을 이용한 기능요구(FR), 설계변수(DP)의 매핑

이 단계에서는 분석된 고객요구를 기초로 제품의 기능요구를 정의한다. 이때 품질기능요구 상호간의 독립성이 유지될 수 있도록 정하여야 한다. 또한 각각의 품질기능들을 만족시킬 수 있는 설계변수들을 정한다. 이때 공리 1을 적용하기 위하여 공리적 설계의 방법론인 ZigZagging 분석을 실시한다. 이 단계를 거쳐서 정의되는 품질기능과 설계변수의 수는 동일하게 유지하여야 하며, 설계 매트릭스는 대각행렬이나 삼각행렬이 되도록 설계되어야 한다. 이 단계에 적용되는 ZigZagging 분석방법의 기본개념은 <그림 6>과 같다.



<그림 6> ZigZagging 분석 방법

Zigzagging 분석을 위해서는 먼저 제품기능요구를 서로 영향을 미치지 않도록 독립적으로 설정하고, 이를 만족할 수 있는 설계변수를 맵핑한다(Zig). 그 후 설계변수를 고려하여 하위레벨의 기능요구를 설정한다(Zag). 이러한 분석을 전체적인 제품의 기능요구와 설계변수의 맵핑이 완료될 때까지 반복한다. 이 단계가 끝나면 공리 1을 만족하는 제품기능요구와 설계변수가 맵핑된다.

(3) 품질의 집(HoQ) 분석을 통한 설계 대안(목표값) 산출

이 단계에서는 공리 1을 적용하여 정해진 기능변수와 설계변수를 품질의 집 분석을 통하여 설계자의 궁극적인 목표인 설계 대안(목표값)을 산출한다. 즉, 이 단계에서는 순수하게 QFD의 분석절차를 거친다. 제품의 기능요구와 상대적 중요도, 설계변수간의 상관관계 및 설계변수의 중요도, 타기업회사의 벤치마킹 정보등을 이용하여 설계변수의 정량적인 목표치를 구한다. 구해진 설계변수의 목표치는 제품의 품질기능요구를 만족시킬 수 있는 하나의 설계 대안이다.

(4) 정보공리를 이용한 설계 대안 평가

마지막 단계로서, 얻어진 설계변수의 목표값들을 이용하여 제안된 설계에 필요한 정보량, 즉 제안된 설계가 성공할 확률을 구한다. 이때 공리 2를 반영하여, 산출된 정보량(information content)의 값이 가장 적은 설계가 성공확률이 높은 설계, 즉, 최적설계가 된다.

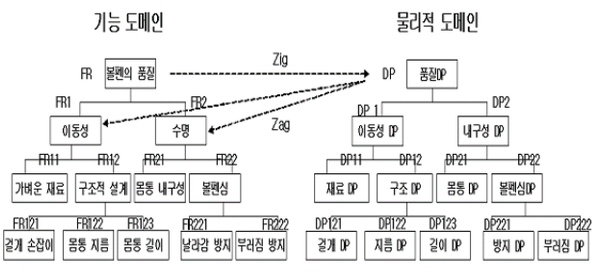
이러한 단계적인 절차를 통하여 두 가지 공리의 적용을 통한 QFD의 확장이 가능하다. 본 연구에서는 기존의 두 가지 설계방법의 장점을 모두 살리며, 설계에 적용할 수 있는 프레임워크를 제시한다. 다음 단락에서는 QFD의 확장을 적용하는 간단한 예제를 제시한다.

5. 활용예제

본 연구에서는 품질기능전개의 확장을 적용하기 위하여 볼펜의 설계를 예로 제시한다. 볼펜을 설계하기 위하여 앞 단락에서 제시한 절차에 따라 설계를 진행한다.

먼저 고객의 요구분석 방법을 통하여 고객요구사항을 산출한다. 여기서는 볼펜에 대한 고객의 요구는 크게 두 가지 즉, "가지고 이동하기 쉽고, 오래 사용하는 것"으로 가정한다. 따라서 분석된 고객의 요구사항을 바탕으로 볼펜의 기능요구사항을 이동성과 수명으로 정의하고 이 두 가지 요구사항을 만족하기 위한 설계과정을 진행한다.

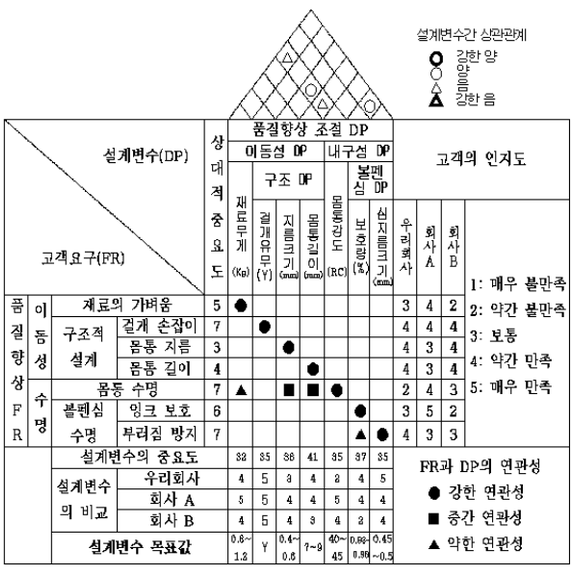
다음 단계에서는 앞 단계에서 정의된 볼펜의 기능요구사항을 구조적으로 분석하고, 설계변수와 매핑한다. 이때 공리 1, 즉 독립성 공리를 만족하기 위하여 ZigZagging 분석방법을 이용한다. 볼펜의 Zigzagging 분석과정은 <그림 7>과 같다.



<그림 7> Zigzagging에 의한 볼펜의 도메인매핑

<그림 7>에서 먼저 볼펜의 품질(이동성과 수명)을 향상할 수 있는 설계변수를 설정하는 데, 이 때 공리 1을 만족할 수 있는가를 고려해서 선정하여야 한다(Zig). 공리 1을 만족할 수 있는 설계변수가 정해지면 다음단계의 볼펜기능을 정의한다(Zag). 이러한 ZigZagging 과정을 볼펜의 요구기능인 이동성과 수명을 만족하기 위한 모든 하위 요구기능들이 설계변수들과 독립적으로 맵핑될 때까지 계속한다. 이 예제에서는 결과적으로 공리1을 만족하는 볼펜의 독립적인 기능 7개와 이를 만족시키기 위한 설계변수 7개의 맵핑관계가 산출되었다.

다음 단계에서는 산출된 볼펜의 기능요구와 설계변수를 품질의 집을 통하여 분석한다. 먼저, 정의된 볼펜 기능요구사항의 상대적 중요도 및 고객의 인지도를 파악하고, 설계변수와의 연관성을 정량적으로 분석한다. 그 후 산출된 설계변수간의 연관성을 분석 하고, 우리의 설계변수를 타회사와 비교분석한다. 마지막으로 분석된 모든 정보를 이용하여 볼펜기능요구를 위한 설계변수의 목표값, 즉 하나의 설계대안을 산출한다. 볼펜의 품질의 집분석과정은 <그림 8>과 같다.



<그림 8> 볼펜 설계의 품질의 집 분석

마지막으로 품질의 집을 통해 얻은 설계변수의 목표값들로서 이 설계의 정보량(information Content) 값을 구하여 설계대안을 평가한다.(공리2의 적용) 위에서 얻어진 설계변수 목표값의 범위와, 분석을 위해 가정된 시스템의 목표값 범위를 사용하여 계산된 설계대안의 성공 확률은 <표 1>과 같다.

<표 1> 설계변수의 성공확률

구 분	목표값 범위	시스템 범위	공통 범위	성공확률(P_i)
재료무게(kg)	0.8 ~ 1.2	0.9 ~ 1.4	0.9 ~1.2	3/5
걸개유무(Y)	Y	Y	Y	1
지름크기(mm)	0.4 ~ 0.6	0.3 ~ 0.7	0.4 ~ 0.6	2/4
몸통길이(mm)	7 ~ 9	8 ~ 11	8 ~ 9	1/3
몸통강도(rc)	40 ~ 45	43 ~ 50	43 ~ 45	2/7
액보호량(%)	93 ~ 96	90 ~ 96	93 ~ 96	3/6
심지름크기(mm)	0.45~0.5	0.35~0.48	0.45~0.48	3/13

따라서 볼펜의 설계대안이 갖는 정보량은

$$I(\text{Information content}) = \sum (\log_2 1/P_i)$$

에서 $\log_2(5/3) + \log_2 1 + \log_2(4/2) + \log_2(3/1) + \log_2(7/2) + \log_2(6/3) + \log_2(13/3) = 8.2445$가 된다. 따라서 이 설계대안은 볼펜의 두 가지 기능을 만족하기 위해서 8. 2445만큼의 정보량이 더 필요하다고 할 수 있다.

앞에서 공리 1을 만족하는 설계대안은 여러경우가 있을 수 있다. 이러한 여러 가지 대안들 중에서 공리 2를 적용하여 가장 적은 정보량을 가진 설계가 최적 설계가 된다.

6. 결론 및 추후 과제

품질기능전개를 비롯한 전통적인 제품설계 방법들은 전문가들의 경험적이고 주관적인 요소에 의해서 이루어져 왔다. 반면, 공리이론은 설계에 대한 과학적인 토대를 제공한다. 따라서 본 연구에서는 품질기능전개의 협력적인 제품 설계과정을 공리적 이론으로 측정하여 최적의 제품설계를 지원하는 프레임워크를 제시하고 간단한 예제를 보였다.

본 연구에서는 QFD의 확장을 위해 프레임워크만을 제시하고 실제 사례가 아닌 간단한 예제를 사용하여 방법론만을 제시하였다. 따라서, 이 프레임워크를 실제 제품설계에 사용하여 최적설계를 산출하는 것이 추후 과제이다. 또한 다른 설계방법들과 제품설계의 성능을 비교분석하는 것도 의미있는 연구가 될 것이다.

References

[1] ULRICH, K., and EPPINGER, S. (2003), *Product Design and Development*, McGraw-Hill, New York.

[2] Chan, L.-K., and Wu, M.-L. (2002), Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143, 463- 497.

[3] Kim, K. J., Moskowitz, H., Dhingra, A., and Evans, G. (2000), Fuzzy Multicriteria Models for Quality Function Deployment, *European Journal of Operational Research*, 121, 504-518.

[4] Bouchereau, v., Rowlands, h. (1999), Analytical approaches to QFD, *Manufacturing Engineer,* 78, 249-254.

[5] Park, T. H., Kim, K. J. (1998), Determination of an optimal set of design requirements using house of quality, *Journal of operations Management,* 16, 569-581.

[6] Hauser, J. R., Clausing, D. (1988), The house of quality. *Harvard Business Review,* 66, 63-73.

[7] Suh, N. P. (1990), *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York, UK.

[8] Suh, N. P. (1998), Axiomatic Design Theory for Systems, *Research in Engineering Design,* 10, 189-209.

[9] Jang, B. S., et al. (2002), Axiomatic design approach for marine design problems, *Marine Structures,* 15, 35-56.

[10] Suh, N. P. (1995), Designing-in of Quality through axiomatic design, *IEEE Trans Reliab,* 44(2), 256-64.

[11] Govers, P. M. (2000), QFD not just a tool but a way of quality management, *International journal of production economics*, 69, 151-159.