대량주문제품의 고객에 의한 설계에 관한 연구
(A Study on Design by Customers for Mass Customization Products)

서광규[1], 김형준[2], 장형걸[2]
([1]한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구센터
[2]서일대학 공업경영과)
Kwang-Kyu Seo[1], Hyungjun Kim[2], Hyung-Gul Chang[2]
([1]CAD/CAM Research Center, Korea Institute of Science and Technology
[2]Department of Industrial Management, Seoil Junior College)

ABSTRACT

Producing what customers need with near mass production efficiency, or mass customization, has been a major trend in industry. Effective definition of customer requirements is a pre-requisite for realizing mass customization. The new method, called "Design by Customers", is proposed. The porposed method is an approach for companies to communicate to customers about what the company can offer, to find out customer needs, to assist customers in making choices and to negotiate for agreements. In this paper, the design and manufacturing capabilities in making company are represented in a Product Family Architecture. Adaptive Conjoint Analysis is then applied help customers assert their needs, defined variations from base product, visualize their options and assess alternatives. A power supplier of a electronic appliance is shown as an example to demonstrated the suggested method.

Key Words

Product Design, Design by Customer, Customer Requirement Analysis, Product Family Architecture, Adaptive Conjoint Analysis, Computer-Aided Design

1. 서 론

품질(quality) [2]은, 개개의 고객들의 요구사항들을 만족시켜야 한다는 의미에서, 제품들을 구별하는 주요한 요소가 되어왔다. 고객들은 각자 자신들이 선호하는 제품의 크기, 취향, 스타일, 필요 사항 혹은 표현 요구들을 만족시키는 제품들을 위해 가격을 지불하고 물건을 구입한다.

대량주문은 개개의 소비자들의 요구사항과 대량생산의 효율성 모두를 만족시키는 것을 목적으로 한다. 고객의 요구사항들을 만족시키는 것은 고객들의 가치와 고객들이 무엇을 선호하는 지를 완전히 이해하는 것을 필요로 한다. 또한, 고객입장에서는 회사가 고객들이 선택할 수 있는 모든 가능한 경우에 대한 정보를 제공받고, 고객들이 선택한 결과를 비용 (cost)과 일정 (schedule) 등의 요소들을 모두 고려하여 어떻게 제공해 줄 수 있는가를 아는 것도 매우 중요하다.

전통적으로, 시장에서 경쟁력을 갖추기 위해서, 제조업자들은 고객들의 요구사항들을 미리 예견하여 제품을 기획 및 설계하고 생산 공정을 시작하는 고객을 위한 설계(Design for customer) 접근 방법 [11] 을 추구해왔다. 제품들과 생산시스템은 이러한 예견들을 기반으로 개발되었고 발전해 왔다. 그러나, 고객의 요구사항들이 다변화하고, 또한 기업의 경쟁 환경이 급변하는 현 상황하에서는 대부분의 사업자들이 정확히 고객들의 요구사항들을 예견하여 제품을 생산하는 것이 점점 더 어려워지고 있다. 최근 들어 새로운 제품을 위한 설비투자 비용과 제품에 대한 부정확한 수요 · 예측 등으로 인한 재고 비용의 중요성도 점점 증가하고 있다. 결국, 고객의 요구사항들에 대한 잘못된 예견은 많은 재정적 손실을 가져올 수 있고, 이는 회사 경영에 치명적 요인이 될 수도 있다. 반면에, 최신 제조시스템의 출현과 잘 교육된 인력들 및 새로운 생산기법 등의 출현 등으로 제품의 설계나 개발 그리고 생산시스템의 유연성이 증가한 것도 사실이다.

본 논문에서는 고객들이 고객 스스로의 요구 사항들을 정의하고, 명백한 요구사항뿐만 아니라 함축적이고 무형적인 요구사항들 모두를 만족시킬 수 있는 환경을 만듬으로써, 설계와 제조를 동시에 수행할 수 있는 새로운 방법론인 "고객에 의한 설계 (Design by Customer)" 방안을 제안한다. 이 방법론은 기존의 기법인 고객의 목소리(voice of customer)를 설계나 제조공정에 도입하는

QFD (Quality Function Deployment)기법 [1]이나 고객의 선택사항을 회사의 능력과 결합시키거나, 혁신적으로 제품의 라이프 싸이클의 감소시켜 제품을 시장에 판매하는 동시공학 (concurrent engineering) [1, 2] 기법을 확장한 접근방법들과는 다른 방법론이다. 본 논문에서 제안하는 방법론의 목적은 회사가 고객에게 제공해 줄 수 있는 것과 고객이 회사에 원하는 요구사항들간의 최상의 선택안을 찾는 것이고, 동시에 고객들에게 최대한의 서비스를 제공할 수 있는 회사의 능력을 개발하는 것이다.

다음 섹션에서는 대량주문을 위한 설계를 달성시켜주고, 설계공정을 촉진시키는 "Product Family Architecture (PFA)" [8] 방법론에 대하여 기술한다. 그리고, PFA에 기반을 둔 두 개의 상호보완적인 공정들이 개발된다. 그 중 하나는 고객의 요구사항들을 잘 반영하고 분석하기 위한 고객 상호작용 공정(customer interaction process)이고, 다른 하나는 고객의 요구사항과 회사의 능력의 일치성을 향상시키기 위한 보조 공정(supporting process)이다. 이 접근방법은 가전제품에 다양한 사양으로 사용되는 전원공급장치를 대상으로 설명된다.

2. Product Family Architecture

본질적으로, PFA는 고객의 요구사항들을 만족시킨 기본적인 제품 설계로부터, 유도할 수 있는 다양한 제품의 변이와 범위에 의하여 회사가 고객들에게 무엇을 제공을 해줄 수 있는 가를 표현한 것이다. 잘 설계된 PFA는 제품 패밀리 (product family)의 일반적 구조를 제공하여 준다. 제품 패밀리는 주문에 따라 만들어진 기본 제품(base product : BP)과 빌딩 블록들 (building blocks)로 구성되어 있다. PFA를 이용하여 개개의 제품들을 정의하면, M개의 속성 (attribute)들로 구성되어 있다. 또한, 각 속성은 몇 수준들 (levels)을 포함하고 있느데, 속성 m은 L_m 수준들의 어느 하나가 될 수 있다. 개객의 제품들은 제품 패밀리 (product family)를 설명하는 한 요소가 된다.

성공적으로 설계된 PFA는 동시공학 (concurrent engineering) , 최적 공통설계 (optimal commonality design) 및 최적 모듈 설계 (optimal modularity design)에 기반을 둔다. 이것은 빌딩 블럭, 생산 라인 분류, 배열 규칙, 그리고 경제성 평가의 4 요소로 구성된다.

2.1 빌딩 블럭 (Building Block)

빌딩 블럭들 (Building Blocks)은 PFA의 기본 요소이다. 빌딩 블럭은 다양한 제품들을 만드는 조립과정서 유연성 (flexibility)과 재사용성 (reusability)을 위한 기초들을 형성한다. 제품들은 많은 빌딩 블럭들이 겹쳐진 것으로 보인다. PFA의 형성에서, 빌딩 블럭들의 분할을 위한 범주는 (1) 현재와 미래의 소비자의 요구사항들, (2) 설계와 제작에서의 반복성, 그리고 (3) 배열의 용이성 (ease of configuration)이다. 입도(granularity)의 적절한 수준들은 공통성 (commonality)과 로지스틱 비용 (logistic cost)의 균형을 통해 도달된다.

2.2 생산 라인 분류 (Product Line Taxonomy)

생산 라인 분류 (Product Line Taxonomy)는 제품 패밀리들과 기본 제품들 그리고 주문된 빌딩 블록들간의 상호관계에 의한 제품의 포트폴리오 (portfolio)의 패턴들을 표현한다. 이는 특별한 제품의 전략과 비즈니스 비전을 반영한다. 빌딩 블록 중 몇 개는 어떤 시장을 만족시키는 공통된 기능을 제공하는 기본 제품들을 통합하기 위해 만들어진다. 기본 제품들은 고객층을 만족시키기 위한 공통성을 획득하기 때문에 반복을 최대화한다. 따라서, 최종 제품은 처음 선택된 기본 제품에 의해 구성된 후, 추가적인 빌딩 블록이 필요한지를 결정한다. 또한, 생산 라인 분류 (Product Line Taxonomy)는 고객들과 PFA사이의 기본적인 의사소통 매체이다. 생산 라인 분류 (Product Line Taxonomy)를 통하여, 고객들은 잠재적으로 개개인의 요구사항을 만족시키는 빌딩 블록의 집합들을 볼 수 있게 된다.

2.3 배열 규칙 (Configuration Rule)

마지막 제품들은 배열규칙에 따른 빌딩 블록들의 조립에 의해 고객들에게 전달된다. 이러한 규칙들은 다음의 내용을 포함한다. : (1) 빌딩 블럭들 사이의 인터페이스 문제 같은 서로 다른 빌딩 블록들의 양립성; (2) 고객 요구사항과 설계 파라미터들 사이의 관계 설정

2.4 경제성 평가 (Economic Evaluation)

PFA는 고객들을 위한 선택을 제공하기 때문에, 고객들이 비용 (cost), 일정

(schedule) 그리고 다른 무형적 요인들 (intangible factors)의 선택 결과에 대한 정보를 얻는 것이 중요하다. 경제성 평가는 소비자들이 필요한 절충을 도와주는 규칙들 (rules), 등식들 (equations), 그리고 도구들 (tools)의 형태로 제공될 수 있다.

3. 협력 분석(Conjoint Analysis) - 고객 요구사항의 획득

Conjoint Analysis [4]는 마케팅 분야에서 구매자의 다중 속성 효용 함수 (multi-attribute utility function)의 평가에 의한 고객의 선호도를 측정하기 위해 설계된 방법론이다. 제품은 Z_1, Z_2, ..., Z_M과 같은 M개의 속성들의 벡터들 (vectors)로서 표현된다. 각각의 속성은 몇 개의 이산적인 레벨들(discrete levels)을 포함할 수 있다. 속성 Z_m은 L_m 레벨들인, Z_{m1}, Z_{m2}, ..., $Z_{m,Lm}$ (m=1, 2, ..., M) 중의 어느 한 값으로 표현될 수 있다. 효용 함수(utility function)는 다음과 같이 정의된다.

$$U_r = \sum_{m=1}^{M} W_m \left(\sum_{l=1}^{L_m} U_{ml} X_{rml} \right) = \sum_{m=1}^{M} \sum_{l=1}^{L_m} U_{ml} X_{rml} \tag{1}$$

$$U_{ml} = W_m * d_{rml} \tag{2}$$

U_r은 프로파일(profile) r (r=1, 2, ..., R)을 위한 고객의 효용 (customer's utility)이다. W_m은 고객을 위한 속성 Z_m의 중요도를 나타내는 가중치 (weight)이다. d_{rml}은 속성 m(m, l=1, 2, ..., L_m; m=1, 2, ..., M)의 l 번째 수준의 욕구(desirability)이다. U_{ml} 은 m의 l 번째 수준의 속성의 효용이다. X_{rml}은 속성의 특별한 수준이 선택되었는지, 선택되지 않았는 지를 표시하는 더미 변수(dummy variable)이다. X_{rml} 은 다음과 같이 표현된다.

$$X_{rml} = \begin{cases} 1, & \text{if } \textit{attributes is on } l^{th} \textit{ level}; \\ 0, & \textit{otherwise.} \end{cases} \tag{3}$$

일반적으로, 많은 속성들과 이산 수준들 (discrete levels) 그리고 선호 지수 (preference indicators)들은 고객들의 상호작용내에서 선호되는 제품들로 정의할 필요가 있다. 이와 같이 하지 않으면, 설계 공정은 실용성이 없어지는 문제

점에 봉착한다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 몇 가지 접근 방법을 살펴보면 다음과 같다. Green 등은 [5] 반복성을 가지는 고객의 효용을 조사하기 위하여 Adaptive Conjoint Analysis를 제안하였다. 고객들은 속성들의 상대적 중요도의 비율을 질문 받고, 속성들간의 절충을 통해 효용을 구분할 수 있다. 또 다른 접근 방법은 Analytical Hierarchy Process (AHP)를 이용하여 효용 가치를 결정하는 기법 [10]이 있다.

효용함수 U_{ml}을 알게됨으로서, 고객들은 각 속성들의 상대적 기여도를 찾을 수 있고, 절충안을 만들 수도 있다. 이를 통해, 고객들은 그들이 지불할 단위가격당 개인의 가치를 최대화하는 최종 설계를 만들 수 있다.

4. 고객에 의한 설계를 위한 공정

설계는 기능적 요구사항들 (functional requirement)과 물리적 변수들간 (physical parameters)에 사상(mapping)이라고 정의할 수 있다. "고객에 의한 설계"는 고객들이 직접 그들의 요구사항들을 표현하고, 이 요구사항들을 사상을 물리적인 영역으로 포함시킬 수 있게 한다. "고객에 의한 설계"는 고객에게 아무 것도 없는 빈 공간에 설계를 하게 하는 것이 아니다. 대신에 고객들에 의한 설계 공정이 고객들을 회사의 역량을 통해 일을 진행시킬 수 있게 안내해 주고, 비용과 일정 그리고 고객의 기능적 요구 사항들을 충족시킬 수 있는 최적의 대안을 정의한다.

그림 1은 PFA 플랫폼 (platform)에서 "고객에 의한 설계"를 위한 공정을 설명한 것이다. 화살표는 데이터의 흐름을, 점선은 공정을, 그리고 문자들은 참조변수들의 집합을 의미한다. 설계 공정은 소비자의 요구사항 획득과 제품 설계의 두 단계로 구성된다. 이 시나리오에서 고객과 PFA에 의한 시스템이 중요한 요소가 된다.

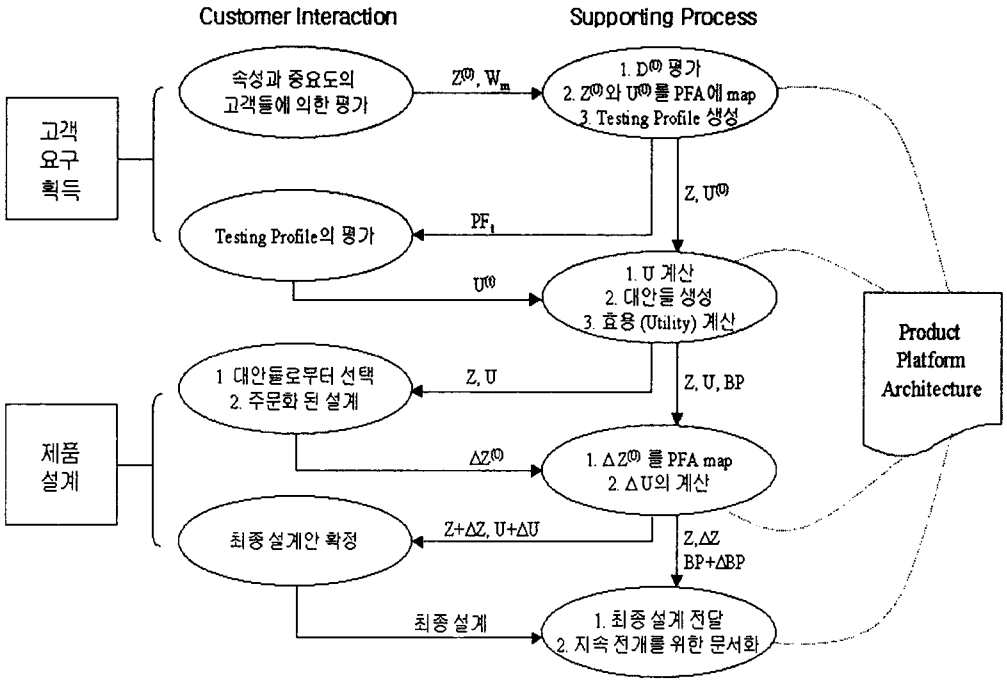

그림 1. 고객에 의한 설계를 위한 공정 흐름도

4.1 단계 1 : 고객 요구 획득(Customer Needs Acquisition)

4.1.1 역량 표현 (Capability representation)

합리적인 의사결정을 위해서 고객들은 제품의 공급능력, 제품의 속성, 각 속성들의 가능한 수준과 그 수준들의 게통을 포함한 회사의 역량에 대한 정보를 얻어야 한다. 이 단계에서 PFA는 고객들을 위한 설계 옵션 (design option)을 조사하는 시스템적 프로토콜 (protocol)을 제공한다.

4.1.2 자기-설명 (Self-explication)

고객들은 서로 다른 특성들에 대한 관심에 따라 그들의 요구사항을 위한 희망 속성들의 우선 순위를 질문 받는다. 고객들은 각 속성들의 가치를 평가할 수 있고, 가장 희망하는 수준과 희망하지 않는 수준 사이의 상대적인 선호정도

를 자세히 기입하게 된다. 이 평가 결과는 각 속성들의 상대적인 중요도로써, W_m의 집합으로 표현된다.

4.1.3 효용 탐구 (Utility exploration)

다음 단계는 W_m을 기반으로 각 속성 수준의 희망 정도을 반영하는 $d^{(0)}_{rml}$ 의 집합을 찾는 것이다. 여기에서는 AHP 방법 (그림 2)을 이용하여 $d^{(0)}_{rml}$를 평가한다. 식 (2)에서 W_m과 $d^{(0)}_{rml}$ 를 바꾸어주면, 각 속성 수준의 효용이 유도된다.

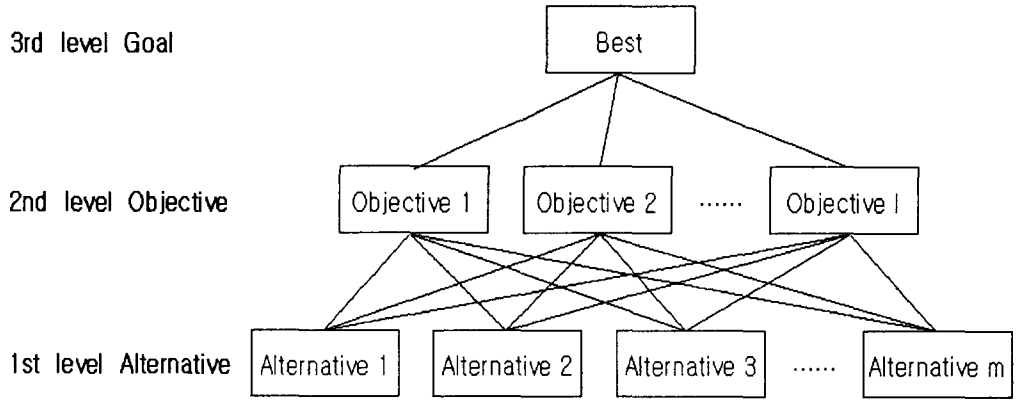

그림 2. The procedure of Analytic Hierarchy Process (AHP)

4.2 단계 2 : 제품 설계 (Product Design)

4.2.1 기본 설계 (Preliminary design)

$d^{(0)}_{rml}$과 W_m 을 식 (1)에 대입하면, $U^{(0)}_{ml}$이 계산된다. 기본 설계는

$U^{(0)}{}_{ml}$에 가까운 효용 가치를 가진 기본 제품들의 선택으로 이루어진다. 기본 제품의 선택은 U_{ml}값의 반복을 통해 조정될 수 있다.

4.2.2 주문화 (Customization)

고객들은 추가된 빌딩 블록들의 주문화된 공정을 가진 속성 Z에서 Z+△Z까지 수정할 수 있다. Z는 조정되고, 효용은 고객이 만족한 해답을 얻을 때까지 재계산된다.

4.2.3 문서화 (Documentation)

고객에 의해 확인이 된 후에, 설계가 진행된다. 설계 결과는 Z와 △Z로, 그리고 주문화된 기본 설계 BP (Basic Product)와 △BP로 세분화할 수 있다. 일련의 과정들은 지속적인 PFA의 전개를 위해 문서화된다.

PFA는 갱신될 수 있고, 그 결과 미래의 고객의 요구에 보다 나은 대응을 할 수 있다. 이 방법은 제품 패밀리의 판매 내에서 뿐만 아니라, 제품 생산 능력 내의 변화를 포함한다. 이를 통해 회사의 역량 (capacity)을 더욱 더 고객의 요구사항을 만족시킬 수 있는 방향으로 초점을 맞출 수 있다.

5. 사례연구

모든 가전 제품에는 전원공급장치를 필요로 한다. 가전제품의 다양한 요구조건들때문에, 전원공급장치는 주문 생산되고 있다. 본 논문에서는 이 전원공급장치를 예로 들어 제안한 방법을 수행하고자 한다. 설계 공정의 묘사의 예는 다음과 같다.

(1) 전원공급장치의 효율, 신뢰, 가격, 잡음, 크기들은 고객들에게 중요한 속성들이다. 따라서, $Z^{(0)}$= {Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5}. 각 속성의 수준은 표 1에 나타낸는데, 그 예는 Z_{11}=70%, Z_{12}=80%, Z_{13}=88%, Z_{21}=260 khrs, Z_{22}=330 khrs 등이다.

표 1. 전원공급장치의 주요 속성들

속성(Attribute)	수준(Level)
효율성(efficiency : %)	76, 80, 88
신뢰성(reliability ; MTBF: khrs)	260, 330, 760, 840
가격(price : 1,000 ₩/W)	1.1, 2.8, 4.9
잡음(noise : p-p mv)	50, 100
크기(Size : W/inch^3)	15, 27, 50

(2) 고객은 가장 바람직한 수준과 가장 덜 바람직한 수준 사이의 차이점의 중요성을평가한다.

(3) 고객의 요구사항들을 획득하는 과정에서, 고객의 효용값이 유도된다. 이 과정가 결과는 그림 이 필요로 하는 것을 알 수 있다. 그림 3에 나타나 있다. 그림 3에서 보듯이 신뢰성은 고객의 효용에 영향을 주는 가장 중요한 요소이다. 그리고, 가격, 효율, 소음 도 고객의 효용에 영향을 준다. 그러나, 고객은 전원공급장치의 크기에는 별로 관심이 없다는 것을 알 수 있다. 따라서, 고객의 효용을 최대화하기 위해서는 전원공급장치의 크기를 줄이는 것보다는 신뢰성을 향상시키도록 노력해야 한다.
부품 가치선의 기울기는 고객의 한계효용을 반영한다. 고객 효용 측면에서, 어떤 수준에서 다른 수준으로의 이동은 특별한 속성을 향상시키는데 도움을 준다.

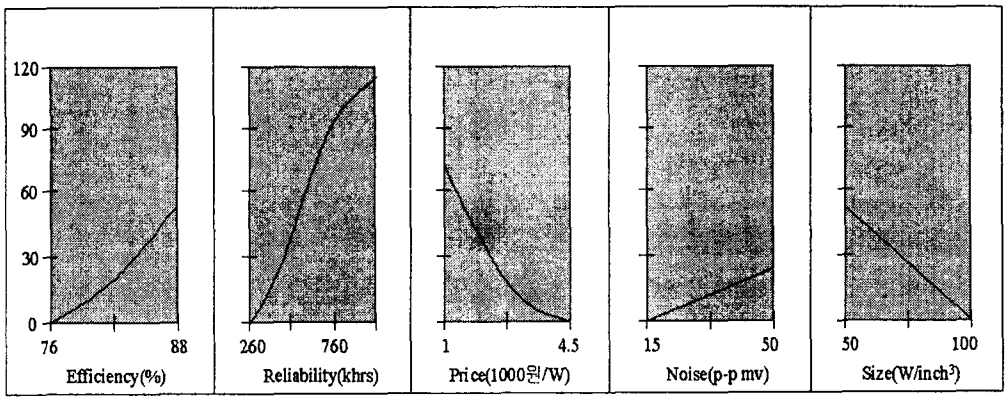

그림 3. 속성의 효용들

(4) 시스템은 세분화된 고객의 효용에 따른 기본 제품들로 추천된다. 표 2에서 기본제품 1(Basic Product 1; BP1)과 기본 제품 2 (BP2)가 선택된 기본 제품이다. CP(Product designed by Customer)는 고객에 따라서 속성을 조정한 후 주문해서 만들어진 제품이다. 가격 또한 여기에서 평가할 수 있다. 결론적으로, BP1은 가장 높은 가격과 최상의 성능을 가지고 있고, CP는 고객의 요구를 가장 높게 반영하고 있음을 알 수 있다.

표 2. 고객에 의한 설계된 제품

	BP1	**BP2**	**CP**
신뢰성(reliability ; MTBF: khrs)	840	840	760
효율성(efficiency : %)	80	88	80
잡음(noise : p-p mv)	50	50	100
크기(Size : W/inch^3)	27	50	27
가격(price : 1,000 ₩/W)	3.7	4.2	2.5
효용(Utility)	211	244	256

6. 결 론

고객에 의한 설계 접근 방법은 대량의 주문생산을 위해 발전되어 왔다. 가능한 Adaptive Conjoint Analysis의 적용에 의해, 고객은 제품 패밀리들을 살펴볼 수 있고, 그들의 선호도를 정의할 수 있다. 그리고, 이를 통해 그들 자신만의 방법으로 각자가 필요로 하는 기능적 요구를 물리적인 차원 (실제 설계)으로 도입함으로써, 자신이 원하는 제품을 설계할 수 있다. 이것은 제품 설계나 설계안들의 전달 과정내의 기술적인 중요도을 감소시키지 않는다. 대신에, 기술적 본질은 파트 패밀리들 (part families)을 어떻게 표현하고 준비하느냐로 이동된다. 그 결과, 고객들은 그들 자신들의 요구사항들을 충족시킬 수 있는 제품을 선택할 수 있는 최선의 의사결정을 할 수 있게 된다. 잘 설계된 PFA는 설계 (design), 제조 (manufacturing), 판매 (sales), 마케팅 (marketing)과 로지스틱 능력들(logistic capacities)의 통합을 위한 토대가 된다. 근본적으로 제품 마케팅 (product marketing)과 설계 공학 (design engineering)은 PFA의 사용으로 통합된다. 또한, 시스템적인 방법을 사용하여 컴퓨터를 이용한 방법의 적용도 가능하다. 제안한 방법은 가전 제품의 전원공급장치를 대상으로 하여 시험해 보았다. 사례 연구에서 전원공급장치의 속성과 각 수준들의 고객 효용을 계산하고, 이를 토대로 고객의 요구를 가장 높게 반영한 전원공급장치의 설계를 수행하였다. 제안한 방법은 고객의 무엇을 선호하는 지에 관한 선호지수를 효용함수를 이용하여 유도해 냄으로써, 고객에 의한 설계를 가능하게 하였다. 향후 과제로는, 제안한 방법론의 한계와 잠재성을 더 연구하고, 고객의 선호도를 평가할 때의 애매모호함을 더욱 객관적으로 평가해 낼 수 있는 방법론에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Biren Parasad, Concurrent Engineering Fundamentals - Integrated Product and Process prganization Vol 1 and Vol 2, Prentice Hall, 1996

[2] Clausing, D., Total Quality Development: A Step by Step Guide to World-Class Concurrent Engineering, ASME Press, 1994

[3] Deitz, D., "Customer-driven Product Delivery", Mechanical Engineering, Dec.: pp. 72-77, 1995

[4] Green, P.E., Krieger, A.M., Agarwal, M.K., "Adaptive Conjoint Analysis: Some Cavates and Suggestion", Journal of Marketing Research, 28(2):

pp. 215-222, 1991

[5] IntelliQuest, American Marketing Association. Market Research Division 1990, Conjoint Analysis : A Guide for Designing and Integrating Conjoint Studies, Marketing Research Technique Series, Texas

[6] McCullagh, P., Nelder, J.A., Generalized Linear Models (2nd Edition), Chapman and Hall, 1989

[7] Pine II, B. J., The New Frontier in Business Competition, Harvard Business School Press, 1993

[8] Tseng, M.M., Jiao, J., "Design for Mass Customization", CIRP Annals, 45: pp. 153-156, 1996

[9] Tseng, M.M., Jiao. J., A "Variant Approach to Product Definition by Recognizing Functional Requirement Patterns", Journal of Engineering Design, 8: pp. 329-340, 1997

[10] Urban, G.L., Hauser, J.R., Design And Marketing of New Products, 2nd Edition, Prentice Hall, 1993

[11] Weiler, M.M., Lu, S.C-Y., "Maximize Customer Satisfaction in a Product Design Process by Using Engineering Design as Collaborative Negotiation(ECN) Paradigm and The Dynamic Negotiation Model (DNM)", Proceedings of CIRP International Design Seminar: Multimedia Technology for Cooperative Design and Manufacture, USC, Los Angeles, CA, USA, OCT., 1997: pp. 29-36

저 자 소 개

서광규 : 현 서일대 강사로서 주요관심 분야는 공정자동화, 환경경영 등.

김형준 : 현 서일대 교수로서 주요관심 분야는 품질관리, e-Biz 등.

장형걸 : 현 서일대 겸임교수로 주요관심 분야는 품질관리, 경영전략 등.