

Module Communization for Product Platform Design Using Clustering Analysis

Jaewook Yoo[†]

Department of Business Administration, Dong-A University

군집 분석을 활용한 제품 플랫폼 설계를 위한 모듈 공용화

유재욱[†]

동아대학교 경영대학 경영학과 조교수

Platform-based product family design is recognized as an effective method to satisfy the mass customization which is a current market trend. In order to design platform-based product family successfully, it is the key work to define a good product platform, which is to identify the common modules that will be shared among the product family. In this paper the clustering analysis using dendrogram is proposed to capture the common modules of the platform. The clustering variables regarding both marketing and engineering sides are derived from the view point of top-down product development. A case study of a cordless drill/drive product family is presented to illustrate the feasibility and validity of the overall procedure developed in this research.

Keywords : Product Platform, Clustering Analysis, Platform-based Product Family

1. 서론

플랫폼 기반의 제품군 설계(platform-based product family design)는 대량맞춤(mass customization)을 실현하기 위한 효과적인 방법으로 인식되어 왔다. 많은 기업들(예를 들면, Volkswagen, Boeing, Hewlett Packard, SONY, Black and Decker 등)이 제품을 개발하는 데 있어서 플랫폼 기반의 제품군 설계를 성공적으로 수행해 왔다[4, 12, 13]. 이로 인하여 제품의 우수한 품질, 시장변화에 대한 신속한 대응, 제품 개발비용의 감소로 글로벌 시장이 수시로 변화하고 경쟁이 더욱 치열해짐에도 불구하고 상당한 경제적 이득을 얻고 있다.

제품 플랫폼(product platform)은 제품군내 제품들의 공통구조(common structure)를 이루고 있는 서브시스템 또

는 구성품과 그 인터페이스(Sub-systems/Components and interfaces)의 집합으로 정의되며, 이를 공유하여 다수의 파생제품들(derivatives)이 효율적으로 개발되고 생산된다. 이와 같이 공통부분인 플랫폼을 공유하고 목표로 하는 시장으로 도입되는 파생제품들의 집합을 제품군이라 한다.

제품설계 연구 문헌을 보면, 플랫폼 기반의 제품군 설계 관련 논문을 많이 찾아볼 수 있다[7]. 연구 문헌을 보면 제품군 설계는 기본적으로 Top-down과 Bottom-up 두 가지 방법이 있다. Top-down은 개발 초기부터 플랫폼과 이를 기반으로 파생한 제품군의 개발을 하는 방식이고, Bottom-up은 기존의 제품군내 제품들을 재설계하고 통합하여 구성품들을 표준화하는 방식이다[10, 20]. 또한, Top-down/Bottom-up 개발 방법만큼이나 일반적으로, 플랫폼 기반 제품군 개발 방식은 모듈 기반 제품군(module-based product family) 개발과 스케일 기반 제품군(scale-based product family) 개발로 분류할 수 있다. 모듈 기반 제품군 개발에서는 모듈플랫폼을 중심으로 모듈을 더하고, 빼고, 수정하는 방식으로 제품을 만들어내고, 스케일 기반 제

품군 개발에서는 스케일 변수를 정하고 이들 값을 조정하여 다양한 제품을 개발해 내는 방식이다[20]. 본 연구에서는 Top-down 개발이자 모듈 플랫폼(modular platform) 기반 제품군 설계 부문으로 개발 패러다임을 한정하고자 한다.

제품군 설계방식에서 성공요인은 제대로 된 제품 플랫폼을 개발하는 것이다. 플랫폼 개발의 목적은 제품군내 제품들간 플랫폼을 확보하여 개발비용과 시간을 줄이고 제품의 품질을 높이면서, 다양한 고객의 요구사항을 만족할 수 있도록 다양한 제품들을 개발하는 것이다. 다양한 고객의 요구사항과 제품의 공용성 둘 다를 만족하는 제품 플랫폼을 개발하는 일은 쉽지 않다. 이를 만족하는 제품 플랫폼을 개발하는 데 있어서 핵심 작업은 제품군내 제품들이 공유하는 공통모듈을 정의하는 일이다. 이것을 플랫폼 공용화(platform communization)라 하는 데 제품 플랫폼 개발에 있어서 해결해야 할 매우 중요한 이슈이다.

제품 플랫폼 개발에 관한 연구는 많이 진행되어 왔다. Otto와 Sudjianto[16]는 기능을 그룹핑하여 플랫폼을 구성할 공통 모듈을 선정하기 위하여 행렬을 사용하였다. Robertson과 Ulrich[19]는 플랫폼 개발계획을 수립하는 연구를 하였는데, 표준(standardization)이 될 모듈과 차별(differentiation)이 될 모듈을 정의하기 위하여 비용을 산정하여 기준으로 삼았다. Jiao와 Tseng[8]은 위와 같이 표준모듈과 차별 모듈을 정의하기 위하여 3D(functional, technical, and physical) 분석을 하였다. Fellini et al.[5]는 수리계획법을 이용하여 제품군내 플랫폼을 정의하였다. 여러 개의 대안 플랫폼을 평가하여 그 중에서 하나를 선택하는 것이었다. Nelson et al.[15]는 플랫폼 설계를 위하여 비선형 계획법을 이용하였다. 그들은 두 개 이상의 제품이 같은 모듈을 공유한다면 이들 제품들의 성능이 변할 것이라고 주장했다. Chen과 Wang[2]은 제품 플랫폼 개발에 관한 해법 연구가 대부분 개념적이고 정성적이라고 하였다. 그들은 정량적인 방법으로 군집분석과 정보이론을 이용하여 스케일기반 제품 플랫폼 설계의 해법을 제시하였다.

본 연구에서는 보다 구체적이고 정량적인 해법을 제시하고자 군집분석을 활용하여 제품 플랫폼을 구성할 공통 모듈을 선정하는 방법에 집중하고자 한다. 몇몇 군집분석 관련 연구를 보면, Qin, Zhong, Xiao, Zhang[18]은 Bottom-up 설계 방식에 있어서 플랫폼 아키텍처를 계층적으로 개발해 나가는 틀을 제시하였다. 그들은 플랫폼의 구성요소를 선택하기 위하여 그래프 이론을 기반으로 한 군집분석(clustering analysis)을 제안하였다. Holttä-Otto, Tang, Otto[6]는 Top-down 개발 방식에 있어서 플랫폼을 이루는 공통모듈을 찾기 위하여 계통수(dendrogram)를 이용한 군집분석을 하였다. 그들의 방법은 제품설계단계에서 작업되

는 기능 다이어그램(function diagram)의 각 기능의 입력과 출력 데이터만을 군집변수로 이용하여 군집분석에서 사용되는 유클리드 거리(Euclidean distances)를 계산하였다.

본 연구는 Top-down 개발방식에서 모듈 플랫폼을 설계할 때 플랫폼을 이루고 있는 공통모듈을 결정하기 위한 군집분석절차를 제안하는 것이다. 기존의 연구와의 차이점으로 기존 연구는 군집변수로 모듈의 기능적인 특성을 선정하여 주로 개발 측면만을 고려하였으나, 본 논문에서는 개발 측면뿐만 아니라 마케팅 측면까지 고려한 군집변수로 모듈의 다양도, 초기개발비, 초과 설계 유연성을 이용하여 보다 전반적인 관점에서 플랫폼 공용화를 얻기 위한 절차를 제시하는 것이 본 연구의 기여부분이 되겠다.

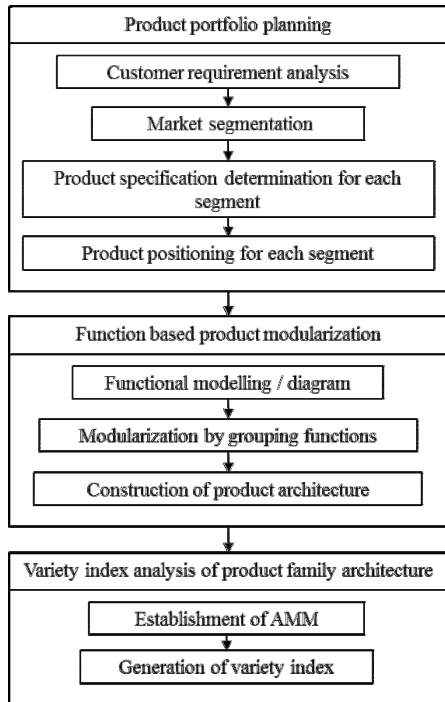
본 논문의 제 2장에서는 Top-down 개발 방식에서 제품 플랫폼의 공통모듈을 결정하는 방법의 이해를 돕기 위하여 Top-down 개발방식의 전반적인 내용을 소개한다. 제 3장에서는 제품 플랫폼의 공통모듈을 결정하는 방법으로써 군집분석 절차를 제시한다. 제 4장에서는 사례연구를 통하여 본 연구에서 제시한 군집분석 절차가 실제 기업이나 산업에서의 적용 가능성을 살펴본다. 제 5장에서는 본 연구의 결론과 미래연구분야를 제시한다.

2. 이론적 배경

Top-down 개발 방식은 목표시장에 맞는 제품군 개발 계획을 수립하는 제품 포트폴리오 계획(product portfolio planning)과 제품속성을 엔지니어링 관점에서 모듈로 전환하는 기능 기반의 제품 모듈화(function-based product modularization), 그리고 시장에 고객의 다양한 요구사항이 제품 아키텍처에 어떻게 mapping되었는가를 보기 위한 다양도 분석(variety analysis)으로 실행하는 데, 본 장에서 이들 내용을 간략히 소개한다. <Figure 1>은 Top-down 개발 방식의 전체 흐름을 보여주는 그림이다.

2.1 제품 포트폴리오 계획(Product Portfolio Planning)

Top-down 방식에 있어서 제품 개발을 위하여 시장의 다양성을 수용할 수 있도록 유연한 제품 아키텍처를 설계해야 한다. 이를 위해서 고객의 구매 활동에 잠재하는 고객 요구사항의 패턴을 인식하고 이를 분석하는 일이 필요하다[11, 24]. 또한 제품 개발 관점에서 고객의 요구사항을 수집하고 시장을 여러 개의 동질 고객그룹으로 세분화 하여[13, 23, 25], 세분화된 시장에 알맞은 제품을 포지셔닝해야 한다[7].



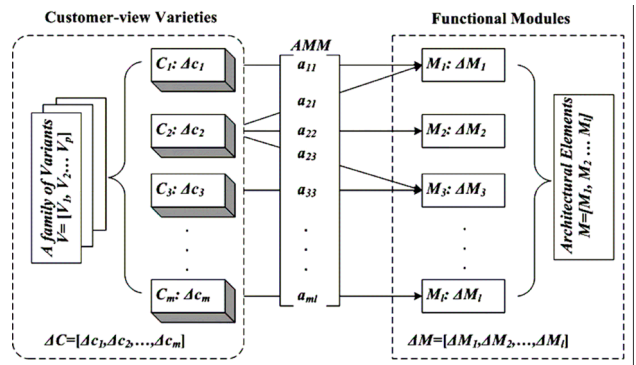
<Figure 1> Top-Down Development Approach

2.2 기능 기반의 제품 모듈화(Function-Based Product Modularization)

제품 개발 프로세스에서 제품 모듈화 과정이 어느 제품 개발 단계에서 수행되느냐에 따라 제품 모듈화의 형태가 다를 수 있다. Bottom-up 개발방식의 경우에는 제품의 구성품간 물리적 상호작용을 최소화하는 재구성(re-configuration)으로 현재 제품구조에 큰 수정 없이 물리적 모듈화를 수행하는 것이 유리하다. 반면에 Top-Down 방식인 경우는 새롭게 제품 플랫폼을 개발하는 경우로 고객의 요구사항과 이를 제품으로 실현하기 위한 공학적 설계간의 연계를 고려하여 제품 개발 초기부터 제품 아키텍처의 구성을 체계적으로 볼 수 있어야 한다. 이를 위해서는 기능의 모듈화 작업을 실행한다[17, 21]. 다양한 휴리스틱 기법들을 이용하여 서브 기능들 (sub-functions)을 그룹핑해서 모듈을 형성하면 제품군을 포괄하는 제품 아키텍처가 만들어 진다[3, 21].

2.3 제품군 아키텍처의 다양도 분석(Variety Analysis for Product Family Architecture)

제품군 아키텍처의 모듈화를 통하여 각 모듈의 영역이 결정되고 모듈간 경계를 표준화할 뿐만 아니라, 시장의 다양한 고객의 요구사항을 수용할 수 있는 유연한 제품 아키텍처를 확보해야 한다. 이와 같이 제품군 아키텍처



<Figure 2> Illustration of Variety Analysis for Product Architecture

는 모듈, 모듈간 경계, 이들로 구성된 파생제품(variants)으로 이루어진 개념적 구조로 볼 수 있다. 시장에 고객의 다양한 요구사항이 제품 아키텍처에 어떻게 mapping되었는가를 보기 위해서 다양도 분석(variety analysis)을 실시한다[10]. <Figure 2>은 다양도 분석에 관한 설명을 도식적으로 보여준다.

제품 아키텍처의 외부 요인인 각 마켓 세그먼트의 고객 요구사항이 반영된 제품들 $V = [V_1, V_2, \dots, V_p]$ 로부터 제품군이 가지고 있는 제품속성의 다양성 $[\Delta M]$ 가 추정될 수 있다. 이때 어떤 모듈은 특정 제품의 다양성을 만족하기 위하여 커스터마이징(customize)되고, 이로 인한 모듈변화 $[\Delta M]$ 가 모듈간 상호작용하여 제품 아키텍처 $M = [M_1, M_2, \dots, M_l]$ 안으로 전해진다. 이와 같은 제품속성이 모듈로 구현되어 가는 과정을 계량적으로 분석하기 위해서 속성-모듈 행렬(Attribute-Module Matrix, AMM)이 형성되고, 속성과 모듈 도메인간 매핑 메커니즘을 통하여 제품 속성과 모듈간 연계정도를 반영하여 AMM이 결정된다[22]. 이때 아키텍처별 변화(architectural variation)가 모듈별로 Variety Index(VI)로 측정되어 다양한 고객 요구사항을 만족시키기 위한 모듈의 설계 변경 정도(design variation or effort) $[\Delta M]$ 를 추정하게 된다.

모듈 k 의 다양도 VI_k 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$VI_k = \sum_{j=1}^m a_{jk} \Delta c_j w_j \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (2)$$

$$\Delta c_j = \begin{cases} \frac{N_j - 1}{p}, & \text{for the discrete attribute} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서, a_{jk} 는 AMM에서 제품속성 j 를 구현하는 데 있어서 모듈 i 와의 관계 정도를 계량적으로 나타내고, 그 정

도는 등급체계를 이용하여 추정할 수 있다. 본 연구의 사례는 Zhuo Liu, Yoke San Wong, Kim Seng Lee[9, 10]의 연구에서 다루어진 사례를 다루며, 그들의 사례에서 활용한 9/6/3/1/0등급 체계를 이용하여 연계 정도를 계량화한다. <Table 1>은 이들 등급체계를 설명한다[9]. 값이 클수록 연계 정도가 큰 것을 의미하고 속성의 다양성을 만족시키기 위해서 모듈의 설계 변경에 많은 수고가 따르는 것을 의미한다.

<Table 1> VI Rating System

Rating	Description
9	Has a crucial relation between attribute and module
6	Has a strong relation between attribute and module
3	Has a partial relation between attribute and module
1	Has a minor relation between attribute and module
0	No relation exists

Δc_j 는 제품속성 j 의 다양성을 수치로 나타내고 제품군 내에 있는 제품의 수 p 와 이 제품들이 제공하는 제품속성 j 의 레벨의 개수 N_j 를 가지고 식 (3)과 같이 정의한다. W_j 는 제품속성 j 에 대한 고객의 선호도(preference)를 나타내는 가중치로, 식 (2)와 같고, 그 합이 1로 정규화된다.

VI와 더불어 초기개발비(non-recurring engineering, NRE cost)와 초과설계의 유연성(the feasibility of over-design)이 제품 아키텍처의 플랫폼의 구성 모듈을 결정하기 위한 중요한 기준이 된다.

어떤 모듈의 VI 값이 작을수록 그 모듈에 반영될 고객의 요구사항이 다양하지 않다는 것을 의미한다. VI 값이 작은 모듈은 VI 값이 큰 모듈에 비해 적은 비용으로 초과 설계하여 모듈의 잦은 설계변경 없이 고객의 요구사항을 만족시킬 수 있어서 플랫폼을 이루는 기본 공통모듈이 될 가능성이 높다. 한편, VI 값이 클수록 그 모듈이 고객의 다양한 요구사항들을 만족시키기 위하여 여러 가지 레벨값을 가지고 있다는 것을 의미하며, 이것은 해당 모듈이 그 만큼 잦은 설계 변경이 필요하다는 것을 의미한다.

초기 개발비는 해당 모듈의 연구, 설계, 품질 테스트를 위한 비용뿐만 아니라 개발자 인건비, 시료 개발비(prototyping cost) 등을 포함한다. 한편, 초과 설계는 제품군간 표준화와 공용화를 향상시키기 위한 효과적인 설계 전략이다[11]. 초과 설계의 유연성은 디자인팀에 의해서 검토되는 데 해당 모듈이 큰 비용들이지 않고 성능저하 없이 초과 설계를 통하여 스펙 변경(the specification change)을 잘 수용하는 지를 검토한다. VI 값이 작고 초과 설계의 유연

성이 높은 모듈은 플랫폼의 공통모듈이 될 가능성이 높다. 이를 위한 VI 값과 초기 개발비에 대한 문턱 값(threshold value)은 명확한 기준 없이 경험에 의해서 결정된다. 각 모듈의 VI 값, 초기개발비, 초과설계 유연성을 추정하고, 군집분석(clustering analysis)를 통하여 보다 정확한 제품 플랫폼을 이루는 공통모듈을 결정할 수 있다.

3. 군집 분석 절차(The Procedure for the Clustering Analysis)

본 절에서는 제품 군의 공통요소인 플랫폼을 구성하는 모듈을 결정하기 위하여 Top-down 개발 방식에서 유도된 VI, 초기 개발비, 초과 설계 유연성을 군집변수로 이용한 군집분석 절차를 제시한다. 이들 군집변수를 기준으로 모듈간 유클리드 거리(Euclidean distance)를 계산하여 계층적 트리(hierarchical tree)구조의 계통수를 그려서 공통모듈을 결정하여 플랫폼 공용화를 이루고자 한다. 본 연구에서 제시한 군집분석을 다음과 같은 단계로 수행한다.

단계 1 : 군집 변수 결정

본 논문의 제 2장에서 설명한 바와 같이 Top-down 개발 방식의 절차에 따라 타겟 시장(target market)에 대한 제품 포트폴리오 계획과 기능 기반의 제품 모듈화를 통하여 제품군 아키텍처가 형성이 되면 각 모듈에 대하여 VI, 초기 개발비(NRE), 초과 설계의 유연성을 군집 변수로 결정하고 각각의 값을 측정한다.

단계 2 : 군집 변수들의 표준화(standardization of clustering variables)

각 군집변수들의 값을 측정할 때 측정 단위가 달라서 이들 값을 이용해서 구한 유클리드 거리가 측정 단위 차이로 인해 특정변수가 크게 영향을 주거나 받을 수 있다. 군집변수들마다 각각 다른 측정 단위를 동일한 조건으로 만들어 특정 변수에 의해서 의사결정이 치우치지 않도록 하기 위하여 군집변수들의 표준화가 필요하다. 변수의 표준화 방법은 다양하나, 본 연구에서는 일반적으로 가장 많이 쓰이는 Z-Score formula를 이용하여 3개 군집변수를 표준화 한다. Z-Score formula는 아래와 같다.

$$Z = \frac{(X - \bar{X})}{s}$$

여기서, X 는 원래 데이터 값이고 \bar{X} 는 평균을 s 는 표준편

차를 나타낸다. 변형된 값 Z 는 평균이 0이고 표준편차가 1인 표준정규분포를 따른다.

단계 3 : 유클리드 거리(Euclidean distance) 계산 및 거리 행렬(distance matrix) 구하기

두 개의 대상 사이의 유사성(similarity)을 측정하는 몇몇 방법들이 있다. 두 대상간의 유사성을 측정하는 직접적인 방법으로 이들 대상간의 직선거리를 계산하는 것이다. 이와 같은 유형의 거리를 유클리드 거리라고 하고, 일반적으로 가장 널리 쓰이는 방법이다[14]. 본 연구에서는 모듈간 유사성을 측정하기 위하여 모듈간 유클리드 거리를 계산하여 활용하고자 한다.

플랫폼 공통모듈의 검토 대상이 되는 모든 모듈의 쌍(pair)에 대하여 유클리드 거리 $D(M_i, M_j)$ 를 다음과 같이 계산한다.

$$D(M_i, M_j) = \sqrt{\sum_k (M_{ik} - M_{jk})^2} \quad (4)$$

for $i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, I, \quad k = 1, 2, \dots, K$

여기서, M_i 와 M_j 는 모듈 i 와 모듈 j 를 나타내고 M_{ik} 와 M_{jk} 는 모듈 i 와 모듈 j 의 군집변수 k 값에 대한 단계 2에서 변형시킨 값을 의미한다.

검토 대상이 되는 모든 모듈 쌍의 유클리드 거리 $D(M_i, M_j)$ 를 계산하여 아래와 같이 각 모듈간의 유사성을 보여주는 거리 행렬로 정리할 수 있다.

Modules	M_1	M_2	...	M_I
M_1	0	-	...	-
M_2	$D(M_2, M_1)$	0	...	-
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
M_I	$D(M_I, M_1)$	$D(M_I, M_2)$...	0

단계 4 : 군집 및 계통수(dendrogram) 그리기

단계 3에서 각 모듈 간 거리행렬이 구해진 후, 플랫폼의 공통모듈을 결정하기 위해서 군집하는 방법을 선택해야 한다. 몇몇 군집하는 방법이 있는데, 이들 방법들은 한 특정 군집에서 다른 군집 또는 군집 대상이 되는 하나의 모듈까지의 거리를 정의하는 기준에 따라 분류된다.

본 연구에서는 그 거리를 정의하는 기준으로 가장 많이 쓰이고 있는 싱글 링크지(single linkage) 방법을 사용하고자 한다. 보편적으로 군집해 가는 방식을 보면, 여러 개 군집 중 두 개 군집으로 이루어진 모든 쌍(pair)의 거

리를 계산해서 가장 짧은 거리를 갖는 쌍이 하나의 새로운 군집으로 형성되는 방식인데, 이때 싱글 링크지 방법은 한 쌍인 두 개 군집간 거리를 계산할 때 각 군집의 모든 모듈쌍 간 거리 중 가장 짧은 거리를 두 군집간의 거리로 삼는 방식이다. 이와 같이 싱글 링크지 기준으로 모듈들을 군집해 나가면 모든 모듈이 하나의 큰 군집으로 그룹핑(grouping)되게 된다.

상세한 군집분석을 위하여 위에 설명한 군집의 진행 과정을 시각화할 수 있는 가장 일반적인 방법은 계통수를 그리는 것이다. 계통수는 두 개 모듈간 가장 짧은 거리를 갖는 모듈을 가지고 그리기 시작한다. 두 모듈간 거리만큼의 길이를 각 모듈에 대하여 수직으로 선을 그리고 이들을 수평선으로 연결한다. 이것이 하나의 군집으로 그룹핑(grouping)이 되는 것을 나타내며 이 두 개의 모듈은 서로 가장 비슷한 유형임을 의미한다. 이와 같은 방식으로 다른 모듈을 더하여 새로운 군집을 형성해 나간다. 이 과정을 모든 모듈들이 하나로 군집되어 계통수에 모두 그려질 때까지 반복한다.

4. 사례 연구

전기기구 제조업체인 A 업체의 제품군 설계를 사례로 본 연구에서 제시한 군집분석 절차를 적용해 보기로 한다. 본 사례는 Zhuo Liu, Yoke San Wong, Kim Seng Lee[9, 10]의 연구에서 다루어진 사례이다.

4.1 제품 포트폴리오 계획(Product Portfolio Planning)

A 제조업체 임원들은 제품군을 확장하고 잠재해 있는 시장 세그먼트를 발굴하기 위해서 무선 드릴/드라이버 제품군을 시장에 런칭하기로 결정하였다. 무선 드릴/드라이버 제품들은 같은 기능들을 가지고 있지만 타겟으로 하고 있는 시장에 따라 가격과 성능이 다르다(예를 들면, 가정용, 공장용, 건설용 등). 사전 시장조사에 의하면 고객이 제품을 선택할 때 8가지 제품의 속성을 기준으로 삼는다는 것을 알아냈다. 8가지 속성들은 전압(voltage, C_1), 최대 토크(max torque, C_2), 변속 수(the number of variable speeds, C_3), 회전 속도(rotation speed, C_4), 해머 용량(hammer capacity, C_5), 물림쇠 크기(chuck size, C_6), 충전 시간(charge time, C_7), 클러치 세팅(clutch setting, C_8)이다.

제품 포트폴리오 계획을 수립하면서 6개 제품을 시장에 런칭하기로 결정하고, 시장 세그먼트와 세그먼트에 포지션된 제품의 사양이 <Table 2>에 정리되어 있다.

<Table 2> Market Segments and Product Portfolio for Cordless Drills/Drivers

Market segment	Product	Engineering specifications
Low-end (e.g. household)	V1	Voltage, 12 V; max torque, 20 Nm; chuck size, 13 mm; # of speeds, 2; speed, 400/1800; hammer capacity, no; clutch settings, 23; charging time, 1 h
	V2	Voltage, 14.4 V; max torque, 27 Nm; chuck size, 13 mm; # of speeds, 2; speed, 400/1800; hammer capacity, no; clutch settings, 23; charging time, 1 h
Middle (e.g. workshop)	V3	Voltage, 14.4 V; max torque, 34 Nm; chuck size, 13 mm; # of speeds, 2; speed, 400/1800; hammer capacity, no; clutch settings, 23; charging time, 1 h
	V4	Voltage, 18 V; max torque, 34 Nm; chuck size, 13 mm; # of speeds, 2; speed, 400/1800; hammer capacity, no; clutch settings, 23; charging time, 1 h
	V5	Voltage, 18 V; max torque, 40 Nm; chuck size, 13 mm; # of speeds, 2; speed, 400/1800; hammer capacity, yes; clutch settings, 23; charging time, 1 h
High-end (e.g. construction)	V6	Voltage, 24 V; max torque, 46 Nm; chuck size, 13 mm; # of speeds, 2; speed, 400/1800; hammer capacity, yes; clutch settings, 23; charging time, 1 h

4.2 기능 기반의 제품 모듈화(Function-Based Product Modularization)

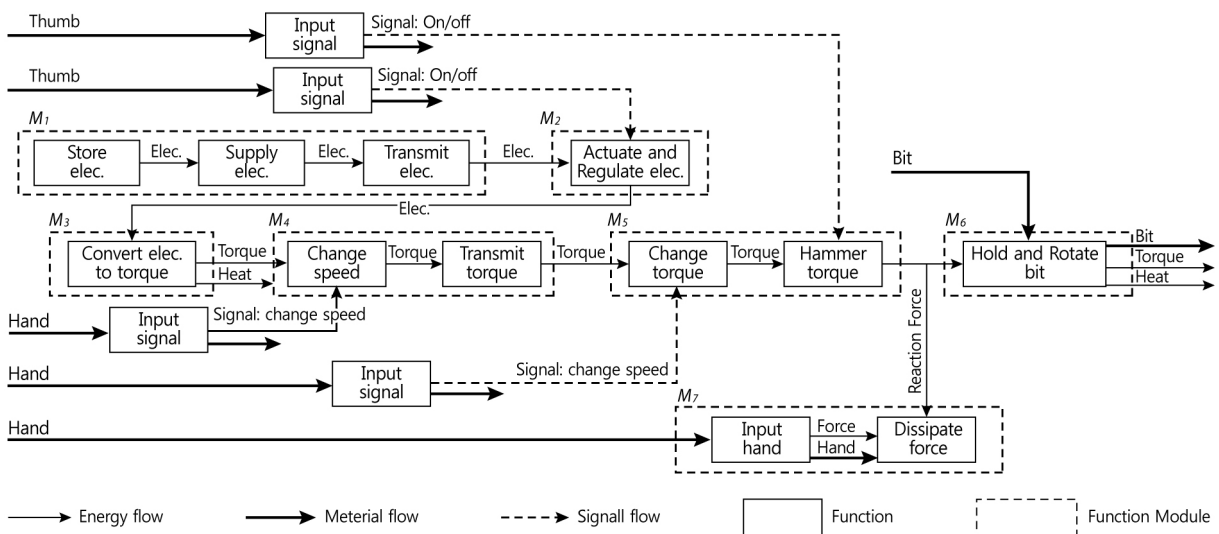
<Figure 3>과 같이 제품 아키텍처에서 모듈화를 수행하기 위해서 기능다이어그램을 작성하였다. <Table 3>에 예비후보 모듈(candidate modules)에 대한 정보가 정리되어 있다. 기능의 흐름을 볼 때 무선 드릴/드라이버 제품을 4개의 서브시스템으로 나눌 수 있다. 이들은 전기(Electrical), 변환(Conversion), 기계(Mechanical), 지원(Accessories) 서브시스템들이고, 각 서브시스템은 다시 모듈로 나누어지는 데 각 모듈은 연관된 제품 속성들을 실행하기 위한 기능을 가지게 된다.

본 사례에서는 전기 서브시스템은 전류공급(electricity supply) 모듈과 발동기(actuator) 모듈로 이루어져 있고, 변환 서브시스템은 전류를 토크로 변환하는 모듈을 가지고 있다. 기계 서브시스템은 트랜스미션, 해머(클러치),

안전 모듈들로 구성되어 있고, 핸들모듈은 액세서리 지원 서브시스템을 구성하고 있다.

<Table 3> Modules of the Cordless Drill/Driver Family

Sub-system	Module	Module name	Heuristic method used
Electrical	M_1	Electricity supply module	Dominant flow
	M_2	Actuator module	Dominant flow
Conversion	M_3	Electricity-to-torque module	Transformation/conversion
Mechanical	M_4	Transmission module	Dominant flow
	M_5	Hammer module	Dominant flow
	M_6	Secure module	Dominant flow
Accessories	M_7	Handle module	Branching flow



<Figure 3> A Schematic View of Functional Modularity for Cordless Drills/Drivers

<Table 4> Attribute-Module Matrix and Derived VI

Module	Product attributes								VI
	Voltage (C ₁)	Torque (C ₂)	# of Speeds(C ₃)	Speed (C ₄)	Hammer (C ₅)	Chuck (C ₆)	Charger (C ₇)	Clutch (C ₈)	
M ₁	9	0	0	0	0	0	9	0	0.63
M ₂	3	0	0	0	0	0	0	0	0.21
M ₃	6	9	0	6	3	0	0	0	2.00
M ₄	0	6	9	9	6	0	0	0	1.72
M ₅	0	1	0	0	9	0	0	9	0.17
M ₆	0	1	0	0	3	9	0	0	0.17
M ₇	0	1	0	0	3	0	0	0	0.17
w _j	0.14	0.25	0.20	0.08	0.14	0.03	0.08	0.08	$\sum w_j = 1$
Δc_j	3/6	4/6	2/6	1/6	0	0	0	0	

<Table 5> Module-Component Categorization of Cordless Drill

Module	Component/assembly	VI	Feasibility of over-design	NRE(RMB)
M ₁	Battery	0.63	Low	3000
M ₂	Switch	0.21	High	500
M ₃	DC motor	2.00	Low	5,000
M ₄	Gear assembly	1.72	Medium	18,000
M ₅	Clutch	0.17	High	7,000
M ₆	Chuck	0.17	High	1,500
M ₇	Handle	0.17	High	1,000

4.3 제품군 아키텍처의 다양도 분석(Variety Analysis for Product Family Architecture)

시장의 다양한 요구사항에 대한 제품아키텍처가 받는 영향정도를 이해하기 위해서 제품속성과 모듈의 공학적 관계(AMM)를 토대로 VI 기반의 분석이 수행된다. AMM은 베테랑 디자이너들과 인터뷰를 통해서 결정되는 데 직접적인 사양의 구현과 간접적인 사양의 전달, 이 두 가지 면에서 인터뷰가 이루어진다. <Table 4>는 인터뷰내용을 정리한 AMM이고 고객선호 가중치 w_j, 제품속성의 다양도 Δc_j가 인터뷰 내용을 기반으로 추정되어 있다. 각 모듈의 VI값은 식 (1)을 이용해서 구할 수 있다.

4.4 군집분석(Clustering Analysis)

플랫폼의 공통모듈을 결정하기 위해서 모듈에 대한 정보가 <Table 5>에 있다. 이 데이터를 이용하여 제 3장에서 제시한 군집분석을 통해서 플랫폼을 구성하게 될 공통모듈을 정한다.

단계 1 : 본 사례에서는 VI, 초기 개발비(NRE), 초과설계의 유연성을 군집 변수로 결정하고 각각의 값을 측정한다. <Table 5>에 모듈들의 군집변수들의 값이 추정되어져 있다.

단계 2 : 제 3절에서 제시한 Z-Score 형태로 원 데이터 값을 변환시킨다(<Table 6> 참조). 초기 설계 유연성이 비파라메타(non-parametric) 값으로 정리되어 있는 데, 이를 3/6/9로 정량화하여 Z-Score로 변환한다.

<Table 6> Z-Score Data Transformed from the Raw Data

Module	Variety Index	Feasibility of over-design	NRE
M ₁	-0.118	-1.352	-0.350
M ₂	-0.645	0.751	-0.758
M ₃	1.600	-1.352	-0.023
M ₄	1.249	-0.300	2.098
M ₅	-0.695	0.751	0.303
M ₆	-0.695	0.751	-0.594
M ₇	-0.695	0.751	-0.676

단계 3 : 단계 2에서 구한 변환 데이터 값과 식 (4)를 이용하여 유클리드 거리(Euclidean distance)를 계산 하여 거리 행렬(distance matrix) 구한다(<Table 7> 참조).

<Table 7> Distance Matrix from the Z-Score Data

Modules	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7
M_1	0						
M_2	2.206	0					
M_3	1.749	3.162	0				
M_4	2.994	3.584	2.393	0			
M_5	2.276	1.062	3.130	2.847	0		
M_6	2.194	0.171	3.165	3.483	0.897	0	
M_7	2.205	0.096	3.180	3.547	0.979	0.082	0

단계 4 : 군집 및 계통수(dendrogram) 그리기

단계 3에서 구한 거리행렬에서 가장 짧은 거리의 모듈 쌍은 거리가 0.082인 $D(M_6, M_7)$ 으로 모듈 M_6, M_7 이 합병되어 한 군집이 형성된다. 싱글 링크지 기준으로 새로운 거리행렬을 계산한다. 예를 들어, 이 기준에 의하면 M_1 과 새롭게 형성된 군집(M_6, M_7)사이의 거리는 $D(M_1, M_6)$ 와 $D(M_1, M_7)$ 중 짧은 거리인 $D(M_1, M_6) = 2.194$ 이 된다. 이와 같은 방식으로 새로운 군집 (M_6, M_7)과 그 밖의 모듈 사이의 거리를 계산할 수 있다(<Table 8> 참조). M_6 와 M_7 이 군집된 후 거리행렬이 구해지면 이 행렬에서 가장 짧은 거리인 $D((M_6, M_7), M_2) = 0.096$ 로 군집(M_6, M_7)과 모듈 M_2 가 합병되어 군집(M_2, M_6, M_7)가 형성된다. 이와 같이 군집해 가면 일련의 과정을 <Table 9>~<Table 12>와 같이 거리행렬로 계산할 수 있다.

군집분석 과정을 보다 면밀히 검토하기 위해서 <Figure 4>와 같이 계통수를 그린다. 계통수를 보면 모듈 M_6, M_7 이 최초로 군집되고 M_2 가 합병되어 군집을 형성하는 것을 볼 수 있다. 첫 번째 군집을 형성한 M_6 과 M_7 은 둘 다 VI 값이 0.17로 가장 낮고, 초과설계 유연성이 high이며, 초기개발비는 각각 1,500과 1,000으로 상당히 적게 든다. 그 다음으로 M_2 가 합병되어 새 군집이 형성되었다. M_2 는 VI 값이 0.21로 낮은 편이고 초과설계 유연성이 high, 초기개발비가 500으로 적게 든다. 다음은 M_3 가 합병되어 새 군집을 형성하는 것을 볼 수 있다. M_3 는 VI 값이 0.17로 낮고, 초과설계 유연성이 high, 초기개발비가 7,000이다.

다음 군집으로 M_1 과 M_3 가 별도의 군집을 형성하고 이미 형성된 군집(M_7, M_6, M_2, M_5)와 군집(M_1, M_3)가 합병되어 하나의 군집이 되고, M_4 가 마지막으로 합병되어 모든 모듈이 하나의 군집으로 그룹되는 것을 볼 수 있다.

<Table 8> Distance Matrix After First Clustering Step

Modules	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6, M_7
M_1	0					
M_2	2.206	0				
M_3	1.749	3.162	0			
M_4	2.994	3.584	2.393	0		
M_5	2.276	1.062	3.130	2.847	0	
M_6, M_7	2.194	0.096	3.165	3.483	0.897	0

<Table 9> Distance Matrix After Second Clustering Step

Modules	M_1	M_3	M_4	M_5	M_2, M_6, M_7
M_1	0				
M_2	1.749	0			
M_3	2.994	2.393	0		
M_5	2.276	3.130	2.847	0	
M_2, M_6, M_7	2.194	3.162	3.483	0.897	0

<Table 10> Distance Matrix After Third Clustering Step

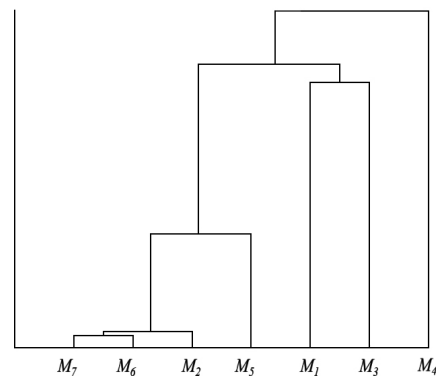
Modules	M_1	M_3	M_4	M_2, M_6, M_7, M_5
M_1	0			
M_3	1.749	0		
M_4	2.994	2.393	0	
M_2, M_6, M_7, M_5	2.194	3.130	2.847	0

<Table 11> Distance Matrix After Fourth Clustering Step

Modules	M_1, M_3	M_4	M_2, M_6, M_7, M_5
M_1, M_3	0		
M_4	2.393	0	
M_2, M_6, M_7, M_5	2.194	2.847	0

<Table 12> Distance Matrix After Fifth Clustering Step

Modules	$M_1, M_3, M_2, M_6, M_7, M_5$	M_4
$M_1, M_3, M_2, M_6, M_7, M_5$		
M_4	2.393	0



<Figure 4> Dendrogram for Cordless Drills/Drivers

본 사례에서 군집분석을 수행해 가면서 플랫폼의 공통모듈이 되기 위해서는 군집변수 중 초과설계 유연성이 가장 영향력이 크고, VI와 초기 개발비 순으로 영향력이 있음을 알 수 있다. 본 사례에서는 군집(M_2, M_6, M_7)이나 (M_2, M_5, M_6, M_7)이 플랫폼을 구성하는 공통모듈로 볼 수 있다. 두 개 대안 중 보다 확실한 의사결정을 위해서는 각 공통모듈의 플랫폼을 기반으로 한 제품군 설계에 대한 수리모형을 세우고 최적해를 찾아서 서로 비교하여, 보다 명확한 플랫폼 기반 제품군 개발 계획을 수립할 수 있으리라 예상된다. 이와 같은 내용은 본 연구의 범위를 넘어가므로 향후 연구 분야로 남겨둔다.

5. 결 론

제품에 대한 고객들의 요구사항이 다양해지고 제품의 수명주기가 짧아지는 시장의 환경에 기업은 이에 대응하는 대표적인 방법으로 플랫폼 기반의 제품군 설계를 실행해 오고 있다. 플랫폼 기반의 제품군 설계에는 많은 이슈들이 있지만, 가장 핵심이 되는 이슈가 제대로 된 플랫폼을 확보하는 일이다.

본 연구에서는 Top-down 개발 방식에서 플랫폼을 이루는 공통모듈을 결정하기 위한 군집분석 절차를 제시하였다. 개발 측 뿐만 아니라 마케팅 측을 고려한 군집변수로써 VI, 초과설계 유연성, 초기 개발비를 결정하였고, 이들 변수들간 단위 차이로 발생할 수 있는 특정변수에 의한 영향을 최소화하기 위하여 군집변수간 단위 표준화를 수행하였다. 싱글 링크지 기준으로 군집을 실행하고 계통수를 이용하여 군집 분석을 용이하게 하였다.

본 논문에서 제시한 군집분석 절차의 타당성을 확인하기 위해서 A 제조업체의 무선 드릴/드라이버 제품군 설계의 사례에 적용해 보았다. 고객의 요구사항을 분석하여 6개 제품을 시장에 런칭하는 것을 계획하고, 이를 구현하고자 7개 모듈의 개발이 필요하였다. 이 들 중 플랫폼을 구성하는 모듈을 결정하고자 본 연구에서 제시한 군집 분석을 통하여 3개 모듈(M_2, M_6, M_7)이 플랫폼 공통모듈로 매우 유사하였고, 한 개 모듈을 더하여 4개 모듈(M_2, M_5, M_6, M_7)도 공통모듈로 볼 수 있을 만큼 유사하였다.

향후 연구분야로, 보다 확실한 의사 결정을 위해서 예비 공통모듈을 기반으로 한 제품군 설계에 관한 수리모형을 세우고 목적식의 해를 비교해 보면 보다 확실한 플랫폼 기반 제품군 개발 계획을 수립할 수 있을 것이다. 또한, 군집분석 대상이 되는 공통모듈의 수가 많은 경우에는 군집분석을 보다 효율적으로 하기 위한 알고리즘 개발이 필요하다. 마지막으로 Bottom-up 개발 방식일 경우에 플랫폼 공용화에 관한 연구가 향후 연구할 만한 가

치가 있겠다.

Acknowledgement

This work was supported by the Dong-A University research fund.

References

- [1] Agard, B. and Kusiak, A., Data-mining-based methodology for the design of product families. *International Journal of Production Research*, 2004, Vol. 42, No. 15, p 2955-2969.
- [2] Chen, C. and Wang, L., Product platform design through clustering analysis and information theoretical approach. *International Journal of Product Research*, 2008, Vol. 46, No. 15, p 4259-4284.
- [3] Dahmus, J.B., Gonzalez-Zugasti, J.P., and Otto, K.N., Modular product architecture. *Design Studies*, 2001, Vol. 22, p 409-424.
- [4] Feitzinger, E. and Lee, H.L., Mass customization at Hewlett Packard : the power of postponement. *Harvard Business Review*, 1997, Vol. 75, No. 1, p 116-121.
- [5] Fellini, R., Papalambros, P., and Weber, T., Application of a product platform design process to automotive powertrains. *Eighth AIAA/USA/NASA/ISSMO, Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization*, 6-8 September, 2000, Long Beach, CA.
- [6] Katja, H.-O., Victor, T., and Kevin, O., Analyzing module commonality for platform design using dendrograms. *Res Eng Design*, 2008, Vol. 19, p 127-141.
- [7] Jiao, J., Simpson, T.W., and Siddique, Z., Product family design and platform-based product development : a state-of-the-art review. *Journal of Intelligent Manufacturing* 2007, Vol. 18, p 5-29.
- [8] Jiao, J. and Tseng, M., A methodology of developing product family architecture for mass customization. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1999, Vol. 10, p 3-20.
- [9] Zhou Liu, Yoke San Wong, and Kim Seng Lee, Integrated approach to modularize the conceptual product family architecture. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008, Vol 36, p 83-96.
- [10] Zhou Liu, Yoke San Wong, and Kim Seng Lee, Modularity analysis and commonality design : a framework for the top-down platform and product family design. *International Journal of Production Research*, 2010,

- Vol. 48, No. 12, p 3657-3680.
- [11] Martin, M.V. and Ishii, K., Design for variety : developing standardized and modularized product family architectures. *Research in Engineering Design*, 2002, Vol. 13, p 213-235
- [12] Meyer, M.H., Revitalize your product lines through continuous platform renewal. *Res Technol Manage*, 1997, Vol. 40, p 17-28.
- [13] Meyer, M.H. and Lehnerd, A.P., The power of product platform : building value and cost leadership, New York : Free Press, 1997.
- [14] Mooi, E. and Sarstedt, M., A concise guide to market research; chapter 9. cluster analysis, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
- [15] Nelson, S.A., Parkinson, M.B., and Papalambros, P.Y., Multicriteria optimization in product platform design. *J. Mech. Des*, 2001, Vol. 123, No. 6, p 199-204.
- [16] Otto, K. and Sudjianto, A., Modularization to support multiple brand platforms. *Proceedings of DETC : ASME Design Engineering Technical Conferences*. DETC 2001, DTM-21695, September 9-12, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.
- [17] Pahl, G. and Beitz, W., Engineering design : a systematic approach. 2nd ed., New York, Springer, 1996.
- [18] Hongbin Qin, Yifang Zhong, Renbin Xiao, and Weiguo Zhang, Product Platform communization : platform construction and platform elements capture. *Int J Adv Manuf Technol*, 2005, Vol. 25, p 1071-10.
- [19] Robertson, D. and Ulrich, K., Platform product development. Working Paper 1998, The Wharton School, University of Pennsylvania.
- [20] Timothy W. Simpson, Product platform design and customization : Status and promise. *Artificial Intelligence for engineering design, analysis and manufacturing*, 2004, Vol. 18, p 3-20.
- [21] Stone, R. and Wood, K., Development of a functional basis for design. *Journal of Mechanical Design*, 2000, Vol. 122, No. 4, p 359-370.
- [22] Suh, N.P., Axiomatic design : advances and application, New York, Oxford University Press, 2001.
- [23] Ulrich, K.T. and Eppinger, S.D., Product design and development, Boston, McGraw-Hill, 2000.
- [24] Yu, J.S., Gonzalez-Zugasti, J.P., and Otto, K.N., Product architecture definition based upon customer demands. *Journal of Mechanical Design*, 1999, Vol. 121, p 329-335.
- [25] Zhang, Y., Jiao, J., and Ma, Y., Market segmentation for product family positioning based on fuzzy clustering. *Journal of Engineering Design*, 2007, Vol. 18, No. 3, p 227-241.