Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 31, No. 6 pp.733-740, December 2012 http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2012.31.6.733

A Characteristic Analysis of Ergonomic Console Layout Studies Using Optimization Techniques

Kihyo Jung[1], Jaejung Kim[2], Taekho You[2], Baekhee Lee[2], Wonsup Lee[2], Seikwon Park[3], Woongseok Roh[4], Heecheon You[2]

[1] School of Industrial Engineering, University of Ulsan, Ulsan, 680-749
[2]Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784
[3]Department of Systems Engineering, Air Force Academy, Cheongwon, 363-849
[4]ILS Research Center, LIGNex1, Pangyo, 463-400

ABSTRACT

Objective: The present study systematically analyzed the characteristics of ergonomic layout optimization methods by a comprehensive literature survey. **Background:** Although layout design methods for ergonomic placement of controls and displays on a console have been developed, understanding of their characteristics is lacking. **Method:** The present study analyzed layout optimization papers published past 20 years from the following four aspects: optimization model, optimization algorithm, design principle, and constraint/assumption. **Results:** The existing layout optimization methods based on various optimization techniques consider only a partial set of four layout principles(importance, frequency of use, sequence of use, and functional grouping) and two ergonomic criteria(visibility and reach). In addition, the existing methods oversimplify components in various sizes, shapes, and angles by assuming the equality of the components in size and shape. **Conclusion:** A more effective layout optimization method is needed which considers the layout principles and ergonomic criteria in a comprehensive manner and reflect the diversity of components in size and shape. **Application:** The identified characteristics on the existing layout optimization methods can be applicable to development of a better ergonomic console layout design method.

Keywords: Ergonomic layout, Layout optimization, Layout design principles, Ergonomic criteria

1. Introduction

Console의 제어장치(controller) 및 표시장치(display)는 운용이 편리하도록 인간공학적으로 배치되어야 한다. Console은 시스템의 제어와 감시를 위한 제어장치와 표시장치를 Figure 1과 같이 모아 놓은 user interface 집합체를 의미한다(Jung et al., 1995; Department of Defense, 2012). Console의 제어장치와 표시장치는 운용자의 효과적인 정보 처리 (information processing)를 지원하고 인적 오류(human error)를 예방할 수 있게 배치되어야 한다(Sanders and McCormick, 1992). 예를 들면, 제어장치들은 조작이 편리하도록 조작 순서(sequence of use)와 부합하도록 배치되어야 하며, 유지 보수용 제어장치는 정상운용 시 오조작이 되지 않도록 주요 조작장치(primary controller)로부터 격리된 위치에 배치되어야 한다(Department of Defense, 2012).

다양한 최적화 기법들이 다수의 제어장치와 표시장치를 인

Corresponding Author: Heecheon You. Division of Mechanical and Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, 440-746. Phone: +82-54-279-2210, E-mail: hcyou@postech.ac.kr
Copyright@2012 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.
ⓒThis is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. http://www.esk.or.kr

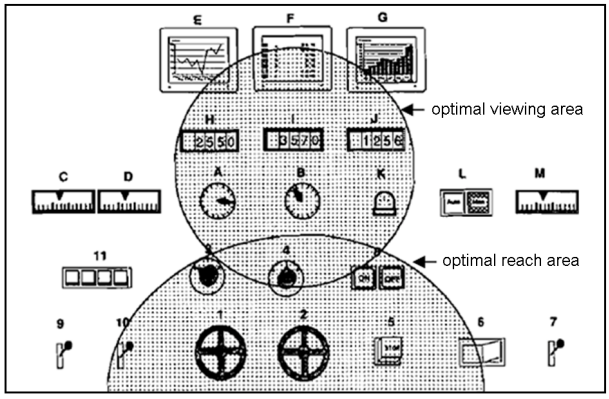

Figure 1. Example of a console layout(Jung et al., 1995) (images labeled by alphabets and numbers indicate displays and controls, respectively)

간공학 설계 기준(예: 시계성, 도달성)에 적합하도록 console에 배치하는 설계를 개발하는데 적용되어 왔다. Holman et al.(2003)은 선형 최적화 기법(linear optimization)을 적용하여 14개의 제어장치를 console에 배치하는 방법을 개발하였으며, Xu et al.(2010b)은 particle swarm optimization 기법을 응용하여 13개의 설계요소를 console에 배치하는 방법을 개발하였다. 또한, Pham and Onder(1992)는 유전알고리즘(genetic algorithm)을 이용하여 15개의 설계요소를 console에 배치하는 방법을 개발하였으며, Jung et al.(1995)은 다수의 제약조건을 동시에 만족하는 해를 탐색하는 방법인 constraint satisfaction problem(CSP) 기법을 활용하여 console layout을 설계하는 방법을 개발하였다.

최적화 기법을 응용한 다수의 인간공학적 console layout 설계 방법이 개발되고 있으나, 기존 연구의 특성에 대한 체계적 이해는 미흡한 실정이다. 기존 연구는 상이한 최적화 기법(예: particle swarm algorithm, genetic algorithm)을 활용하여 console layout을 설계하는 방법을 개발하였으나 최적화 기법들의 장점 및 단점을 종합적으로 비교한 연구는 부재하다. 또한, 기존 연구들은 설계 대상에 대한 다양한 가정을 하고 있으나 이들에 대한 비교 분석이 부재하다. 예를 들면, Holman et al.(2003)은 크기와 모양이 동일한 정사각형의 제어장치들을 정사각형의 4 × 4 grid console에 최적으로 배치하는 방법을 개발하였으며, Xu et al.(2010a)은 제어장치들을 console에 일렬로 배치하는 최적화 방법을 제안하였다. 따라서, 설계하고자 하는 console layout의 특성에 적합한 최적화 설계 방법을 선정하거나 새로운 최적화 설계 방법의 개발 방향을 수립하기 위해서는 기존 연구에 대한 종합적인 이해가 필요하다.

본 연구는 인간공학적 console layout 최적화 연구에 대한 문헌조사를 통해 기존 연구들의 특성을 체계적으로 분석하였다. 본 연구는 학술문헌 검색을 통해 인간공학적 console layout 최적화와 관련된 10편의 논문을 분석 대상으로 선정하였다. 또한, 선정된 논문의 특성을 4가지 측면(최적화 모델, 최적해 탐색 알고리즘, 설계 원칙, 제약조건 및 가정)에서 비교 분석하였다.

2. Literature Survey Method

본 연구는 인간공학적 console layout 최적화와 관련된 학술 논문을 4개의 논문 검색 사이트(Science Direct, Google, IEEE, Taylor & Francis Online)를 이용하여 조사하였다. 논문 검색 사이트는 인간공학 관련 주요 학술지들(예: Applied Ergonomics, International Journal of Industrial Ergonomics, Ergonomics, Human Factors)을 모두 포함하고 있다. 논문 검색은 console layout과 관련된 핵심어 4가지(console, panel, layout, optimization)를 조합하여 이루어졌다.

본 연구는 3단계 절차를 통해 최근 20년(1991년 이후)간 발간된 10편(Table 1 참조)을 선정하였다. 첫째, 본 연구에서 선정한 학술 논문 검색 사이트와 검색어를 이용하여 console layout 최적화와 관련된 논문을 검색하였다. 둘째, 검색된 논문의 제목을 검토하여 분석 대상 후보 논문을 선정하였다. 마지막으로, 선정된 후보 논문의 초록을 검토하여 분석 대상 최종 논문을 선정하였다.

3. Results

선정된 최적화 기법 기반 console layout 설계 연구들은 4가지 측면(최적화 모델, 최적해 탐색 알고리즘, 설계 원칙, 제약조건 및 가정)에서 Table 2와 같이 종합적으로 비교 분석하였다.

3.1 Optimization Models

인간공학적 console layout 문제는 3가지 유형의 최적화 문제(선형 배정 문제형 모델, 2차 배정 문제형 모델, 이변량 모델)로 정형화되고 있다. 첫째, 선형 배정 문제형 console layout 모델은 식 1에 나타낸 것과 같이 설계요소의 배치 위치(X_{ij})에 따라 결정되는 도달거리(d_{ij})가 최소가 되는 배치를 탐색한다(Holman et al., 2003). 도달거리는 사용자로부터 설계요소까지의 거리로 계산된다. 선형 배정 문

Table 1. Published studies applying optimization techniques to ergonomic design of a console layout (publication period: 1991~2012; sorted by publication year)

Author	Year	Title	Journal/Proceedings
Wang, M. J., Liu, C. M. and Pan, Y. S.	1991	Computer-aided panel layout using a multi-criteria heuristic algorithm	International J. of Production Research
Pham, D. T. and Onder, H. H.	1992	A knowledge-based system for optimizing workplace layouts using a genetic algorithm	Ergonomics
Jung, E. S. Park, S. and Chang, S. Y.	1995	A CSP technique-based interactive control panel layout	Ergonomics
Sargent, T. A. and Kay, M. G.	1997	A methodology for optimally designing console panels for use by a single operator	Human Factors
Holman, G. T., Carnahan, B. J. and Bulfin, R. L.	2003	Using linear programming to optimize control panel design from an ergonomics perspective	Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting
Udosen, U. J.	2006	Ergonomic workplace construction, evaluation and improvement by CADWORK	International J. of Industrial Ergonomics
Hani, Y., Amodeo, L., Yalaoui, F., and Chen, H.	2007	Ant colony optimization for solving an industrial layout problem	European J. of Operational Research
Xu, Y., Meng, Q., Yu, K. and Xu, Z.	2010	A layout method for control panel of thermal power plant	Key Engineering Materials
Xu, Y., Meng, Q. and Yang, Z.	2010	Particle swarm algorithm applied in the layout optimization for console	International Conference on Advanced Computer Control
Xu, Y., Yang, Z. and Meng, Q.	2011	Particle swarm optimization method for panel layout	Key Engineering Materials

Table 2. Comparison of the characteristics of ergonomic console layout design studies based on optimization techniques

Author (publication year)	Optimization model			Search algorithm			Design principle						Constraint & assumption					
							Layout principle				Ergonomic criteria		Constraint				Design assumption	
	Linear assignment problem type	Quadratic assignment problem type	Bivariate model	Interactive constraint-Satisfied search algorithm	Heuristic algorithm	Meta-heuristic algorithm	Importance	Frequency	Sequence of use	Functional cluster	Reachability	Visibility	Clearance	Placement within design space	Never overlap	Alignment	Component size	Component shape
Wang et al. (1991)		O			O		O	O	O				O	O	O	O	Identical	Identical
Pham and Onder(1992)	N.A.*					O	N.S.**							O	O		Identical	Identical
Jung et al. (1995)		O		O			O	O	O	O	O	O		O	O		Variety	Similar
Sargent and Kay(1997)		O				O	O			O	O	O		O	O		Variety	Similar
Holman et al.(2003)	O			N.A.				O	O	O	O	O	O	O	O	O	Identical	Identical
Udosen (2006)	N.A.				O			O	O	O	O			O	O		Variety	Similar
Hani et al. (2007)		O				O		O					O	O	O	O	Identical	Identical
Xu et al. (2010a)			O			O	O	O	O					O	O		Identical	Identical
Xu et al. (2010b)	O					O		O	O				O	O	O	O	Identical	Identical
Xu et al. (2011)		O				O	O	O	O				O	O	O	O	Identical	Identical

*N.A.: not applicable, **N.S.: not specified

제는 다항시간 알고리즘(polynomial time algorithm)을 이용해 최적해를 쉽게 찾을 수 있으나(Kuhn, 1955), 두 설계요소 간의 순차적 조작 연관성을 최적화에 반영할 수 없는 한계점이 있다.

둘째, 2차 배정 문제형 console layout 모델은 식 2에 나타낸 것과 같이 설계요소들 간의 상대적 배치 위치

$$Minimize \quad \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} d_{ij}X_{ij} \tag{1}$$

$$Subject\ to \quad \sum_{i=1}^{n} X_{ij} = 1, \text{ for all } j$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1, \text{for all } i$$

where: n = number of components or positions,

d_{ij} = distance from an operator to component i when placed in position j,

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{when component } i \text{ is placed in position } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Minimize \quad \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{n} f_{ik}d_{jl}X_{ij}X_{kl} \tag{2}$$

$$Subject\ to \quad \sum_{i=1}^{n} X_{ij} = 1 \text{ for all } i,$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \text{ for all } j$$

where: n = number of components or positions,

f_{ik} = frequency of operation between component i and k,

d_{jl} = distance between position j and l,

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ when component } i \text{ is placed in position } j \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases},$$

$$X_{kl} = \begin{cases} 1 \text{ when component } k \text{ is placed in position } l \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases}$$

를 고려해 결정되는 조작 빈도(f_{ik})와 거리(d_{jl})을 최소화하는 배치를 탐색한다(Hani et al., 2007). 조작 빈도는 설계요소 i와 k 간의 순차적 조작 빈도로 계산되며, 거리는 배치 위치 j와 l 간의 거리로 계산된다. 2차 배정 문제형 모델은 선형 배정 문제형 모델이 고려하지 못하는 두 설계요소 간의 순차적 조작 빈도를 고려할 수 있는 장점이 있으나, 2차 배정 문제는 NP-Hard 문제로서 선형 배정 문제와는 달리 다항시간 알고리즘이 없어 최적해 탐색이 상대적으로 어렵다(Sahni et al., 1976).

마지막으로, 이변량 console layout 모델은 식 3에 나타낸 것과 같이 2가지 항목(거리 점수와 조작 우선 순위 점수)의 합을 최대화하는 배치를 탐색한다(Xu et al., 2010a). 거리 점수($1-d_{ij}/d_{\max}$)는 두 설계요소의 거리가 가까울수록 높게 계산된다. 조작 점수는 조작 우선 순위 점수(qu_i)에 중요도와 빈도의 합을 더하여 계산된다. 조작 점수의 조작 우선 순위 점수는 식 3에 나타낸 것과 같이 후속 조작되는 설계요소의 수가 많을수록 증가한다.

$$Maximize \quad \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}\left(1-\frac{d_{ij}}{d_{\max}}\right) + \sum_{i=1}^{n}\{\delta_1 qu_i + \delta_2(I_i + F_i)\} \tag{3}$$

$$Subject\ to \quad qu_i = \frac{l_i}{\sum_{j=1}^{n} l_j},\ l_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} y_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}$$

where: n = number of components,

w_{ij} = weighting coefficient between component i and j,

d_{ij} = distance between component i and j,

qu_i = normalized l,

l_i = sequence of operation degree for component i,

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ if } a_{ij} \neq 0 \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases},$$

a_{ij} = number of operations which component i is operated before component j,

δ_1 = relative weighting coefficient for normalized sequence of operation degree,

δ_2 = relative weighting coefficient for importance and frequency of components,

I_i = importance for component i,

F_i = frequency for component i

근사 최적해를 탐색하는 방안(Udosen, 2006)이 사용되고 있다. Heuristic algorithm은 단시간에 근사 최적해를 탐색할 수 있는 장점이 있으나 탐색된 해가 최적해에 얼마나 근접한지를 판단할 수 있는 기준이 없는 한계점이 있다.

마지막으로, meta-heuristic algorithm은 확률에 기반한 반복적 탐색을 통해 근사 최적해를 찾는 방법이다(Rardin, 1998). Meta-heuristic algorithm은 heuristic algorithm과 같이 NP-Hard 문제의 근사 최적해 탐색에 널리 사용되고 있으나, 탐색된 근사 최적해가 얼마나 최적해에 근접한지를 판단하는 기준이 없는 한계점이 있다. Console layout 최적화에는 genetic algorithm(Pham and Ondor, 1992; Xu et al., 2010a), simulated annealing(Sargent and Kay, 1997), ant colony optimization(Hani et al., 2007), particle swarm optimization Xu et al., 2010b; Xu et al., 2011)이 사용되고 있다.

3.2 Search Algorithms

Console layout 최적화에는 3가지 유형의 최적해 탐색 알고리즘(interactive constraint-satisficed search algorithm, heuristic algorithm, meta-heuristic algorithm)이 사용되고 있는 것으로 나타났다. 첫째, interactive constraint-satisficed search algorithm은 최적화 모델의 제약조건을 추가 또는 제거해가면서 제약조건을 만족하는 1개의 가능해를 반복적으로 탐색하는 과정을 통해 설계자가 만족하는 해를 찾는 방법이다(Jung et al., 1995). Interactive constraint-satisficed search algorithm은 제약조건을 추가 또는 제거하는 반복적인 과정을 통해 파악된 가능해(feasible solution) 중에서 설계자가 원하는 해를 선택할 수 있는 장점이 있다. 그러나 interactive constraint-satisfied search algorithm은 목적함수 없이 제약조건을 만족하는 1개의 가능해만을 탐색하기 때문에 제약조건을 만족하는 다양한 가능해의 성능을 종합적으로 비교하지 못하는 한계점이 있다.

둘째, heuristic algorithm은 경험적으로 우수한 배치를 창출할 수 있을 것 같은 배치 원리를 적용하여 근사 최적해(near optimal)를 탐색하는 방법이다(Rardin, 1998). Heuristic algorithm은 일반적으로 빠른 시간 내에 최적해를 찾는 것이 어려운 것으로 알려진 NP-Hard 문제의 근사 최적해 탐색에 사용되고 있다. Console layout 최적화 연구에는 설계요소의 중요도에 따라 조작이 가장 편리한 console의 중앙부터 설계요소를 배치하는 방안(Wang et al., 1991)과 배치 점수가 낮은 설계요소의 위치를 반복적으로 변경해 보면서 근사 최적해를 탐색하는 방안(Udosen, 2006)이 사용되고 있다. Heuristic algorithm은 단시간에 근사 최적해를 탐색할 수 있는 장점이 있으나 탐색된 해가 최적해에 얼마나 근접한지를 판단할 수 있는 기준이 없는 한계점이 있다.

3.3 Design Principles

인간공학적 console layout 설계에는 4가지 설계 원칙(중요도, 빈도, 사용 순서, 그리고 기능적 집단화)이 적용되고 있다. 첫째, 중요도(importance) 원칙은 중요도가 높은 설계요소를 조작 및 시인하기 편리한 위치에 배치하는 원칙이다(Wang et al., 1991; Jung et al., 1995; Sargent and Kay, 1997; Xu et al., 2010a; Xu et al., 2011). 둘째, 빈도(frequency-of-use) 원칙은 사용 빈도가 높은 설계요소를 조작 및 시인하기 편리한 위치에 배치하는 원칙이다(Wang et al., 1991; Jung et al., 1995; Holman et al., 2003; Udosen, 2006; Hani et al., 2007; Xu et al., 2010a; Xu et al., 2010b; Xu et al., 2011). 셋째, 사용 순서(sequence-of-use) 원칙은 설계요소를 사용 순서에 맞춰서 배치함으로써 자연스러운 사용 순서에 따라 설계요소를 조작할 수 있도록 배치하는 원칙이다(Wang et al., 1991; Jung et al., 1995; Holman et al., 2003; Udosen, 2006; Xu et al., 2010a; Xu et al., 2010b; Xu et al., 2011). 마지막으로, 기능적 집단화(functional grouping) 원칙은 기능적으로 유사도가 높은 설계요소들을 집단화하여 배치하는 원칙이다(Jung et al., 1995; Sargent and Kay, 1997; Holman et al., 2003; Udosen, 2006).

Console layout의 인간공학적 설계 성능은 2가지 측면(도달성, 시계성)에서 평가되고 있다. 도달성(reachability)은 설계요소까지 손이 용이하게 도달할 수 있는 정도를 나타내는 척도로서 정상작업영역(normal reach area)과 최대작업영역(maximum reach area)을 구분하여 평가되고 있다(Holman et al., 2003; Sargent and Kay, 1997, Jung et al., 1995; Sanders and McCormick, 1992, Udosen, 2006). 시계성(visibility)은 설계요소를 편리하게 볼 수 있는 정도를 나타내는 척도로서 normal line of sight (-15°)를 기준으로 최적시계영역과 최대시계영역으로 나누어 평가되고 있다(Sargent and Kay, 1997, Holman et al., 2003, Jung et al., 1995).

3.4 Constraints and Assumptions

Console layout 설계를 위한 제약조건(constraint)은 4가지(never overlap, clearance, placement within design

space, and alignment)가 사용되고 있는 것으로 나타났다. 첫째, never overlap은 설계요소들이 물리적으로 겹치지 않도록 배치하는 제약조건이다. 둘째, clearance는 설계요소 조작 시 불편하지 않도록 여유공간을 확보하도록 하는 제약조건이다. 셋째, placement within design space는 설계요소들을 console의 설계공간 내에 모두 배치해야 하는 제약조건이다. 마지막으로, alignment는 설계요소의 layout이 심미성이 있도록 설계요소를 정렬(예: 좌측)하는 제약조건이다.

기존 연구는 console 및 설계요소의 크기와 모양을 단순하게 가정하고 있는 것으로 파악되었다. Console의 모양은 일반적으로 2차원의 정사각형 평면(Holman et al., 2003; Pham and Onder, 1992) 또는 사각형 평면(Hani et al., 2007; Sargent and Kay, 1997)으로 정의되고 있는 것으로 나타났다. 설계요소의 모양은 정사각형(Holman et al., 2003), 사각형(Hani et al., 2007; Sargent and Kay, 1997; Pham and Onder, 1992)으로 가정되고 있으며, 설계요소의 크기는 유사하거나 동일한 것으로 가정되고 있다(Holman et al., 2003; Pham and Onder, 1992; Hani et al., 2007; Sargent and Kay, 1997).

4. Discussion

본 연구는 최근 20년간 발간된 인간공학적 console layout 최적화 관련 논문의 특성을 비교 분석하였다. 본 연구의 분석 대상 논문은 인간공학 관련 주요 학술지를 포함하고 있는 논문 검색 사이트를 활용하여 총 10편으로 선정되었다. 본 연구는 선정된 논문에 대한 분석을 통해 4가지 측면(최적화 모델, 최적해 탐색 알고리즘, 설계 원칙, 제약조건 및 가정)의 특성을 종합적으로 비교하였다. 본 연구의 분석 결과는 console layout 문제에 적합한 설계 방법을 선정하거나 새로운 설계 방법 개발 시 유용한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

인간공학적 console layout 최적화 모델의 목적함수는 식 4에 나타낸 것과 같이 다변량 함수로 모델링하는 것이 추천된다. 기존 연구는 다양한 형태의 목적함수를 제시하고 있으나 대부분이 설계요소 간의 거리를 최소화하는 것에 중점을 두고 있다. 이변량 목적함수가 제안되고 있으나 다양한 console layout 설계 원칙들(예: 조작 순서)과 인간공학적 성능 척도들(예: 시계성)를 종합적으로 고려하지 못한 한계점이 있다. 따라서, 인간공학적인 최적의 layout을 설계하기 위해서는 layout 설계 원칙(조작 순서, 기능적 집단화)과 인간공학 평가 척도(시계성, 도달성)를 종합적으로 고려한 다변량 목적함수의 도입이 필요하다.

$$Maximize \underbrace{\sum_{i=1}^{n}(I_i \times F_i \times V_i)}_{\text{시계성}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{n}(I_i \times F_i \times R_i)}_{\text{도달성}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{n}(I_i \times F_i \times S_i)}_{\text{조작 순서}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{n}(I_i \times F_i \times G_i)}_{\text{기능적 집단화}} \quad (4)$$

where: n = number of components,

I_i = importance of component i,

F_i = frequency-of-use of component i,

V_i = visibility score of component i,

R_i = reachability score of component i,

S_i = sequence-of-use score of component i,

G_i = functional grouping score of component i

기존 연구의 layout 최적화 방법은 설계 대상(예: 설계요소의 크기)을 단순하게 가정하고 있어 다양한 크기, 형태, 각도 특성을 가지는 현실적인 console layout 문제에 적용하는데 제약이 있다. 첫째, 기존 연구의 설계 방법은 설계요소의 크기와 형상이 단순한 문제에 적용될 수 있으나 실제 console의 표시장치와 제어장치는 크기와 형상이 다양할 수 있어 적용이 제한적이다. 둘째, 기존 연구는 console의 layout 영역을 2차원 평면으로 가정하고 있어 경사진 평면 또는 여러 개의 평면으로 구성된 console(예: stacked vertical console)의 layout 설계에 적용이 제한적이다. 따라서, 기존 console layout 최적화 방법의 활용성을 제고하기 위해서는 설계 대상에 대한 가정을 현실화하는 것이 필요하다.

향후 연구로 다변량 목적함수로 구성된 인간공학적 console layout 문제의 최적해를 효율적으로 탐색할 수 있는 기법을 개발하는 것이 필요하다. 인간공학적 console layout 문제를 단일 목적함수로 구성된 선형 배정 문제로 정형화하면 최적해를 상대적으로 쉽게 탐색할 수 있지만, layout 설계 원칙(예: 조작 순서) 및 인간공학 척도(예: 시계성)를 최적화에 모두 고려하게 되면 최적해 탐색이 어려워진다. 이로 인해, 기존 연구들은 상용 최적화 software (예: CRAFT)를 활용할 수 있도록 console layout 문제를 단순화하고 있는 것으로 추정된다. 예를 들면, Sargent and Kay(1997)은 설계요소 간의 거리를 최소화하는 단일 목적함수를 사용하였으며, Holman et al.(2003)은 console layout 문제를 설계대상의 크기와 형상을 단순화한 선형 배정 문제로 가정하였다. 따라서, 다양한 layout 설계 원칙과 인간공학적 척도를 종합적으로 고려한 인간공학적 console

layout 최적화를 위해서는 새로운 최적화 기법의 개발이 필요하다.

Acknowledgements

This work was supported by LIG Nex1 and IT Consilience Creative Program of MKE and NIPA (C1515-1121-0003).

References

Department of Defense, *Design Criteria Standard: Human Engineering* (MIL-STD-1472G), 2012.

Hani, Y., Amodeo, L., Yalaoui, F. and Chen, H., Ant colony optimization for solving an industrial layout problem, *European Journal of Operational Research*, 183(2), 633-642, 2007.

Holman, G. T., Carnahan, B. J. and Bulfin, R. L., Using linear programming to optimize control panel design from an Ergonomics perspective, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting*, (pp. 1317-1321), USA. 2003.

Jung, E. S., Park, S. and Chang, S. Y., A CSP technique-based interactive control panel layout, *Ergonomics*, 38(9), 1884-1893, 1995.

Kuhn, H. W., The Hungarian method for the assignment problem. *Naval Research Logistics Quarterly 2*, 83-97, 1995; republished with historical remarks in Naval Research Logistics 52, 6-21, 2005.

Pham, D. T. and Onder, H. H., A knowledge-based system for optimizing workplace layouts using a genetic algorithm, *Ergonomics*, 35(12), 1479-1487, 1992.

Rardin, R. L., *Optimization in Operations Research*, Prentice Hill, 1998.

Sahni, S. and Gonzalez, T., P-complete approximation problems. *Journal of the Association for Computing*, 23, 555-565, 1976.

Sanders, M. S. and McCormick, E. J., *Human Factors in Engineering and Design*, 7th ed., McGraw-Hill, 1992.

Sargent, T. A., Kay, M. G. and Sargent, R. G., A methodology for optimally designing console panels for use by a single operator, *Human Factors*, 39(3), 389-309, 1997.

Udoson, U. J., Ergonomic workplace construction, evaluation and improvement by CADWORK, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 219-228, 2006.

Wang, M. J. Liu, C. M. and Pan, Y. S., Computer-aided panel layout using a multi-criteria heuristic algorithm, *Ergonomics*, 29(6), 1215-1233, 1991.

Xu, Y., Meng, Q., Yu, K. and Xu, Z., A layout method for control panel of thermal power plant, *Key Engineering Materials*, 419-420, 657-660, 2010a.

Xu, Y., Meng, Q. and Yang, Z., Particle swarm algorithm applied in the layout optimization for console, *Advanced Computer Control, International Conference on*, 5, 541-544, 2010b.

Xu, Y., Yang, Z. and Meng, Q., Particle swarm optimization method for panel layout, *Key Engineering Materials*, 450, 308-311, 2011.

Author listings

Kihyo Jung: kjung@ulsan.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: Assistant Professor, School of Industrial Engineering, University of Ulsan

Areas of interest: Ergonomic product design, Digital human simulation, Usability testing, Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs)

Jaejung Kim: januan@postech.ac.kr

Highest degree: B.S., Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Combinatorial Optimization, Order Consolidation

Taekho You: noelfly@postech.ac.kr

Highest degree: B.S., Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: M.S. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation, Ergonomic System for the Disabled

Baekhee Lee: x200won@postech.ac.kr

Highest degree: M.S., Industrial and Management Engineering, POSTECH

Position title: Ph.D. candidate, Department of Industrial Engineering, POSTECH

Areas of interest: Clinical Ergonomics, Vehicle Ergonomics, Ergonomic Product Design & Development, Digital Human Modeling & Simulation

Wonsup Lee: mcury@postech.ac.kr

Highest degree: B.S., Industrial and Media Design, Handong University

Position title: Ph.D. candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Ergonomic product design, Product shape design based on 3D scanning, 3D human modeling, Engineering design

Seikwon Park: parksks@afa.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Industrial Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Systems Engineering, Korea Air Force Academy
Areas of interest: Human factors in aviation and aerospace, Human performance & workload assessment, Bio-signal analysis

Woongseok Roh: woongseok.roh@lignex1.com

Highest degree: B.S., Computer Science Engineering, Sogang University
Position title: ILS Researcher, LIGNex1
Areas of interest: Human engineering, Weapon system, M&S

Heecheon You: hcyou@postech.ac.kr

Highest degree: Ph.D., Industrial Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH
Areas of interest: : Ergonomic product development, Digital human simulation, Human performance assessment, Usability testing

Date Received : 2012-09-20

Date Revised : 2012-10-24

Date Accepted : 2012-11-16