

A Study on Universal Design Using PSD (Preference Set-Based Design) Method

Yoon-Eui Nahm*[†] · Haruo Ishikawa**

*Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon, Korea

**Department of Mechanical Engineering and Intelligent Systems,
The University of Electro-Communications, Tokyo, Japan

PSD법을 이용한 유니버설 디자인에 관한 연구

남윤의*[†] · 石川晴雄**

*국립 한밭대학교 기계공학과

**국립대학법인 일본 전기통신대학 지능기계공학과

Universal design is defined as the design process of products and environments usable by all people to the greatest extent possible, without the need for adaptation or specialized design. The benefits of universal design have been promoted primarily through illustrative 'success stories' of public, residential and occupational environments and products. While case examples may be informative, they may unfortunately be limited in terms of generality to other designs or tasks. Therefore, design methods and criteria that can be applied systematically in a range of situations to encourage universal design are needed. In addition, the seven principles of universal design are intended to guide the design process. The principles provide a framework that allows a systematic evaluation of new or existing designs and assists in educating both designers and consumers about the characteristics of more usable products and environments. However, exactly how these principles are incorporated into the design process has been left up to the designer. Since the introduction of universal design, designers have become familiar with the principles of universal design, and they have developed many products based on universal design. However, the principles of universal design are qualitative, which means designers cannot quantitatively evaluate their designs. Some have worked to develop more systematic ways to evaluate products and environments by providing design guidelines for each of the principles. However, recommendations have not yet been made regarding how to integrate performance measures of universal design into the product design process before the product is mass produced. Furthermore, there are sets of requirements regarding each user group that has different age and ability. Consequently, there is an urgent need for design methods, based on a better understanding of age and ability related factors, which will lead to a universally designed product or environment. The authors have proposed the PSD (Preference Set-Based Design) method that can generate a ranged set of feasible solutions (i.e., robust and flexible solution set) instead of single point solution that satisfies changing sets of design targets. The objective of this paper is to develop a general method for systematically supporting the universal design process. This paper proposes the applicability of PSD method to universal design. Here, the proposed method is successfully illustrated with a universal design problem.

Keywords : Universal Design, User Diversity, Uncertainty, Set-Based Design, Preference Set-Based Design

Received 15 July 2015; Finally Revised 20 August 2015;

Accepted 9 September 2015

[†] Corresponding Author : nahm@hanbat.ac.kr

1. 서론

지금까지 대다수의 제품은 기술의 첨단성, 고품질성이나 저가격성을 토대로 한 경쟁력에 연동한 구매층의 규모를 가장 우선시하고, 주로 비고령자나 비장애인 등의 일반 유저(또는 사용자)를 대상으로 한 기능이나 인터페이스를 갖는 제품이 개발되어 왔다. 그것들로부터 제외된 유저가 원하는 기능을 누리고자 하면 사용하는데 불편함을 느끼거나 사용 그 자체를 포기하는 실정이었다. 결국 일반적인 제품을 사용할 수 없는 유저에게는 전용 제품이 제공되어 왔으나, 일반적인 제품의 편익을 공평하게 누릴 수 없다는 차별이 생기고 있었다.

그러나, 미국, 일본 등의 선진국을 포함하여 우리나라에서는 향후 고령화가 심화되어 고령자나 장애인 등을 배려한 사회 환경의 정비가 절실히 요구되고 있다. 이와 같은 배경 하에서 고령자나 장애인의 생활환경에 있어서의 배리어(barrier)를 없애는 것을 의미하는 배리어 프리(barrier-free)가 널리 알려져 있다. 고령자의 증가나 장애인의 사회 참가에 따라 급속하게 퍼진 배리어 프리는 고령자나 장애인이 사회생활을 지속함에 있어 장벽(배리어)이 있다는 인식을 토대로 배리어를 제거하는 것을 목적으로 하고 고령자나 장애인 지향의 특별한 대응을 취하는 설계 방법이다. 즉, 배리어 프리는 배리어가 있던 상태로부터 출발하여 배리어를 없애 제품을 사용할 수 있는 상태로 만드는 것이다. 그러나, 배리어 프리의 설계 방법은 고령자나 장애인을 사회 안에서 차별화하는 것이고 근본적인 해결은 되지 못한다.

최근, 제품개발 단계로부터 고령자나 장애인을 포함한 모든 사람이 사용하기 쉬운 생활환경이나 제품을 설계하는 유니버설 디자인(universal design, UD)의 개념이 주목을 받고 있다[5, 9]. UD는 90년대 미국에서 제정·시행된 ADA(Americans with Disability Act)법을 계기로 건축이나 공공 서비스를 중심으로 보급이 시작되었고, 일반적인 UD의 개념으로서는 연령, 체격, 신체적 능력 등의 개인차에 관계없이 그것을 이용하는 대상으로서 그들 개개인의 다양성으로부터 요구되는 다양한 니즈에 가능한 한 대응하는 제품, 건축, 환경 등을 디자인하는 것을 의미한다.

그러나, 이와 같은 UD의 개념을 제품에 반영하기 위해서는 다양한 유저 특성을 이해하고 그것을 최종적으로 설계 내용에 반영시키는 방법이 필요하지만, 이를 위한 일반적인 설계 방법이 아직 확립되어 있지 않고, 지금까지는 제품별로 UD의 목적에 부합된 설계안을 찾기 위해서 시행착오의 반복 작업을 행하고 경험에 기초하여 최종적으로 설계안을 결정하고 있는 실정이다. 이와 함께, UD의 이점은 주로 UD의 개념을 적용한 제품의 개발 및 그 성공 사례를 통해 제시되어 왔다. 그러나, 이러한 개

발 사례는 UD의 개념을 이해하는데 있어서는 유익한 정보를 제공하지만, 특정 개별 제품에 국한된 UD 적용 사례가 검토되고 있기 때문에 그 절차 그대로 다른 제품에 바로 적용할 수 없다. 또한, 제 3.1절에서 언급되는 UD의 7대 원칙은 UD의 개념에 부합되도록 설계 프로세스를 가이드 하도록 의도된 것이다. 즉, UD의 7대 원칙은 기존 제품이나 새로운 제품의 체계적 평가를 가능하게 하고 보다 사용하기 쉬운 제품의 특성에 대해 설계자와 유저의 교육 지원을 위한 프레임워크를 제공한다. 그러나, 이러한 원칙들의 적용이 설계자에게 맡겨지고 있어 이러한 원칙들이 정확하게 어떻게 설계 프로세스 속에서 구체화되는지 명확하지 않다. 따라서, 이와 같은 다양한 제품에 일관되고 체계적으로 적용할 수 있는 새로운 UD 방법의 개발이 요구된다[1].

본 논문에서는 UD를 위한 새로운 방법으로서 설계해를 범위로 부여하는 셋 베이스 설계(set-based design)[8]의 개념을 검토한다. 셋 베이스 설계 개념은 설계의 초기 단계에서 폭넓은 설계해를 고려하고 설계가 진행됨에 따라 부적절한 해를 제거해 감으로써 초기 설계해를 축소(narrowing)해 가는 방법론이다. 이 개념은 본래 기대되는 제품특성을 만족하는 제품의 치수 등을 최종적인 해집합으로 부여하기 위해서 개발된 개념이다. 저자들은 이와 같은 셋 베이스 설계 개념을 구현할 수 있는 새로운 설계 기법으로서 PSD(preference set-based design)법을 제안해 왔다[2, 3, 4, 7]. PSD법은 설계 초기단계에서의 다양한 불확실성에 대응한 셋 베이스 설계 개념에 추가하여 설계자의 경험, 의사 등을 반영할 수 있는 선호도(preference)라는 개념을 도입한다. 본 논문에서는 이와 같은 PSD법을 실제 UD 사례에 적용하여 그 유효성을 검증함으로써 UD를 위한 일반적인 설계 방법으로서 PSD법의 활용 가능성을 제시한다.

2. 셋 베이스 설계 개념과 PSD법

2.1 셋 베이스 설계 개념

포인트 베이스 설계(point-based design)라고 불리는 종래의 설계 작업에서는 설계의 초기단계에서 하나의 설계해를 결정한 후에 그 해에 대해서 구속조건이나 설계사양에 대한 성능을 평가하여 설계목표에 도달할 때까지 설계해를 수정해 가는 방법을 이용한다. 이 방법은 종래의 제품개발 프로세스에 있어서 비교적 간단하게 적용할 수 있다. 하지만, 실제의 설계에서는 개념설계로부터 상세설계로 설계가 진행됨에 따라 이미 얻어진 해가 부적절하게 되어 이전에 결정한 요소의 수정을 해야 할 경우가

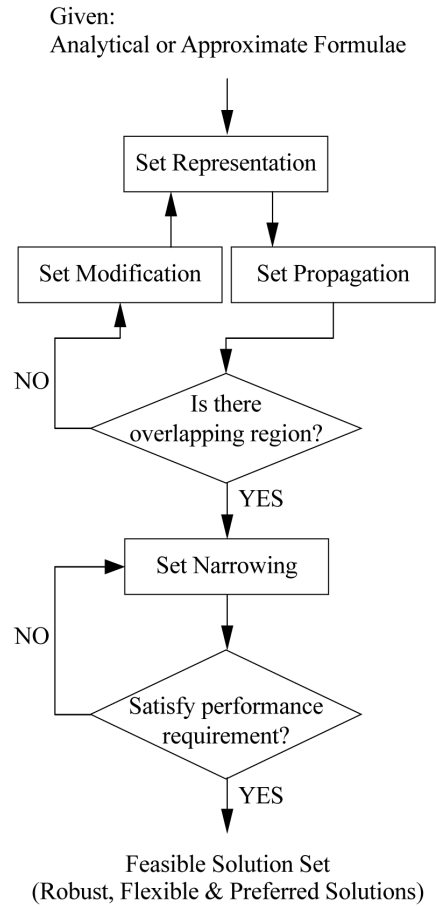
많이 발생한다. 이와 같이 포인트 베이스 설계에서는 해의 수정을 반복할 필요가 있기 때문에 최적해를 얻기까지 많은 시간을 소비할 뿐만 아니라 최적해(수렴해)가 얻어질 거라는 보증도 없다. 또한, 초기단계에서의 기획변경이나 디자인 변경, 설계사양 그 자체의 변경이 행해질 경우도 있다. 이와 같은 경우 처음부터 다시 설계를 할 필요가 있어 전체 제품개발 프로세스가 장기화될 가능성이 있다.

이에 비해 셋 베이스 설계(set-based design)에서는 초기 단계로부터 포인트 값이 아니라 다양한 불확실성을 고려하면서 폭넓은 집합으로서의 설계해를 구하고 설계가 진행됨에 따라 점차적으로 현실성이 부족한 해를 제거하여 실행 가능한 해집합을 축소해 간다. 셋 베이스 설계는 포인트 베이스 설계에 비해 설계의 초기단계에서는 설계해 집합을 구하는데 어느 정도의 시간을 필요로 하지만, 설계의 후기단계에서는 보다 단시간에 최종적인 해를 수렴시킬 수 있어 종합적으로는 보다 효율적이라고 할 수 있다. 셋 베이스 설계에서는 설계해와 요구 성능을 규정하는 모든 양(quantity)을 각각 집합(범위 또는 구간)으로 부여하기 때문에 다양한 불확실성을 고려하는 것이 가능하다. 또한, 최종적인 설계해도 집합으로서의 해가 구해지기 때문에 후 공정에서의 설계변경에 의해 설계 수정이 필요한 경우에도 이미 얻어진 설계해 집합을 축소(narrowing)시킴으로써 개발을 계속하는 것이 가능하다. 이러한 의미로 유저의 다양한 신체적 특성을 고려해야 하는 유니버설 디자인에서는 셋 베이스 설계가 매우 효과적인 방법으로서 적용될 수 있다고 생각된다.

2.2 PSD(Preference Set-Based Design)법

이와 같이 셋 베이스 설계가 종래의 포인트 베이스 설계에 비해 여러 가지 이점이 있지만, 셋 베이스 설계의 모든 개념과 원리를 실제로 구현할 수 있는 설계 이론이 확립되어 있지 않았다. 따라서 저자들은 과거 수행된 연구들에서 초기 설계단계에서의 다양한 불확실성에 대응하고, 설계자의 경험, 의사나 기업 방침 등을 반영하면서 다종다양한 성능 요건에 강건하고 최적인 설계해 집합을 효율적으로 도출할 수 있는 설계 기법으로서 PSD법을 제안해 왔다[2, 3, 4, 7].

<Figure 1>은 PSD법에 의한 설계 프로세스를 나타낸다. 먼저, 설계자는 입력 설계변수와 출력 성능변수의 관계성을 나타내는 이론식 또는 근사식(analytical or approximate formulae)을 준비한다. 다음으로 포인트 베이스 설계와 같이 설계변수 및 성능변수에 대하여 단일의 설계해와 정확한 요구사항을 규정하는 것이 아니라, 설계내용에 관계하는 모든 양을 임의의 범위로서의 값으로 표현한다(Set Re-



<Figure 1> Design Process using Preference Set-Based Design (PSD) Method

presentation). 이것은 초기 설계단계에 있어서는 목적과 기능이 명확하더라도 그것을 표현하는 기구나 물리현상의 선정에는 대안(alternatives)이 복수 존재한다는 것과 대안이 결정되어 있어도 다루어야 할 요구 성능이나 설계변수에 관한 모든 값에는 기본적으로 불확실성이 존재하기 때문이다. 또한, 각각의 범위 내에서 어느 부분을 보다 중요시할 것인가와 같은 설계자의 의도를 나타내는 함수(이하, 선호도 함수(preference function)라 부름)를 설정한다. 이는 설계 작업에 있어서 자연스러운 설정이다. 또한, 취급하는 변수에는 설계자에 의해 제어 가능한 변수(controllable variable)와 제어 불가능한 변수(uncontrollable variable)가 존재한다. 예를 들면, 제조에 관한 오차나 다른 담당자에 의해 결정되는 해 등은 설계자가 임의로 조절할 수 없는 제어 불가능한 변수이다. 즉, 불확실한 설계해나 요구 성능을 표현하기 위해서 범위, 선호도 함수 및 제어가능성을 이용한다. PSD법에서는 범위, 선호도 함수 및 제어가능성으로 표현되는 집합을 선호도수(preference number, PN)라 부르고, 설계변수의 설계해와 성능변수의 요구사항을 규정하는 선호도수를 각각 설계 선호도수(design PN)

와 요구 선호도수(requirement PN)라고 부른다.

이와 같이 설계변수와 성능변수에 대하여 설계해 집합이나 요구 성능 집합이 정의되면, 다음은 준비된 이론식이나 근사식을 이용하여 초기 설계해 집합에 의해 달성될 수 있는 성능치를 구한다(Set Propagation). 이 때, 설계해 집합이 선호도 함수와 같이 분포로서 규정되기 때문에 그것에 의한 성능치도 분포로서 얻어진다(이하, 가능성 분포(possibilistic distribution)라 부름). 모든 성능변수에 있어서의 가능성 분포와 요구 성능 집합 사이에 공통집합이 존재하면(Is there overlapping region?) 초기 설계해 집합 안에 유효해(feasible solutions)가 있다고 판단할 수 있다. 그러나, 하나의 성능변수에서라도 공통집합이 존재하지 않는 경우에는 최초로 설계자에 의해 규정된 설계해 집합을 수정할 필요가 있다(Set Modification).

모든 성능변수에 있어서 공통집합이 존재하는 경우에도 모든 가능성 분포가 요구 성능 집합의 부분집합이 아닐 경우(가능성 분포 전체가 요구 성능 집합 안에 들어가지 않은 경우), 즉 가능성 분포의 어느 부분이 요구 성능 집합으로부터 벗어나 있을 경우에는 초기 설계해 집합 안에 유효하지 않은 해(infeasible solutions)가 존재한다고 판단할 수 있다. 따라서, 초기 설계해 집합으로부터 점차적으로 유효하지 않은 해의 집합을 제거함으로써 설계해 집합을 축소해 간다(Set Narrowing). 그 설계해 집합의 축소 프로세스에서는 초기 설계해 집합의 부분 집합의 조합을 작성하고, 각각의 조합에 의한 성능의 가능성 분포의 요구 성능 집합에 대한 만족도나 강건성(robustness)을 평가함으로써(Satisfy performance requirement?) 최종적인 설계해 집합(feasible solution set)을 선정한다. 이와 같은 최종 설계해는 다양한 불확실성에 대해 강건한 집합으로서의 해가 얻어지기 때문에 후 공장에서 발생할 수 있는 설계변경에 유연하게 대응할 수 있고, 또한 설계자의 선호도를 가장 높게 만족시키고 있는 설계해라고 할 수 있다(robust, feasible and preferred solutions).

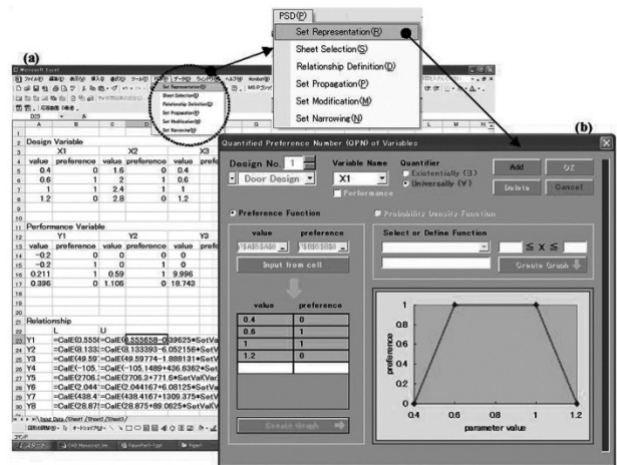
2.3 PSD 지원 시스템

이전 연구에서 저자들은 <Figure 2>와 같이 컴퓨터를 이용하여 PSD법을 실행하기 위해 Microsoft사의 Excel을 인터페이스로 한 PSD 지원 시스템을 개발하였다[3, 7]. 현재, Excel과 같은 표계산 소프트웨어는 계산에 사용되는 입력치의 변경에 따라 출력의 계산결과가 자동적으로 갱신된다는 점이나 사용편의성 등의 이점으로부터 설계자 사이에서 폭넓게 사용되고 있고, 설계 작업에 있어서 유용한 도구가 되고 있다. 그러나, Excel를 포함한 대부분의 표계산 소프트웨어는 입력치로서 포인트 값밖에 취급할 수 없고 PSD법에서의 설계해나 요구 성능을 표현

하기 위한 범위나 선호도 함수 등을 정의할 수 없어 그것을 이용한 연산에는 그대로 적용할 수 없다.

따라서, PSD 지원 시스템에서는 Excel의 매크로 언어인 Visual Basic과 C#을 이용하여 PSD법에서의 집합 표현방법(set representation), 집합 전파방법(set propagation), 집합 수정방법(set modification) 및 집합 축소방법(set narrowing)에 대응할 수 있도록 구축하였다. PSD 지원 시스템은 주로 Visual Basic에 의해 실장되어 있으나 Visual Basic은 처리속도가 늦기 때문에 구간 연산 등의 반복 계산에는 적절하지 않다. 따라서, 입출력 인터페이스에 관계되는 부분은 Visual Basic으로 실장하고 구간 연산 등의 계산을 행하는 부분은 C# 언어에 의해 실장하였다. Excel은 설계자를 포함한 많은 엔지니어 사이에 널리 사용되기 때문에 인터페이스로서 Excel을 이용함으로써 소프트웨어에 관한 특별한 전문지식을 갖고 있지 않더라도 직감적으로 본 시스템을 간단하게 사용할 수 있다.

먼저, 설계자는 <Figure 2>(a)와 같은 통상의 Excel 시트(Sheet)나 <Figure 2>(b)와 같은 인터페이스(GUI)를 이용하여 설계 선호도수, 요구 선호도수, 관계식 등을 정의한다. 다음으로, 메뉴로부터 [Set Propagation]을 클릭함으로써 초기 설계 선호도수에 의한 성능의 가능성 분포가 구해지고 모든 성능변수에 대한 요구 선호도수와 가능성 분포가 새로운 시트에 표시된다. 그 결과로부터 모든 성능변수에서 공통영역이 존재하는 경우에는 [Set Narrowing]을 위한 인터페이스를 이용하여 설계 선호도수의 축소에 사용되는 실험계획법이나 설계안을 평가하기 위한 평가 척도 등을 선택함으로써 모든 요구 성능을 만족시키고 설계자의 선호도에 대한 만족도와 설계안의 강건성의 관점으로부터 최적인 설계해 집합이 산출된다. 이와 같이 설계자는 시스템의 구조를 새롭게 이해할 필요가 없이 통상 Excel을 사용하는 경우와 같이 시스템을 이용할 수 있다.



<Figure 2> Design System for PSD

3. PSD법을 이용한 유니버설 디자인

3.1 유니버설 디자인의 7대 원칙

North Carolina State University의 유니버설 디자인 센터에서는 <Table 1>과 같은 UD의 7대 원칙을 제안하였다[9]. 이를 간단히 살펴보면, 모든 제품은 누구나가 체격이나 신체 능력의 차이에 관계없이 가능한 평등하게 사용할 수 있어야 하고(원칙 1), 다양한 사용법이 가능하고 유저가 사용법을 선택할 수 있어야 하며(원칙 2), 제품의 사용법, 외관, 구조 등은 유저의 이해를 혼동시키지 않고 직관적으로 사용할 수 있도록 설계되어야 한다(원칙 3). 그리고, 제품의 필요한 정보는 환경이나 인지 능력에 관계없이 정확하게 전달되어야 하고(원칙 4), 제품은 유저가 사용하는데 있어 위험이나 중대한 오조작에 관계되지 않도록 배려하고 위험한 것은 제거하거나 방호하며 또한 만약 유저가 실수를 해도 피해를 최소한으로 억제하고 간단히 원래 상태로 복구할 수 있도록 되어야 한다(원칙 5). 또한, 제품은 신체에 부담을 주지 않고 자유롭고 쾌적하게 사용할 수 있어야 하고(원칙 6), 사용자의 체격이나 자세, 사용 환경에 관계없이 사용하기 쉬운 크기와 공간이 확보되어야 한다(원칙 7)는 것이다.

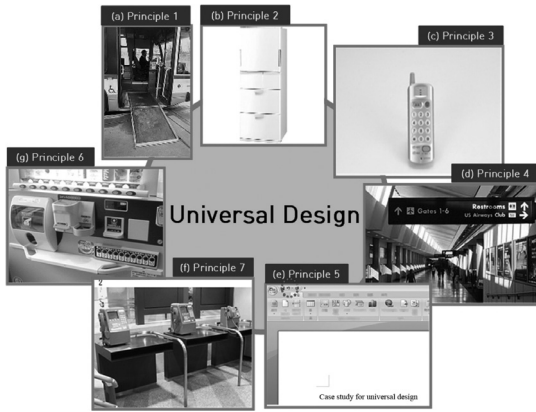
하지만, 이러한 UD의 7대 원칙은 원칙이라고는 말하고 있으나, 기본 사상이 아니라 실제로 제품을 개발함에 있어 설계자가 이용하는 구체적 체크리스트로서의 역할을 하는 것이라고 생각된다. 또한, 모든 제품 개발에 있어 모든 원칙의 항목이 적용된다고는 할 수 없다.

<Table 1> Seven Principles of Universal Design

1. Principle 1 : Equitable Use (The design is useful and marketable to people with diverse abilities.)
2. Principle 2 : Flexibility in Use (The design accommodates a wide range of individual preferences and abilities.)
3. Principle 3 : Simple and Intuitive (Use of the design is easy to understand, regardless of the user's experience, knowledge, language skills, or current concentration level.)
4. Principle 4 : Perceptible Information (The design communicates necessary information effectively to the user, regardless of ambient conditions or the user's sensory abilities.)
5. Principle 5 : Tolerance for Error (The design minimizes hazards and the adverse consequences of accidental or unintended actions.)
6. Principle 6 : Low Physical Effort (The design can be used efficiently and comfortably and with a minimum of fatigue.)
7. Principle 7 : Size and Space for Approach and Use (Appropriate size and space is provided for approach, reach, manipulation, and use regardless of user's body size, or mobility)

이와 같이 UD의 7대 원칙의 각각에 기초해 설계된 제품 사례를 <Figure 3>에 나타낸다. (a)는 스텝이 없고 슬로프가 부착된 버스를 나타낸다. 지금까지의 버스는 휠체어 사용자에게 보조자의 동반을 필요로 하여 이용하기 어려웠으나, 이 버스는 승강구와 보도와의 단차가 적고 슬로프가 부착되어 있어 휠체어 사용자나 다리가 부자연스러운 사람도 쉽게 승차할 수 있어 이용하기 쉽다. 지금까지의 버스보다도 이용할 수 있는 유저의 폭을 넓혀 “공평한 사용이 가능한 디자인”이라 할 수 있다(원칙 1). (b)는 오른손잡이, 왼손잡이에 관계없이 도어를 양쪽에서 열고 닫을 수 있도록 설계된 냉장고를 나타낸다. 주로 사용하는 손을 사용할 수 없는 경우에도 반대편 손으로 쉽게 도어를 열고 닫을 수 있도록 설계된 냉장고를 나타낸다. 주로 사용하는 손을 사용할 수 없는 경우에도 반대편 손으로 쉽게 도어를 열고 닫을 수 있도록 “유연성 있는 사용법이 고려된 디자인”이라 할 수 있다(원칙 2). (c)는 버튼의 수를 필요 최소한으로 줄이고 버튼의 크기를 확대하여 통상의 디자인보다 사용하기 쉽고 보기 쉽게 설계된 휴대폰을 나타낸다. 더욱이, 음성 통화에 특화함으로써 버튼에 인쇄되는 문자는 숫자뿐이고 큰 숫자로 표시할 수 있어 인식하기 쉽게 되어 있고, 발신, 통화정지 버튼에 있어서도 색을 바꾸고 버튼의 크기를 통일시키지 않음으로써 인식하기 쉽게 하고 있어 “단순하고 직감적인 사용이 가능한 디자인”이라 할 수 있다(원칙 3). 또한, 휴대폰 측면의 색과 질을 바꾸고 그립으로서의 역할을 할 수 있는 형상을 함으로써 견고하게 파지할 수 있도록 배려되어 있다. (d)는 문자뿐만 아니라 픽토그램을 병용하고 있는 안내판을 나타낸다. 픽토그램을 병용함으로써 영어가 서투른 유저에게도 정확한 정보를 전달할 수 있고, 안내판을 폭넓게 하여 정보를 나누어 표시함으로써 보기 쉽고 이해하기 쉽게 되어 있어 “정보이용이 용이한 디자인”이라 할 수 있다(원칙 4). (e)는 특정 소프트웨어의 복구기능을 나타낸다. 예를 들어, 잘못된 문자를 입력한 경우에 이 기능을 사용하여 원래 상태로 돌아갈 수 있도록 함으로써 “유저의 오조작에 대응 가능한 디자인”이라 할 수 있다(원칙 5). (f)는 어린이나 휠체어 사용자도 편리하게 이용 가능한 자동판매기를 나타낸다. 동전을 투입하기 쉽게 투입구가 크게 되어 있고 상품을 꺼내기 쉽도록 통상의 자동판매기 보다 높은 위치에 상품 배출구가 설치되어 있다. 또한, 상품을 선택하는 버튼이 낮은 곳에도 설치되어 있어 신체 상황에 맞춰 선택할 수 있도록 배려되어 있다. 통상의 자동판매기와 같이 동전을 투입하는데 세세한 작업을 하거나 상품을 꺼내는데 웅크리는 동작을 필요로 하지 않게 되어 “신체적 부담이 경감된 디자인”이라 할 수 있다(원칙 6). (g)는 전화기 설치대 밑에 공간을 두고 옆과의 공간도 넓게 한 공중전화를 나타낸다. 전화기 설치대 밑

과 옆에 충분한 스페이스가 확보되어 있어 휠체어와 같은 보조기구를 사용하는 유저도 “접근과 사용에 충분한 크기와 공간이 확보된 디자인”이라 할 수 있다(원칙 7).



<Figure 3> Universal Design Cases

3.2 PSD법을 이용한 유니버설 디자인

UD를 실천하기 위해서는 모든 유저의 체격 등과 같은 유저의 특성에 관한 정량적 데이터로부터 설계해를 구할 필요가 있다. 하지만, 신체적 특성(신장, 몸무게, 팔 길이 등)과 같은 유저의 정량적 데이터에는 다양성이 있다. 이러한 신체적 특성의 다양성은 셋(범위 또는 구간)으로 표현될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 PSD법을 이용하여 설계자의 의도를 고려하면서 신체특성 데이터의 분포를 고려한 UD 기법을 제안한다.

본 논문에서는 모든 유저에 대해서 설계자가 요구하는 사용편의성(usability)의 수준을 확보하는 것을 전제로 하여 PSD법을 이용함으로써 설계자의 의도를 제품에 반영한 설계해의 집합을 구할 수 있다. 본 논문에서 제안되는 PSD법을 이용한 UD 절차는 다음과 같다.

3.2.1 변수, 선호도 및 구속조건의 설정

먼저, 설계변수와 성능변수를 <Table 2>와 같이 설정한다. 다음으로 <Table 3>과 같이 선호도와 변수의 값을 결정한다. 이를 결정하기 위한 방법으로서 신체특성에 대해서는 “가능한 한 모든 사람에게 공평”이라는 UD의 개념으로부터 모든 유저를 대상으로 하여 같은 조건을 부여하기로 한다. 설계해와 사용편의성에 대해서는 설계자가 정할 수 있는 것으로 한다.

이 때 사용편의성을 신체특성과 설계해의 함수로 정의하면 PSD 계산이 가능해지기 때문에 사용편의성 u 는 함수 f 로 다음 식과 같이 나타낸다.

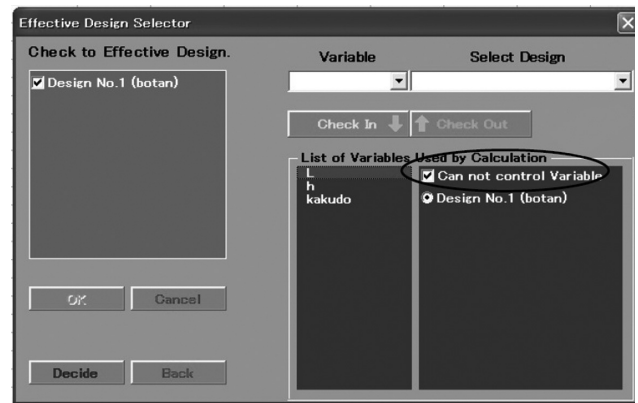
$$u = f(h_1, \dots, h_k, m) \quad (1)$$

<Table 2> Specification of Design Variables and Performance Variables

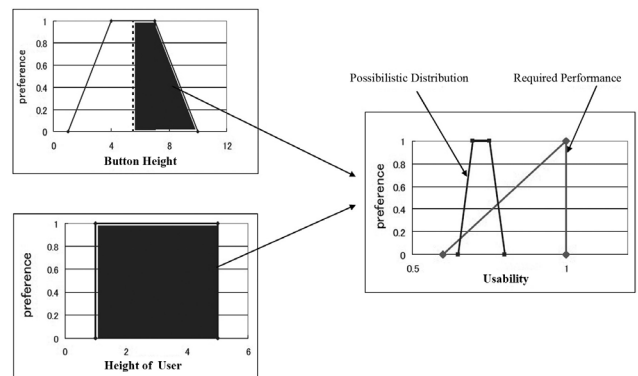
Classification		Variable Name
Design Variable	Physical Characteristics	m
	Design Solution Set	$h_k(k = 1, \dots, n)$
Performance Variable	Usability	u

<Table 3> Specification of Preference and Variable Value

Classification	Value	Preference
m	Distribution of Users	1.0 at All values
$h_k(k = 1, \dots, n)$	Possible Design Solution Set	Determined by Designer
u	Required Performance Solution Set	The Larger The Better



<Figure 4> Details of System Input for PSD System



<Figure 5> Set Narrowing Process of PSD System

3.2.2 PSD 지원 시스템에서의 설정 및 실행

다음으로, 신체특성을 포함한 설계변수와 성능변수(사용편의성)의 선호도와 변수치의 범위 등을 PSD 지원 시스템의 인터페이스인 Excel에 입력하고 [Set Propagation]을 실행한다. 이 때 신체특성 m 에 대해서는 모든 유저를

대상으로 하는 것을 전제로 하기 때문에 [Set Narrowing]할 때 분할되지 않도록 <Figure 4>와 같이 설계자가 임의로 제어 불가능한 변수(uncontrollable variable)로 설정한다.

이렇게 하여 [Set Propagation]을 실행함으로써 입력된 설계해 집합에 의해 달성될 수 있는 성능의 가능성 분포가 구해진다. 이 가능성분포가 사용편의성에 관한 요구 성능을 만족시키면(즉, 가능성 분포 전체가 요구 성능 안에 들어가면) 계산이 종료되고 최초로 부여한 설계해 집합이 유효해(feasible solution set)가 된다. 그러나, 가능성 분포 전체 또는 일부가 요구 성능을 벗어나 있다면 최초로 부여한 설계해 집합에 유효하지 않은 해가 포함되어 있다는 것을 의미하기 때문에, <Figure 5>와 같이 [Set Narrowing]을 하여 초기에 부여된 설계해 집합에서 요구 성능을 만족시키지 못하는 해의 집합을 제거하고 최종적으로 요구 성능을 만족시키는 설계해 집합을 구하게 된다. 이와 같이 구해진 설계해 집합은 설계자의 의도를 고려한 UD의 설계해가 되는 것이다.

4. 적용 예

본 논문에서는 유니버설 디자인을 위한 PSD법의 유효성을 제시하고 종래 연구와의 비교·검토 위해 문헌[6]에서 제시된 벽면에 설치되는 버튼의 높이결정 문제에 적용한 예를 들어 설명한다.

본 논문에서는 설계 문제를 간단하게 하기 위하여 <Figure 6>과 같이 설계 문제를 정식화하고 사용편의성, 시야편의성, 누름편의성을 다음과 같이 정의하였다. 또한, 버튼 높이를 h , 신장을 l , 팔과 몸 사이의 각도를 θ 로 하였다. <Figure 6>에 의해 버튼 높이 h 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 또한, 가능한 한 팔을 올리지 않고 버튼을 누를 수 있을 때($\theta=0$)의 누름편의성을 최대 1로 하고, 팔을 최대한로 들지 않으면($\theta=\pi$) 버튼을 누를 수 없을 때의 누름편의성을 최소 0으로 하여 식 (3)을 정의하였다. 이렇게 하여 신장 l 의 유저에게 버튼 높이 h 의 누름편의성 p 는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$h = l \times \left(1 - \frac{\cos\theta}{2}\right) \tag{2}$$

$$p = 1 - \frac{\theta}{\pi} \tag{3}$$

$$p = 1 - \frac{1}{\pi} \arccos\left(2\left(\frac{1-h}{l}\right)\right) \tag{4}$$

이와 마찬가지로 벽면에 설치되어 있는 버튼을 각도 θ 로 보았을 때 버튼이 보이는 길이 $\sin\theta$ 를 시야편의성으

로 생각하여 식 (5)와 같이 나타내고, 식 (5)의 θ 에 의해 식 (2)를 변형하여 대입하면 신장 l 의 유저에게 있어서의 버튼 높이 h 의 시야편의성 v 는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$v = \sin\theta \tag{5}$$

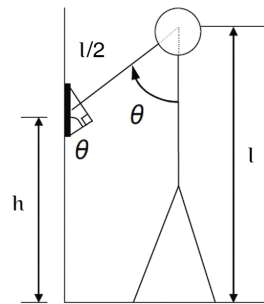
$$v = \sin\left(\arccos\left(2\left(\frac{1-h}{l}\right)\right)\right) \tag{6}$$

따라서, 사용편의성 u 는 누름편의성 p 와 시야편의성 v 의 합으로 하여 식 (7)과 같이 표현된다.

$$u = \frac{p+v}{2} \tag{7}$$

$$= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{\pi} \arccos\left(2\left(\frac{1-h}{l}\right)\right) + \sin\left(\arccos\left(2\left(\frac{1-h}{l}\right)\right)\right)\right)$$

본 예제에서는 유저의 범위를 $1.2[m] \leq l \leq 1.8[m]$ 로 하고 <Table 4>와 같은 분포를 갖는 신체특성의 유저를 대상으로 한 설계를 진행하였다. 따라서, <Table 5>와 같은 설계변수와 성능변수를 설정하고, 설계변수와 성능변수에 대한 값의 범위와 설계자의 선호도를 <Table 6>과 같이 설정하였다.



<Figure 6> Design Problem of Button Height on a Wall

<Table 4> Distribution of Users According to Height of User

$l(m)$	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
Users	20	30	40	60	80	100	50

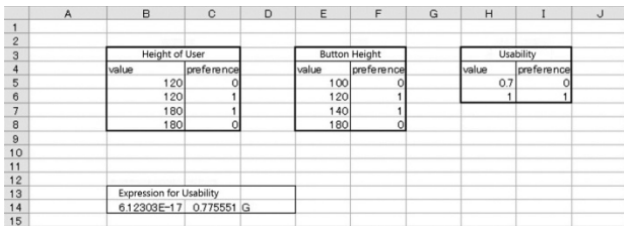
<Table 5> Design Variables and Performance Variable for Given Universal Design Problem

Classification		Variable[Unit]
Design Variable	Height of User	$l[m]$
	Button Height	$h[m]$
Performance Variable	Usability	u

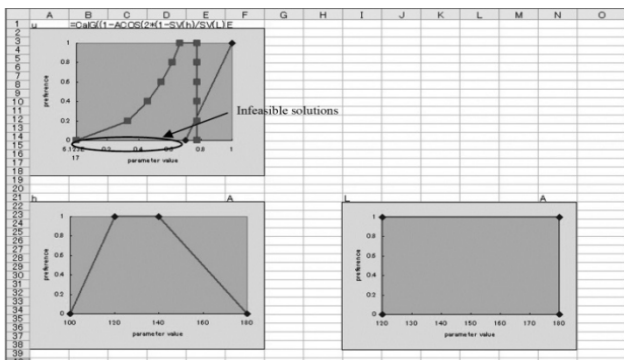
<Table 6> Specification of Preference and Variable Value for Given Universal Design Problem

Classification	Value	Preference
$l[m]$	1.2~1.8	1.0 at All Values
$h[m]$	1.0~1.8	The Closer to 1.2~1.4m The Better
u	0.7~1.0	The Larger The Better

이와 같이 설정된 데이터를 <Figure 7>과 같이 PSD 지원 시스템의 인터페이스인 Excel에 입력하였다. 이때 신장 l 에 대해서는 [Set Narrowing]시에 분할되지 않도록 하기 위해 제어 불가능한 변수로 설정하였다. 또한, 사용편의성 u 에 관한 식 (7)을 입력하였다. 다음으로 [Set Propagation]을 실행하면 성능변수 u 에 대하여 <Figure 8>과 같은 사용편의성의 가능성분포가 얻어진다. <Figure 8>의 상단은 요구 성능과 <Figure 7>에서 입력된 설계해 집합에 의해 달성될 수 있는 사용편의성의 가능성분포를 나타내고, 하단의 좌측은 설계자가 설정한 설계변수 h 의 선호도 함수를 나타내며 우측은 설계변수 l 의 선호도 함수를 나타낸다.



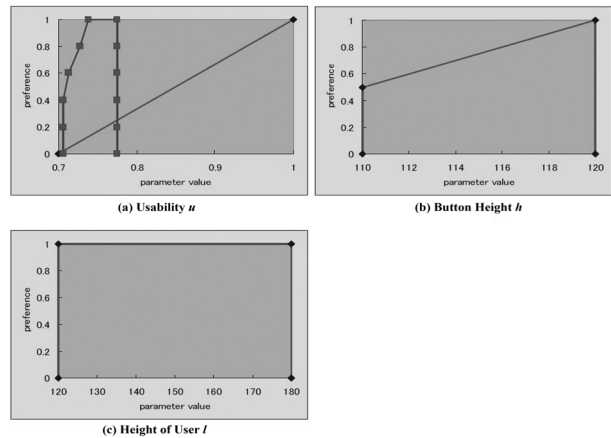
<Figure 7> System Input Using PSD System



<Figure 8> Set Propagation Result

<Figure 8>로부터 가능성 분포의 많은 부분이 요구 성능으로부터 벗어나 있는 것을 알 수 있다. 이는 최초로 설계자가 입력한 설계변수 h 의 집합 중에는 유효하지 않은 해가 다수 포함되어 있다는 것을 의미하므로 이를 제거하기 위해 [Set Narrowing]을 실행하였다. 그 결과를 <Figure 9>에 나타낸다. 이로부터 요구 성능 u 를 모두 만족시키는 버튼 높이 h 에 대한 설계해 집합으로서 1.1~1.2[m]가

구해진다. 한편, 선호도가 높을수록 설계자의 의도를 반영한 해가 되기 때문에 본 예제에서는 <Figure 9>(b)에 의해 버튼 높이가 1.2[m]일 때 선호도가 1.0이므로 설계자가 만족하고 모든 유저가 요구하는 사용편의성($u \geq 0.7$)을 만족시키는 버튼 높이는 1.2[m]라는 것을 알 수 있다.

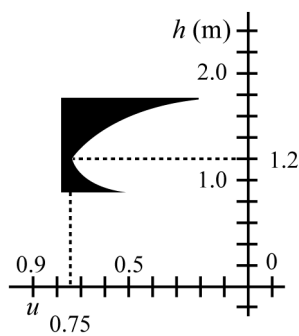


<Figure 9> Set Narrowing Result

종래 연구[6]에서는 구간연산(interval arithmetic)을 이용한 형상·공간 UD 기법이 제안되었다. 이 기법은 유저의 체격 등의 정량적인 다양성을 구간으로서 표현하고 구간연산에 의해 설계해를 계산함으로써 유저의 다양성을 고려한 설계를 수행하는 방법이다. 즉, 종래 연구에서는 신장이 1.2~1.8[m]인 모든 유저가 도달할 수 있는 버튼 높이의 범위를 32개로 분할하고 각 버튼 높이의 구간에 대응되는 사용편의성을 계산하면 <Figure 10>이 얻어진다. 여기서 UD 원칙 중 하나로서 가장 불리한 유저($l = 1.2[m]$)의 사용편의성을 최대한 향상시키는 것을 고려할 수 있다. 이것은 사용편의성 구간의 하한치가 최대가 되는 버튼 높이를 채용하는 것에 상당하기 때문에 <Figure 10>으로부터 대상으로 하는 모든 유저에게 약 0.75 이상의 사용편의성을 보증하는 버튼 높이에 대한 최적 설계해로서 약 1.2[m]를 구할 수 있다. 즉, 종래 연구에서는 사용편의성 구간의 하한치가 최대가 되는 값을 최적해로 하고 있고 제안되는 방법에서는 선호도(설계자의 의도)가 가장 높은 값을 최적해로 하고 있다.

<Table 7>은 종래 연구와 본 논문에서 제안되는 방법에 의해 구해진 설계해를 나타낸다. 가장 큰 차이점은 종래연구에서는 하나의 설계해만 얻어지는 반면(포인트 베이스 설계), 제안되는 방법에서는 구간(집합)으로서의 설계해가 얻어진다. 이는 셋 베이스 설계 방식의 가장 큰 이점으로서 구간으로서 설계해를 도출하면 설계 결과가 부적절한 경우에 그 때마다 새롭게 설계해를 구해야 하는 종래 연구와 달리 이미 얻어진 구간 안의 설계해를 바로 선정할 수 있어 반복적인 수정설계 작업을 대폭적

으로 줄일 수 있다. 또한, 종래 연구에서는 설계자의 의도나 신체특성 데이터의 분포 등을 고려할 수 없다. 하지만 설계자의 의도를 고려하면 설계를 보다 효율적으로 진행할 수 있고, 또한 신체특성 데이터의 분포를 고려하면 개개인의 유저 특성을 최종 설계해에 보다 잘 반영시킬 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안되는 PSD법을 이용한 UD 기법은 종래 방법에 의한 단일 설계해를 포함하는 설계해 집합을 도출할 수 있어 종래 방법에 비해 UD의 개념을 보다 잘 반영한 설계안을 얻을 수 있는 설계 기법이라고 할 수 있다.



<Figure 10> Button Height and Usability Using Previous Method

<Table 7> Comparison of Design Solutions between Previous Method and Proposed Method

Classification	Solution Set	Optimal Solution
Previous Method	N/A	About 1.2[m]
Proposed Method	$1.1 \leq h \leq 1.2[m]$	1.2[m]

4. 결론

최근, 제품의 개발단계에서 고령자 및 장애인을 포함한 모든 사람이 사용하기 쉬운 제품을 설계하는 유니버설 디자인의 개념이 주목을 받고 있다. 그러나, 유니버설 디자인의 개념을 제품에 반영하기 위해서는 다양한 유저의 특성을 이해하고 그것을 최종적으로 설계안에 반영시키는 설계 방법이 필요하지만, 현재 일반적이고 구체적인 유니버설 디자인 방법이 확립되어 있지 않아, 지금까지는 제품 별로 유니버설 디자인의 목적에 부합된 설계해를 찾기 위해서 시행착오의 반복 작업을 행하고 경험에 기초하여 최종적인 설계안을 결정하고 있는 상황이었다. 본 논문에서는 유니버설 디자인을 위한 새로운 설계 기법으로서 PSD법을 이용한 유니버설 디자인을 제안하였다. 또한, 실제 설계문제에 적용하고 종래 연구와의 비교·검토를 통해 본 논문에서 제안되는 설계기법의 유효성을 제시하였다.

Acknowledgement

This research was supported by the research fund of Hanbat National University in 2011.

References

- [1] Beecher, V. and Paquet, V., Survey Instrument for the Universal Design of Consumer Products. *Applied Ergonomics*, 2005, Vol. 36, No. 3, pp. 363-372.
- [2] Inoue, M., Nahm, Y.E., and Ishikawa, H., Application of Preference Set-Based Design Method to Multilayer Porous Materials for Sound Absorbency and Insulation, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2013, Vol. 26, No. 12, pp. 1151-1160.
- [3] Inoue, M., Nahm, Y.E., Okawa, S., and Ishikawa, H., Design Support System by Combination of 3D-CAD and CAE with Preference Set-Based Design Method, *Concurrent Engineering : Research and Applications*, 2010, Vol. 18, No. 1, pp. 41-53.
- [4] Inoue, M., Nahm, Y.E., Takanak, K., and Ishikawa, H., Collaborative Engineering among Designers with Different Preferences : Application of the Preference Set-Based Design to the Design Problem of an Automotive Front-Side Frame, *Concurrent Engineering : Research Applications*, 2013, Vol. 21, No. 4, pp. 252-267.
- [5] Mace, R.L., Universal Design : Barrier Free Environments for Everyone. *Designers West*, 1985, Vol. 33, No. 1, pp.147-152.
- [6] Murakami, T. and Deguchi, M., Universal Design of Shape and Space using Interval Arithmetic, *Proceedings of JSME 15th Design and Systems Conference*, 2005, No. 05-27, pp. 116-119.
- [7] Nahm, Y.E., Set-Based Multi-objective Design Optimization at the Early Phase of Design(The First Report) : Theory and Design Support System. *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2011, Vol. 34, No. 2, pp. 112-120.
- [8] Sobek II, D.K., Ward, A.C., and Liker, J.K., Toyota's Principles of Set-Based Concurrent Engineering. *Sloan Management Review*, 1999, Vol. 40, No. 2, pp. 67-83.
- [9] The Center for Universal Design, The Principles of Universal Design, North Carolina State University, Raleigh, NC, <http://www.design.ncsu.edu/>.

ORCID

Yoon-Eui Nahm | <http://orcid.org/0000-0002-9020-6357>